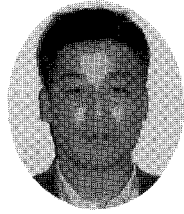
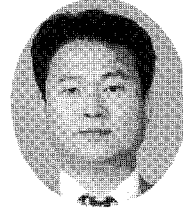


강바닥판 교량의 구스아스팔트 열영향



이 완 훈*



이 완 수**

1. 서 론

강바닥판은 제2차 세계대전 이후 독일을 중심으로 급속히 발전한 바닥판의 형식으로 교량 구조에 큰 변화를 가져온 바닥판의 형태이다. 강바닥판은 가벼운 자중, 큰 내구력, 넓은 적용범위 그리고 주형의 일부로서 협력작용이 용이하다는 것 등의 장점으로 현재 많은 교량의 바닥판 형식으로 채택되고 있으며, 특히 장대교의 경우 많이 적용되고 있다. 강바닥판 교량은 바닥판의 역할에 따라 크게 합성형과 비합성형으로 분류할 수 있다. 합성형은 강재 박스형교에서 박스의 상부플랜지가 바닥판의 역할을 하는 경우와 같이 강바닥판이 전체 강성의 일부를 형성하는 경우이고, 비합성형은 영종대교 하로도도 또는 광안대교의 경우와 같이 주형과 강바닥판이 교좌장치로 연결되어 전체구조계의 설계시 강바닥판이 하중으로 처리되는 형식이다.

최초의 강바닥판 교량의 포장기록은 1929년 수단의 White Nile Bridge에서 찾아볼 수 있으며, 5cm 두께의 매스틱 아스팔트(mastic asphalt)가 시공되었다. 강바닥판의 교면포장은 교통차량의 안전하고 쾌적한 주행을 확보하고 강바닥판을 교통하중에 의한 충격, 우수 및 기상작용 등으로부터 보호하는 역할을 담당한다. 교면포장은 그림 1과 같이 교량 강바닥판의 요철로부터 노면의 평탄성을 확보하고 강바닥판의 국부처짐과 진동에 저항하기 위한 기층(레벨링층)과 평탄성, 미끄럼

저항성, 내유동성 및 내마모성을 갖춘 표층으로 구성되는 것이 일반적이다. 강바닥판에 사용되는 교면포장 재료로서의 조건은 균열에 대한 저항성, 우수에 대한 수밀성, 중차량과 교통량의 증가에 기인한 포장재료의 소성변형에 대한 균열저항성 등이 교면포장 재료로서 갖추어야 할 필수조건이다. 방수층은 기층 포장재료의 종류 및 설계방법에 따라 없는 경우도 있다.

국내 강바닥판의 교면포장 재료는 아스팔트 포장이 많이 적용되고 있다. 콘크리트 포장은 건조수축이나 강바닥판과의 부착불량에 기인한 균열이 발생하기 쉬우며 보수가 곤란하고, 국부변형과 진동이 큰 강바닥판의 교면포장에는 콘크리트 포장을 이용할 수가 없기 때문이다. 사용되고 있는 아스팔트 재료로는 구스 아스팔트(Guss asphalt), 매스틱 아스팔트(Mastic asphalt), 에폭시 아스팔트(Epoxy asphalt), 개질 아스팔트(Modified asphalt) 등이 있다. 적절한 포장재료의 선택을 위해서

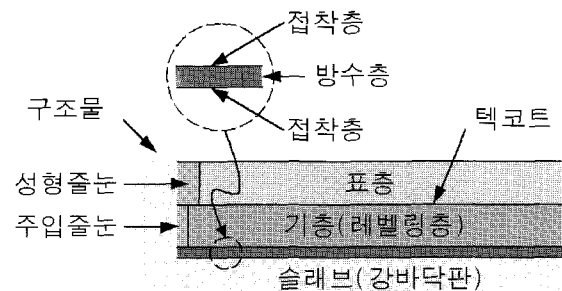


그림 1 교면포장의 구성

* 청운대학교 토목환경공학과 교수

** 삼성물산㈜ 건설부문 기술연구소 수석연구원

는 강바닥판의 강성, 교통량, 적용환경, 시공성, 유지관리비 등을 면밀하게 검토하여야 하여 일반적으로 이들 포장재료의 평균수명은 대략 20년 이상이다. 유지관리 측면에서 특별히 유의 해야 할 사항은 과적차량의 통행에 대한 적절히 통제인 것으로 알려져 있으며 이들 포장재료 사이의 우월성은 판단하기 어렵다.

국내에 적용되는 구스 아스팔트를 사용한 교면포장에서 구스 아스팔트는 포장의 기층에 사용되며, 마모층인 표층에는 개질 아스팔트가 사용되고 있다. 사용되는 개질 아스팔트로는 SBR(Styrene Butadiene Rubber), SBS(Styrene Butadiene Styrene), EVA(Ethyl Vinyl Acetate), CRM(Crum Rubber Modifiers) 등이 있다.

본 연구에서는 영종대교, 광안대교, 청담대교 그리고 가양대교 등 최근 국내에서 몇 년 동안 채택되어 시공된 구스 아스팔트의 사용 시 문제점으로 지적되고 있는 시공시의 열영향에 대하여 고찰하고자 한다.

2. 구스 아스팔트의 특징

구스아스팔트는 1950년대에 독일 기술자들이 교통량이 많은 도로의 포장을 위해서 개발한 고유동성 아스팔트 혼합물로 독일, 북유럽, 스칸디나비아, 일본 등의 지역에서 널리 사용되는 아스팔트 재료이다. 구스 아스콘은 일반 아스팔트(70~75%)와 TLA(25~30%)를 혼합하여 사용하며 필요에 따라서는 폴리머 개질재를 첨가하기도 한다. 골재는 입경이 2mm 미만인 세골재, 모래, 그리고 입경이 2~15mm인 조골재(연속 입도분포)를 혼합해서 사용한다. 유럽지역의 경우에는 기층 및 표층 모두 구스 아스팔트를 사용하는 경우가 많지만 일본의 경우에는 국내와 같이 기층에는 구스 아스팔트를 그리고 표층에는 개질 아스팔트를 사용하여 교면포장을 실시하는 것이 일반적이다.

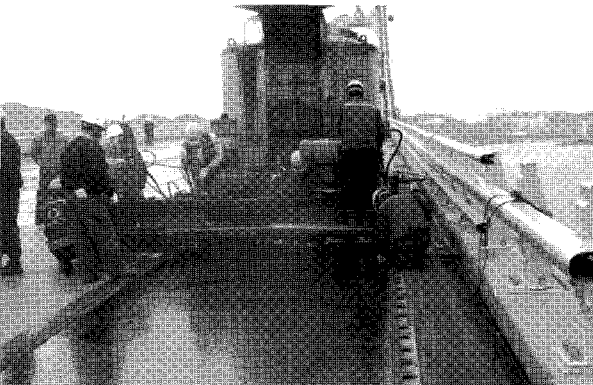


그림 2 구스 아스팔트 시공모습

국내에서는 1998년 정산1교를 시작으로 구스아스팔트를 교면포장에 본격적으로 사용하기 시작하였다. 강바닥판 교면포장의 잦은 보수 및 보장을 피하기 위하여 선택이 되었으며, 구스 아스팔트는 수밀성, 부착성, 내구성 등이 우수한 것으로 평가되었다. 그러나 구스 아스팔트 시공에는 그림 3, 4의 피니셔, 운반차량(쿠커)와 같은 전용장비, 특별한 재료(TLA 등) 등이 사용되고 시공 시 구스 아스팔트의 유동성 확보를 위해 고온(220℃~260℃)을 유지하면서 시공이 되므로 구조물이 열 영향을 받게 된다.

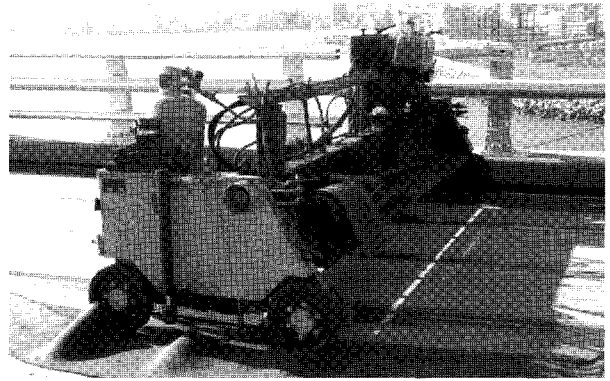


그림 3 구스 아스팔트 피니셔

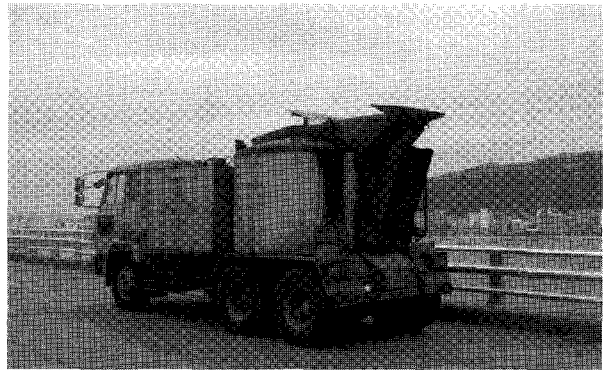


그림 4 구스 아스팔트 운반차량(쿠커)

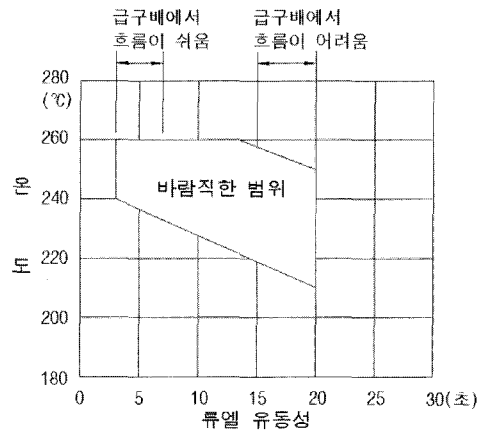


그림 5 구스 아스콘의 온도와 유동성의 관계

3. 수치해석에 의한 열영향 검토

강바닥판에 대한 구스 아스팔트의 열영향의 정도는 기본적으로 구스 아스콘의 시공 시 온도에 의해 크게 영향을 지배되지만 시공 분할폭, 피니셔의 시공속도, 시공 시의 날씨 등에 의한 주변 환경요인, 피니셔의 종류, 펠트층의 유무 등에 의해서도 열영향의 정도가 크게 영향을 받는다.

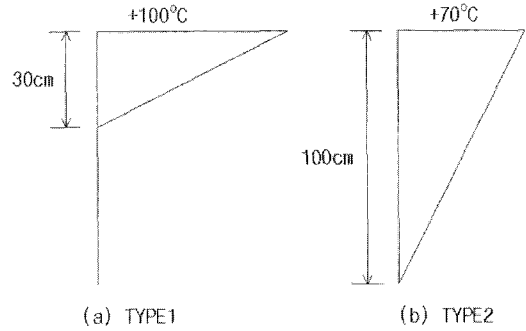
3차원 수치해석에 의한 열영향 검토의 목적은 구스 아스팔트 시공 시 구조물에 미치는 열영향을 최소화하는 시공 방법을 강구하기 위함이다.

3.1 온도하중

구스아스팔트 시공 중에 강바닥판의 온도변화는 강바닥판 하면에 부착된 온도센스를 통하여 측정될 수 있다. 실제로 영종대교, 광안대교 등의 시공 시 일련의 계측이 실시되었는데 보고된 바에 따르면 직사광선에 의해 25~30°, 피니셔의 종류에 따라 20~30°, 펠트층의 사용여부에 따라 30~60° 정도 증감될 수 있음을 알 수 있다.

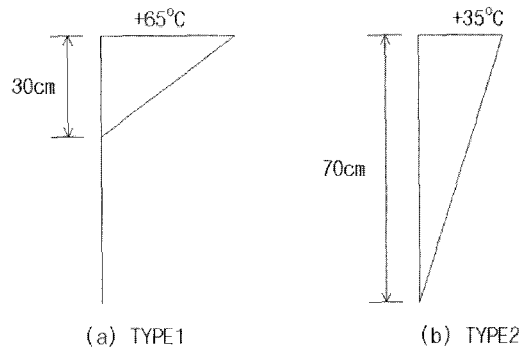
3차원 수치해석을 수행하기 위한 온도하중은 시간에 따라 복잡하게 변하는 강바닥판 하면의 온도변화를 단순화시켜 사용하는 것이 일반적이다. 즉, 방수층인 펠트층의 유무에 따라 강바닥판의 하면에 발생하는 온도 변화를 그림 6 및 7과 같이 가정하여 사용한다.

방수층인 펠트층은 독일식 구스 아스팔트 포장의 경우에는 기본적으로 교면포장에 포함이 되지만, 일본식 구스 아스팔트 포장의 경우에는 기층인 구스아스팔트 구체가 수밀성을 가지므로 방수층을 두지 않아도 된다는 이유로 설계 시 제외시킨 것으로 알려져 있다. 국내의 경우 영종대교, 청담대교, 가양대교 등의 교면포장에는 펠트층을 설치하지 않았으며 정산1교와 광안대교의 경우 펠트층을 시공하였다. 정산1교의 경우에는 독일식 개념을 가지고 포장 설계 시부터 펠트층이 포함되었으며 광안대교의 경우에는 초기 설계 시에는 펠트층을 고려하지 않았다가 구스 아스팔트에 의한 열전달의 정도를 감소시킬 목적으로 펠트층을 설치하게 된 경우이다. 이러한 온도하중은 일본의 자료와 영종대교 및 광안대교의 구스 아스팔트 시험시공 및 시공 중의 계측을 통하여 타당성이 있음을 검토한 것이다. 구스 아스팔트를 시공한 후 0~90분까지는 TYPE1의 온



(a) TYPE1 (b) TYPE2

그림 6 펠트층이 없는 경우의 온도하중



(a) TYPE1 (b) TYPE2

그림 7 펠트층이 있는 경우의 온도하중

도하중을 90~210분까지는 TYPE2의 온도하중을 적용하며 그 이상의 시간이 경과하면 초기온도로 회복하는 것으로 설정한다.

3.2 구조물 변형에 대한 검토항목

설정된 온도하중에 따른 구조물의 시공 중 열영향은 3차원 수치해석을 통하여 그 정도를 검토하게 된다. 검토항목은 구조물에 발생하는 응력 및 변형량 등이며 발생하는 열변형에 대한 검토항목은 그림 8과 같이 고정 교좌장치의 반력, 교좌장치의 유간의 여유치 그리고 신축이음부의 유간의 여유치 등이다. 기본적으로 구조물의 변형에 의한 영향은 시공방법을 통하여 어느정도 줄일 수 있다. 즉 두대의 피니셔를 동시에 사용하여 교량 길이 방향에 대하여 대칭이 되도록 시공함으로써 교량 횡방향으로의 발생 변형량을 최소화하여 교좌장치의 수평반력을 줄일 수 있고, 피니셔의 시공속도를 적절히 조절하여 교량 길이방향으로의 발생 변위량을 최소화할 수 있다.

3.3 시공 분할폭 및 시공속도

구스아스팔트에 의한 열영향을 감소시키기 위해서는

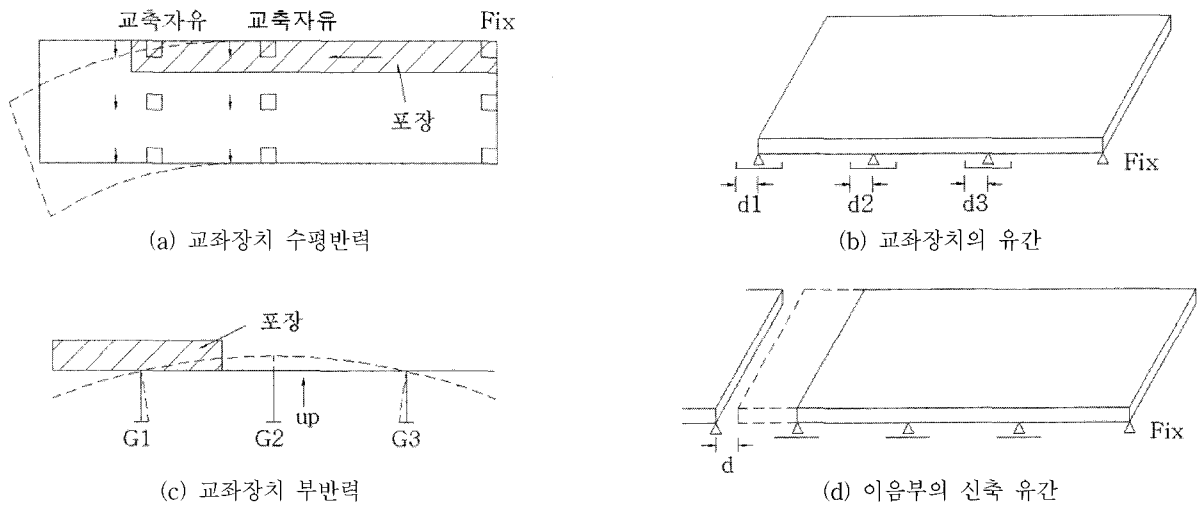


그림 8 열변형의 검토항목

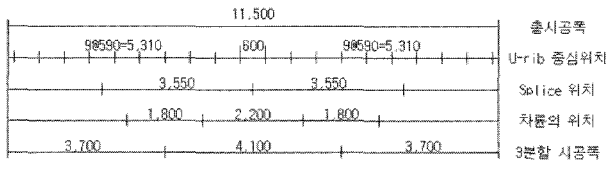


그림 9 시공 분할폭의 설정 예

강바닥판에 일시에 재하되는 총열량을 줄여야 한다. 이를 위하여 강바닥판 교량의 전체 폭을 적절하게 나누어 분할 시공하게 된다. 분할폭을 설정할 때에는 가능한 연속시공을 고려해야 하며, 시공 후 분할폭 사이의 이음부에 발생할 수 있는 균열발생을 줄이기 위하여 그림 9와 같이 강바닥판 구조물의 종형, 종리브 위치 및 윤하중 재하위치에 이음부가 위치하지 않도록 해야 한다. 현재 국내에서 사용되는 구스 아스팔트 피니셔의 효율적인 시공폭은 대략 2.0~4.5m 정도이므로 장비의 가동성 또한 고려하여 시공 분할폭을 설정하여야 한다.

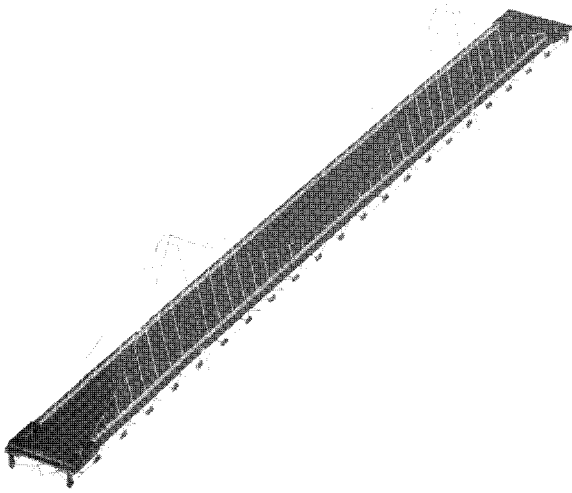
구스아스팔트 시공 시 피니셔의 속도가 바로 시공속도이며 시공속도는 동시에 열영향을 받는 강바닥판 영역의 크기를 결정하는 중요한 요인이다. 강바닥판 교면 포장에 있어서 피니셔는 평균속도가 0.5~1.0m/min이 유지되도록 한다. 일반적으로 합성형 강바닥판 구조인 경우 비합성형 강바닥판 보다 피니셔의 속도가 빠르다. 즉, 합성형 구조인 영종대교 상로도로의 경우에는 피니셔의 평균속도가 1.0m/min이 되도록 조절하였고, 비합성형 구조인 영종대교 하로도도와 광안대교의 경우에는 0.6m/min과 0.5m/min의 평균속도로 구스 아스팔트를 시공하였다.

3.4 열영향 수치해석

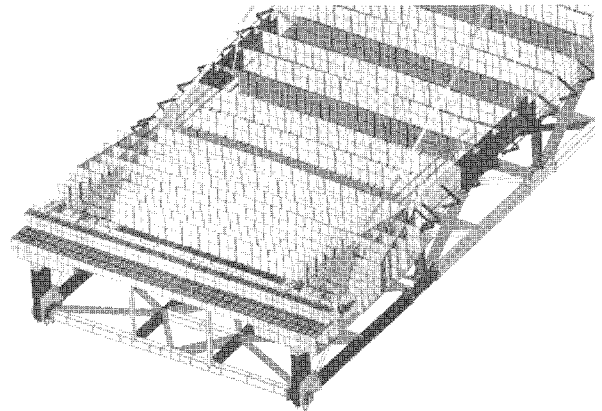
구스아스팔트의 시공 시 강바닥판에 발생 할 수 있는 응력 및 변위량은 3차원 수치해석을 수행하여 예측하고, 그 결과에 따라 설정된 시공 분할폭, 시공속도, 시공순서의 적정성에 대하여 검토하며, 적절한 시공성을 유지하면서 열영향이 허용범위 안에서 발생하는 적절한 방법이 제시될 때까지 일련의 작업이 연속적으로 수행된다.

사용되는 3차원 수치해석 모델은 설정된 시공 분할폭에 온도하중을 재하하여 교량 단면에서의 부재들의 상호 구속작용에 의한 응력 및 변위량의 발생정도, 특정단면에 설치되는 교좌장치의 상호 작용, 교량 구조물 전체 구속조건에 의한 영향, 단면 보강재의 배치에 따른 영향, 부재 연결부의 응력 집중현상의 발생 여부 등에 대한 검토가 수행될 수 있어야 하기 때문에, 실제 설계된 구조물과 가능한 유사하게 모델링 되어야 한다. 그러므로 구조물의 강바닥판, 복부판, 종형, 다이어프램 등의 주요 관형 부재들은 평판 및 셸요소로 구현하고 리브 등의 내부 보강재는 보요소를 이용하여 모델링 한다. 따라서 일반적으로 교량 구조물의 설계 시 사용하는 교량의 전체단면 또는 일부 단면을 보요소를 표현하고 강성 및 물성치를 부여하여 구조물의 거동을 살펴보는 단순화된 3차원 수치해석 모델과는 구별이 된다. 그림 10~14는 열영향 평가를 위한 3차원 수치해석 모델의 예이다.

해석방법에 있어서도 기하학적 변형이 크게 발생할 수 있는 구조형태 즉 사장교 또는 현수교 등의 경우에는

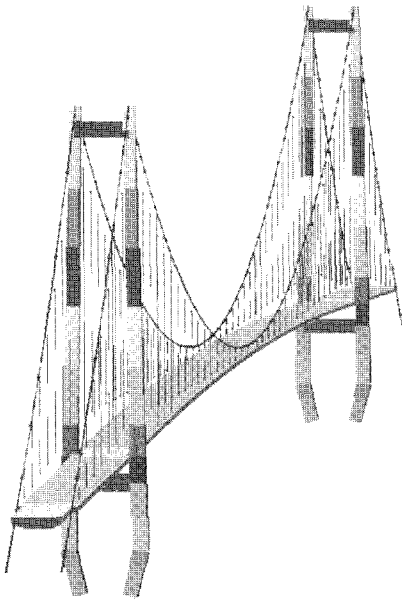


(a) 전체형상

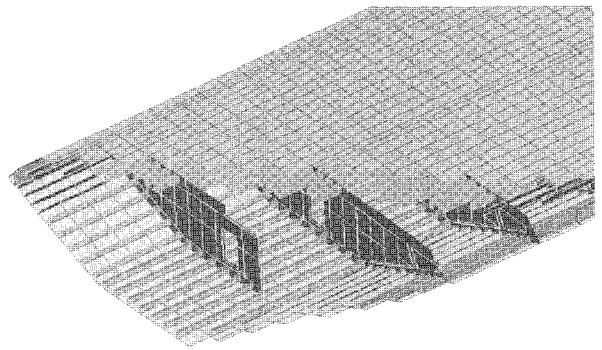


(b) 보강형 내부 부재의 배치형상

그림 10 합성형 모델 예1(영종대교 상로)(보요소 45,528개, 평판요소 72,224개)



(a) 전체형상



(b) 보강형 내부 부재의 배치형상

그림 11 합성형 모델 예2(현수교)(보요소 93,454개, 평판요소 133,942개)

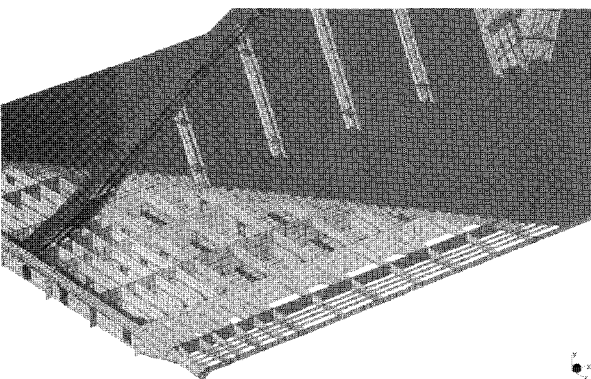


그림 12 합성형 모델 예3(아치교)(보요소 26,879개, 평판요소 54,210개)

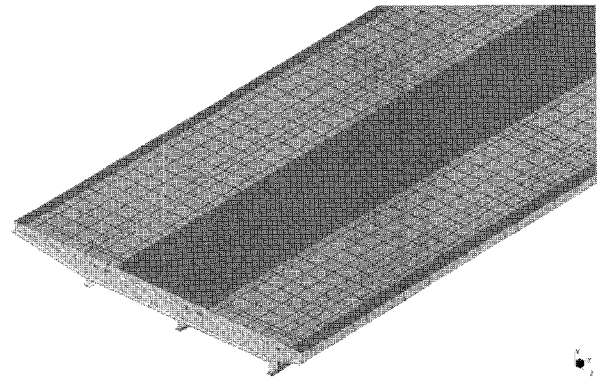


그림 13 비합성형 모델 예1(영종대교 하로)(보요소 9,449개, 평판요소 18,654개)

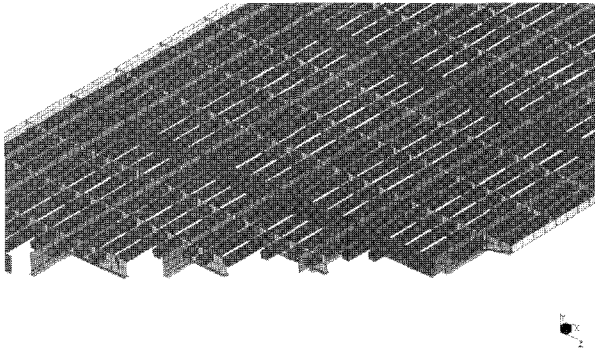


그림 14 비합성형 모델 예2(광안대교)(보요소 11,368개, 평판요소 23,241개)

기하학적 비선형 해석의 수행여부에 대해서도 고려해야 한다.

3.5 열영향 계측

강바닥판에 구스 아스팔트를 시공하는 경우 3차원 수치해석을 통하여 열영향을 최소화하는 시공방법을 검토하여 적용하게 되지만 수치해석 시 고려하지 못한 환경요인에 의한 구조물의 안정성을 확보하기 위하여 중요 구

조물의 경우 시공 중 계측을 실시한다. 구조물에 발생하는 온도변화, 발생응력, 발생변위 등을 계측하고 사용된 시공법의 타당성 및 열영향의 정도를 검토하게 된다.

강바닥판에서의 열영향 계측을 실시함에 있어 1) 온도측정을 위하여 시공 면의 하면과 종형에 중력방향으로 연속하여 온도센스 설치, 2) 강바닥판, U-리브, 종형의 복부판 그리고 종형 하플랜지에 발생하는 응력을 측정하기 위해 강바닥판 하면, U-리브, 종형 웨브, 종형 하플랜지 등에 변형률계 설치, 3) 강바닥판 종형의 교축방향 신축량 측정을 위해 교좌장치에 교축 및 교축 직각방향으로 변위계 설치, 4) 신축장치 설치부에서의 발생변위를 측정하기 위해 강바닥판 연결부에 교축 및 교축 직각방향으로 변위계 설치, 5) 교좌장치의 부상량 측정을 위해 부상이 예상되는 교좌장치부에 중력방향으로 변위계를 설치한다. 그림 15~17은 계측센스가 부착된 예이며, 그림 18~20은 영종대교 하로도로의 계측센스 배치 계획도이다. 데이터의 기록은 시공 시작 10분 전부터 1분 간격으로 실시하고, 강바닥판의 온도가 상온 상태로 회복될 것으로 추정되는 3시간 30분 이상 지속한다.

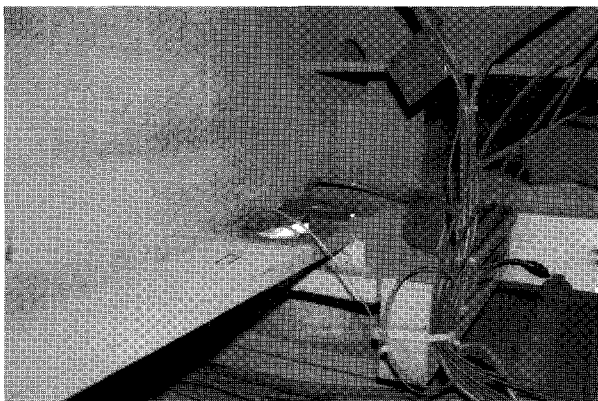


그림 15 횡형의 온도 및 변형률 게이지

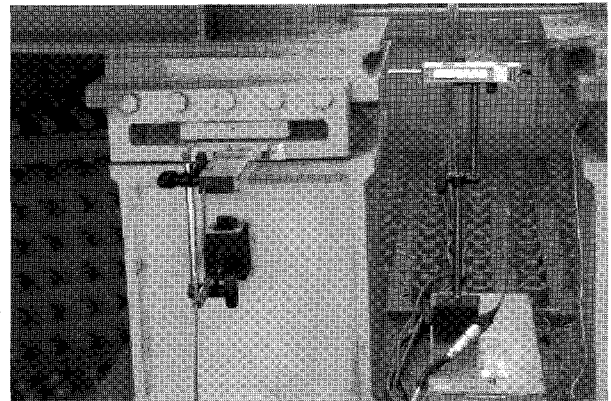


그림 17 열변형 계측을 위한 변위계

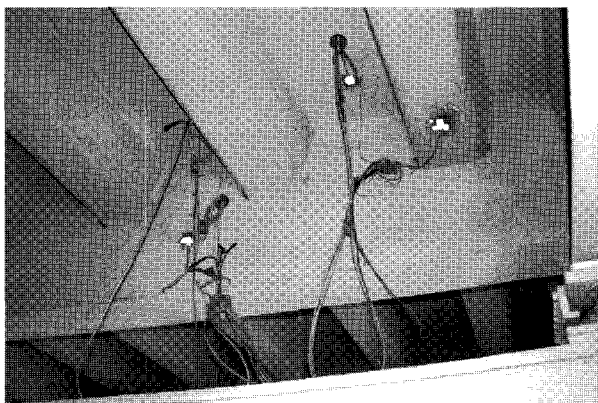


그림 16 강바닥판의 온도 및 변형률 게이지

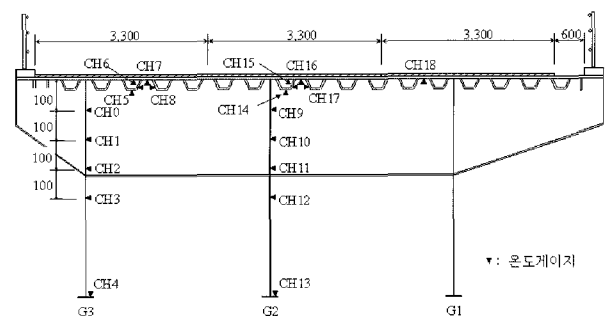


그림 18 온도게이지 배치도

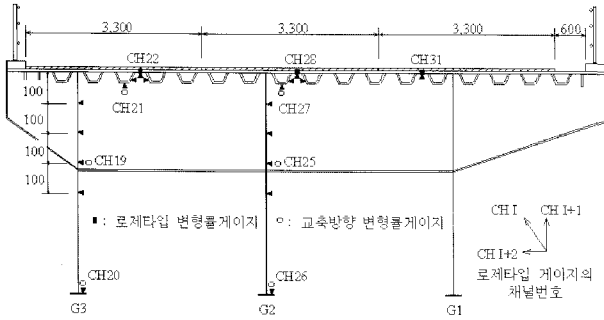


그림 19 변형률게이지 배치도

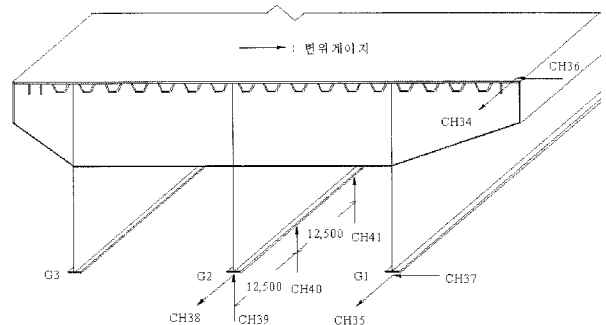


그림 20 변위게이지 배치도

4. 수치해석과 계측결과의 비교검토

수치해석의 결과는 계측의 결과와 비교 검토되며, 이를 통하여 구조물 전체의 열영향의 정도 및 구조물의 안전성이 평가될 수 있다. 다음에 열거하는 사항은 비합성형 강바닥판 구조인 영종대교 하로도로의 경우를 대상으로 실시된 일련의 수치해석과 계측의 결과로부터 검토된 내용의 일부를 검토 예로 간단히 언급한다. 일반적으로 비합성형 구조에 열영향이 크게 나타나기 때문에 영종대교 하로도로를 선정하였다.

4.1 강바닥판의 하면온도

구스 아스팔트 시공에 의해 강바닥판에 발생하는 온도변화는 그림 21에 나타난 바와 같으며 계측된 최대 온도 상승량은 약 124°C이며 수치해석에 사용된 온도 하중 TYPE1의 최대 온도 상승량 100°C를 24°C초과하는 것으로 나타났다. 이때 강바닥판 하면의 초기온도는 약 15.7°C였다. 수치해석 수행 시 가정된 최대 온도 상승량 100°C를 초과하여 강바닥판의 온도가 유지된 시간은 30~40분 정도였으며, 영종대교 하로도로 교좌장

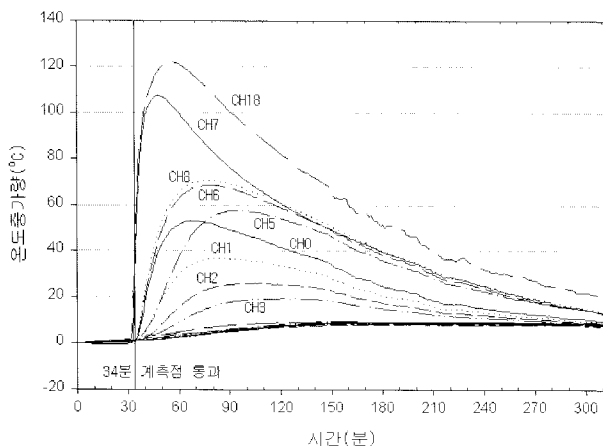


그림 21 강바닥판의 시간-온도곡선

치의 부상량이 수치해석 결과 예상된 수치보다 크게 발생하게 된 1차적인 원인인 것으로 판단된다.

4.2 발생 응력의 변화

강바닥판에 발생하는 응력의 변화는 그림 22에 나타난 바와 같다. 최대응력은 피니시 통과 후 약 15분에 강바닥판에서 계측되었으며, 최대 온도증가와 최대 응력은 5분 이내의 시간 차이로 강바닥판에서 발생하였다.

계측된 최대 Von Mises 합성응력은 2,128kg/cm²이고, 수치해석에서 예상된 합성응력은 1,990kg/cm²이다. 유의해야 할 것은 정적 수치해석의 경우에는 사하중이 고려되었고, 계측 시에는 사하중의 영향이 고려되지 않는다는 것이다.

분할 타설에 의해 인접레인의 강바닥판에 발생하는 최대 응력은 917kg/cm²이며, U-리브에는 최대 1,386kg/cm²의 인장응력이 계측되었고, 중형의 하플랜지에서는 교축방향으로 최대 1,171kg/cm² 정도의 인장응력이 계측되었다.

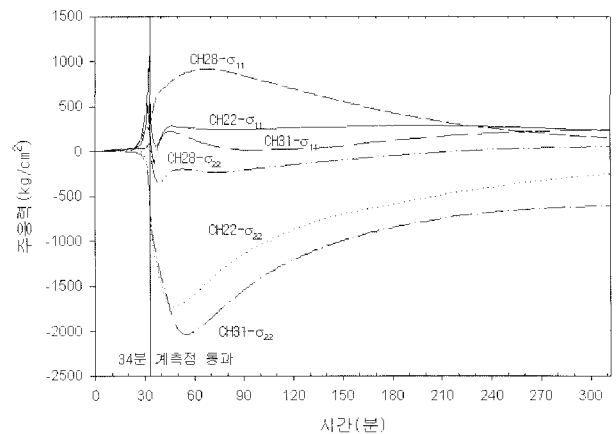


그림 22 계측된 시간-주응력곡선

4.3 발생 변위

구스아스팔트 시공 시 발생하는 변위는 그림 23과

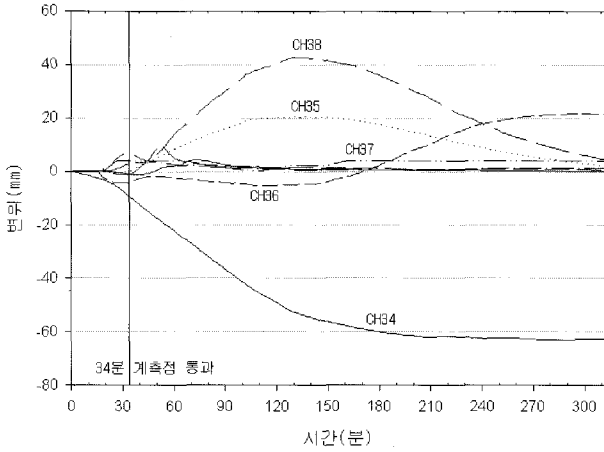


그림 23 시간-변위 변화곡선

같이 계측되었다. 수치해석의 결과 예상된 교좌장치에서의 변위량보다 실제 계측변위가 크게 측정된 것은 강바닥판에 발생한 온도 상승량이 수치해석에서 가정된 최대 온도변화량 100℃보다 크기 때문이기도 하지만 더 큰 비중을 차지하는 원인은 시공 중 주변의 온도가 상승한 것으로 판단된다. 일본의 아카시해협대교의 경우에도 계산값 보다 계측 시의 중력방향 부상량이 크게 발생한 것으로 보고된 바 있다.

일반적으로 교좌방향 및 교축 직각방향의 변위량은 시공속도 등을 조절하면 어느정도 발생 변위량이 줄어들게 되지만, 부반력 발생에 의한 중력방향 변위량(부상량)은 강바닥판과 중형부재의 수직방향 온도차에 의해 발생하는 것이므로 단순히 시공속도에 의한 조절은 어렵다. 구스 아스팔트로부터 전이되는 온도를 줄이는 방법으로 부상량을 줄이는 것이 가능하다고 할 수 있으나 구스 아스콘의 온도를 낮추어 시공하는 것은 아스콘의 유동성이 떨어져 시공자체가 불가능할 수 있으므로 이런 경우 방수층을 사용하여 부상량을 줄일 수 있다. 즉, 광안대교의 경우 방수층을 열차단의 용도로 사용하였다.

4.4 잔류응력

계측과정에서 초기에 계측된 변형률의 값으로 시공 후 변형률이 회복하지 않는 것이 일반적이다. 구스 아스콘의 무게와 같은 2차 사하중에 의한 영향도 있지만 구스 아스팔트 시공 중의 열변형의 영향이 잔류하기 때문이다. 계측된 최대 합성 잔류응력은 강바닥판에서 계측된 압축응력 544.5kg/cm²이다. 구스 아스콘과 강바닥판의 강한 부착에 의해 발생하는 잔류응력은 일교차 및 계절적인 요인에 의한 반복적인 강바닥판의 신축과

운행차량의 진동 등에 의한 영향으로 감소할 것으로 판단되지만 국내에서는 보고된 바 없다.

5. 결 론

강바닥판 포장재료로 사용되는 구스 아스팔트는 강바닥판 변형에 대한 추종성, 수밀성, 부착성 등 우수하다는 장점을 가지지만 시공시의 유동성 확보를 위해 고온의 상태를 유지하면서 시공되어야 한다는 점 때문에 시공 중 강바닥판 구조물에 과다한 응력 및 변형을 발생시키게 된다. 구스 아스팔트에 의한 강바닥판의 열영향의 정도는 3차원 상세 수치해석과 계측을 통하여 평가하며, 국내의 경우 영종대교, 광안대교, 청담대교 등의 교량에서 실시되었고 일본이나 독일의 경우에도 그 예를 찾아볼 수 있다.

강바닥판의 열영향은 강바닥판 구조 형식인 비합성형 구조와 합성형 구조에 대하여 다르게 나타난다. 따라서 거동 특성을 구조 형식에 따라 분리하여 검토하는 것이 합리적이다.


영종대교의 하로도로, 광안대교 등의 교면 형식은 비합성형 강바닥판으로 비교적 강성이 작기 때문에 구스 아스팔트의 시공 중 변형이 크게 발생하며 따라서 구조적 거동이 복잡하게 나타난다. 그러나 부재의 변위에 대한 구속력이 적어 발생응력은 작다. 구조물의 교좌장치 및 신축장치에 발생하는 변위량과 교좌장치의 부반력 발생 여부에 대한 검토가 신중히 이루어져야 한다. 시공 분할폭은 2~2.5m, 피니셔의 속도는 0.5~0.7m/min로 설정한다. 시공분할 폭 및 피니셔의 속도가 너무 작으면 시공성에 문제가 발생할 수 있으므로 이 경우 광안대교의 경우에서와 같이 펠트 층의 설치를 고려한다.

영종대교 상로도로, 청담대교 등에서와 같은 합성형 강바닥판은 비교적 강성이 크며 변위 발생에 대한 구속력이 크기 때문에 발생 응력은 크다. 강성이 크기 때문에 국부적으로 발생하는 변위는 작지만 신축이음간격이 길고 시공 분할폭 및 피니셔의 속도가 크기 때문에 열영향을 받는 면적이 넓어 신축이음에 발생하는 변위는 크다. 따라서 신축이음부의 변위량 검토에 신중하여야 하고 교좌장치 설치 횡단면상에 3개 이상의 교좌장치가 있는 경우 단면 강성이 크다 하더라도 부반력이 발생할 수 있다. 시공 분할폭은 2.5~3.5m, 피니셔의 속도는 1.0m/min 내외의 정도로 비합성형 보다 크게 설정한다. 합성형의 경우에는 단면의 형상이 다양하게 설계될 수 있고 열영향을 크게 받는 부위가 단면 형상

에 따라 달라지므로 검토 시 신중하여야 한다.

일반적으로 구스 아스팔트가 시공되는 강바닥판 구조물의 교좌장치 및 신축이음부는 후 가설하며, 구조물의 비대칭 변형이 발생하지 않도록 2대의 피니셔로 변형이 대칭으로 발생하도록 유도하여 잔류 변형에 의한 불안정성이 구조물이 발생하지 않도록 한다. 또한 발생 응력 및 변형은 수치해석 과정에서 고려되지 않은 영향요인으로 예상된 것보다 크게 발생한다는 점으로 유의하며 시공방법이 변경되는 경우 구조물의 크게 다르게 나타날 수 있다는 점을 고려하여 열영향의 정도를 판단하여야 한다.

참 고 문 헌

1. 이완훈, 김준석, 양주경, 영종대교 하로도로 강바닥판의 구스아스팔트 열영향, 대한토목학회논문집, 제22권, 제A-3호, 2002, pp.489~497
2. 이완훈, 이명재, 영종대교 상로도로 강상판의 구스아스팔트 열영향, 한국도로포장공학회 논문집, 제4권, 제1호, 2002, pp.171~181
3. 한국도로포장공학회, 교면포장 특집논단, 제2권, 제1호, 2000
4. 연육교제2공구, 교면포장 열영향 검토보고서, 삼성물산(주)건설부문, 2000
5. 사카키테츠오, 영종대교 구스아스팔트 사용 검토보고서, 영종대교감리단, 1998
6. 영종대교 감리단, 구스아스팔트 관련 자료집, 1998
7. 일본도로협회, 구스아스팔트, 일본도로협회, 1998
8. 호도우주식회사, 하쿠초대교 포장공사 시공계획서, 일본, 1996 
1. 이완훈, 김준석, 양주경, 영종대교 하로도로 강바닥