

장수명 아스팔트 포장의 개념과 성공사례

박희문* · 오재원**

1. 개요

도로포장의 수명은 도로시공 후부터 도로의 상태가 원만한 교통흐름에 부적합하거나 보수공사(rehabilitation) 또는 재시공(reconstruction)이 필요할 때까지 걸리는 시간으로 정의할 수 있다. 도로포장의 수명은 도로 포장체의 구조, 도로재료의 특성, 도로단면두께, 유지보수 활동, 파괴조건 등으로 결정될 수 있다. 장수명 아스팔트 포장이란 심각한 도로의 구조적 결함 또는 전체 포장층에 대한 보수 없이 40년 이상 유지할 수 있는 도로포장이다. 이러한 포장은 도로를 재시공하는 대신 약 20년 주기로 단지 아스팔트 포장체의 표면보수만을 필요로 한다. 아스팔트 포장 수명을 40년 이상으로 증가시키고 20년마다 표면만을 보수하는 장수명 포장을 위하여 재료선택, 배합설계, 공용성시험, 그리고 도로단면설계 등에 현재 각국에서 많은 연구가 진행되고 있다. 일반적인 장수명 아스팔트 포장단면구조는 소성변형저항성, 불투수성, 박리저항성이 우수한 표층, 내구성이 좋은 중간층, 그리고 균열저항성과 내구성이 좋은 아스팔트 보조기층으로 이루어져 있다.

장수명도로가 가지고 있는 가장 큰 장점은 전체 단면두께가 일반 보조기층을 포함한 도로포장체보다 얇다는 것이다. 두껍게 설계된 아스팔트 층은 층하부에 발생하는 인장변형률을 감소시킬 뿐만 아니라 소성변형을 아스팔트 표층의 상부에서 제한시킬 수 있

는 효과도 얻을 수 있다. 20년 후에는 보수공법으로 아스팔트 포장체의 표면만 절삭한 후 그 부분만을 새로운 아스팔트로 대신하면 된다. 이러한 방법은 경제적인 효과를 얻을 수 있을 뿐만 아니라, 절삭한 재료를 다시 재활용이 하여 사용할 수 있기 때문에 이러한 보수 공정이 환경친화적임을 또한 알 수 있다.

2. 장수명 아스팔트 포장의 기본단면 및 재료

장수명 아스팔트 포장 설계는 튼튼한 노상 위에 두꺼운 아스팔트 층을 이용하여 이루어져야 한다. 아스팔트 층이 충분히 두꺼워야만 휨에 의하여 발생하는 Bottom-up 균열에 잘 저항할 수 있다. 이를 위하여 아스팔트 보조기층은 아스팔트 양의 증가시키거나 공극률을 낮추고, 또는 개질 아스팔트를 사용하는 것이 바람직하다.

중간층은 소성변형에 대해 충분히 저항할 수 있는 능력을 가지고 있어야 한다. 이를 위하여 질이 좋은 골재를 사용하거나 아니면 개질 아스팔트, 높은 강성 아스팔트 재료의 사용이 필요하다.

표층의 재료로는 일반적인 밀입도 Superpave 혼합물이 적절하다. 단지 많은 교통량이 있는 지역은 가능하면 Stone Matrix Asphalt (SMA)의 사용이 필요할 것이다. 보다 나은 미끄럼방지를 위하여 엔지니어들은 개립도 마찰층을 (Open Graded Friction

* 정회원 · 한국건설기술연구원 선임연구원

** 정회원 · 한국건설기술연구원 연구원

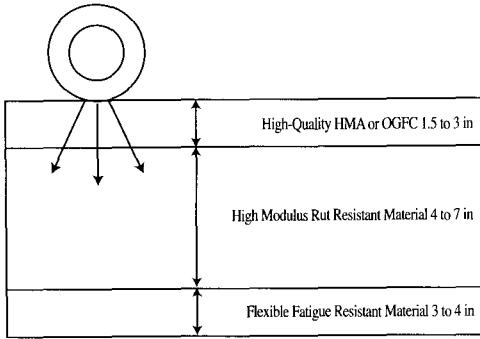


그림 1. 장수명 아스팔트 포장 디자인 개념

Course, OGFC) 표층 재료로 사용하기도 한다. SMA, OGFC 모두 소음흡수가 좋은 재료로 알려져 있다.

일반적인 장수명 아스팔트포장 디자인 개념은 그림 1과 같다.

3. 장수명 아스팔트 포장 연구의 가능성

현재 장수명 아스팔트 포장 설계에 대한 자세한 내용은 Transportation Research Laboratory (TRL) Report No. 250 에 잘 저술되어 있다. 도로포장체의 소성변형은 아스팔트 층의 상부에서 발생하는 표층 소성변형과 노상에서 생기는 구조적 소성변형으로 나눌 수 있다. 표층의 소성변형은 전체 아스팔트 포장체에 구조적으로 심각한 문제를 발생시키지 아니하나 구조적 소성변형은 아스팔트층 또는 보조기층의 하중분포능력저하로부터 생기므로 포장구조체의 파괴를 야기할 수 있다. 이 보고서에 따르면 높은 소성변형률은 주로 아스팔트층의 두께가 얇은 아스팔트 도로에서 많이 발생되었다. 200mm 보다 두꺼운 포장의 경우 매우 낮은 소성변형률을 보였고, 소성변형이 아스팔트 표층 상부에 국한되어져 있으며 교통하중에 의해 발생하는 노반의 변형은 매우 낮았다. 이러한 이유로 소성변형에 의한 문제가 발생되었을 때 단지 표층에 대한 보수만이 필요하게 되어진다.

일반적으로 바퀴주행선에서 발생하는 종방향균열

은 아스팔트 층의 하부에서 처음 발생하여 윗방향으로 진행된다고 여겨져 왔다 (Bottom-up 균열). 그러나 TRL에서 종방향균열을 가지고 있는 10군데의 시편을 조사한 결과, 균열이 표면에서 발생한 후 아래쪽으로 진전되어짐을 알아낼 수 있었고 균열의 최대 깊이는 단지 100mm 정도에 불과하였다 (Top-down 균열). 교통하중에 의하여 생기는 수직집지응력이 균등하지 아니하고 또한 수평응력이 발생하기 때문에 균열이 존재하는 아스팔트 표면에 발생하는 응력을 정확하게 계산하기 매우 복잡한 문제이다. 하지만 아스팔트 표면에서 심각하게 발생하는 수평응력이 이러한 Top-Down 균열의 큰 원인이 아닐까 추정된다. 아스팔트 층의 두께가 증가하면 도로포장체는 Bottom-up 균열이 발생하지 않고, 아스팔트 표면에서부터 시작되는 Top-Down 균열이 거의 대부분을 차지한다. 이 뿐만 아니라 보조기층의 부분에서는 어떠한 종류의 파손도 발생하지 아니하였다. 이러한 포장체 공용성의 특성들을 잘 파악/조사한 후 이에 대한 적절히 대처하면 기존의 포장체의 잔존수명을 크게 증가시킬 수 있으리라 사료된다.

4. 장수명포장의 성공사례

여러 연구자들이 장수명 아스팔트 포장 개념을 이용한 도로의 시공 사례들을 조사한 결과 전반적으로 아주 높은 공용성을 유지하고 있었다. 여기서 University of Washington에서 조사한 Spokane에서 Seattle 까지 약 300 mile 되는 I-90를 예로 들어보겠다. 6년에서부터 35년까지의 재령을 가지고 있는 이 도로에서 심각하게 발생한 포장체의 구조적인 문제로 도로를 재시공한 적이 없었다. 워싱턴주 동부는 매우 춥고 건조한 기후대고 아스팔트 층의 두께는 6에서 14인치 정도 된다. 표면보수는 Superpave 와 SMA 재료를 이용하여 약 12년 후에 최초로 시행되었다.

워싱턴주 서부는 Seattle 지역의 많은 교통량 때문에 아스팔트 층이 동부보다 두껍다. 두께는 14에

서 19인치까지 이르고, 재령이 23에서 29년까지 된다. 아스팔트 표면보수는 도로시공 후 약 18.5년 후에 이루어졌다. 두 번째 보수는 아직까지 이 도로에는 행해지지 않았다.

매릴랜드주의 Baltimore Beltway는 또 다른 좋은 예가 된다. 이곳의 평균하루교통량은 175,000 이고, 그 중 트럭은 약 전체교통량의 19%에 이른다. 이 도로 포장체의 보조기층은 11.5인치 단면두께에 큰 골재를 이용하였고, 보조기층위에 2.5인치 두께의 밀입도 아스팔트 층이 있으며, 표면에는 2인치 두께에 최대 3/4인치 골재크기의 SMA를 사용하였다. 전체 아스팔트층의 포장두께는 약 16인치이며, 이 정도의 두께는 Bottom-up 균열발생을 막을 수 있다. SMA를 이용한 표면처리는 심각한 소성변형을 효과적으로 방지할 수 있다. 4년 후에 시행된 파손조사에서 단지 1/8인치의 소성변형이 측정되었다.

캘리포니아주의 Interstate 710 에서는 도로의 잔존수명을 30에서 40년까지 증가시키기 위해 두 가지의 보수공법을 사용하였다. 기존의 도로는 8인치 두께의 콘크리트 포장으로 하부는 시멘트 보조기층(4인치) 골재 보조기층(4인치)으로 이루어졌다. 첫 번째 보수공법은 기존의 콘크리트 포장을 제거한 후 Full depth 아스팔트를 다층 탄성론에 입각하여 설계하였다. 하부층은 아스팔트 바인더 양을 증가시켜 혼합물의 균열에 대한 저항성을 높였다. 이 위로 강성이 높은 AR-8000 (PG 64-14) 혼합물과 표층은 높은 러팅저항성을 가진 PBA-6a (폴리머 개질 아스팔트)를 사용하였다. 타이어의 물튀임, 미끄럼, 소음을 줄이고, PBA-6a 혼합물의 노화를 저하시키기 위해 표면은 아스팔트 고무 바인더를 포함한 OGFC를 사용하였다. Interstate 710의 성공적인 공용성 증대를 위하여 품질관리 차원에서 시공시 골재량, 아스팔트 바인더량, 혼합물의 다짐정도를 현장에서 철저히 관리하였다.

두 번째는 기존의 콘크리트 포장을 break and seat 한 후 그 위에 장수명 포장 개념을 도입하여 덧씌우기를 하였다. Broken and seated 콘크리트 위에 5인치의 AR 8000 혼합물을 타설한 후 3 인치

의 PBA-6a를 사용하였다.

5. 장수명 아스팔트 포장의 장점

장수명 아스팔트 포장이 가지는 가장 뚜렷한 장점은 일반적인 아스팔트 또는 콘크리트 포장 보다 낮은 life cycle cost 이다. 장수명 아스팔트 포장의 시공시 초기 비용이 일반적인 아스팔트 포장보다 약간 높지만 콘크리트 포장보다는 상당히 낮다. 장수명 아스팔트 포장은 재시공을 할 필요가 없고 단지 주기적으로 도로표면에 대한 보수만 시행되기 때문에 life cycle cost analysis에서 콘크리트 도로포장보다 경제적이다.

HMA를 이용한 도로표면보수는 다른 보수공법들보다 빠르다는 장점을 가지고 있어서, 주로 야간에 절삭한 후 아스팔트를 덧씌우면 된다. 반면 모든 층에 대한 재시공은 몇 개월 이상의 시간을 소요한다. 현재 주DOT 관계자들은 장수명 아스팔트 포장의 개념에 대한 관심을 가지고 있으며 실제로 이 개념을 이용하여 시공하길 바라고 있다. DOT 관계자들은 현재 학교측 또는 도로전문가들과 공동으로 장수명 아스팔트 포장 설계에 대해 연구하고 있으며 몇 가지 가이드를 만들려고 시도하고 있다.

Illinois Asphalt Pavement Association (IAPA)에 있는 Marvin Traylor는 장수명 아스팔트 포장의 장점은 보수가 필요할 경우 아스팔트 도로포장체의 표면만 고려하면 된다고 말하였다. Full depth patching 은 장수명 아스팔트 포장에선 필요하지 않고, 몇 주 이상 보수로 인해 도로를 막을 필요도 없다. 교통흐름의 방해에 따른 간접적 비용을 절감할 수 있고, 보수에 필요한 시공비도 저렴하므로 경제적으로도 많은 이득을 얻을 수 있다.

6. 장수명 포장설계를 위해 고려하여야 할 사항

장수명 아스팔트 포장에서는 초기 포장체의 강도

가 가장 중요한 요소이다. 초기 강도가 최소경계강도보다 크고, 교통하중이 발생하기 전까지 양생할 수 있는 적절한 시간이 있다면 이 도로는 아주 오랜 수명을 유지할 수 있다. 또한 급속도로 증가하는 교통량에 대처하기 위해서는 보다 보수적인 단면두께설정이 필요하다. TRL 보고서에서는 장수명 아스팔트 포장을 위하여 최소 270mm 이상의 아스팔트층 두께를 제시하고 있다.

Von Quintus는 장수명 아스팔트 포장 설계를 위해 세 가지 심각하게 고려하여야 할 사항을 제시하였다. 첫 번째는 아스팔트 혼합물이 피로균열에 견딜 수 있는 한계치이다. Von Quintus가 제시한 실용적인 의미의 아스팔트 혼합물의 한계 인장변형률은 0.000065 in./in.이다. 이러한 조건은 장수명 포장을 위해 쓰이는 HMA의 두께를 산정 하는데 사용되지만 좀더 폭 넓은 실내시험과 현장조사를 통해 검증할 필요가 있다.

두 번째는 표면에서 시작되는 Top-down 균열의 원인을 파악하여야 한다. 일반적인 원인은 다음과 같다.

- 1) 타이어의 가장자리에서 생기는 높은 접지압이 수평응력을 일으켜 균열을 발생시키고 파장시킨다.
- 2) 표면에 심한 아스팔트 혼합물의 노화가 강성을 증가시키고, 타이어의 압력과 접목되어 균열을 발생시킨다.
- 3) 열에 의해 발생하는 변형률과 응력이 이러한 현상을 가속화시킨다.

마지막으로 고려하여야 할 것은 포장체의 공용성에 크게 영향을 미치는 기후, 배수상태, 노반토의 특징 등을 들 수 있다.

아스팔트 표면에서 발생하는 균열은 높은 강도와 충분한 두께를 가진 포장체라 할지라도 성능저하를 가속화시키고 있다. 균열을 방지하기 위해서는 보다 보수적인 설계가 필요하지만 만약에 균열이 발생하였으면 더 이상의 파급을 줄이기 위해 구조상으로 큰 영향을 미치는 균열 (최대 100mm 깊이) 에 대한 적절한 보수가 필요하다. 초기의 구조상 파손은 Poor Construction Practice 또는 적절한 보수를 하지 못하였을 경우 발생하게 된다. 장기수명을 유지하기 위

해서는 정기적인 포장상태조사를 위한 체계를 확립하고 표면상태 악화된 부분을 보수해야만 한다. 네트워킹 레벨에서 장수명 아스팔트 포장 상태를 확인할 수 있는 기준은 비파괴검사를 이용한 처짐 측정과 포장체 단면두께의 상관관계로부터 표현될 수 있다.

7. 한국에서의 장수명 아스팔트 포장에 대한 연구

현재 세종대학교를 주관으로 하여 건설기술연구원과 (주)SK 가 장수명 아스팔트 포장공법에 대한 연구를 실시하고 있다. 기존 아스팔트 포장공법이 가지는 구조적/재료적 문제점을 해결하여 설계수명을 배가하고 보수주기를 증가시켜 궁극적으로 아스팔트포장의 유지보수비 및 사용자 비용을 절감할 수 있는 장수명 아스팔트포장 공법을 개발하고 있다.

■ 참고 문헌

1. Newcomb, E. D., Buncher, M., and Huddleston, I. J., "Concepts of Perpetual Pavements", Transportation Research Circular No. 503, 2001.
2. Nunn, M. E., A. Brown, D. Weston, and J. C. Nicholls. *Design of Long-Life Flexible Pavements for Heavy Traffic*. TRL Report 250, Transport Research Laboratory, Crowthorne, U.K., 1997.
3. Nunn, M. E. and B. W. Ferne, "Design and Assessment of Long-Life Flexible Pavements", Transportation Research Circular No. 503, 2001.
4. Von Quintus, H. L., "Hot-Mix Asphalt Layer Thickness Design for Longer-Life Bituminous Pavements", Transportation Research Circular No. 503, 2001.
5. Asphalt Pavement Alliance, "Perpetual Pavement: Structured for the future", 2001.