

구스 아스팔트의 열 영향이 3경간 연속 강상판 박스 거더교의 반력에 미치는 영향

The Variety of Reaction at the Three Span Continuous Steel Box Girder Bridge under The Thermal Effect of Guss Asphalt

김성남* · 고윤기** · 한택희*** · 강영중****

Kim, Sung Nam · Go, Yoon Gi · Han, Tak Hee · Kang, Young Jong

ABSTRACT

After the 1990's, Guss asphalt has chosen in Korea for using in pavement of a steel deck bridge because of it's distinguish ability about water proof and so on. But on the other hand it may cause server stress and displacement on the bridge as it is treated using very high temperature ranging from 220℃ to 260℃. Therefore, it is critical to estimate the thermal effect of Guss asphalt on the steel deck bridge before the width and pattern of the unit portion are decided to minimize impact. In this study, a serious of numerical tests of the some steel box bridges were idealized were conducted to verify the feasibility of numerical value analysis. The parametric study was performed to present design proposal about the Box section dimensions and the diaphragm spacing.

1. 서 론

강바닥판은 콘크리트 바닥판에 비해서 강성이 작아 차량의 윤(Wheel)하중에 의해 국부적으로 큰 변형이 발생하고 이러한 변형은 포장 표면에 인장응력을 유발시켜 포장균열이 발생하는 원인이 된다. 또한, 용접 이음부의 덧살 및 볼트 머리부의 돌출 등에 의해 포장이 균일한 두께로 포설되지 않거나 강바닥판과 아스팔트 포장 사이의 부착성 부족으로 인해 공용 중 포장 손상이 쉽게 발생하는 단점이 있다. 이러한 강바닥판의 단점은 강바닥판 교량에 있어서의 잦은 보수, 보강과 교통방해를 유발하여 강바닥판의 적용을 기피해 온 하나의 요인이 되어 왔다. 이러한 문제점을 해결하기 위해 근래에 들어 국내에서는 강바닥판 교량에 구스 아스팔트(Guss Asphalt)와 같은 부착성 및 내구성이 우수한 특수 아스팔트 포장을 실시하는 경우가 늘고 있다. 하지만, 이러한 특수 아스팔트는 우수한 특성을 가진 반면 시공방법과 혼합물의 특수성 때문에 여러 가지 특별한 시공 관리나

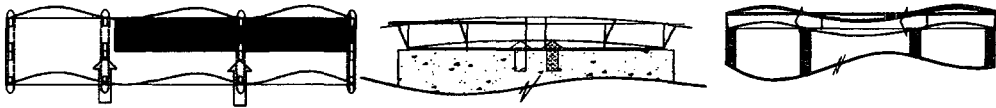
* 고려대학교 토목환경공학과 · 박사과정 · 공학석사 · magach7@korea.ac.kr
** 보성 건설 SOC팀 주임 · 공학석사 · yjblue@korea.ac.kr
*** 고려대학교 토목환경공학과 · 박사과정 · 공학석사 · taekie@korea.ac.kr
**** 정회원 · 고려대학교 토목환경공학과 부교수 · 공학박사 · yjkang@mail.korea.ac.kr

특징들을 가지게 되는데 본 연구에서 적용하는 구스 아스팔트는 일반 아스팔트보다 약 100℃ 정도 높은 고온 상태 (220℃~260℃)에서 포설되기 때문에 강바닥판의 온도가 100℃~130℃ 정도 상승하게 되는 특징을 가지고 있다. 이와 같은 온도 상승은 강바닥판의 변형을 유발하고 포장 완료 후에도 잔류응력 및 잔류변형의 형태로 남아 강바닥판 교량의 안전에 악영향을 미치는 요인이 된다. 실제로 일본에서 강바닥판에 구스 아스팔트 시공 중에 열 영향으로 인하여 교량 받침부의 손상이 발생하여 보수 시공이 불가피 했다는 보고가 있어 열 영향에 대한 연구가 필요한 상황이다. 따라서 본 연구를 통해 이미 검증되어진 유한 요소 해석 프로그램을 이용하여 교량 단면과 경간 길이, 그리고 구스 아스팔트 포장 패턴에 따른 교량 받침부에서의 반력의 변화 추이를 확인하여 강바닥판 교량의 안전성을 확보해야 한다. 본 연구에서는 합성형 강상자형 교량을 대상으로 하고 적용된 온도하중은 실제 강바닥판 교량(영종대교, 평안대교 제3공구)에 대하여 포장 공정에 따른 강바닥판의 온도 계측 값을 근거로 하였다.

2. 연구 동향 및 배경 이론

2.1 구스 아스팔트의 열 영향

구스 아스팔트 포장시 강바닥판에 발생하는 열 영향 발생의 정도를 수치해석에 의해 본 연구에서 검토할 주요 대상 항목은 다음과 같고 그 개념을 그림 1.에 나타내었다.



(a) 받침의 교축직각방향 반력 (b) 받침의 연직방향 부반력 (c) 받침의 교축방향 반력

그림 1. 강바닥판 열 변형의 검토 개념

2.2 구스 아스팔트의 열 영향 인자

강바닥판에 발생하는 구스 아스팔트에 의한 열 영향은 포설 시공 방법, 사용 장비 그리고 주변 환경 등에 의해 영향을 받는다. 주요 열 영향 인자를 정리하면 다음과 같다.

- | | |
|----------------------|--------------------|
| 1) 강바닥판 교량의 단면 형상 | 2) 구스 아스팔트 포설 시공 폭 |
| 3) 포설 시공 속도 = 피니셔 속도 | 4) 강바닥판의 온도 증가량 |
| 5) 펠트층의 존재 여부 | |

본 연구에서는 2)구스 아스팔트의 시공폭은 3m로 고정하였고 3)포설 시공 속도는 1m/min으로 고정하였으며 5)펠트층의 존재여부는 펠트층을 설치하지 않는 일본식 포장층 구성으로 범위를 제한하였다.

2.3 구스 아스팔트의 열 영향 해석 모델

강바닥판 교량의 열 영향 검토에서 가장 중요한 것은 포설시 강 바닥판에 발생하는 온도 증가량을 적절히 평가하여 수치해석에서 온도하중으로 재하 할 수 있어야 한다.

2.3.1 온도하중 모델

구스 아스팔트 포설온도가 강바닥판 및 강바닥판에 연결된 중형이나 주형으로 어느 정도 전달되는지를 나타내는 수직 방향의 온도 변화는 펠트층이 없는 경우에는 그림 2로 나타내어진다. 온도분포의 시간에 따른 변화에 의해 2가지 형태의 온도 분포를 사용하면 Type 1의 형태는 구스 아스팔트 포설 후 90분간 지속되고, Type 2 형태의 온도분포는 구스 아스팔트 포설 후 90분부터 그 후로 약 120분간 지속된다. 구스 아스팔트 포설 후 약 210분(3.5시간) 이 지나면 강바닥판은 원래의 온도로 회복하는 것으로 설정한다.

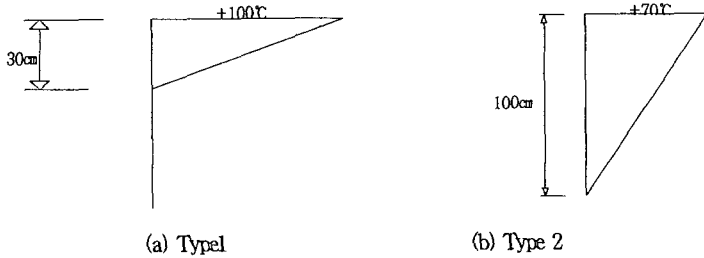
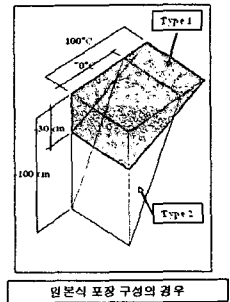


그림 2. 구스 아스팔트 포설에 의한 강바닥판 교량의 온도 변화량



2.3.2 포설 리턴의 설정

포설 폭과 시공속도 등에 대한 기본 항목을 결정한 후, 시공 패턴을 결정한다. 이 때, 시공패턴은 시공성을 고려함과 동시에 열 영향을 최소화 할 수 있도록 일련의 수치 해석을 통해 결정된다. 일본에서 보고 된 자료 또는 가양대교의 공사에서 모자이크 형태로 시공 패턴을 구성하여 구스 아스팔트를 시공했다는 사례가 있으나, 이 방법은 시공성에 문제가 있으므로 전체구간이 아닌 일부 구간 또는 열 영향으로 인한 심각한 구조적 문제가 예상되는 경우를 제외하고는 바람직한 방법이라 할 수 없다.

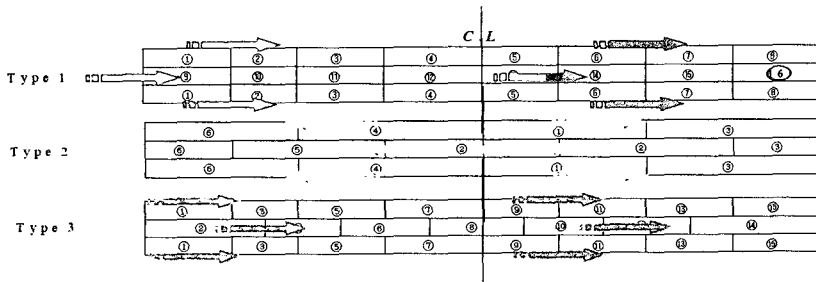


그림 3. 구스 아스팔트 시공 패턴 예

2.3.3 포설 폭의 분할

구스 아스팔트는 포설 시공시 일반 아스팔트와는 달리 광폭의 피니셔를 이용할 경우, 구스 아스팔트에 의해 온도가 상승하는 강바닥판의 면적이 넓어져 구조적인 문제점이 발생할 수 있기 때문에 교면 폭을 분할하여 시공하게 된다. 현재 독일과 일본에서 수입하여 사용하고 있는 구스 아스팔트 피니셔의 무리 없는 포설 가능 폭은 2.5m~4.5m 정도이며 포설 폭 설정 시 고려되는 사항은 다음과 같다.

- 1) 횡단면상의 시공 연결부를 피하여 가능한 연속시공을 고려한다.
- 2) 종형, 종리브 및 윤하중 재하 위치에 연결부를 두지 않는 시공 폭을 설정한다.
- 3) 분할시공은 기본적으로 총열량을 감소시키는 목적으로 한다.
- 4) 교축직각의 휨을 억제하기 위해 시공은 교량 길이 방향의 중심을 기준으로 좌우 대칭이 되도록 시행한다. 즉, 초기 2개의 외측 레인을 2대의 피니셔를 이용하여 동시 시공한 후 내측의 레인을 시공한다.

2.3.4 포설 속도

비합성형 강바닥판의 경우, 일반적으로 적용되는 피니셔의 속도는 0.5m/min~0.7m/min이고 합성형 강바닥판인 경우, 일반적으로 적용되는 피니셔의 속도는 1.0m/min 내외이다. 따라서 본 연구에서는 피니셔의 시공 속도를 1.0m/min로 고정한다.

3. 대상 교량의 재원과 매개변수

본 연구에서 구스 아스팔트의 열 영향을 분석을 위하여 결정한 매개변수는 단면의 치수와 지간의 구성 마지막으로 포장의 방법이 있다. 이 장에서는 각 매개변수의 결정과 구성에 대하여 설명한다.

- | | |
|--|-------------------------------------|
| 1. 적용대상 : 다실 강박스 직선교 (편도 2차, 편도 3차) | 2. 단면종류 : B, H = 2.4m , 3m , t= 2cm |
| 3. 지간길이 : 30m,60m,90m의 조합 | 4. 경 간 수 : 3경간 |
| 5. 격벽간격 : 5m | 6. 격벽강성 : 중복식 |
| 7 하중 조건 : 영종대교와 평안대교의 실측자료를 근거로 한 구스 아스팔트의 포설 온도 분포 하중 | |

3.1 대상 교량의 종단면 재원

본 연구에서는 3경간 교량을 대상으로 하였으며 이는 전진하는 포설에 따른 열 영향으로 인한 각 지지부의 변위 파악과 교량의 거동을 1사이클(Cycle)이상을 확보하기 위함이다. 지간 거리는 중앙 경간과 양 끝단 경간과의 3가지 비율을 사용하였으며 끝단 경간. 즉 단경간의 길이는 30m, 40m 50m 의 세 가지 경우를 고려하였다. 교축방향으로 분포하여 있는 격벽의 간격은 현재 일반적으로 사용하고 있는 5m 로 하였다. 따라서 모델 교량의 총 개수는 6개이다.

3.2 포설 방법

본 연구에서는 다음과 같은 6가지 포설 법을 적용하였다.

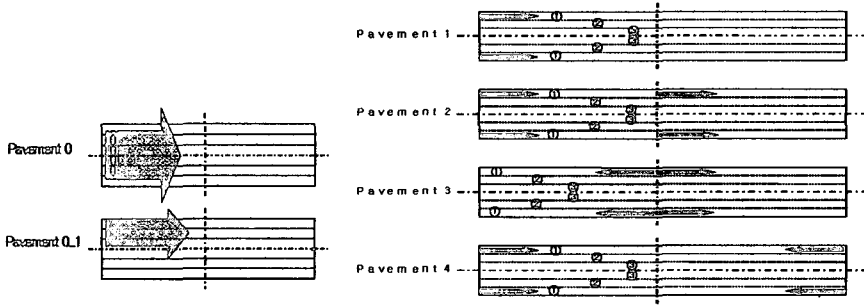


그림 4. 적용 포설 지면

4. 매개변수 연구

4.1 해석 모델 개요

박스형 단면 강상판 교량의 구스 아스팔트 포설에 의한 열영향 평가와 적합한 포설법의 제안을 위해 본 연구에서는 범용 수치해석 프로그램인 LUSAS ver. 13.5를 이용하였다.

4.2 해석 결과

4.2.1 시간비 변화에 따른 반력 비교

제시하였던 3가지의 매개변수 중에 먼저 시간비를 변화시켜 보았다. 다른 매개변수인 단면 폭과 포설 패턴은 고정하였다. 시간비가 증가함에 따라 교축직각 방향 반력은 감소함을 보인다. 시간비가 증가함에 따라 연직 방향 반력은 감소하나 시간비가 1에서 2로 늘어나는 동안에 감소하는 반력에 비해 시간비가 2에서 3으로 증가할 때의 반력의 감소는 상대적으로 적음을 알 수 있다. 시간비의 증가에 따른 교축방향 반력은 점차로 증가함을 알 수 있다.

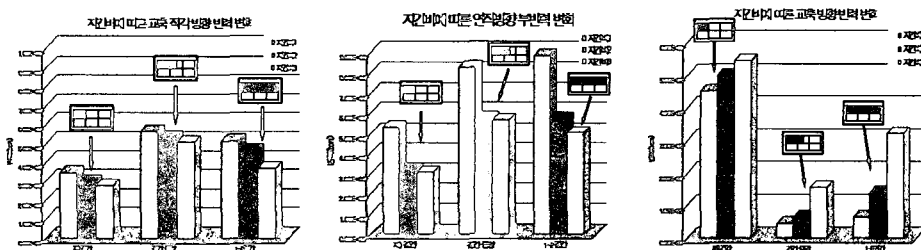
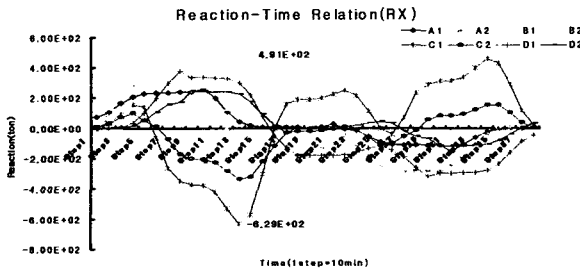


그림 5. 시간비 변화에 따른 반력 비교

4.2.2 포설 방법에 따른 반력 비교

다음으로 제시하였던 6가지의 포설 방법에 따른 각 방향의 반력의 변화를 포설 진행 상황에 따라 그래프로 표현하여 보았다. 교축 직각 방향 반력의 추이를 그림 7에 나타내었다. Pavement0_1을 제외한 다른 포설 패턴의 경우 대상 교량의 횡단면의 중심을 기준으로 좌우 대칭을 유지 한다고 할 수 있으므로 반력추이의 형상이 비슷한 경향을 보인다. 하지만 Pavement0_1의 경우는 횡단면 중심을 기준으로 좌우 비대칭 포설을 하는 경우이므로 반력의 변화 추이 역시 시간축을 기준으로 상하 비대칭 형상을 나타내고 있음을 확인할 수 있다.



	RX	
	Max (ton)	Location
P0	132	B1
P0_1	629	B1
P1	140	B1
P2	163	B2
P3	140	C2
P4	137	C2

그림 6 Pavement0_1의 경우 교축직각 방향 반력 추이 표 1. 교축직각방향 최대 반력값

하지만 Pavement0의 경우는 Guss Asphalt가 포설 되는 단면적이 다른 포설법들과 비교하여 넓기 때문에 반력의 변화 추이 역시 경향은 비슷하나 그 변화의 폭이 가장 크다. 표 1에 각 포설법에 따른 최대 값들을 정리

		RY Max. (ton)	Location
P0	Positive	575	C3
	Negative	916	B4
P0_1	Positive	521	B2
	Negative	774	B1
P1	Positive	558	C3
	Negative	781	B4
P2	Positive	581	C3
	Negative	786	D4
P3	Positive	571	C3
	Negative	784	D4
P4	Positive	575	C3
	Negative	786	D4

표 2. 포설 방법에 따른 연직 방향 최대 반력값

하여 보았다. 교축 방향 반력의 추이를 나타내었다. 모든 포설 패턴에 있어 반력추이의 형상이 비슷한 경향을 보인다. 하지만 Pavement0_1의 경우는 Guss Asphalt가 횡단면 중심을 기준으로 비대칭 포설이 되어서므로 다른 포설법들과 비교하여 약간 다른 경향을 보이며 반력의 변화 추이 역시 그 변화의 폭이 가장 크다. 그림7에 Pavement0의 반력 추이를 확대하여 보았으며 표 3에 각 포설법에 따른 최대 값들을 정리하여 보았다.

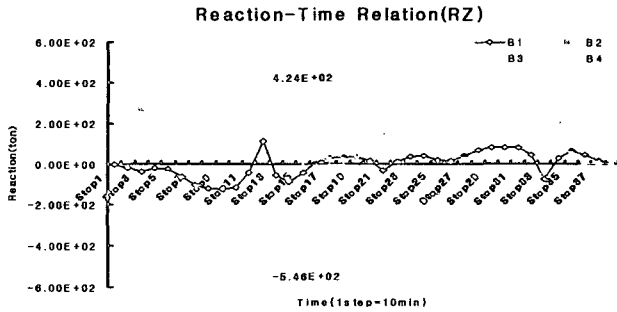


그림 7 Pavement0_1의 경우 교축 방향 반력

	FX Max (ton)	Location
P0	207	B3
P0_1	546	B2
P1	126	B2
P2	126	B2
P3	118	B2
P4	129	B4

표 3 포설 방법에 따른 교축 방향 최대 반력값

4.2.3 단면 폭의 변화에 따른 반력 비교

앞에 제시하였던 2가지 단면 폭의 변화에 따른 각 방향의 반력의 변화를 포설 진행 상황에 따라 그래프로 표현하여 보았다. 앞선 두 가지 매개변수의 적용에서 알 수 있었듯이 Pavement0과 Pavement0_1은 Guss Asphalt를 이용한 강상판 교량의 포장에 적합하지 않다. 따라서 이번 단면폭의 변화에는 Pavement1의 포설 형태를 적용하였다. Pavement1의 경우 횡단면 중심을 기준으로 좌우 대칭 포설이므로 교축 직각방향에 비대칭 반력을 유발하지 않으므로 일정한 경향을 발견 할 수 없었다. 좌우 대칭 포설의 경우 교축직각방향의 반력에 단면 폭의 변화가 영향을 끼치지 않음을 알 수 있다. 연직 방향 반력은 단면폭이 감소하고 작아지고 있다. 이는 포설 면적이 단면폭이 넓어지면 작아지게 되므로 이러한 결과를 얻을 수 있다.

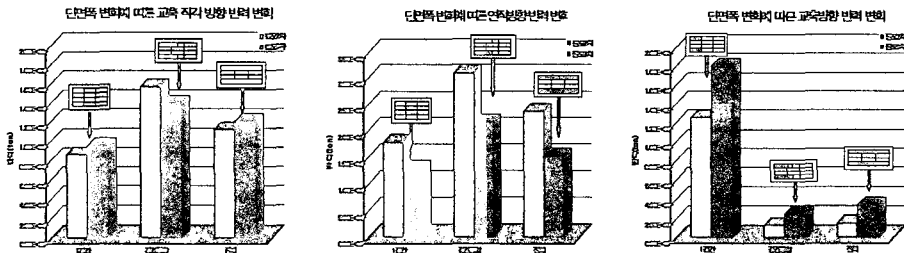


그림 8. 단면폭 변화에 따른 교축 직각 방향 및 연직 방향 반력, 교축 방향 반력 비교

5. 결 론

1. 강상판의 Guss Asphalt 포장에 있어서 교량 단면을 중심으로 비대칭 포설을 하는 것은 대칭 포설에 비해 약 4.5배의 교축 직각방향 반력을 유발하며 또한 교축 방향 반력도 분할 대칭 포설의 약 4.3배가 유발되므로

반드시 피하여야 한다.

2. 분할 포설을 하지 않고 전단면을 동시에 포설하는 경우에는 연직방향 부반력이 분할 포설에 비해 약 25%가 증대 되므로 이 또한 피하여야 한다.
3. 지간비가 증가하면 교축 방향 반력이 증가하게 되며 이 또한 강상자형 구조물과 교각 구조에 영향을 끼칠 수 있으므로 반드시 사전 수치해석으로 확인하여 적합한 포설 패턴을 적용 할 수 있도록 한다.
4. 단면 폭이 증가하면 연직방향의 반력은 감소하는 경향을 보이고 교축 방향 반력은 증가하는 경향을 보인다.
5. 가정했던 6가 포설 법 중 Pavement0와 Pavement0_1을 제외한 4가지 포설법은 단면 중심을 기준으로 좌우대칭을 이루고 있으며 유한요소 프로그램을 통한 분석 결과에 따르면 반력 값은 4가지 경우가 모두 큰 차이가 없었다.
6. 따라서 반력 검토를 통하여 적용하였던 4가지의 적합 포설법의 적합성 검토 여부는 어려우며 이는 강상자형 구조물의 응력을 비교하여 결정하여야 한다. 또한 본 연구에서의 반력 값이 강상자형 교량의 자중에 비해 월등히 크게 나타나는데 이것은 본 연구에서 가정한 포설 폭 3m가 대상 교량에 적합하지 않다는 것을 의미한다.

참고문헌

1. 이완훈, 김준석, 양주경 - 영종대교 하로도로 강바닥판의 구스아스팔트 열 영향(Thermal Effect of Guss Asphalt on Lower Steel deck of Youngjong Grand Bridge) : 2002.5 토목학회논문집
2. 김유돈, 정두희 - 강상판 교면 포장체의 응력 거동 분석 (An analysis of stress Behavior on Pavement of Orthotropic Steel Plate Deck) : 2002토목학회 학술발표회
3. 유원진, 이완훈, 강동욱, 이완수 - 강박스형 교량의 구스 아스팔트 포장열 영향 해석 (Thermal Effect of Guss Asphalt Pavement of Steel box Bridge) : 2003.5 강구조학회 논문집
4. 박순호 - 포장체의 강성이 강상판의 거동에 미치는 영향 : 2001.12 부경대학교 석사 논문