

저탄소 첨가제를 이용한 중온 아스팔트 시험시공

Warm Asphalt Experimental Construction using Low-Carbon Additives

정규동* · 황성도** · 김영민*** · 양성린**** · 권수안*****

Jeong, Kyu-Dong · Hwang, Sung-Do · Kim, Yeong-Min · Yang, Seong-Lin, Kwon, Su-Ahn

1. 서론

국내 도로에서 적용하고 있는 아스팔트 포장에는 160~170℃의 고온에서 생산 및 포설되는 가열 아스팔트 혼합물을 주로 사용하며, 연간 약 3천만톤의 아스콘 생산 과정 중 골재 가열을 위해 약 2억6천만 ℓ (2008년 기준)의 벙커-C 등 석유계 연료가 사용되고, 약 800,000톤의 CO₂ 가 발생하고 있다. 그리고, 이외에도 대기 환경 오염의 주요 유해가스인 다량의 더스트, 질소산화물(NOx), 황산화물(SoX) 등이 발생하여 건설 작업자 및 시공 현장 인근 주민의 건강에도 악영향을 미치고 있다. 따라서, 대규모의 자원 및 에너지가 소요되는 도로 건설 분야에서 석유에너지 및 탄소 발생을 억제할 수 있는 저에너지 저탄소형의 대체 아스팔트 포장 공법의 기술 개발 및 활용이 시급한 실정이다.

저탄소 아스팔트 포장 공법은 기존 가열 아스팔트 포장 공법에 비해 약 30~50℃ 낮은 온도에서 생산 및 시공이 가능하여 석유계 연료의 절감 및 유해가스 발생 감소 효과를 기대할 수 있으며, 특히, 유가급등 시 건설 예산절감 효과뿐만 아니라, 온실가스 배출권 확보 등 녹색성장형의 차세대 도로 포장 공법이다.

본 연구에서는 아스팔트 혼합물 생산 및 다짐 온도를 낮출 수 있는 저탄소 첨가제를 개발하고 시험시공하여 현장적용성을 검토하였다.

2. 시험시공 방법

실내시험으로 결정된 저탄소 첨가제의 현장적용 적합성을 검토하기 위하여 부산지방국토관리청에서 발주한 신령-고노 국도 현장에 사전시험으로 결정된 W-8과 W-12 등 2종의 저탄소 첨가제를 사용한 중온 아스팔트 혼합물과 가열아스팔트 혼합물을 각각 120m 이상의 연장으로 1차 시험포장하였다.

골재의 편장석율은 10% 이내이었으며, 침입도 80-100인 스트레이트 아스팔트를 사용하였다. 실내배합설계 후에 현장배합설계를 직접수행하여 아스팔트 혼합물의 생산관리가 더욱 원활하도록 하였다. 가열 아스팔트 혼합물은 저탄소 첨가제 투입없이 160℃로 생산하였으며, 중온 아스팔트 혼합물은 아스팔트의 3%로 제조한 봉투에 들어있는 저탄소 첨가제를 믹서에 직접투입하며 130℃로 생산하여 시공하였다.

그림 1과 같은 방법으로 먼지 및 배출가스의 발생량을 측정하였으며, 생산시에 오일탱크의 눈금을 읽어 사용량의 차이를 검토하였다. 그리고, 시공 중 열영상 카메라, 탐침온도계, 적외선 온도계 등으로 온도 관리하였으며, 시공중에는 비파괴 현장다짐밀도시험기로 다짐밀도 관리를 하였다. 그리고, 아스팔트 플랜트와 도로 현장에서 탄소 배출 등을 측정하였다.

도로 포장은 아스팔트 페이버로 포설한 후에 1차다짐에는 머케덤롤러, 2차다짐에는 타이어롤러, 3차다짐에는 탠덤롤러를 사용하였다. 시공 후에 코어링하여 공극률 등의 체적특성값을 측정하였으며, FWD 시험을 통해

* 정회원 · 한국건설기술연구원 도로연구실 연구원 · 공학박사수료 · 031-910-0183(E-mail : kdjeong@kict.re.kr)
** 정회원 · 한국건설기술연구원 도로연구실 책임연구원 · 공학박사 · 031-910-0180(E-mail : sdhwang@kict.re.kr)
*** 정회원 · 한국건설기술연구원 도로연구실 연구원 · 공학석사 · 031-910-0148(E-mail : choozang@kict.re.kr)
**** 정회원 · 한국건설기술연구원 도로연구실 연구원 · 공학석사 · 031-910-0614(E-mail : siyang@kict.re.kr)
***** 정회원 · 한국건설기술연구원 도로연구실 책임연구원 · 공학박사 · 031-910-0174(E-mail : sakwon@kict.re.kr)

치짐량을 측정하고, 탄성계수를 역산을 통해 구하였다.

그리고, 원주지방국도관리청에서 발주한 무릉-사북 2공구(국도 38호선)의 표층에 2009년 4월 23일 2차 시험 시공하였다. 저탄소 첨가제는 왁스와 폴리머의 함량 비율을 3:2로 혼합한 것을 아스팔트 중량비율에 대하여 5% 사용한 W-1과 왁스와 폴리머 함량 비율을 3:1로 혼합한 것을 2% 사용한 W-2 등 2종 이었으며, 저탄소 아스팔트 포장과 가열 아스팔트 포장을 각각 200m 포장하였다. 생산 및 시공방법은 신령-고노 국도 현장과 동일한 방법을 적용하였다.



그림 1. 배출가스 측정

3. 시험시공 결과 및 고찰

3.1. 아스팔트 혼합물 생산

중온 아스팔트 혼합물 생산시에 그림 2와 같이 핫빈온도를 130~135℃가 유지되도록 하여, 최종 생산온도가 130℃를 유지하도록 하였다. 아스팔트 혼합물의 피막윤은 100%이었으며, 육안관찰 결과 낮은 온도로 인해 덩어리가 생기거나 믹싱불량 없이 트럭에 부드럽게 적체되는 것을 확인하였다.

그리고 그림 3과 같이 가열 아스팔트 혼합물에서 유증기가 발생하고, 아스팔트 산화로 인한 악취가 발생하는 것과 비교하여, 중온 아스팔트 혼합물은 유증기가 전혀 발생하지 않았으며, 냄새도 거의 없었다.

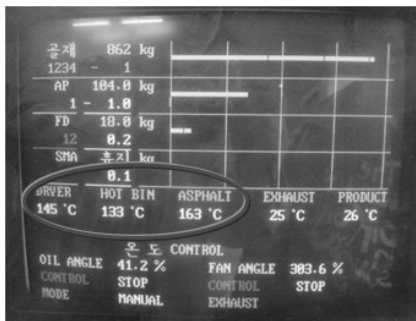


그림 2. 생산시 플랜트 모니터



(a)중온 아스팔트 혼합물 (b)가열 아스팔트 혼합물

그림 3. 아스팔트 혼합물의 유해가스 발생 비교

아스팔트 플랜트에서 골재의 가열에 사용하는 벙커-C유의 사용량을 탱크의 눈금을 이용하여 측정한 결과 연료소모량은 표 1과 같이 약 32.3% 절감되었으며, 먼지 및 유해가스 발생량은 39.5%~18.3% 저감되었다. 유해가스 발생량을 아스팔트 플랜트의 배출가스 측정 전문업체에 의뢰하였는데, CO₂ 는 일반적인 유해가스 기준에 포함되지 않으므로 측정업체에서 관련 장비를 구비하지 않아 1차 시험시공에서는 CO₂ 의 측정을 할 수 없었다. 그러나, 2차 시험시공한 무릉-사북 현장에서는 별도 요청하여 CO₂ 를 측정할 수 있었다. 이 결과 표 2와 같이 이산화탄소의 배출비율은 중온 아스팔트 혼합물 생산시 가열 아스팔트 혼합물과 비교하여 약 11~12% 정도인

것으로 나타났다.

표 1. 아스팔트 혼합물 생산시 연료 및 배출가스 발생량(신령-고노)

| 구분 | 연료 (L/ton) | 먼지 및 유해가스 | | | |
|------------------|---------------|-----------|-------------------|------------------|---------|
| | | 먼지(mg) | 질소산화물 NoX(ppm) | 황산화물 SoX(ppm) | CO(ppm) |
| 가열 | 9.3 | 11.4 | 30 | 210 | 1040 |
| 중온(W-8, W-12) | 6.3 | 6.9 | 20 | 160 | 850 |
| 절감비 | 32.3% | 39.5% | 33.3% | 23.8% | 18.3% |

표 2. 아스팔트 혼합물 생산시 배출가스 발생량(무릉-사북)

| 구분 | Hot (ppm) | W-1 (ppm) | W-2 (ppm) | Hot (%) | W-1 (%) | W-2 (%) |
|-------|--------------|--------------|--------------|------------|------------|------------|
| 이산화탄소 | 16 | 1.9 | 1.8 | 100 | 11.9 | 11.3 |
| 일산화탄소 | 575 | 531 | 407 | 100 | 92.3 | 70.8 |
| 황산화물 | 16.41 | 9.57 | 2.74 | 100 | 58.3 | 16.7 |
| 질소산화물 | 91 | 85 | 70 | 100 | 93.4 | 76.9 |

* 이산화탄소 단위: %

3.2. 포장 시공

아스팔트 플랜트에서 생산된 아스팔트 혼합물을 트럭에 적재한 후 2중 덮개로 덮은 후 도로현장에 운반하였으며, 가열 아스팔트 혼합물을 시공한 후에 중온 아스팔트 혼합물을 시공하였다.

중온 아스팔트 혼합물은 그림 5와 같이 포설온도가 120℃, 포설직후 온도가 110℃ 정도 이었다. 포장시에도 가열 아스팔트 포장시에는 유증기와 냄새가 발생하였으나, 중온 아스팔트 포장시에는 유증기가 없고, 냄새가 거의 없어 작업자가 시공하기에 쾌적하였다.



그림 4. 중온 시험포장 구간



(a) 생산온도 (b) 아스팔트 혼합물 포설온도 (c) 포설직후온도

그림 5. 중온 아스팔트 혼합물의 생산 및 시공 온도

아스팔트 포장 시공시에 배출가스를 시험한 결과 표 3과 같이 중온 아스팔트 포장이 가열 아스팔트 포장에 비교하여 이산화탄소는 70~75%가 발생하고, 일산화탄소는 1~3% 발생하였다. 이는 아스팔트 혼합물 생산시에는 가열연료를 직접적으로 태우기 때문에 이산화탄소의 발생량의 차이가 많이 생기지만, 도로 현장에서는 생산



시와 비교하여 그 차이가 크지 않은 것으로 파악되었다. 그러나, 일산화탄소는 중온 아스팔트 혼합물이 증기의 발생 등이 거의 없으므로 113ppm에서 1~3ppm으로 크게 줄어들었으며, 이는 중온 아스팔트 혼합물이 시공시에 작업자는 물론 인근 주민에게 상대적으로 매우 안전한 것으로 사료되었다. 그리고, 포장 현장에서 배출가스 시험한 결과 이산화질소의 배출량이 증가하였으나, 아황산가스나 이산화질소 등의 발생량이 매우 작기 때문에 시험오차일 것으로 판단되었다.

표 3. 시공현장배출가스 시험 결과

| 구 분 | Hot (ppm) | W-1 (ppm) | W-2 (ppm) | Hot (%) | W-1 (%) | W-2 (%) |
|-------|-----------|-----------|-----------|---------|---------|---------|
| 이산화탄소 | 565 | 392 | 421 | 100 | 69.4 | 74.5 |
| 일산화탄소 | 113 | 3 | 1 | 100 | 2.7 | 0.9 |
| 아황산가스 | 0.002 | 0.001 | 0.001 | 100 | 50 | 50 |
| 이산화질소 | 0.008 | 0.011 | 0.009 | 100 | 137.5 | 112.5 |

3.3. 포장 품질

1차 시험포장한 신령-고노 국도 현장에서 포장 시공 직후 코어를 채취하여 공극률 등을 측정된 결과 표 4와 같이 가열 아스팔트 혼합물과 중온 아스팔트 혼합물이 거의 비슷하고, W-12는 오히려 조금 더 다짐된 것으로 나타났다.

표 4. 아스팔트 포장의 체적특성

| 구분 | 공극률 | VMA | 포화도 |
|------|-----|-------|-------|
| 가열 | 3.9 | 15.62 | 75.38 |
| W-8 | 4.6 | 16.25 | 71.82 |
| W-12 | 3.4 | 15.10 | 77.57 |

그리고, FWD를 이용하여 25m구간 마다 시험한 결과 표층과 관련성이 높은 처짐값인 D_0 가 중온 아스팔트 혼합물인 W-12가 가장 적고, 역산한 탄성계수도 가장 컸다. 그러나, 가열 아스팔트 혼합물과 중온 아스팔트 혼합물에서 큰 차이 없이 비슷하였으며, 시공구간에 따른 차이가 큰 것으로 나타났다.

표 5. 아스팔트 포장의 처짐량 및 탄성계수

| 구분 | 거리 | 0 | 25 | 50 | 75 | 100 | 평균 |
|-------------------------|------|------|------|-----|------|-----|------|
| Calculated Moduli (ksi) | HMA | 1444 | 1462 | 739 | 508 | 922 | 1015 |
| | W-8 | 1097 | 1097 | 913 | 1201 | 734 | 1009 |
| | W-12 | 1541 | 1053 | 847 | 1147 | 629 | 1043 |
| 처짐 D_0 (mic.) | HMA | 347 | 380 | 510 | 607 | 473 | 463 |
| | W-8 | 599 | 358 | 421 | 406 | 587 | 474 |
| | W-12 | 312 | 398 | 434 | 382 | 623 | 430 |

2차 시험포장한 무릉-사북 국도 현장에서는 대부분의 구간이 양호하였으나, 1m² 정도의 직사각형 모양으로 1개소에 초기에 변형이 발생된 것이 발견되었다. 이에 따라 코어를 채취하여 시험한 결과 인근의 양호한 구간에 비해 아스팔트 함량이 매우 높고 골재입도가 불균일하여, 시공시 덤프트럭의 교체 투입 중간의 아스팔트 혼합

물 부족 등의 원인으로 재료분리된 아스팔트 혼합물이 수작업 등으로 몰려서 포설된 후 다짐한 것으로 사료되었으며, 저탄소 아스팔트 혼합물의 문제점은 없는 것으로 파악되었다.

4. 결 론

저탄소 아스팔트 1차 시험시공 결과 저탄소 첨가제 3%를 이용한 중온 포장은 가열 아스팔트 포장과 비교할 경우 30℃의 아스팔트 혼합물 생산온도의 차이에 따라 가열 연료 소모량이 약 32.3% 절감되고, 이에 따라 아스팔트 혼합물 1톤당 3,000원 단가 절감되는 것으로 나타났다. 그리고, 유해가스 33~18% 절감되며, 공극율 등은 포장에 따라 가열 아스팔트 포장에 비해 87~117%이었으며, FWD를 이용하여 25m간격으로 시험한 결과 처짐값 등은 전반적으로 W-12가 가장 우수하였다.

또한, 2차 시험포장 결과 저탄소 첨가제를 2% 사용하여도 기준에 적합한 다짐은 가능하지만, 다짐시간을 단축할 수 있도록 다짐장비 및 다짐방법을 개선할 경우 더욱 높은 효과를 얻을 수 있을 것으로 사료되었다.

저탄소 아스팔트 포장은 2006년부터 국내에서 기술의 개발이 시작되었으며, 현재 시험포장을 실시하여 적용성 및 공용성 분석 등의 기반 기술을 확보하는 중이다. 따라서, 초기 시장인 저탄소 포장 기술의 국제적인 추세를 주도하고 앞서나가기 위해서는 이후 수행되는 기술 및 정책 연구를 통해 첨단 기술을 개발할 뿐만 아니라 현장에서 폭넓게 활용되어서 연구에 피드백되어야 할 것이다. 또한 이러한 기술 개발을 통해 국내 산업 전반의 저탄소 기술의 개발 및 발전에 기여할 것을 기대한다.