Crack & Seat 공법을 이용한 고속도로 콘크리트포장의 보수공사

이 관 호*

1. 서 론

우리나라의 도로는 주로 아스팔트 콘크리트포장형식을 이용하였다. 그러나, 차량의 양적인 증가, 차량의 대형화 및 중량화로 인해 기존의 아스팔트 포장에 많은 파손이 발생하였고, 이렇게 파손된 도로를 유지관리하기 위해 많은 경비가 소요되었다. 또한, 보수공사로 인한 교통통제는 결국 이용자인 시민들에게 상당한 불편을 주었고, 사회적 물류비용의 증가를 초래하였다. 이러한 문제를 해결하기 도로의 중요도를 고려하여 고속도로는 주로 시멘트콘크리트 포장공법을, 국도 및 일반도로는 아스팔트 포장공법을 적용하고 있다.

국내에 적용된 최초의 콘크리트 포장은 부산-마산간 고속도로로서 1981년 9월에 개통하였다. 이후 88올림픽 고속도로, 호남고속도로 확장구간, 중부고속도로 등이 시공되었다. 이러한 콘크리트포장의 장점으로는 초기의 유지관리비용의 감소 및 유지관리의 용이성 등이 있다. 그러나, 도로역시 인간이 만든 토목구조물의 하나이기 때문에 시간이 지남에 따라 구조물의 노화 및 파손이 발생하고, 이를 적절하게 처리하여 구조물의 성능 및 수명을 연장시켰다. 콘크리트 포장은 그 특성상 노화되고, 파손이 발생하면 유지관리하기가 어려워진다. 따라서 오래된 콘크리트포장의 보수 및 성능향상에 많은 연구가 진행되었다.

본 고에서는 노후된 콘크리트포장의 덧씌우기 공법중 Cracking & Seating(파쇄 및 다짐)공법의 시공사례를 소개하고자 한다. 인용된 시공사례는 미국의 아스팔트포장협회(National Asphalt Pavement Association)에서 발행하는 HMAT (Hot Mix Asphalt Technology, 최신아스팔트기술)의 일부분으로 원제목은 "Rehab Work That Doesn't Take a Toll on Traffic Flow"이다 (1998, NAPA). 다음 호에서는 "Rehab Project Uses Melted Millings Instead of Tack Coat"에 대한 내용을 소개하고자 한다.

2. 콘크리트포장의 덧씌우기공법

콘크리트포장의 파손시 사용 가능한 덧씌우기 공법은 아스팔트 덧씌우기와 콘크리트 덧씌우기 공법이 있다. 콘크리트 덧씌우기공법은 기존의 포장체와의 접착정도에 따라 세가지 공법, 즉 완전접착, 부분접착 및 비접착공법이 있다. 이러한 방법을 적용한 포장체의 해석은 주로 새로운 덧씌우기 포장체의 상태에 대한 기존의 노후된 포장체의 상태를 상대평가하여 탄성계수를 결정하고, 이를 이용하여 판이론을 적용한 유한요소

* 경성대학교 건설환경공학부 조교수

프로그램을 이용하여 해석한다. 그러나, 이 공법은 일부현장에서 한정적으로 적용되고 있는 실정이다.

노후된 콘크리트포장위에 아스팔트 덧씌우기 공법은 상당히 많은 현장에 적용된 공법이나, 기존의 콘크리트와 새로이 적용되는 아스팔트혼합물의 성질이 상이하여 해석에 상당한 어려움이 있다. 이론적으로는, 기존의 노후된 콘크리트포장을 하부층으로, 아스팔트 덧씌우기포장을 상부층으로 하여 유한요소해석을 수행할 수 있으나, 기존의 포장에 발생한 각종 균열 및 파손을 고려 한다면, 하부층으로 해석이 상당히 어렵게 된다. 노후된 콘크리트포장에 아스팔트 덧씌우기 시 가장 많이 발생하는 문제가 기존의 포장체에 발생한 반사균열(reflection cracking)이다. 이러한 반사균열을 제어하기 위해 사용할 수 있는 방법은 다음과 같다 (Huang, 1993)

a. 덧씌우기층의 두께 증가
b. 기존의 포장을 작은 조각으로 파쇄한 후 다짐 (Crack & Seat)
c. 배수층을 만들어 반사균열의 전이를 방지
d. 덧씌우기층에 인위적인 조인트 설치 (Saw and Seal Joint)
e. 응력흡수 중간층 설치 (Stress-Absorbing Membrane Interlayer)

위의 공법 중에서 Crack & Seat 공법은 기존의 노후된 콘크리트포장을 햄머를 장착한 기계를 이용하여 약 0.37m^{2}에서 0.56m^{2}의 작은 크기의 블록을 만들고, 무거운 하중의 로울러를 이용하여 다짐을 한 후, 아스팔트 덧씌우기를 하는 공법이다. 과거에는 철근으로 보강된 JRCP 포장의 파쇄에 상당한 어려움이 있었다. 이는 철근으로 연결된 각각의 블록의 다짐 효율이 떨어지고, 또한 수평방향으로의 이동으로 인한 문제가 발생할 수 있기 때문이다. 이러한 문제는 최근에 개발된 최신 파쇄기의 이용으로 해결할 수 있게 되었다. Kilareski 와 Stoffels (1990)은 지금까지 수행된 시공사례에 대한 종합적인 연구보고서를 작성하였다.

본고에서 소개할 덧씌우기 공법은 기존의 Crack & Seat공법을 좀더 개량한 것으로 기존의 포장체를 파쇄기를 이용하여 아주 작은 콘크리트조각(rubblized concrete block)으로 만들어 새로운 기층을 형성하고, 이 위에 아스팔트 덧씌우기를 수행하는 것이다.

3. 시공사례

3.1 시공구간개요

서부버지니아주의 Beckley시 근교의 77번 유료고속도로는 약 17년 정도된 콘크리트 포장도로로서 Charleston의 81번 고속도로와 연결되고, 특히 남북을 연결하는 중요한 도로이다. 이 도로의 중요성은 도로의 이름, "The West Virginia Parkways, Economic Development and Tourism Autority" 에서도 알 수 있다. 하루에 약 80,000대의 차량이 통과하고, 그중 약 82%가 다른 주에서 오는 차량이다. 총 길이 약 670km인 이 도로는 Appalachians 산맥주위를 약 130km 통과하고, 특히 대서양과 인접한 아름다운 해변도로로서 관광가치가 매우 크다고 할 수 있다. 또한, 116개소의 교량을 가지고 있고, 주변에 다른 우회도로가 없는 도로이기 때문에 보수공사시 공사시간과 교통의 소통이 중요한 요소이다.

3.2 시공방법의 결정

낡고 노후된 콘크리트포장의 보수공사의 공법선정을 위해 여러 가지 사항이 고려되었고, 그중 중요한 검토사항에는 총 보수구간의 길이 결

정, 우회도로의 부재로 인한 차량소통문제 및 보수공사로 인한 차량의 속도저하 등이었다. 버지니아주 교통국에서는 이러한 문제를 해결할 수 있는 보수공법의 선정에 많은 시간을 할애하여 검토하였다. 지금까지의 시공사례를 볼 때, diamond grinding 보수공사는 임시방편으로 적합한 것으로 판정되었다. 각종 보수공법의 장단점을 비교해본 결과, 기존의 포장 위에 PCC포장 또는 PCCP포장 덧씌우기는 비용 면에서 경제성이 매우 작고, 또한 공사기간이 길어져 교통통제로 인한 많은 사회적 비용의 증대를 가져온다. 또한, 시공 후 몇 년 안에 표면처리를 다시 해야 하는 번거로움이 있다. 특히, 이용자가 유료도로를 이용할 때에는 도로의 주행성과 쾌적성 등과 관련된 많은 부분에서 상대적으로 기대치가 높아진다고 할 수 있다.

이에 반해 PCC포장에 아스팔트 덧씌우기는 설사 시공이 잘못된다 할지라도 밀링기계를 이용하여 쉽게 걷어낼 수 있으나, 콘크리트포장의 경우 문제 발생 시 이러한 조치를 취하기가 상당히 어렵다. 또한, 기존의 Crack & Seat 공법은 슬래브의 크랙, 조인트의 노화, faulting, punchout, D-크랙 등에 의한 반사크랙의 발생을 최소화 할 수 있는 장점이 있다. 버지니아주의 기존 시공사례에서 볼 수 있듯이, 기존의 노후된 콘크리트포장의 cracking & seating후 아스팔트 덧씌우기 역시 반사크랙을 완전히 제어하지는 못하였다. 이러한 이유로 본 보수공사에서는 기존 콘크리트 포장을 쇄석 상태로 만든 후 아스팔트 덧씌우기 공법을 이용하였다. 특히 우회도로가 없는 관계로 보수공사기간 중의 차량의 소통문제가 중요한 사항중의 하나였다. 이러한 문제를 해결하기 위해 약 10마일(16km) 정도의 보수 구간을 결정하였고, 기존의 PCC 포장을 파쇄기를 이용하여 쇄석 또는 부순돌(rubblized concrete block)형태로 만든 후, 전단면 아스팔트 덧씌우기(a full depth HMA overlay) 공법을 이용하기로 결정하였다. 특히, 적용된 보수공법은 그림 1과 같이 공사중에 차량의 흐름을 어느 정도 유지할 수 있었고, 하루에 약 1.6km정도의 한 차선을 보수하였다.

그림 1. 77번 고속도로 보수공사 현장

버지니아주 교통국의 책임자인 William Gaven에 의하면, "기존의 PCC 포장을 파쇄후 HMA 덧씌우기 공법은 1989년에 적용한 시공구간에 대한 지속적인 관찰과 계측결과에서 볼 수 있듯이 지금까지 상당히 좋은 성능을 보였다. 특히, 우회도로가 없는 관계로 차량의 지속적인 흐름을 유지하는 것이 큰 문제였으나, 본 공법을 이용하여 상당히 큰 효과를 얻었다." 중차량 비율이 상대적으로 높은 이 도로는 보수공사 후 약 9년이 지난 지금 덧씌우기 표면에 약간의 아스팔트 노화현상이 보이기는 하지만 주행성이 양호한 상태로 판정되었다.

3.3 시공장비 및 시공과정

보수공사에 적용된 콘크리트 파쇄기는 그림 2에 나타난것과 같이, 14개의 햄머가 장착된 multiple-head breaker(MHB)를 이용하였다. 약 450kg의 햄머는 두 개의 축에 수평으로 장착되

었고, 유압잭 연결하여 이용된다. 각각의 햄머는 2개가 하나의 조를 이루어 작동되며, 파쇄에 필요한 에너지는 낙하높이에 따라 달라지는데 보통 900kg에서 약 3200kg 정도의 낙하에너지를 가진다. 또한, 파쇄 시 한번에 한차선 즉, 약 3.5m폭의 1차선 도로를 파쇄할 수 있으므로, MHB의 이용은 한차선의 파쇄 시 다른 차선으로 차량을 통과시킬 수 있으므로 적절한 안전장치만 설치하면 교통통제가 필요하지 않았다. 교통통제가 문제가 될 수 있으므로, 보수공사 과정에서 쇄석 상태로 파쇄된 표면을 롤러를 이용하여 다지고, 다짐직후 아스팔트 포설 및 다짐을 하는 것이 매우 중요하다. 금요일부터 일요일까지 교통량이 많기 때문에 보수공사는 이 기간을 제외한 일주일에 4일 동안 콘크리트포장의 파쇄, 포설 및 다짐, 교통개방 순서로 시행되었다.

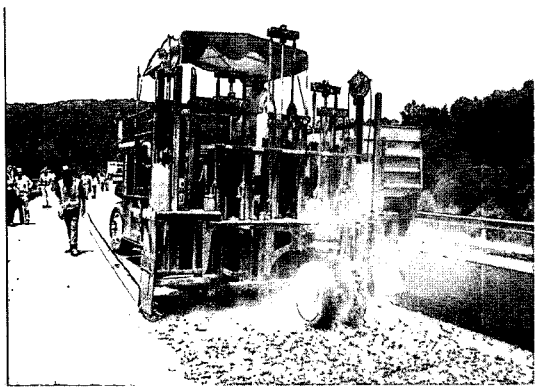

그림 2. MHB 파쇄기계

MHB의 이동속도는 파쇄의 효율을 최대화하기 위해 분당 약 3m에서 5m정도의 속도로 파쇄 하였고, 파쇄된 콘크리트 조각은 새로운 배수성 기층을 형성하게 된다. 버지니아주의 유료고속도로건설 시방서의 기준에 따라서 콘크리트 포장체내의 철근 아래 부분은 최대 23cm, 윗 부분은 7.5cm 정도의 크기로 노후된 콘크리트포장을 그림 3과 같이 파쇄하였다. MHB의 파쇄 작업이 진행되면, MHB의 바로 뒤에 그림 4와 같은 "Z"형태의 로울러 표면을 가지는 로울러를 이용하여 다짐을 수행하고, 너무 연약한 지역은 적절한 조치를 취한다. 그림 5는 진동로울러를 이용하여 최종다짐을 수행한 후의 기층을 보여준다. 특히, 파쇄면이 많은 골재의 상호접촉은 기층의 안정성증가에 가장 중요한 요소이다.

1993년부터 1997년 까지 유료고속도로의 차량증가율은 약 17%정도이고, 설계에 사용할 등가단축하중(ESALs)을 약 1,300,000에서 1,500,000으로 결정하였다. 이를 근거로 그림 6과 같이

그림 3. 파쇄된 콘크리트조각

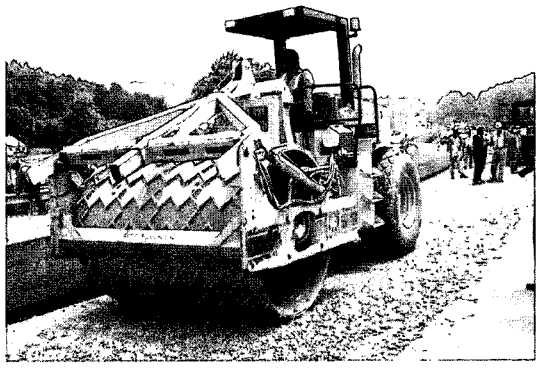

그림 4. Z-pattern 로울러

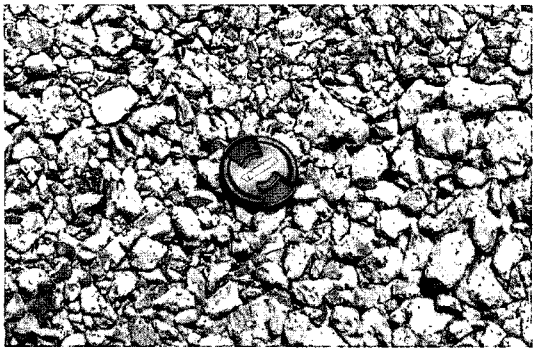

그림 5. 다짐이 완료된 파쇄 콘크리트기층

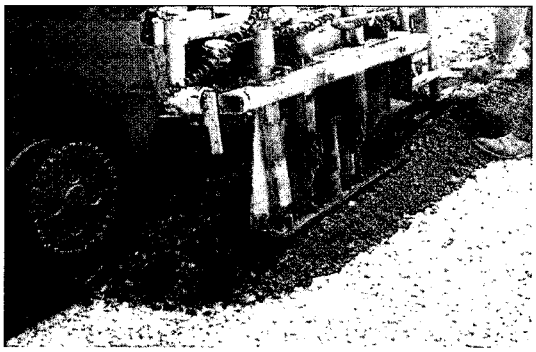

그림 6. 아스팔트 덧씌우기 공사

전단면 조립질 아스팔트 덧씌우기를 수행하였다. 사용된 굵은 골재는 최대 5cm정도이고, 공용성 등급 PG 62-22의 아스팔트를 이용하였다. 시공은 약 2.5cm의 평탄층(leveling course) 시공 후 미끄럼저항이 좋은 표층을 시공하였다. West Virginia사의 시간당 300톤 정도의 용량을 가지는 이동식 드럼믹서를 이용하였다. 시공기술자 Cooperrider에 의하면 "5cm 정도의 골재를 아스팔트 플랜트에서 이용하는데 상당한 어려움이 있었고, 또한 차량의 통행을 차단하지 않은 시공현장에 아스팔트혼합물의 포설에 어려움이 있었다". 그러나, 이러한 어려움을 극복하였으며, 노상의 상태가 양호하고, 도로선형이 좋은 경우 시간당 약 120m에서 약 150m까지 시공이 가능하였다. 또한, 기층의 재료분리현상을 최소화하고, 표면의 안정적인 다짐을 위해 각종 운송차량의 통행을 제한하였다.

3.4 시공사례의 발표

버지니아주 교통국은 현재 진행중인 고속도로 보수공사 공법과 시공에 상당한 자신감을 가지게 되었고, 서버지니아주 교통국과 NAPA주관으로 약 15개의 시공업자, 컨설턴트 및 교통국 종사자들을 초청하여 시공사례에 대한 자세한 발표회를 가졌다. Urbana-Champaign의 일리노이주립대학에 근무하는 Thompson 교수가 초청연사로서 발표를 하였다. 특히, Thompson 교수는 파쇄한 콘크리트 포장위에 아스팔트 덧씌우기에 관한 많은 연구를 수행하였고, 그의 지금까지의 연구 및 현장경험에 의하면 파쇄된 콘크리트포장은 성능이 매우 좋은 기층재로 이용할 수 있음을 발표하였다. 이러한 공법을 이용하기 위해서는 반드시 FWD를 이용하여 기존의 포장에 대한 성능평가 및 물성치 평가가 수행되어야 하고, 콘크리트포장과 노상의 샘플을 채취하여 실내실험 수행하여야만 한다. 일리노이주 역시 이러한 공법을 이용하여 3구간의 고속도로보수공사를 수행하였고, 지금까지 그 성능이 매우 좋은 것으로 나타났다. 특히, 시공된지 30년 이상 오래된 노후된 콘크리트포장의 보수공법으로 매우 좋은 공법임을 강조하였다.

4. 맺음말

우리나라에서도 콘크리트포장형식을 이용한 고속도로의 건설이 증가하고 있는데 그 주된 이유는 공용초기의 포장의 파손이 작고, 유지관리가 용이하기 때문이다. 그러나, 콘크리트포장 역시 시간이 지나면서 자연환경(온도, 강우 및 강수, 지하수의 변화), 재료의 노화 및 포장체에 가해지는 교통하중에 의해 노후되고, 파손이 발생하게 된다. 이렇게 발생한 파손은 결국 도로건

설의 경비를 부담하는 주행자의 승차감 및 차량 운전 안전성 등을 나쁘게 만들며, 또한 각종사고 및 차량속도의 저하 등으로 막대한 사회적 비용의 증가를 초래한다. 따라서 지금까지 건설되었거나, 건설될 콘크리트포장도로의 적절한 공용성을 유지하기 위해서는 시기 적절한 보수공사 및 유지관리시스템이 필수적이고, 이에 대한 지속적인 연구 및 시공사례에 대한 고찰을 통해 주행자, 유리관리자, 시공업자 모두가 만족할 수 있는 보수공법의 지속적인 개발이 필요하다.

참고문헌

1. Huang, Y. H. (1993), "Pavement Anlaysis and Design", Prentice Hall.
2. Kilareski, W. P & S. M. Stoffels (1990), "Structural Overlay Strategies for Jointed Concrete Pavments", Vol. II, Cracking and Seating of Concrete Slab Prior to AC Overlay, Report No. FHWA-RD-89-143, Federal Highway Administration
3. NAPA (1998), "Rehab Work That Doesn't Take a Toll on Traffic Flow", Hot Mix Asphalt Techonology, Vol. 3, No. 2, 9-13

"산에는 꽃이피네" 중에서

내가 사는 곳에는 눈이 많이 쌓이면 짐승들이 먹이를 찾아서 내려온다. 그래서 콩이나 빵부스러기 같은 먹을 걸 놓아 준다. 박새가 더러 오는데, 박새한테는 좁쌀이 필요하니까 장에서 사다가 주고 있다.

고구마도 짐승들과 같이 먹는다. 나도 먹고 그 놈들도 먹는다. 밤에 잘 때는 이 아이들이 물 찾아 개울로 내려온다. 눈 쌓인 데 보면 개울가에 발자국이 있다. 그래서 내가 그 아이들을 위해서 해질녘에 도끼로 얼음을 깨고 물구멍을 만들어 둔다. 물구멍을 하나만 두면 그냥 얼어 버리기 때문에 숨구멍을 서너 군데 만들어 놓으면 공기가 통해 잘 얼지 않는다.

그것도 굳이 말하자면 내게는 나눠 갖는 큰 기쁨이다. 나눔이란 누군가에게 끝없는 관심을 기울이는 일이다.

- 법정스님 -