

국내 현장가열재생아스팔트 시공 혼합물 시험평가

A Case Study of Hot In-Place Recycling Asphalt Mixture in Korea

권수안 Kwon, Sooahn
양성린 Yang, Sunglin
이재준 Lee, Jaejun
홍재청 Hong, Jaecheong
임재규 Lim, Jaekyu

정회원 · 한국건설기술연구원 도로연구실 선임연구위원 (E-mail: sakwon@kict.re.kr)
정회원 · 한국건설기술연구원 도로연구실 전임연구위원 (E-mail: siyang@kict.re.kr)
정회원 · 전북대학교 토목공학과 조교수 · 교신저자 (E-mail: lee2012@jbnu.ac.kr)
정회원 · 한국건설기술연구원 도로연구실 연구위원 (E-mail: jchong@kict.re.kr)
정회원 · 한국건설기술연구원 도로연구실 전임연구위원 (E-mail: jklim@kict.re.kr)

ABSTRACT

PURPOSES: This study is to investigate the Hot In-Place recycling asphalt mixture in Korea using field produced materials.

METHODS: Hot In-Place reclaimed asphalt mixture was investigated to evaluate the mixture properties based on various test results such as Marshall Test, Indirect Tensile Test, TSR, and Wheel Tracking Test. These test values were compared with domestic standard specification.

RESULTS: The result of the laboratory experiment indicates that the Hot In-Place Reclaimed(HIR) asphalt mixture produced at the field construction site was satisfied all of the test criteria such as Indirect tensile test, Marshall and TSR test, and wheel tracking test. During the test, the research team found that current HIR system is required an extension of mixing time to improve quality and to reduce variation of sample to sample. Although the current HIR mixture was passed the test criteria, there is a potential capability to enhance the mixture properties as extend mixing time.

CONCLUSIONS: Based on these laboratory test results, It would be concluded that domestic HIR mixture's properties were satisfied all standard specification related with evaluation of recycling asphalt mixtures. Based on this case study result, there is a chance to save construction cost and increase the usage of reclaimed asphalt concrete in the future.

Keywords

hot in-place recycling asphalt mixture, wheel tracking, indirect tensile test, TSR

Corresponding Author : Lee, Jaejun, Assistance Professor
Department of Civil Engineering, Chonbuk National University, 567,
Backje Daero, Deokjin-gu, Jeonju-si, Jeollabuk-do, 561-756, Korea
Tel : +82.63.270.2427 Fax : +82.63.270.2421
e-mail : lee2012@jbnu.ac.kr

International Journal of Highway Engineering
http://www.ijhe.or.kr/
ISSN 1738-7159 (Print)
ISSN 2287-3678 (Online)

1. 서론

우리나라 도로포장의 90%를 차지하고 있는 아스팔트 콘크리트 포장은 주행하는 차량하중 및 폭염, 폭우, 혹한과 같은 환경하중으로 인하여 균열, 포트홀 및 소성변형과 같이 다양한 종류의 파손이 포장체에서 발생하게 된다. 현재 파손된 아스팔트 콘크리트 포장은 아스팔트 플랜트에서 새롭게 생산된 아스팔트 혼합물을 이용하여

덧씌우기 등의 유지보수를 실시하고 있다. 유지보수 시 도로의 기하학적 구조 또는 포장 파손상태가 심한 경우, 절삭을 한 후 아스팔트 포장을 재포장하고 있다. 이 때 발생하는 폐아스팔트 혼합물은 중간처리업체 또는 아스팔트 플랜트로 운송되어 아스팔트 플랜트에서 아스팔트 혼합물을 생산할 때 재사용되고 있다. 국내에서 환경보호차원에서 건설 폐기물 재활용 촉진에 관한 법률 시

행령으로 인하여 건설폐기물 재활용을 권고하고 있으며, 2010년 6월 10일부터는 재생아스콘 15% 사용을 환경법으로 의무화하였다(MLTM). 이로 인하여 아스팔트 콘크리트 포장 시장에서 재생아스팔트 사용량이 증가할 것으로 기대하고 있으며, 재생아스팔트 사용에 따른 천연골재 대체에 따른 자원보호 효과와 CO₂ 저감에 따른 녹색성장 정책에도 기여하게 될 것으로 사료된다.

현재 미국과 유럽 등 선진국에서는 아스팔트 포장의 재활용 공법이 매우 활성화되고 있다. 포장의 종류, 도로 교통량, 지역조건 등을 고려하여 다양한 기술들이 사용되고 있다(Terrel 외 2인, 1997).

재생아스팔트를 생산하여 활용하는 방법 중의 하나로 세계적으로 널리 사용되고 있는 공법 중의 하나가 현장 가열재생아스팔트공법(Hot In-place recycling, HIR)이다. 하지만 아직 국내에서는 많이 활성화되지 않고 있으나, 국내에서도 일반국도 덧씌우기 공사에 일부 사용되고 있다. Ali 외 1인은 (2012-a) 현장가열재생아스팔트공법(HIR)이 경제적 효과와 환경보호를 이룰 수 있는 포장의 하나라고 설명하였으며, HIR 포장공법의 잠재적인 이점 7가지를 다음과 같이 기술하였다.

- ① 일반적인 밀링과 재포장공법과 비교하여 50% 이상 비용을 저감할 수 있으며, 이는 미국에서 1년에 180억 달러를 저축할 수 있는 양이다(Ali 2012-b).
- ② 밀링과 재포장공정으로부터 배기가스를 70% 줄일 수 있다(Ali, 2011).
- ③ 재생아스팔트 야적으로 발생될 수 있는 수질오염을 제거할 수 있다.
- ④ 현장에서 아스팔트 플랜트로 재생아스팔트 운송과 플랜트에서 현장으로 혼합물 운송과정을 제거할 수 있어서 현장에서의 교통량을 줄일 수 있으며 이로 인하여 환경오염을 줄일 수 있다.
- ⑤ 새로운 재료를 위한 골재 채취를 줄일 수 있다.
- ⑥ 새로운 아스팔트 사용량을 줄일 수 있으며, 15백만톤의 아스팔트를 저축할 수 있고 이는 80억 달러의 가치가 있다.
- ⑦ 하나의 공정으로 시공이 됨으로 포장 시공 시간을 단축할 수 있다.

본 연구에서는 국내에서 시공되고 있는 현장가열재생아스팔트 혼합물의 물성을 평가하기 위하여 일반국도 21호선에서 아스팔트 포장 덧씌우기 포장 현장에서 시료를 채취하였다. 본 연구를 위하여 일반국도 21호선

현장을 방문하여 시공현장에서 직접 포설하기 직전의 현장 가열 재생아스팔트 혼합물을 회수하여 실험실로 가져와서 실내실험을 실시하였다. 실내실험으로는 힐트랙킹 시험, 간접인장강도, 수분저항성 실험, 마찰안정도를 측정하였다. 또한, 시공 완료 후 시공현장에서 현장 코어를 채취하여 간접인장강도와 마찰안정도를 측정하였으며, 실내실험 공시체 제작을 위하여 현장에서 가져온 혼합물은 현장 포설 온도와 동일조건으로 재히팅을 한 뒤 시편을 각각 제작하였다.

2. 연구배경 및 문헌고찰

자원절약 및 환경보호를 위하여 국내에서도 재생아스팔트를 활용하도록 많이 권장하고 있다. 현재 도로에서 밀링된 아스팔트는 중간처리업체 또는 아스팔트 플랜트로 운송되어 보관된 후 아스팔트 플랜트에서 새로운 아스팔트를 생산할 때 15% 정도 투입되어 생산되고 있는 현실이다. 유럽을 비롯한 미국과 캐나다에서 널리 사용되고 있는 현장가열재생아스팔트 공법도 국내에 도입되었으며, 현재 부분적으로 사용되고 있다. 하지만, 본 현장가열재생아스팔트 포장공법에 관한 품질평가를 비롯한 시험포장에 관한 연구결과가 보고된 적이 드문게 현실이다. 본 연구에서는 국내에서 시공되고 있는 현장가열재생아스팔트 포장공법의 기초적인 평가를 수행하고자 하며, 이를 통하여 국내 현장가열재생아스팔트포장 기술에 대하여 알아보하고자 한다.

2.1. 문헌 고찰

워싱턴 주에서 현장재생가열아스팔트 기술이 성공한다면, 도로포장 유지관리측면에서 많은 예산과 자원을 저감할 수 있을 거라 판단하여, 워싱턴 주 도로 일부에 현장재생공법으로 시공을 하였으며, 시험포장구간에 대하여 향후 5년간 공용성 모니터링을 실시하여 최종 공용수명을 측정하고 있다. 초기 공사비를 비교하여 보니 15% 저감 효과가 있음을 알 수 있었다(Russell 외, 2011).

Wang 외 2인(2011)은 현장재생아스팔트 공법에서 기존 포장 가열을 위하여 빠르고 환경친화적인 히팅시스템을 위하여 마이크로웨이브(Microwave) 히터를 적용하기 위한 연구를 수행하였다. 노면으로부터 10cm까지는 열전달효과가 우수함을 발견하였으며, 노면이 수분이 있을 경우 열 효율이 저감되기 때문에 시공 전 수분제거가 이루어져야 한다고 보고하였다.

현장가열재생아스팔트 공법은 기존도로의 아스팔트 혼합물을 현장에서 파쇄하여 플랜트에서 생산된 아스팔트 혼합물, 그리고 성능개선 첨가제를 첨가하여 현장에서 바로 믹싱을 포설하는 포장공법이다. 현장가열재생아스팔트 공법과 일반 재생아스팔트 공법의 차이는 현장에서 밀링된 아스팔트를 아스팔트 플랜트로 이동하여 야적 관리한 후 아스팔트 생산 시 재투입하는 공정을 없애고, 기존도로 포장 밀링으로 생산된 아스팔트 혼합물을 현장에서 바로 사용함으로써 재생아스팔트 혼합물의 트럭운송과 야적관리 부분을 제거하였다(Russell 외 4인, 2011).

Texas DOT에서는 현장재생아스팔트 공법 적용 기준을 엄격히 정해두었으며, 균열상태 및 소파보수 정도 등 포장상태에 준하여 현장재생아스팔트 공법 적용 여부를 결정하는 기준을 가지고 있으며, 2004년 이후부터 대기온도 16℃ 이상인 경우에만 현장가열재생아스팔트 공법을 시공할 수 있도록 정하였다(Texas DOT).

미국과 캐나다에서는 1980년대 후반과 1990년대 초반부터 현장가열재생아스팔트 공법의 품질향상을 위하여 꾸준한 연구를 수행하였으며, 뜨거운 공기, 연소 시 발생하는 연기 재순환 시스템, 간접적인 적외선 히팅시스템 개발을 통하여 현장가열재생 시스템을 한 단계 업그레이드 시킬 수 있었다. 뜨거운 공기를 이용하여 재생아스팔트에 남아있는 수분을 제거하고, 혼합을 쉽게 할 수 있게 되었다. 또한 기존 디젤연료를 프로판가스로 대체함으로써 실용성 향상과 함께 안전성을 높이는 이점을 창출하였다. 이러한 노력을 통하여 현장가열재생아스팔트 공법을 통하여 많은 비용의 저감과 함께 미국과 캐나다에서 현장가열재생아스팔트 공법의 활성화를 이루는데 밑거름이 되었다(Terrel 외 2인, 1997). Ali 외 1인(2012-c)은 현장가열재생아스팔트 포장이 준공된 후 바인더의 성능 결정과 재생첨가제의 효과 및 재생첨가제 사용에 따른 바인더 blending chart 해석 개선 연구를 수행하였다. 본 연구를 통하여, 재생첨가제 사용에 따라서 고온등급에서는 1.6℃ 감소하고 중저온에서는 1.3℃과 1.4℃씩 감소함을 발견하였으며, Blending chart가 약간의 믹싱 온도를 과대평가했음을 알 수 있었다.

이석근 외 2인 (2005)은 국내에서도 이상기온으로 인하여 여름철 단기간에 국지적으로 발생하는 집중호우현상이 많이 발생하고 있다. 이처럼 집중호우로 인하여 아스팔트 포장의 박리(Stripping)현상이 발생하여 포트홀과 같은 수분에 의한 아스팔트 혼합물의 파손이 많이 발생하고 있다. 이러한 수분민감도를 파악하기 위하여 3가지의 수분민감도 측정방법을 평가하였다.

3. 실험방법

3.1. 현장가열재생아스팔트 혼합물

본 연구에서는 국내에서 현재 운영되고 있는 현장가열 재생아스팔트 시공현장에서 직접 생산된 현장재생아스팔트 혼합물을 사용하여 연구를 수행하였다. 현장에서 생산된 현장가열재생아스팔트 혼합물의 loose mixture를 실험실로 운송하여 실내실험을 실시하였으며, 시공이 완공된 후 현장코어를 채취하여 기본물성을 평가하여 실내에서 제작한 시편과 비교 평가를 수행하였다.

3.2. 현장가열재생아스팔트 시공

기존포장의 재포장을 위한 현장가열재생공법은 일반적으로 하나의 공정으로 현장에서 진행된다.

Fig. 1은 현장가열재생아스팔트 콘크리트 포장 시공 절차를 설명해 주고 있다. Fig. 1(a)는 현장가열재생아스팔트 콘크리트 포장 장비의 전체 전경을 보여주고 있



Fig. 1 HIR field construction

다. 현장가열재생포장 아스팔트 시공장비는 크게 4단계로 나눌 수 있었다. 1단계 기존 아스팔트 포장 파쇄를 위한 가열, 2단계 가열된 기존 아스팔트 포장의 파쇄, 3단계 파쇄된 아스팔트와 신재아스팔트와의 혼합, 마지막으로 아스팔트 포설과 다짐으로 나눌 수 있다.

Fig. 1은 모든 현장가열재생아스팔트 시공공정 전체를 설명해주고 있다. Fig. 1(b)는 기존 아스팔트를 파쇄하기 전에 일차적으로 히팅하는 과정으로 기존 노면 아스팔트 콘크리트의 수분을 제거와 파쇄가 잘 되기 위한 목적으로 하고 있다. Fig. 1(c)와 Fig. 1(d)는 일차가열이 된 노면 아스팔트의 2차 가열과 1차 절삭을 하며 절삭된 기존아스팔트 혼합물의 모습을 보여주고 있다.

현장에서 파쇄된 아스팔트 혼합물에 근처 아스팔트 플랜트에서 생산된 신재 아스팔트를 혼합하기 위하여 운송된 아스팔트 혼합물을 교반기에 투입하기 전 모습을 Fig. 1(e)에 나타내었다. Fig. 1(f)는 투입된 신재 아스팔트 투입과 현장에서 파쇄된 아스팔트 혼합물, 그리고 재생첨가제가 혼합된 3차가열을 하면서 2차 절삭을 한 뒤, 기존 노면에서 파쇄된 아스팔트 혼합물과 혼합된 최종 아스팔트 혼합물이 포장을 위하여 페이퍼의 호퍼에 운송되는 모습을 보여주고 있다. Fig. 1(g)과 Fig. 1(h)는 마무리 과정인 페이퍼를 이용한 아스팔트 혼합물 포설과 롤러 다짐과정을 설명해 주고 있다. 페이퍼에서 나오는 혼합물의 온도를 측정한 결과, 120℃가 유지된 혼합물이 포설이 되었다.

3.3. 휠트랙킹 테스트

아스팔트 혼합물의 반복주행(Wheel Tracking)시험을 이용하여 동적안정도를 계산하여 혼합물의 소성변형 저항성을 판단하고 있다(Kim, 2004). 현장가열재생아스팔트 혼합물의 소성변형저항성을 평가하기 위하여 본 연구에서는 Fig. 2의 wheel tracking 장비를 이용하여 동적안정도를 계산하여 소성변형저항성을 평가하였다. 본 시험에 필요한 공시체를 제작하기 위하여, 시공 현장에서 가져온 현장가열재생아스팔트 혼합물을 현장 포설온도와 동일조건에서 재히팅한 뒤 휠트랙킹 시편을 제작하였다. 가로 30cm 세로 30cm 높이 5cm인 공시체를 공극률 약 4±0.5%로 맞추어 제작하였다. 제작된 공시체는 24시간 양생 후 60℃에서 휠트랙킹 시험을 실시하였다.

Fig. 3과 같은 그래프를 도출한 후 d_{60} 과 d_{45} 를 구하여 소성변형 저항성의 평가에 필요한 동적안정도를 아래 공식을 활용하여 계산하였다.



Fig. 2 Wheel Tracking Test Equipment

$$\text{동적안정도}(DS) = \frac{\text{통과횟수}}{\text{변형량}} = \frac{15 \times C}{(D_{60} - D_{45})}$$

여기서, C= 재하주행속도 42(회/분),

d_{60} =주행시간 60분 변형량(mm),

d_{45} =주행시간 45분 변형량(mm)

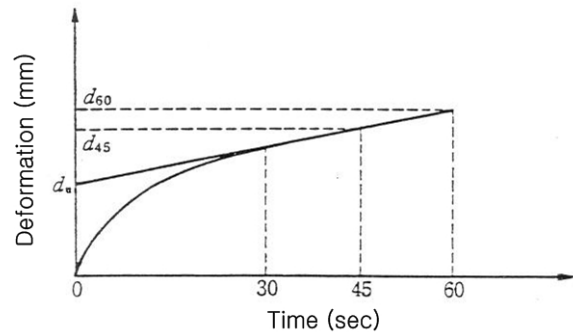


Fig. 2 Time vs. Deformation Curve

3.4. 간접인장강도

교통하중에 의한 아스팔트 콘크리트 포장의 표층하부에서 발생하는 인장응력에 의하여 발생하는 균열 저항성을 알아보기 위하여, 본 연구에서는 KS F 2382에 규정된 아스팔트 혼합물의 간접인장강도 시험방법 절차에 준하여 현장가열재생아스팔트 공시체의 간접인장강도를 측정하였다. 간접인장강도는 파괴순간에서의 하중과 응력으로 계산하였으며, 본 시험을 실험공시체가 파괴될때까지 50mm/min.의 지속적인 변위를 적용하는 변위 조절 모드에서 실시되었다.

3.5. 마찰안정도 Test

아스팔트 혼합물의 소성 흐름(plastic flow) 저항성을 평가하기 위해 KS F 2337의 마찰시험기를 사용한 역정 혼합물의 소성 흐름에 대한 저항력 시험에 따라서 마찰안정도를 측정하였다.

3.6. Tensile Strength Ratio Test

현장 재생 아스팔트 혼합물에 대한 수분 민감도 평가를 위해 AASHTO T 283 실험방법에 따라 인장강도 비(Tensile Strength Ratio; TSR) 시험을 수행하였다.

인장강도 비 시험에서의 수분 손상 평가는 공시체 내부의 수분 존재 여부에 따라 수분처리 전·후의 인장강도 변화로서 평가될 수 있으며 부분 포화도를 공극 체적의 약 70~80%로 결정하여 강제적으로 시험 시편에 수분을 침투시켜 시편 내부에 수분이 존재하도록 한 후 인장시험을 수행하였다. 인장강도 비는 미국의 경우, 주(state)마다 그 기준이 다르며 수분처리 주기도 다르다. 국내의 경우에는 KS F 2398 「아스팔트 혼합물의 수분 저항성 시험 방법」에 따라 동결 유무를 결정할 수 있으며 TSR 기준은 75%로 되어 있다. 본 연구에서는 동결 없이 용해(60℃)만을 통해 수분 저항성 평가를 수행하였다.

재생 아스팔트 혼합물의 종류는 총 3 종류로 현장에서 직접 채취한 코어 시편(이하, Field Core)과 현장에서 채취한 재생 아스팔트 혼합물을 재혼합 없이 실내 실험실에서 제작한 시편(이하, No Remixing) 및 재혼합하여 제작한 시편(이하, Mixing)을 이용하였다. 다만 현장 코어 시편에 대한 공극률을 측정된 결과, 약 4% 전·후로 측정되어 실제 No Remixing 혼합물과 Remixing 혼합물 모두 공극률을 코어 시편과 유사하게 제작하여 부분포화를 적용시켰다. 각 혼합물 종류에 따라 3개의 공시체는 수분처리 전 기준 공시체로 적용되었으며 나머지 3개의 공시체는 수분처리 후 공시체로 적용되었다. 그러나 Remixing 시편의 경우에는 채취된 혼합물의 양이 부족하여 수분처리 후 공시체를 2개만 적용하였다.

기준 공시체는 25℃ 수조에 지퍼 백을 이용하여 수분이 침투되지 않도록 하여 약 2시간 동안 양생을 한 후 간접인장강도 시험을 수행하였다. 반면 수분처리 후 공시체는 부분 포화도가 70~80%가 되도록 진공 압력을 가하여 강제 포화를 시킨 후 동결 없이 60±1℃에서 24시간 동안 수침시킨 후 다시 25℃ 수조에서 약 2시간 동안 양생하고 Fig. 4와 같이 UTM장비를 이용하여 간접인장강도 시험을 수행하였다.



Fig. 4 Indirect Tensile Strength Test

4. 실험 결과

4.1. 휠트래킹 테스트

Wheel tracking 시험을 통해서 얻어진 변형량-사이클 곡선의 동적 안정도(Dynamic stability: DS)를 측정하였다. 시험온도는 60℃에서 측정하였으며, 국도 21 호선 구간에 재포장 현장에서 채취한 현장가열재생 아스팔트 혼합물을 실험실로 가져와서 120℃로 재히팅한 후 휠트래킹 시편을 제작하여 테스트를 실시하였다.

Fig. 5의 원형 빨간색 포인트는 세 개 측정값들의 평균값을 나타내고 있다. Fig. 5에서 설명하는 것과 같이 동적안정도는 모두 일반가열아스팔트 혼합물의 기준인 500 이상의 값을 나타내었다. Fig. 5를 통하여 현장가열재생아스팔트 혼합물을 단순히 다짐을 위하여 재히팅 후 시편을 제작한 것과 loose mixture를 실내 믹싱온도 120℃로 재가열 후 40초 동안 추가 믹싱 후 휠트래킹 시편을 제작한 시편의 동적안정도의 결과값이 분포가 큰 차이를 보여주고 있다. 본 결과를 통하여, 현재 운영되고 있는 현장가열재생 아스팔트 포장 시스템의 현장 믹싱에서 생산된 혼합물들이 골고루 혼합이 잘 이루어지지 않아 샘플마다의 변수가 크게 된 것으로 판단되며,

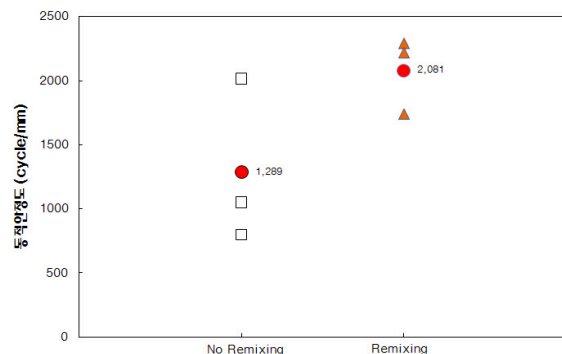


Fig. 5 Dynamic Stability Results

재믹싱을 통하여 혼합물의 물성이 비슷하여 시험체마다의 변수가 줄어든 것으로 판단되었다. 본 실험결과를 통하여 현행 운영되고 있는 현장가열아스팔트 혼합물 시스템에서 혼합물 믹싱시간이 다소 부족하며, 포장시간을 늘이기 위한 공정이 추가 되어야 한다고 판단된다.

4.2. 간접인장강도

현장가열재생아스팔트 혼합물 균열저항성을 평가하기 위하여 재포장공사가 끝난 후 현장에서 코어를 채취하여 현장가열 재생 아스팔트 혼합물의 균열저항성 정도를 측정하기 위하여 간접인장강도를 상온 25°C에서 측정하였다. 측정 결과값은 아래 Table 2에 정리하였으며, Table 2에서 나타난 것 같이 균열저항성은 GR F 4005 “재활용 가열 아스팔트 혼합물”의 품질기준을 만족하는 결과를 나타내었다.

Table 2. Indirect Tensile Test Result

Specimen	1	2	3	GR F 4005 Criteria ⁽³⁾
Indirect Tensile Test (N/mm ²)	1.4	1.2	1.1	
Average	1.2			0.8 over

4.3. 마찰안정도

국도 21호선에서 현장가열재생아스팔트 혼합물의 소성 흐름(plastic flow)의 저항성을 평가하기 위해서 시공이 끝난 후 현장에서 코어를 채취하여 현장가열 재생 아스팔트 혼합물의 소성 흐름에 대한 저항성을 평가하기 위해 KS F 2337 방법에 준하여 측정하였다. 마찰안정도를 측정한 결과는 아래 Table 3에 정리하였다. Table 3에서 나타난 것 같이 GR F 4005 “재활용 가열 아스팔트 혼합물”의 품질기준의 안정도 값 6,000 보다 모든 시험이 우수한 성능을 보여주었다.

Table 3. Marshall Test Result

Specimen	1	2	3	GR F 4005 Criteria ⁽³⁾
Stability (N)	8,629	10,328	7,564	
Average	8,840			6,000 over

4.4. 수분민감도 결과

Fig. 6은 재생 아스팔트 혼합물에 대한 수분 민감도 평가를 위한 수분처리 전·후 인장강도 시험 결과를 나타

낸다. Fig. 6에서와 같이 모든 혼합물은 국내 수분저항성 기준인 75%를 만족하는 결과를 나타냈다. 특히 현장 코어 시편의 인장강도 비는 상대적으로 가장 높은 84.9%를 나타내었으며 No Remixing 혼합물은 78.4%로 가장 낮은 결과를 나타내었다. 반면 수분처리 전·후의 간접인장강도만을 비교한 결과, 현장 코어 시편은 1.23 N/mm²으로 나머지 혼합물에 비해 약 70~80% 감소된 결과를 나타내어 상대적으로 가장 낮은 인장강도를 가지는 것으로 파악되었다. 이는 재생 아스팔트 혼합물의 노화 현상에 따라 간접인장강도가 변화된 것으로 파악된다. 기존 연구에 의하면 아스팔트 혼합물의 노화가 진행됨에 따라 간접인장강도가 증가되고 이에 따른 수분 저항성 역시 증가되는 것으로 알려져 있다. 특히 NCHRP 691 「Mix Design Practices for Warm Mix Asphalt」 보고서에 의하면 아스팔트 혼합물의 간접인장강도는 노화 시간에 따라 변화되며 노화 시간이 증가될수록 골재와 아스팔트의 부착력이 증가되어 간접인장강도가 증가되고 이에 따라 수분 저항성 또한 증가되는 것으로 파악되었다. 따라서 본 연구에서 사용된 현장 코어 시편은 재가열 없이 포장 시공이 진행되었으며 나머지 두 혼합물은 실험실에서 재가열하여 시편이 제작되었기 때문에 입도 및 공극률이 동일한 조건에서 재가열에 의해 노화가 진행된 두 혼합물(Remixing, No Remixing)의 간접인장강도가 증가된 것으로 판단된다. 특히 Remixing 및 No Remixing 혼합물이 현장코어에 비해 약 2배 정도 증가된 것은 재활용되는 골재의 노화가 극심하게 진행되어 인장강도가 증가된 것으로 판단된다.

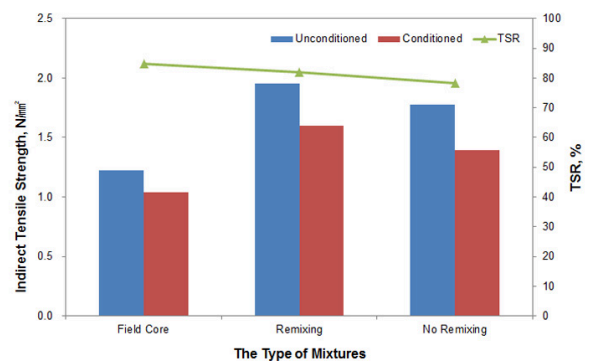


Fig. 6 Tensile Strength Ratio Results

Table 4. Tensile Strength Ratio Results

Contents	Unconditioned ITS, (N/mm ²)	Conditioned ITS, (N/mm ²)	TSR (%)
Field Core	1.23	1.04	84.9
Remixing	1.96	1.60	81.9
No Remixing	1.77	1.39	78.4

5. 결론

본 연구에서는 국내에서 적용되고 있는 현장가열재생 아스팔트 혼합물의 물성을 평가하기 위한 연구를 수행하였으며 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 국내 현장가열재생공법으로 현장에서 직접 생산된 가열아스팔트 혼합물의 소성변형 저항성을 알아보기 위한 동적안정도 측정결과 일반가열아스팔트 혼합물의 기준값을 만족하였으며, 현장가열재생아스팔트 혼합물의 믹싱시간이 증가함에 따라 동적안정도값이 증가함과 동시에 결과값들의 분포폭이 줄어드는 것을 발견하였다. 이는 현재 운영되고 있는 현장가열재생 아스팔트 시스템에 믹싱시간이 증가할 수 있는 시스템 개선을 한다면 보다 나은 아스팔트 혼합물 생산 및 시공을 할 수 있을 것으로 사료된다.
2. 현장시공 완료 후 현장에서 채취한 현장 코어를 이용하여 실시한 마찰안정도와 간접인장강도의 결과는 모두 국내 GR F 4005에서 제시하고 있는 품질기준 값을 모두 만족하는 결과를 나타내어 양호한 성능을 가지고 있음을 제시해주고 있다.
3. 수분민감도 실험에서도 모두 국내 기준 75%를 만족하는 결과값을 얻을 수 있었다. Remixing으로 인하여 간접인장강도값 증가로 인하여 TSR값이 다소 감소하는 경향을 얻을 수 있었다. 하지만, 본 결과를 통하여 현장가열재생아스팔트 혼합물도 수분저항성이 양호함을 알 수 있었다.

References

- MLTM(Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs Notice) 2010-397, *Promote recycling of construction waste laws, Corporation in Korea Asphalt Concrete Recycling Association*, www.krascon.co.kr
(국토해양부고시 제 2010-397호, 건설폐기물의 재활용촉진에 관한 법률, 사단법인 한국재생아스콘 협회, www.krascon.co.kr)
- Recycled HMA quality standards, GR F 4005
(품질표준 재활용 가열 아스팔트 혼합물, GR F 4005)
- Russell, M., Uhlmeier J., DeVol, J., Johnson, C., Weston, J., (2011), *Evaluation of Hot In-Place Recycle*, Washington State Department of Transportation.

- FHWA(Federal Highway Administration) (2005), *Hot In-Place Asphalt Recycling Application Checklist*, Pavement Preservation Checklist series.
- Terrel, R. L., Epps, J. A., Sorenson, J.B., (1997), *New Developments in Hot In-Place Recycling of Asphalt Pavements, the Pavement Session of the 1997, XIIIth IRF World Meeting*, Toronto, Ontario, Canada
- Texas Department of Transportation(Texas DOT), (2011), *Hot In-place Recycling*, Online :http://onlinemanuals.txdot.gov/txdotmanuals/pdm/inplace_surface_recycling.htm
- Ali, H., Sobhan K. (2012-a), *On the Road to Sustainability: Properties of Hot-in place Recycled Superpave Mix*, 91st Annual Meeting of the Transportation Research Board, Washington DC 2012. Transportation Research Board of the National Academies, Washington, D.C.,
- Ali, H. and Grzybowski, K., (2012-b), "Hot In-Place Pavement Recycling Life Cycle?A Case Study", 91st Annual Meeting of the Transportation Research Board, Washington DC 2012. Transportation Research Board of the National Academies, Washington, D.C.,
- Ali, H. Bonaquist, R. (2012-c), *Evaluation of Binder Grade and Recycling Agent Blending for Hot In-Place Recycled Pavement*, 91st Annual Meeting of the Transportation Research Board, Washington DC 2012. Transportation Research Board of the National Academies, Washington, D.C.,
- Ali, H., (2011), "Evaluation of the 100% Recyclability of Superpave Mixes" , *Report Submitted to EPA- SBIR Phase I*, http://cfpub.epa.gov/ncer_abstracts/index.cfm/fuseaction/display.abstractDetail/abstract/9497/report/0
- Wang, H., Hao, P., Xue, L., (2011), *Laboratory Evaluation of Microwave Heating Method for Hot In-Place Recycling*, *Journal of Testing and Evaluation*, Vol. 39, No.6.
- Chen, D. H., Bilyeu, J. (2001), *Assessment of a Hot-in-Place Recycling Process*, *Tamkang Journal of Science and Engineering*, Vol. 4., No.4.
- Rhee, Suk-Keun, Im, Jeong-Hyuk, Kwon, Se-Yong., (2005) *Evaluation of Moisture Susceptibility Test for Asphalt Mixtures*, *Spring Proceeding of Korean Society of Road Engineering*.
- Kim, KwangWoo, Doh, Young Soo, (2006), *Development of Feasible Dynamic Stability in Wheel Tracking Test for Asphalt Concrete Mixtures*, *International Journal of Highway Engineering*, Vol. 8.
- (접수일 : 2012. 11. 14 / 심사일 : 2012. 11. 16 / 심사완료일 : 2013. 1. 10)