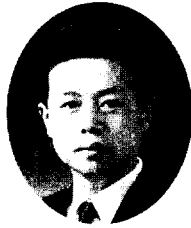


도로교 바닥판의 발전과 전망

Highway Bridge Decks - Past, Today and Future



김영진*



정철헌*



김성운**

1. 서 론

도로교의 바닥판은 차량하중을 직접 지지하는 등 주구조부재보다도 가혹한 사용환경하에 있고, 차량의 대형화 및 통행량 증가, 피로손상 및 재료 열화 등이 복합적으로 작용하여 파손이 발생되고 있는 것으로 판단된다. 한편 건설산업이 3D산업으로 인식되면서 숙련된 인력이 부족하고 고령화되어 산업생산성이 저하되는 실정이다. 따라서 거푸집제작, 철근배근, 콘크리트타설 등에 많은 인력이 요구되는 현장타설 RC바닥판은 공기지연이나 부실시공마저도 우려된다. 실제로 주구조보다도 바닥판의 손상이 압도적으로 많은데, 그 결과 청계고가도로교는 단계적인 바닥판교체공사가 시행되고 있고, 한강상 일부교량에 대해서도 바닥판 보수공사가 계획되고 있는 등 기존 교량바닥판에

대한 보수공사가 증가하는 추세에 있다.

바닥판 파손에 대한 사후대책으로는 강관접착, 탄소섬유쉬트접착 및 세로보증설 등의 보수·보강방법이 있으나, 교량관리자의 입장에서는 구조적 성능이 우수하면서도 교통체증을 완화시킬 수 있는 공법이 더 절실한 형편이다. 더우기 도심지, 고속도로 및 국도상 교량은 완공후 일단 사용하기 시작하면 교통체증, 우회도로건설 등의 제약으로 사용도중 보수공사가 어렵고 유지관리비가 초기 건설비보다 더 투입될 수 있기 때문에, 건설비와 유지관리비를 포함한 총생애비용(life cycle cost)면에서는 교통체증으로 인한 간접손실을 감소시킬 수 있도록 계획단계에서 부터 균열 및 피로저항성이 개선된 바닥판 건설공법을 적용하는 것이 더 바람직하다.

따라서 본 고에서는 도로교 바닥판의 발전과정

* 정회원, 대우건설기술연구소 토목연구팀, 책임연구원

** 정회원, 대우건설기술연구소 토목연구팀, 수석연구원

에 관한 고찰을 통해 교량바닥판의 역할과 기능을 재인식하고, 현재 주로 사용되고 있는 현장타설 RC바닥판의 문제점을 검토한 후 이를 개선하고자 개발되고 있는 바닥판관련 신기술·신공법에 대한 연구동향을 살펴보고자 한다.

2. 교량바닥판의 역할

교량바닥판의 구조적인 정의로는 교면에 작용하는 각종 하중을 직접 또는 포장을 매개로 마루조적을 통해 주구조의 소정의 위치로 그 하중을 분배·전달하는 부재로서, 포장이 시공되어 이루어진 평면상에 차량, 사람 등의 통행을 확보하는 부재라고 할 수 있다.

교량을 통행하는 운전자의 입장에서는 노면을 쾌적하게 주행할 수 있다면 바닥판만 존재하여도 큰 문제가 없다고 생각할 수 있는데, 중시간이상에서 주로 사용되는 슬래브-거더 형식의 교량에서 구조적으로 이런 상황은 있을 수 없고 바닥판을 지지하기 위한 마루조적이나 주구조가 존재하게 된다. 실제 바닥판이나 포장보다는 상대적으로 구조가 복잡한 마루조적이나 주구조에 교량기술자의 관심이 집중되어 마루조적이나 주구조의 설계나 시공기술에만 치중하고 바닥판이나 포장에 관해서는 상대적으로 관심이 적은 것이 일반적이다. 실제 주구조에 대한 설계도면은 수습매에 달하는 경우도 바닥판에 대해서는 평면도, 단면도, 철근상세도 등 기껏해야 수매에 불과한 것이 그 한 예라 할 수 있다. 그러나 마루조적이나 주구조의 설계가 잘 이루어진다 해도 바닥판이 그 기능을 상실하면 차량, 사람 등의 통행은 곤란하게 된다.

교량바닥판은 평면을 구성하는 구조체로서, 판(板, plate)으로서 해석한다. 일반적으로 판(板)은 평면에 직각으로 작용하는 하중에 의해서 전단력, 휨 및 비틀림이 생기는 구조체를 말한다. 즉 전단력과 휨모멘트만이 발생하는 보부재가 일차원인 것에 대해, 평판(平板)이라고도 하는 판(板)은 2차원 부재이다. 한편 이것에 비하여 면이 곡면이고 면에 직각방향으로 전단, 휨 및 비틀림이 생길 뿐 아니라, 면내방향으로 인장력, 압축력이 발생하는 구조물을 셸(shell)라고 칭하고,

셸중 휨강성이 없고 곡면내에 인장력이 생기지 않는 구조체를 막(膜, membrane)이라고 한다.

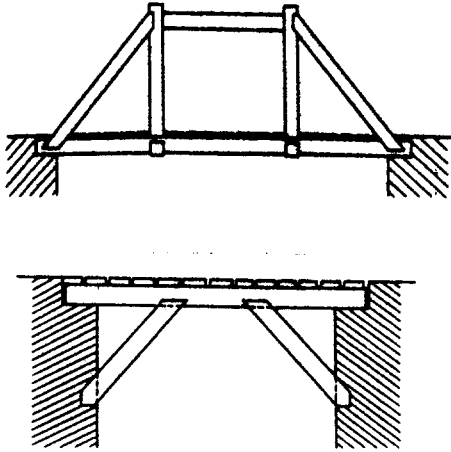
보통 바닥판은 침하하지 않는 주형으로 지지된 판으로 가정하고 해석한다. 도로교의 경우는 네변이 지지된 이방향판과 두변이 지지된 일방향판이 있을 수 있지만, 도로교 바닥판의 경우에는 이방향판으로 되는 경우가 대단히 드물어, 국내도로교 표준시방서에서는 바닥판을 폭 1m의 일방향판으로 취급하여 설계하도록 하고 있다.

한편 일본의 경우 상판(床版)중 “판”을 한자로 “版”이라 표기하고, 구조부재를 지칭하는 “板”이라는 글자는 사용하지 않고 있다. 이는 명확하지는 않지만, 20세기초까지는 목판(木板)이 바닥판으로 많이 이용되어 마루구조(flooring)을 문자 그대로 床板으로 표기한 것 같고, 그후 교량바닥판으로 목재를 사용하지 않고 콘크리트나 철근콘크리트를 주로 이용하게 되자 이를 명확히하기 위해 床版이라고 쓰지 않았나 추정된다⁽¹⁾.

3. 교량바닥판의 역사

3.1 19세기의 교량⁽¹⁾

19세기 로마시대의 교량형식으로는 석조아치가 다수 건설되었다. 석조아치의 경우 아치위에 돌이나 흙으로 채우면 노면이 생기게 되어 바닥판은 존재하지 않았다. 따라서 바닥판의 원형은 목교에서 찾지않으면 안된다. 그림 1은 16~18세기에 사용되었던 트러스교로서, 주구조에 사용된 목재가 바닥판에도 사용되고 있다. 바닥판으로 사용된 목재는 의도적으로 틈을 두고 부설하여 목재판의 건조·팽창을 흡수하고 배수를 통한 부식방지 등에 의한 내구성의 확보도 배려하고 있는 것을 알 수 있다. 그림 1(a)는 16세기 목재트러스의 고전적인 예인 대숙(對東)트러스교(Queen post truss bridge, Hängewerkbrücke)로서 주형, 2개의 사재, 2개의 수직재(束) 및 1개의 상현재로 구성되어 있는 하로교이고, 그림 1(b)는 방장(方杖)트러스교(Sprengwerkbrücke)로서 주로 18세기에 많이 사용되었는데 상로교인 점이 대숙트러스교와의 차이이다⁽²⁾.



(b) 방장트러스교
그림 1 목재트러스교

목교의 다음 단계로 나타난 교량중 상징적인 교량이 아이언교(1779년, 영국)이다. 이는 현존하는 가장 오래된 철교로서 이 교량의 바닥판도 목재로 추정되고 있는데, 이는 목재가 가볍고 가공이 간단하며 재료조달이 용이하고 어느 정도의 내구성도 기대할 수 있는 재료이기 때문으로 생각된다.

재료개발의 하나로서 콘크리트, 철근콘크리트가 등장한 것은 19세기 후반이다. 콘크리트의 주재료인 시멘트는 영국의 벽돌공인 Joesph Aspdin에 의해 1811년에 발명되었고, 1824년에는 특허를 취득하였다. 포틀랜드 시멘트란 용어는 Joesph Aspdin에 의해 최초로 사용되었다. 그후 시멘트는 크게 발전하여 1850년경에는 유럽에 시멘트공장이 생겼고, 1871년 미국에서는 근대적인 화학공정에 의한 포틀랜드시멘트의 본격적인 제조생산이 개시되었다.

프랑스의 Joseph Louis Lambot는 철근콘크리트 rowboat를 1850년에 제작하여, 이를 1855년 파리세계박람회에 출품하였는데, 이것이 철근콘크리트의 시작으로 통상 생각되고 있다. 1867년 프랑스의 모니에는 시멘트모르타와 철망을 이용해서 식목용 붐을 제작하였다. 한편

1884년 미국 샌프란시스코의 Concrete-steel company의 E. L. Ransome은 square twisted bar에 관한 특허를 출원하였다⁽³⁾. 이러한 개발에 힘입어, 19세기말에는 콘크리트와 철근콘크리트가 교량바닥판에 통상적으로 사용되게 되었다.

재료개발의 두번째는 강(steel)의 제조법의 개발이다. 19세기 후반이 되어 지금까지의 동철(鍊鐵, wrought iron)과 수철(鑄鐵, cast iron)에 대신하여 연성이 좋고 강도가 높은 강재가 제작되게 되었다. 1856년의 벅세아법, 1864년의 지멘스·마틴법, 1879년 토마스법 등을 통해 강재의 제조법이 개량되고 그 대량생산이 가능하게 되어, 교량의 건설도 비약적으로 진보하게 되었다. 1889년 영국의 Forth철도교는 처음으로 강재가 교량에 대량 사용된 것으로 유명하다.

강재의 생산혁명은 교량만이 아니라, 자동차의 생산에도 영향을 주었다. 1880년 독일의 다이믈러·벤츠에 의한 엔진발명으로, 1890년경에는 마차를 대신하여 자동차가 도시내를 주행하게 되었다. 특히 미국의 헨리포드는 1903년에 자동차회사를 설립하고, 1908년 T형 포드라는 저가의 자동차를 대량으로 공급함으로써 도로건설이 요구되었고, 이는 결국 도로교의 건설로 이어졌는데, 그 증가추세는 상당히 급속하게 이루어지게 되었다. 따라서 바닥판의 기술에 대해서도 이상과 같은 19세기 후반부터의 재료혁명, 교통혁명을 배경으로 큰 발전을 이루게 된 것이다.

3.2 19세기말의 바닥판^(1,4)

3.2.1 나무바닥판

나무바닥판은 전술한 바와 같이 오래전 부터 사용되고 있었다. 미국에서는 특히 목재가 풍부하게 공급되고 있어서, 도로교의 바닥판에도 많이 이용되었다. 현재에도 미국 도로교시방서 AASHTO에는 목교에 대한 규정이 있는데, 이 경우 바닥판도 목재일 것이라고 생각된다. 그림 2는 1883년에 있었던 미국의 유명한 Brooklyn 교의 개통을 나타낸 삽화이다. 그림에서와 같이, 차도(실제로는 마차도로), 보도 등이 모두 목재로 되어 있는 것을 알 수 있으며, 그 시대 최대의 교

량에도 나무바닥판이 사용되고 있었던 것을 알 수 있다.

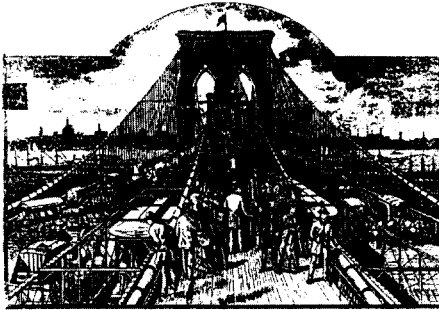


그림 2 브록클린교의 개통

3.2.2 아치바닥판

아치바닥판은 특히 유럽에서 많이 사용되었다. 그림 3은 그 개요도이다. 그림과 같이 교량의 중앙부는 교축방향으로 아치의 축선을 갖고, 교량단부에서는 아치의 방향을 변화시켜서 중앙부 아치의 반력을 취하게 하고 있다. 단부아치는 아치를 작게하기 위해 종형을 설치하고 또한 종형을 다량으로 이어 맞추어서 아치반력을 취하게 한 예도 있다. 아치의 재료는 시멘트콘크리트와 연와이고, 아치의 복부는 콘크리트로 충전시키고 그 위에 토사로 마카뎀포장을 실시한 것이다.

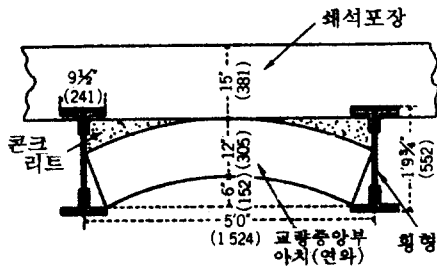


그림 3 아치바닥판단면도

3.2.3 트라프바닥판

1880년경에 개발되었던 바닥판으로서, 영국의 린제트라프(Lindsay's steel trough), 독일의 통형철(樋形鐵, zores eisen) 및 미국의 예를 각각 그림 4, 5 및 6에 도시하였다. 그림 4와 같이 린제트라프에서 형강의 플랜지폭(a)이 10~

20cm, 플랜지두께는 6~19mm이고, 그림 5와 같은樋形鐵은 전폭이 12~24cm, 두께는 5~9mm이다. 린제트라프에서는 형강을 리벳연결하여 트라프를 형성하고樋形鐵에서는 배수를 위해 트라프간 간격을 띄워서 부설하고 주형에 볼트로 연결하여 거푸집과 같이 설치한 다음 콘크리트를 타설한다. 그림 7은樋形鐵의 사용예이다. 이와 같은 트라프바닥판은 파상강판(corrugated plate)을 이용한 바닥판을 포함하여 수분침투에 의한 강재부식이 문제가 되어 비교적 사용수명이 짧은 경우에 사용되어 왔다.

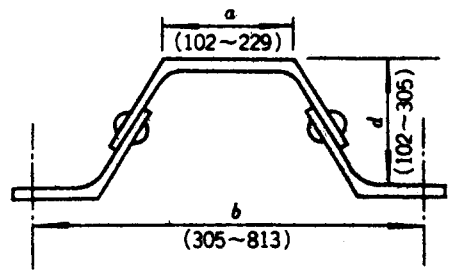


그림 4 린제트라프

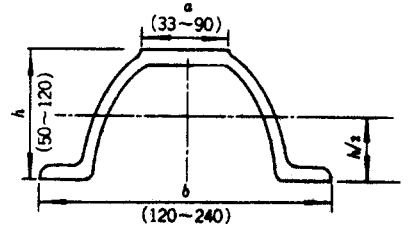


그림 5樋形鐵

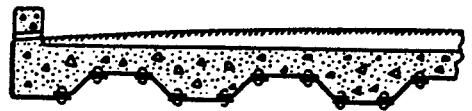


그림 6 미국의 트라프바닥판

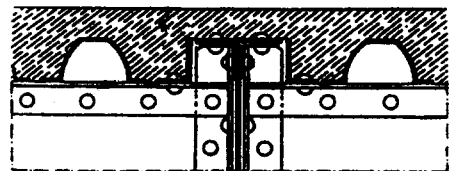


그림 7樋形鐵의 사용예

3.2.4 버클플레이트바닥판

버클플레이트(buckle plate)는 영국인 기술자 마래에 의하여 개발되어, 1860년경부터 사용되었다. 당초는 건축구조물의 슬래브용으로 사용되었으나, 미국이나 독일에서는 교량에도 다수 사용되었다. 교량에 적용된 경우는 주로 도심지 대교량에 사용된 경우가 많은데, 비록 가격은 고가이지만 바닥판을 얇게 설계할 수 있고 사하중을 경감할 수 있는 경우에 사용되었던 것 같다.

제조방법은 강판(초기는 철판)을 달군 후, 형(型, dice)을 이용해서 프레스로 눌러서 凹板으로 만들고 판의 각 연단의 수평부분에 구멍을 낸 후 리벳이나 볼트를 이용하여 중형에 연결하고, 그 위에 콘크리트를 타설하여 바닥판을 완성하게 된다. 그림 8은 이 공법의 한 실시예로서 1889년 미국 뉴욕에 가설된 Washington교이다. 미국의 American Bridge사가 20세기초에 버클플레이트를 제품화하였는데, 판두께는 6.4~11.1mm, 한변의 길이가 0.6~1.5m인 34종의 제품을 제조하였다.

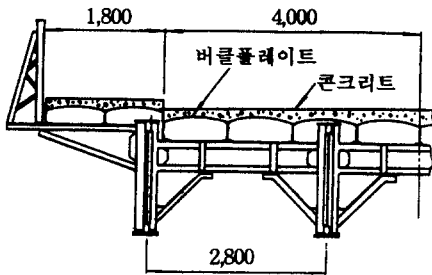


그림 8 버클플레이트의 사용예

초기는 그림 8와 같이, 위로 볼록한 판을 이용한 방법이 많았으나, 차차 녹이 문제가 되어 1900년경부터는 버클플레이트의 중앙에 구멍을 뚫어 아래로 볼록하게 하여 배수를 고려한 방법이 일반적으로 사용되었다. 일본에서 사용된 것은 이 단계에 해당되는 것으로, 凹板이 아니고 凸板으로 명명되었던 것도 이런 연유로 말미암은 것 같다. 일본에서는 동경시내의 교량을 중심으로 이 공법이 적용되었는데, 자재는 미국에서 수입되었던 같다. 한편 독일에서는 버클플레이트의 적용실적이 많았는데, 특히 이 플레이트를 반으로 나누

어 그 사이에 원통형으로 굽혀 가공한 강판을 이용한 준판(木尊板, Tonnenblechen)이 철도의道床에 널리 이용되었다.

3.2.5 철근콘크리트바닥판

철근콘크리트바닥판이 교량에 사용되기 시작한 것은 19세기말경 부터라고 추측되고 있다. 그 무렵 미국에서는 시멘트, 강재가 아직 고가이고, 교량의 바닥판에는 목재가 보통 이용되고 있었다. 20세기에 들어서면서 서서히 시멘트의 가격이 내려가고 목재의 가격은 상승되었고, 부식이 용이한 목재를 대신하여 내구성이 우수한 철근콘크리트가 보급되게 되었다. 그림 9는 1900년 당시의 철근배근으로, 사용된 철근은 각이 진 강재이었으며 하단에만 배근되어 있다. 미국에도 복철근의 배근예가 있지만, 그림과 같이 하단철근만 배근한 예가 그 이후로도 계속 나타나고 있다.

독일의 예에서는 다소 차이가 있는데, 현재의 배근법과 차이가 없는 Monier식의 배근이 이미 이루어지고 있었다. Monier배근법은 주철근방향과 배력철근방향의 양방향으로 철근을 배근하여 철근망을 구성하여 인장축에 배치하는 배근법으로, 1865년 모니에가 모니에식격자배근법(Monier trellis)으로 특허를 취득한 것이다. 독일인 와이스(Wayss)는 1879년 안트워프 박람회에 출품된 모니에식배근법의 독일지역 특허사용권을 양도받아 그 보급을 위해 쾨넨(Koenen)을 영입하여 많은 실험을 하였고, 1886년 쾨넨은 모니에식 철근콘크리트공법에 관한 쾨넨식구조계산법을 저서로 발표하였다⁽⁵⁾. 이 배근방법은 시공이 간단하고 설계가정과도 잘 부합되어 현재까지도 계속 사용하게 되었다. 이런 상황에 근거할 때 철근콘크리트 바닥판의 배근법은 유럽의 방법

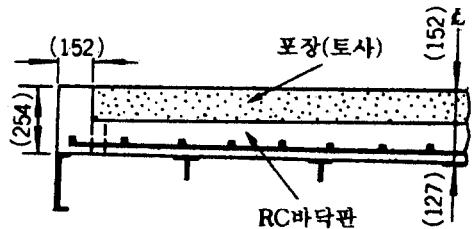


그림 9 미국초기의 RC바닥판

이 선도하고 있는 것으로 사료된다. 1930년대이 후에는 비클플레이트에 대체하여 철근콘크리트 바닥판이 주류를 이루기 시작했다. 그림 10은 독일초기의 RC바닥판이다.

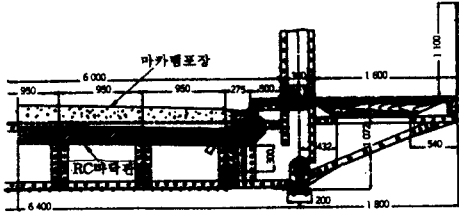


그림 10 독일초기의 RC바닥판

3.3 국내의 교량바닥판

국내 교량의 역사기록에서 볼 때 본격적이고 진보된 기술과 형식을 갖춘 다리는 삼국시대부터 비롯되었다고 할 수 있다. 삼국시대이후 19세기 말까지의 교량을 상부구조형식별로 구분하면 주로 홍교(虹橋, arch교), 형교(桁橋)의 형식이었다. 이중 홍교는 석재를, 형교는 석재 또는 목재를 이용하여 건설되었다. 홍교의 경우는 부채꼴 모양의 석재를 맞추어 둥근 홍예를 만들고 홍예 사이에는 잡석 등으로 채운후 그 위에 석재로 노면을 형성하였기 때문에 바닥판은 존재하지 않았다⁽⁶⁾. 한편 형교중 석교(石橋)의 경우는 고려중기까지는 주형과 교면의 구분이 없었으나 후기부터는 주형과 교면을 구분하여 주형, 가로보 및 세로보를 설치하고 그 위에 가로로 돌을 깔아서 바닥판을 형성하였고, 목교는 단순교형태로 형교와 유사하게 종방향으로 목재주형 등을 걸치고 노면에 나무판자를 깔아 바닥판을 형성하였다⁽⁷⁾.

한편 1900년 전후로 일본으로 부터 국내로 시멘트가 전래되어, 한강철교의 교각공사에 콘크리트를 사용하여 준공하면서 콘크리트의 사용이 확산되었다. 그후 1919년 평안남도 강동군 승호리에 오노다시멘트주식회사 평양지사 승호리공장이 국내 최초로 건설되었고, 그후 1928년 함경남도 천내리공장을 설립하였으며, 이 두회사를 기반으로 1934년 조선오노다시멘트주식회사가 설립되었다. 한편 1936년에는 조선아사노시멘트주식회

사가 설립되어 황해도 봉산공장이 건설되었고, 같은해 조선시멘트주식회사가 설립되어 황해도 해주공장을 건설하였다⁽⁵⁾.

이러한 국내에서의 시멘트생산에 힘입어 1920년경부터 RC 슬래브교, T형교, 라멘교 및 아치교의 건설이 시작되었고⁽⁸⁾, 국내에서 철근콘크리트 바닥판이 교량에 사용된 것도 이 무렵 부터라고 생각된다.

4. 현장타설 RC바닥판의 손상

현장타설 RC바닥판은 ①판으로서 거동하는 초기단계, ② 건조수축균열의 발생에 의한 병렬배치된 보형성 단계, ③ 종횡방향균열이 상호발생하고 격자균열밀도가 증가하는 단계, ④ 하면에서 발생된 휨균열이 이동하중의 영향으로 상면까지 관통하는 단계, ⑤ 관통된 균열면이 상호마찰로 마모되어 전단저항력이 상실되는 단계, ⑥ 저하된 편칭전단강도를 넘어서는 윤하중에 의해 붕락이 생기는 단계를 거쳐서 손상이 발생된다⁽⁹⁾. 또한 이러한 과정에 노면으로부터 빗물 등이 침투되면 열화는 현저히 가속화되는데, 습윤상태하에서의 바닥판의 피로수명은 건조상태보다 80~300배 정도 낮아 바닥판의 피로수명은 건조상태가 최대, 습윤상태가 최저치임을 알 수 있다⁽¹⁰⁾.

최근 이러한 과정을 거쳐 많은 교량의 바닥판이 손상을 입고 있는데, 도심지 교량에서도 청계고가교, 노랑진수원지양 고가교, 서소문교 등의 보수공사가 수행되었고, 한강상 잠실대교, 한남대교, 동호대교 등에 대한 성능보강공사가 수행중에 있다. 한편 국토상 교량에 대해 1996년에 조사된 보수필요도 자료를 분석한 결과 약 2000건의 보수필요대상중에서 33%가 바닥판, 21%가 하부구조, 11%가 주형으로 나타났으며, 이를 손상원인별로 보면 전체의 50%이상이 콘크리트의 균열이고, 바닥판에 발생한 경우가 균열손상의 53%를 차지하고 있는 것으로 보고되고 있다⁽¹¹⁾. 이와 함께 국내 콘크리트 교량에 대한 보수·보강현황을 분석하면, 부위별 보수경간의 전체 보수경간에 대한 비율은 손상부위별로 바닥판이 약 21%, 신축이음기 약 18%, 주형이 약 16% 등으로 바닥판의 손상이 가장 많았고, 세부손상부위별

로는 바닥판의 균열 및 백태가 약 20%로 가장 높은 비율을 차지하고 있는 것으로 나타나고 있었다⁽¹²⁾. 또한 1988년 건설부에 의해 수행된 노후교량조사 및 보수공법개발을 위하여, 국도상 교량중 표본교량으로 선정된 145개 교량에 대한 바닥판손상을 조사한 결과, 균열, 백태 및 누수가 각각 대상교량의 75%, 73% 및 77%를 차지하는 것으로 조사되었다⁽¹³⁾.

이상을 종합분석하면 교량의 주형보다는 바닥판의 손상이 더 높은 비율로 발생하고 있으며, 이 손상은 주로 균열, 백태 및 누수의 형태로 나타나고 있는 것을 알 수 있다. 이러한 바닥판의 손상

을 방지하기 위해 도로교표준시방서에는 바닥판의 최소두께를 규정하고 있고 그 두께를 최근에는 상향조정하기도 하였으나^(14,15), 바닥판의 손상을 근원적으로 방지하기 위해서는 바닥판의 구조거동을 이해하고 보다 내구성이 개선된 바닥판을 사용하는 것이 더 합리적이다.

5. 교량바닥판의 개발현황

5.1 개발현황

표 1 바닥판의 종류

대분류	중분류	소분류
콘크리트바닥판	현장타설 바닥판	RC, PC바닥판
	거푸집 선조립식 바닥판	Precast PC거푸집 합성바닥판
	프리캐스트 바닥판	RC, PC바닥판
	기타	FRC바닥판, HPC바닥판, 팽창콘크리트바닥판
합성바닥판	콘크리트매립형	I형강격자바닥판, 형강매설프리캐스트바닥판
	강판, 콘크리트합성바닥판	강판1매 방식(모빈순형합성바닥판, 파이프전단연결재 합성바닥판, 파형강판합성바닥판 등) 강판2매 방식(샌드위치구조합성바닥판)
	기타	GRC거푸집합성바닥판, FRP합성바닥판
강바닥판	콘크리트합성 강바닥판	강·콘크리트합성 강바닥판
	인반 강바닥판	신설 및 교체 강바닥판

표 2 각종 바닥판의 특징비교

종류 항목	A. 현장타설바닥판	B. 강바닥판	C. 프리캐스트바닥판	D. 합성바닥판
강도	적절한 설계가 이루어지면, 소요의 강도를 얻을 수 있음			
치짐	큼	작음	큼	큼
중량	큼	작음 ²	큼 ⁴	중간 ⁵
내구성	중간 또는 작음 ¹	중간 ³	중간 ³	큼 ⁷
품질	숙련공필요, 공기가		공작제적으로 품질양호	
시공성	길며, 현장작업많음		현장작업이 작고, 공기가 짧음	
경제성	큼	작음	중간	중간
유지관리	내구성에 문제가 있고, 유지관리 필요	피로균열, 부식, 식방지대책 필요	현재까지는 양호하다고 보고됨	강판부식우려, A, B 보다 유지관리용이

1. 바닥판간이 짧고 두께가 얇아서 균열이 발생되고 내구성이 저하
2. 경량이 주요장점임
3. 피로균열, 부식에 유의해야함
4. PC바닥판의 경우, PS강재가 필요
5. PC바닥판은 내구성이 양호
6. 구조를 합리화하고 바닥판을 얇게한 경우
7. 전단연결재의 피로균열과 합성바닥판간 이음부균열에 유의

현재 교량에 사용되고 있는 각종 바닥판을 대별하면, ① 기존에 널리 사용되고 있는 중소 지간용의 현장타설 RC바닥판, ② 장대교 등을 대상으로한 강바닥판, ③ 품질향상과 공사의 신속화를 위해 최근 관심이 집중되고 있는 RC 또는 PC 프리캐스트 바닥판 및 ④ 건설재료의 효율적 사용을 도모하기 위한 합성바닥판 등으로 구별될 수 있다. 표 1은 현재까지 개발되어 사용중이거나 개발중인 바닥판의 종류를 정리한 것이다⁽¹⁶⁾. 개발중인 바닥판은 공기의 단축, 노후바닥판의 교체, 기존 바닥판의 균열·피로저항성 향상 등을 목적으로 하고 있으며 대부분 공장제품으로 제작되어 시공관리되고 있다.

표 2는 표 1의 각종 바닥판의 특징과 개요를 기술한 것이다⁽¹⁷⁾. 표에서 알 수 있는 바와 같이, 각 바닥판은 고유의 특징과 장점을 갖고 있기 때문에 시공성, 경제성 및 교통소통 등을 종합적으로 고려하여 적합한 바닥판을 사용하여야 한다.

5.2 프리캐스트 콘크리트 바닥판

프리캐스트 콘크리트 바닥판은 현장타설바닥판에 비하여 고강도콘크리트 등을 사용함으로써 기존 교량바닥판의 사하중 증가없이 내하력이나 내구성 증대가 가능하고 차선별 교차시공에 의해 교통통제없이 시공할 수 있다는 특징이 있다. 프리캐스트 바닥판은 현장타설 RC바닥판과는 달리 공장에서 미리 바닥판을 제작한 다음 시공현장으로 이동하여 주형위에 가설하게 된다. 그림 11은 프리캐스트 프리스트레스트 콘크리트 바닥판 구조의 개요도이다. 그림에서 알 수 있는 바와 같이, RC 또는 PC 프리캐스트 바닥판은 이동이나 가설 등을 고려하여 교축직각방향과 교축방향으로 제한된 크기로 제작되기 때문에, 시공시 바닥판사이 및 바닥판과 주형사이에 연결부가 존재하는 특징이 있다. 따라서 프리캐스트 바닥판으로 시공된 경우라도 현장타설 RC바닥판과 같은 수준의 거동을 확보하기 위해서는 연결부에서 힘의 전달을 위한 연속성 확보, 누수방지 등에 대한 성능검증이 중요하며,⁽¹⁸⁾ 이를 위한 채움재의 부착 특성⁽¹⁹⁾, 이음부에서의 전단거동평가⁽²⁰⁾ 등에 관한 연구가 국내에서 수행된 바 있다.

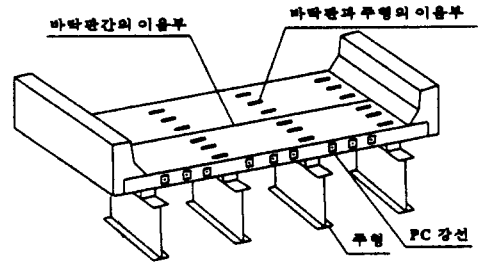
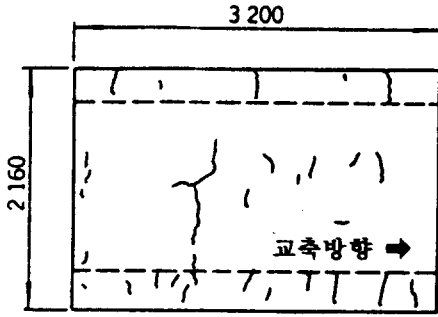


그림 11 프리캐스트 콘크리트 바닥판

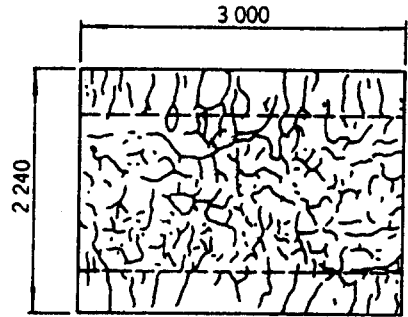
5.3 팽창콘크리트 바닥판

기존 현장타설바닥판은 콘크리트의 시공조건, 건조수축 및 온도응력 등에 의해 발생하는 초기 균열이 바닥판 상면으로 침투된 우수와 통행차량의 작용에 의해 진전되어 함몰되는 손상이 발생되는 것으로 알려지고 있다⁽⁹⁾. 이러한 손상으로부터 바닥판의 내구성을 향상시키기 위해서는 건조수축 등에 의해 교축직각방향으로 발생하는 초기 균열을 저감시키고 바닥판에 우수의 침투를 방지하는 것이 효과적인 대책으로 인식되고 있다. 바닥판의 내구성향상을 위해 바닥판의 두께를 증가시키는 것도 한 방법이 될 수 있으나, 이 경우 초기균열제어는 곤란하다.

따라서 건조수축량을 보상할 수 있도록 콘크리트의 팽창을 유도하는 방법이 일본을 중심으로 시도되고 있다⁽²¹⁾. 팽창콘크리트를 이용한 바닥판의 시공은 현장타설콘크리트에 팽창재를 첨가하는 것을 제외하고는 기존 공법과 동일하며, 이때 사용되는 팽창재는 CSA(calcium sulfaluminate) 또는 석회계열 등이 사용되고 있다. 팽창콘크리트의 중요한 사용효과는 균열밀도 및 균열폭의 저감으로 나타나고 있는데, 그림 12는 실교 바닥판에서 측정된 기존 콘크리트와 팽창콘크리트 바닥판의 균열상황비교이다. 실교 바닥판에 있어서 시공후 3년~7년정도에 측정된 팽창콘크리트 바닥판의 균열밀도는 기존 콘크리트 바닥판의 1/8~1/10정도였고, 최대균열폭은 팽창콘크리트 바닥판이 0.15mm, 기존 콘크리트 바닥판이 0.15~0.25mm정도로 균열폭이 감소하는 것이 보고되고 있다.



(a) 팽창 콘크리트



(b) 보통 콘크리트

그림 12 실교바닥판의 균열상황비교

5.4 섬유보강콘크리트 바닥판

1979년까지 캐나다 온타리오주의 교량들은 교량바닥판을 순수휨에 대하여 설계하는 미국의 AASHTO 시방서에 따라 설계되었다. 그후 온타리오 도로국의 지원하에 이루어진 실내와 현장시험의 결과로부터 내적아치효과 때문에 교량바닥판은 순수휨을 받는 경우보다 내하력이 크고, 이 효과를 고려하면 교량바닥판에 배근되는 철근량을 상당히 감소시킬 수 있다는 사실을 규명하였다. 1979년 온타리오주는 독자적 시방서 OHBDC를 처음으로 발간하였고, 이때 이러한 연구결과를 반영하여 교량바닥판의 경험적설계법을 제시하고 있다⁽²²⁾.

한편 교량바닥판에 작용하는 면내 압축력을 더욱 크게 작용시키면 철근을 완전히 제거할 수 있을 것이며, 그 결과 철근의 부식방지와 공사비절감을 얻을 수 있다는 연구로 발전되고 있다.

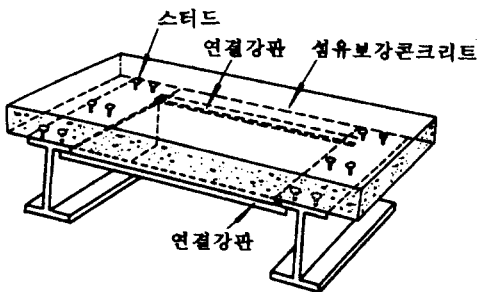


그림 13 강주형이 구축된 바닥판

이 연구의 핵심은 교량바닥판내 철근을 완전히 제거하는 것인데, 이를 달성하기 위해 두가지 요소기술을 이용하고 있다^(22,23). 그 하나는 균열조절을 위해 섬유보강재를 콘크리트내에 혼입하는 것이고, 다른 하나는 보다 강력한 면내압축력을 유발하기 위해 강제거더를 구축하는 것이다. 이 개념을 이용하여 1990대초에 최초로 캐나다의 Salmon교 교량바닥판이 시공되었다. 그림 13은 강제거더의 상부플랜지를 직사각형단면의 얇고 긴 강판(steel strap)으로 구축한 바닥판의 개념도이다.

5.5 고성능콘크리트 바닥판

고성능콘크리트(High-performance concrete)는 국내는 물론 미국, 일본 등에서 개발되어 활발히 이용되고 있다. 최근 이러한 노력의 일환으로 고성능콘크리트를 바닥판에 적용하기 위한 전략적연구가 미국에서 수행되고 있다. 고성능콘크리트는 재래의 콘크리트보다 내구성, 강도 및 시공성이 개선된 재료로서, 고성능콘크리트를 이용하여 바닥판을 시공하면 장기내구성이 개선되어 유지관리비용이 줄고 사용수명이 연장될 수 있을 것으로 기대하고, 미연방도로국(FHWA)는 고성능콘크리트를 교량에 사용하는 프로그램을 1993년에 착수하였다. 그후 1996년 AASHTO, FHWA 및 TRB가 공동으로 교량에 대한 고성능콘크리트의 사용확대를 위한 노력의 일환으로

Nebraska, New Hampshire, Texas 및 Virginia로 구성되는 HPC Lead State Team 을 구성하고 이들 각주에서 이루어진 고성능콘크리트의 시공경험, 관련 지식을 다른 주 등에게 전파할 수 있도록 하였다. 이들 각 주는 기후조건, 교통조건, 재료특성 등이 상이하기 때문에 고성능콘크리트바닥판을 건설하기 위한 접근방법에 다소 차이가 있었으나, 고강도보다는 내구성의 개선이나 양호한 시공품질확보에 중점을 두고 있다는 점은 공통적인 사항이었다. 현장에서 요구되는 각종조건을 만족하기 위해서 각 주모두 산·학·관의 공동연구팀이 구성되어 작업하였는데, 이들은 각 주의 재료를 이용하여 목표조건에 적합한 실내 및 현장배합을 개발하였고, 시공방법은 최대한 기존 방법을 활용하도록 하였다⁽²⁴⁾.

6. 맺음말

본 고에서는 도로교 바닥판의 역할과 기능, 역사, 열화현황 및 최신 기술개발동향 등에 대하여 간단히 고찰하였다. 주형-바닥판 구조시스템에 있어서 바닥판은 재료, 설계, 시공, 유지관리단계의 여러 인자의 영향을 받아 손상이 발생된다. 즉, 초기건조수축균열, 우수침투, 피로설계미비, 품질부족, 과적차량에 의한 피로손상, 제설제의 사용 등이 그 주요 원인으로 지적되고 있다.


실제 국내 도로교의 손상사례분석에 의하면 다른 교량부재보다 바닥판의 손상이 가장 높은 비율을 차지하고 있으며, 바닥판 손상은 주로 백태, 균열 등의 전형적인 피로손상형태를 나타내고 있음을 알 수 있다. 이러한 바닥판은 시공·설계가 비교적 단순하나, 안전성이나 내구성에 문제가 발생했을 경우에는 교통소통에 지장을 초래하여 물류비용이 급증하는 등의 경제적 손실로 연결되기 때문에, 보다 내구성과 안전성이 개선된 공법을 사용할 필요가 있다.

최근 건설교통부는 공공사업효율화정책을 수립하고 설계단계에서도 가치공학(value engineering)을 도입하여, 과거 단지 시공비 절감만을 목적으로 설계하던 관행에서 벗어나 총생애비용(life cycle cost)관점에서 경제성을 검토하는 개념을 도입하려는 시도를 하고 있다. 이는 바로 유지관

리의 중요성을 지적하고 있는 것으로, 사회간접자본이 점차로 축적될 수록 건설비뿐만 아니라 유리관리비도 증가한다는 것을 인식한 것이라고 판단된다. 따라서 장기내구성이 증가하고 사용수명이 연장되어 유지관리가 필요없거나 최소화된다면 비록 초기 시공비가 다소 증가하더라도 목표내용년수동안 투입되는 총비용은 기존 공법보다 절감되어 오히려 경제적이기 때문에, 이러한 관점에서 새로운 바닥판건설공법의 개발이 필요한 시점이라 하겠다.

참고문헌

1. Matsui, S., Nishikawa, K., Ota, K., "What is the bridge floor?," Bridge and Foundation Engineering, Vol. 32, No. 4, 1998, pp. 47~53.
2. Bert Heinrich, 橋の文化史 - 桁からア-チへ, 鹿島出版社, 1991, pp. 255~257.
3. Robert, E. Loov, "Reinforced Concrete at the Turn of the Century," Concrete International, Vol.13, No.12, 1991, pp.67~73.
4. 大田孝二, "橋梁床版考," 橋梁と基礎, Vol.27, No. 5, 1993, pp. 46~47.
5. 대한건축학회, 철근콘크리트구조, 기문당, 1998, pp. 17~38.
6. 황학주, 최신교량공학, 동명사, 1994, pp. 35~45.
7. 김근섭, 한국전통교량의 건설기술변천에 관한 연구, 연세대학교 박사학위논문, 1991, pp. 175~176.
8. 변근주, "콘크리트 교량의 역사와 미관설계," 콘크리트학회지, 제5권 4호, 1993, pp. 5~12.
9. 김영진, 정철현, 김철영, "현장타설 철근콘크리트 바닥판의 손상과 대책," 콘크리트학회지, 제9권 4호, 1997, pp. 57~65.
10. Nagai Masatsugu, "鋼橋の經濟性と長壽命化を目標して," JSCE, Vol.83, 1998, pp. 153~155.
11. 한국건설기술연구원, 시설물 유지관리기술에 관한 연구발표회 자료집-교량유지관리현황, 1997.
12. 심종성, 배인환, "국내 콘크리트교량의 보수·보강 기술 현황," 토목, 제47권 제4호, 1999, pp. 24~33.
13. 건설부, 노후교량조사 및 보수공법개발(최종보고서), 1988, pp. 109~121.
14. 건설부, 도로교표준시방서, 1992, pp. 253~254.

15. 건설교통부, 도로교표준시방서, 1996, pp.5-191~5-193.8.
16. Toriumi Ukon, Kuramoto Kenichi, "Rapid Construction of Bridge Slab by Precast Concrete Members." Bridge and Foundation Engineering, Vol. 26, No. 8, 1992, pp. 91~97.
17. NCB研究會, 新しい合成構造と橋, 山海堂, 1996, pp. 31~83.
18. 김영진, 정철현, 박철립, "급속시공을 위한 프리캐스트 콘크리트 교량바닥판의 활용", 콘크리트학회지, 제9권 1호, 1997, pp. 68~75.
19. 김영진, 정철현, 심창수, "프리캐스트 콘크리트 교량바닥판 이음부 채움재의 부착특성연구", 콘크리트학회지논문집, 제10권 1호, 1998, pp. 153~160.
20. 김영진, 정철현, 김종희, "프리캐스트 콘크리트 교량바닥판 female-female이음부의 전단실험", 콘크리트학회지논문집, 제10권 6호, 1998, pp.161~168.
21. Kazama Y., Kiso S., Masuda T., "Characteristics of RC Expansive Concrete Slabs of Steel Bridges," Bridge and Foundation Engineering, Vol. 25, No. 9, 1991, pp. 13~20.
22. Bakht, B., Mufti, A. A., "FRC Deck Slabs without Tensile Reinforcement," Concrete International, Vol.18, No.2, 1996, pp. 50~55.
23. Newhook, J. P., Mufti, A. A., "A Reinforcing Steel-Free Concrete Deck Slab for the Salmon River Bridge," Concrete International, Vol.18, No.6, 1996, pp. 30~34.
24. Moore, J. A., "High-Performance Concrete for Bridge Decks," Concrete International, Vol.21, No.2, 1999, pp. 58~68. 

구조의 철학

philosophy of structures

- 에두아르도 토로하 저
 - 김용부 역
 - 기문당 발행
 - B5 · 379면
 - 정가 : 15,000원
-