

속경성 바인더 유형에 따른 긴급보수용 스프레이 패칭 상온 재활용 아스팔트 혼합물(RAP)의 성능 평가

Performance Evaluation of 100 % RAP Asphalt Mixtures using different types of Rapid-Setting Polymer-Modified Asphalt Emulsion for Spray Injection Application

김두열	Kim, Doo Yeol	(주)오에이티엠엔씨 연구개발 대리 (E-mail : oat5767@naver.com)
전지성	Jeon, Ji Seong	경희대학교 공과대학 도로연구실 석사과정 (E-mail : wltjd32@khu.ac.kr)
이상염	Lee, Sang Yum	정회원 · 인덕대학교 건설정보공학과 조교수 (E-mail : yummy0220@induk.ac.kr)
이석근	Rhee, Suk Keun	정회원 · 경희대학교 공과대학 사회기반시스템공학과 교수 (E-mail : skrhee@khu.ac.kr)
권봉주	Kwon, Bong Ju	정회원 · (주)오에이티엠엔씨 연구개발 팀장 · 교신저자 (E-mail : oatkwon@naver.com)

ABSTRACT

PURPOSES : The purpose of this study was to determine the optimum mix design of the content of 100 % reclaimed asphalt pavement (RAP) for spray injection application with different binder types.

METHODS : Literature review revealed that spray injection method is the one of the efficient and economical methods for repairing a small defective area on an asphalt pavement. The Rapid-Setting Polymer modified asphalt mixtures using two types of rapid setting polymers-asphalt emulsion and a quick setting polymer asphalt emulsion-were subjected to the following tests to determine optimum mix designs and for performance comparison: 1) Marshall stability test, 2) Retained stability test, 3) Wet track abrasion test, and 4) Dynamic stability test.

RESULTS and CONCLUSIONS : Type A, B, and C emulsions were tested with different mix designs using RAP aggregates, to compare the performances and determine the optimum mix design. Performance of mixtures with Type A emulsion exceeded that of mixtures with Type B and C emulsion in all aspects. In particular, Type A binder demonstrated the highest performance for WTAT at low temperature. It demonstrated the practicality of using Type A mixture during the cold season. Further studies are to be performed to verify the optimum mix design for machine application. Differences in optimum mix designs for machine application and lab application will be corrected through field tests.

Keywords

Reclaimed asphalt pavement (RAP), cold recycling, asphalt emulsion, Marshall stability test, Retained stability test, Wet track abrasion test, Dynamic stability test, spray injection

Corresponding Author : Kwon, Bong Ju
R&D Manager, OAT M&C10-5, Dogok-ro 64-gil,
Songpa-gu, Seoul, 05573, Korea
Tel : +82.2.421.0877 Fax : +82.2.421.0925
E-mail : oatkwon@naver.com

International Journal of Highway Engineering
http://www.ksre.or.kr/
ISSN 1738-7159 (print)
ISSN 2287-3678 (Online)
Received Mar. 03, 2017 Revised Mar. 27, 2017 Accepted Mar. 28, 2017

1. 서론

1.1. 연구의 배경 및 목적

국가의 발전과 개발을 최우선으로 삼던 세계 여러 나라들과 더불어 국내에서도 환경에 대해 관심을 기울이

게 되면서 1996년 6월 5일을 ‘환경의 날’로 지정하고 여러 행사를 진행해오고 있다. 불과 몇 십 년 전만 해도 무차별한 개발을 일삼았던 건설 분야에서도 환경이라는 용어는 더 이상 낯선 것이 아니다. “환경적으로 건전하고 지속가능한 개발(ESSD: Environmently Sound and Sustainable Development)”만이 건설에서의 대안이 되고 있다. 이러한 사회와 국민의 달라진 요구에 발맞춰 건설사업에서 건설폐기물의 활용에 대한 관심도 크게 증가하였다(Shim, 2007).

1997년 12월 지구 온난화 방지협약(일본 교토협약)의 발효로 국내외의 환경 규제가 강화되고 있으며, 이로 인해 국내 산업 전 분야에서 CO₂감축 노력이 진행되고 있다. CO₂배출과 에너지 소비가 높은 건설 분야 중 아스팔트 콘크리트 제조분야의 경우에 이를 위한 노력이 필요하나 현재의 생산 및 시공 시스템 하에서는 어려움이 예상된다. 최근에 국내외적으로 가열에너지의 소비가 없고 온실가스를 배출하지 않는 상온형 포장공법이 주목받고 있다. 유럽에서는 1980년대부터 활용하고 있으며, 미국도 1990년대부터 새로운 공법을 활용하고 있다. 국내에도 1990년대에 기술이 도입되었으나, 도심지에서의 적용성 문제와 기존 포장에 발생한 소성변형, 균열 억제효과와 부족 그리고 사회적, 기술적인 이해, 인식 등의 부족으로 널리 활용되지 못하고 최근에까지 이르고 있다(Lee, 2010).

최근 국내의 도로는 급격한 교통량 증가 및 기상이변에 따라 포장의 조기파손 및 공용수명이 단축되고 있다. 또한 빈번한 지하매설물 굴착공사 및 포장정비 공사로 페아스콘 발생량이 지속적으로 증가하고 있으며 그 결과 페아스콘 처리가 환경 및 경제적인 문제로 대두되고 있다(Cho et al., 2016).

도로포장의 조기 노후화, 급격한 교통량 증가 및 기상이변으로 인해 보수공사 시 발생하는 페아스팔트 콘크리트의 비용이 급증하고 있다. 이에 도로포장의 파손에 대한 적절하고 시급한 보수 및 보강능력을 향상시키고 교통 지연 및 최소한의 작업시간으로 도로안전을 확보하기 위한 방안이 필요하다. 따라서 본 연구에서는 페아스팔트 콘크리트를 100% 순환골재로 이용하고 속경성 상온 개질 유화아스팔트를 적용한 상온 긴급보수재료를 개발하기 위해 골재와 재료의 무게 비율에 따른 물성 평가를 실시하여 이를 통해 최적 배합비를 결정하고 이에 대한 실험적 분석을 수행하고자 한다.

1.2. 연구의 범위 및 방법

순환골재(RAP)를 실제 공사현장에서 수집하여 실물

크기의 체가름 장비를 이용하여 본 연구에 활용하였다. 또한 혼합물의 역학적 성질을 통해 적용성을 검토하였다. Table 1과 같이 최적배합비를 도출하고 순서에 의해 진행하였으며 Table 2에 주요 변수와 시험을 요약하였다.

Table 1. Flow Test

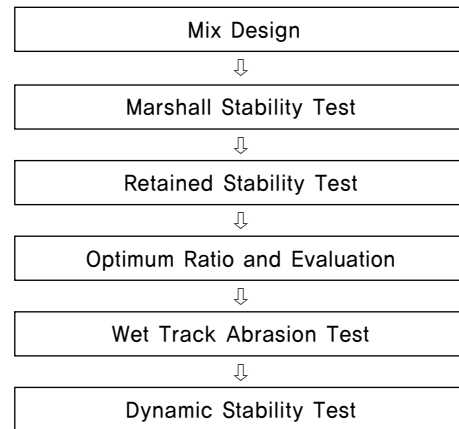


Table 2. Experimental Plan

Test factors		Test values
Mix design	Binder type	Type A : CSS-1h(Korean) Type B : CRS-2(Korean) Type C : CRS-2(USA)
	Binder content (%)	• 7, 8, 9, 10, 11, 12
	Aggregate type	• Recycle aggregate(RAP)
	Aggregate size	• 2~5mm • 5~10mm
Tests	Marshall stability	• Stability • Flow • Retained stability
	Wet track abrasion	• Curing condition : 5, 25, 40°C for 4, 12, 24Hour
	Dynamic stability	• Curing condition : 25°C for 24Hour

1.3. 순환골재(RAP) 재활용의 문헌고찰

미국 조지아주 교통국(Georgia Department of Transportation : GDOT)은 1995년 순환골재 아스팔트 포장의 장기 공용성을 측정하였다. 순환골재 도로포장 성능을 평가하기 위하여 약 4년에 걸쳐 반복적으로 페아스팔트 콘크리트 순환골재 포장을 시공 포장 후 18~27개월에 걸쳐 균질한지 추적조사를 시행해 왔다(Kandhal et al., 1995).

서울시 도로관련 공무원 228명을 대상으로 진행된 설문조사 결과 페아스팔트 콘크리트의 순환골재에 대한

가장 큰 저해요인으로 순환골재 체계가 정립되지 않았기 때문인 것으로 판단하였고 실용화를 위해서는 관련 체계의 단일화 및 순환골재 혼합물의 품질 확보방안이 필요하다고 하였다(Jeong, 2000).

페아스팔트 콘크리트 순환 실용화 방안 연구에서는 서울시를 기준으로 실용화 가능한 순환공법 및 이에 필요한 시방서를 제시하였다. 이 연구에서는 순환골재 혼합물이 신규 아스팔트 혼합물의 품질기준을 만족하였으며, 크리프 및 회복탄성계수 시험결과 일반 아스팔트 혼합물과 유사한 역학적 성능을 얻을 수 있다고 하였다. 또한 공사 규모 및 특성에 따라 순환공법의 적절한 선정이 필요하다고 하였다(Nam, 2000).

국내에서는 도로 보수공사에 발생하는 페아스팔트 콘크리트를 사용하여 신규골재보다 아스팔트 함량을 1~2% 저감할 수 있으며 지속적으로 경제성 확보가 가능하며 기존 혼합물과의 동등한 품질기준 확보가 가능하다고 제시하고 있다(Lim et al., 2016).

3. 재료의 특성

3.1. 골재의 물리적 성질

순환골재(RAP)는 포장보수공사가 시행된 3개소에서 수집하여 스크린 장치를 사용하여 2~5mm, 5~10mm 골재를 채취 후 본 실험을 수행하였으며, 물리적 성질은 Table 3과 같이 확인하였다.

Table 3. Aggregate Properties of RAP

Material Properties	RAP 2~5mm	RAP 5~10mm
Density (g/cm ³)	2.61	2.62
Absorption (%)	4.38	3.63
Unit weight (m ³)	1,510	1,520
Solid volume percentage(%)	59.5	59.3

Table 3에서 보듯이 순환골재(RAP) 2~5mm, 5~10mm는 각각 유사한 물성을 확인할 수 있었다. 2~5mm 순환골재(RAP)의 0.75% 흡수율 증가는 골재 파쇄에 의한 골재 성능저하에 기인된 것으로 판단된다.

3.2. 바인더의 물리적 성질

본 연구에서는 긴급 보수에 주로 사용되고 있는 유화

아스팔트에 대하여 3가지 종류에 대하여 기본적으로 평가하였다. 국내에서 개발된 Type A, B와 Type C(미국) 제품과의 결과를 Table 4에서 정리하였다.

Table 4. Emulsified Asphalt Test (ASTM D 2397) of RAP

Classification	Type A	Type B	Type C
Grade	CSS-1h	CRS-2	CRS-2
Viscosity, Saybolt Furol at 25°C (77°F) SFS	27	-	-
Viscosity, Saybolt Furol at 50°C (122°F) SFS	-	141	148
Storage stability test, 24-h, % ^A	0.10	0.10	0.08
Demulsibility, 35mL, 0.8% dioctyl., %	-	66	65
Particle charge test	+	+	+
Sieve test, % ^A	0	0	0
Cement mixing test, %	0.60	-	-
Oil distillate, by volume of emulsion, %	-	0.5	0.4
Residue, %	60	67	66
Penetration, 25°C (77°F), 100g, 5s	58	120	118
Ductility, 25°C (77°F), 5cm/min, cm	78	82	83
Solubility in trichloroethylene, %	99.3	99.2	99.2

^A This test requirement on representative samples is waived if successful application of the material has been achieved in the field.

Table 4의 결과는 유화 아스팔트의 CSS-1h, CRS-2 Type의 2가지 바인더로 구성되며, ASTM D 2397 품질기준에 만족하는 결과를 확인하였다. 국내에서 개발된 Type B와 미국에서 대표적으로 사용하는 Type C의 물리적 성질은 유사하게 평가되었다.

4. 배합 설계

순환골재(RAP)와 긴급보수용 바인더 3종류(Type A, Type B, Type C)를 사용하였으며, 2~5mm, 5~10mm 골재를 보수 깊이에 따라 사용성을 부여하기 위하여 각각의 바인더 함량을 조정하여 혼합하였다. Type A 바인더는 Table 5의 수준으로 진행하고, Type B 바인더는 Table 6과 같이, Type C 바인더는 Table 7과 같이 각각 배합설계를 진행하였다.

Table 5. Mix Design (Type A Binder)

Mixture type	Binder content (%)	Aggregate type	Aggregate size (mm)	Additives content (%)
A(I)-1	8	RAP	2-5	20
A(I)-2	9			
A(I)-3	10			
A(II)-1	8	RAP	5-10	20
A(II)-2	9			
A(II)-3	10			

Table 6. Mix Design (Type B Binder)

Mixture type	Binder content (%)	Aggregate type	Aggregate size (mm)	Additives content (%)
B(I)-1	9	RAP	2-5	-
B(I)-2	10			
B(I)-3	11			
B(II)-1	7	RAP	5-10	-
B(II)-2	8			
B(II)-3	9			

Table 7. Mix Design (Type C Binder)

Mixture type	Binder content (%)	Aggregate type	Aggregate size (mm)	Additives content (%)
C(I)-1	10	RAP	2-5	-
C(I)-2	11			
C(I)-3	12			
C(II)-1	7	RAP	5-10	-
C(II)-2	8			
C(II)-3	9			

5. 시험방법 및 결과분석

시험 분석은 KS F 2369가 제시한 마샬 안정도 및 흐름값, 수침잔류안정도의 품질기준을 적용하였으며 습윤

Table 8. Specification of Cold Mixed Asphalt for Urgent Repair

Test items	Standard value
Marshall stability, 25°C, N	over 2,500
Flow, 1/10mm	20~40
Retained stability, %	over 75.0
Wet track abrasion, g/cm ²	under 0.080744
Dynamic stability, 25°C, cycle/mm	over 750

마모시험의 경우 ASTM D 3910을 사용하였다. 동적안정도 품질기준은 고속도로 건설재료 품질기준 중 상온형 아스콘과 같으며 속경성 혼합물의 품질기준은 Table 8과 같다.

5.1. 마샬 안정도 시험

마샬 안정도 시험은 KS F 2337에 의해서 만들어진 공시체에 대하여 KS F 2369에 준하여 마샬 안정도와 흐름값 시험을 진행하였으며 몰드는 양면 75회 다짐 후 Fig. 1과 같이 16~19시간 상온에 공기양생 후 탈형하여 시험 전 25±1°C의 공기 욕조 안에서 2시간 온도를 조정하고 분당 50±5mm 재하 속도로 Fig. 2와 같이 공시체에 압축하중을 가하여 시험을 수행하였다.



Fig. 1 Specimen Curing



Fig. 2 Marshall Stability Machine

본 바인더를 사용하여 마샬 안정도 및 흐름값을 시험한 결과 Table 9와 같은 성능을 확인하였다.

Type A 바인더에서의 안정도는 Table 9, Fig. 3과 같이 2~5mm보다 5~10mm 순환골재(RAP)가 3.1~15.7% 증가하였으며 흐름값은 2.2~3.0(1/10mm) 증가함을 알 수 있었다.

반면 바인더 함량이 증가하여도 흐름값은 최대 3.1% 이내로 증가하는 것을 확인하였다.

Table 9. Marshall Stability Test Result of Type A Binder

Mixture type	Marshall stability, N	Flow (1/10mm)
A(I)-1	10,955	21.5
A(I)-2	11,335	22.4
A(I)-3	9,940	24.0
A(II)-1	11,333	23.7
A(II)-2	13,120	25.4
A(II)-3	11,195	26.8

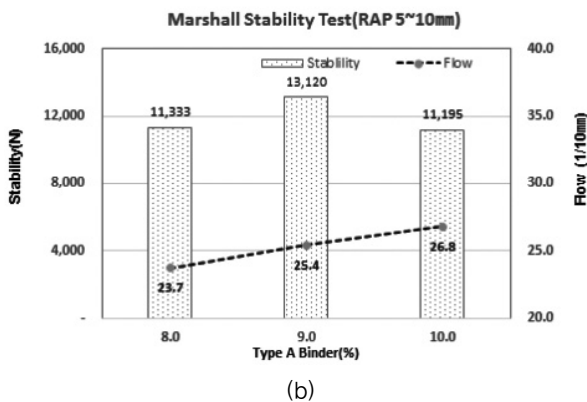
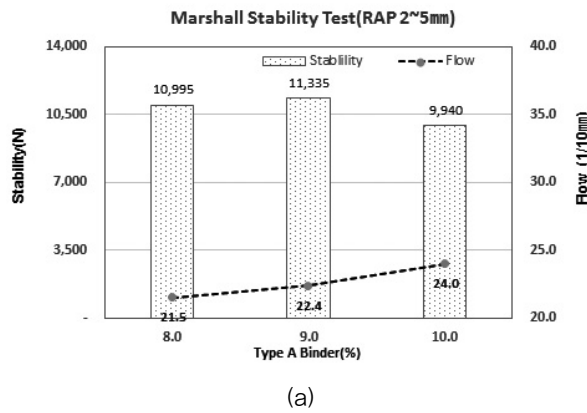


Fig. 3 Type A Result

Type B 바인더에서는 Table 10, Fig. 4와 같이 5~10mm보다 2~5mm 순환골재(RAP)에서 보다 높은 안정도를 확인하였으며 흐름값의 경우 2~5mm 순환골재(RAP)에서 불안정한 증가량을 확인하였다. 이는 2~5mm 순환골재(RAP)에서 바인더 함량이 많아 흐름값의 불안정화를 제공한 것으로 판단된다.

Type C 바인더에서의 안정도 및 흐름값은 Table 11, Fig. 5와 같이 평가되었으며 5~10mm 순환골재(RAP) 보다 2~5mm 순환골재(RAP)가 다소 높은 결과를 확인하였다. 다만 마찰 안정도에서는 바인더 함량 및 골재 크기에 따라 6.8~15.6% 이내에서 편차를 확인하였으

나 흐름값에서는 다소 높은 결과를 확인하였다.

Table 10. Marshall Stability Test Result of Type B Binder

Mixture type	Marshall stability, N	Flow (1/10mm)
B(I)-1	6,423	23.3
B(I)-2	7,098	28.6
B(I)-3	5,785	34.2
B(II)-1	6,208	25.2
B(II)-2	6,420	27.7
B(II)-3	5,793	30.6

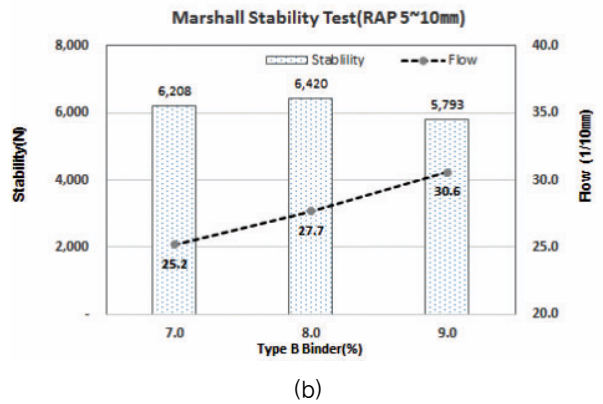
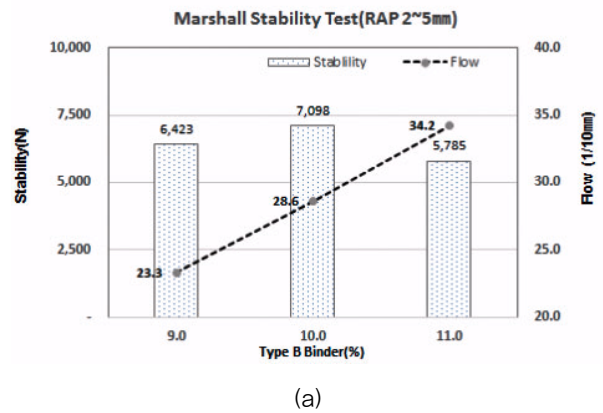


Fig. 4 Type B Result

Table 11. Marshall Stability Test Result of Type C Binder

Mixture type	Marshall stability, N	Flow (1/10mm)
C(I)-1	5,188	25.1
C(I)-2	5,543	32.2
C(I)-3	5,345	33.4
C(II)-1	4,255	26.9
C(II)-2	4,848	31.2
C(II)-3	4,193	34.6

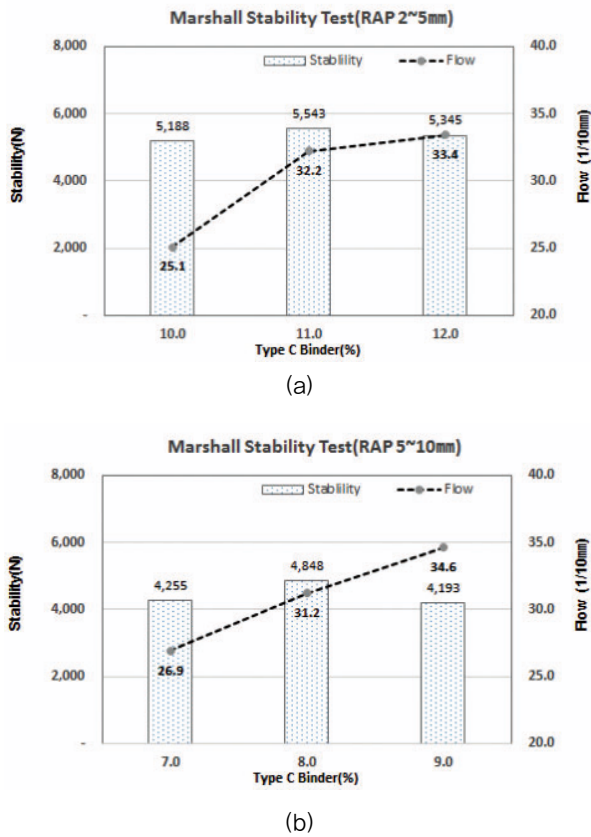


Fig. 5 Type C Result

5.2. 수침 잔류 안정도 시험

보수재료의 수분민감성을 평가하기 위하여 KS F 2369에 준하여 실시하였으며 25±1℃ 양생 후 마샬 안정도를 수행하고 Fig. 6과 같이 25±1℃ 수조에서 48시간 수침시킨 후 마샬 안정도를 비교하였으며 다음과 같이 Eq. (1)에 의해 산출하였다.



Fig. 6 Curing

Retained Stability(%)

$$= \frac{\text{Marshall Stability after 48 hr. at } 25^{\circ}\text{C}}{\text{Marshall Stability at } 25^{\circ}\text{C}} \times 100 \quad (1)$$

본 바인더를 사용하여 수침잔류안정도를 시험한 결과 Table 12와 같은 성능을 확인하였다.

Table 12, Fig. 7과 같이 순환골재(RAP) 크기에 따른 수침잔류안정도는 유사한 물성을 확인하였으며 모두 75% 이상의 품질성능을 확보하였다. 다만 Type A 바인더 함량이 증가할수록 수침잔류안정도도 6.2% 이내의 증가함을 확인하였다. 이는 Type A 바인더에 첨가된 미세알 필러의 사용량 증가에 따른 수침잔류안정도가 증가된다고 판단된다.

Table 12. Retained Stability Test Result of Type A Binder

Mixture type	Marshall stability (30minutes in water),(N, 25℃)	Marshall stability (48hours in water), (N, 25℃)	Ratio (2)/(1)×100
A(I)-1	10,995	8,685	79.0
A(I)-2	11,335	9,258	81.7
A(I)-3	9,940	8,468	85.2
A(II)-1	11,333	9,085	80.2
A(II)-2	13,120	10,558	80.5
A(II)-3	11,195	9,468	84.6

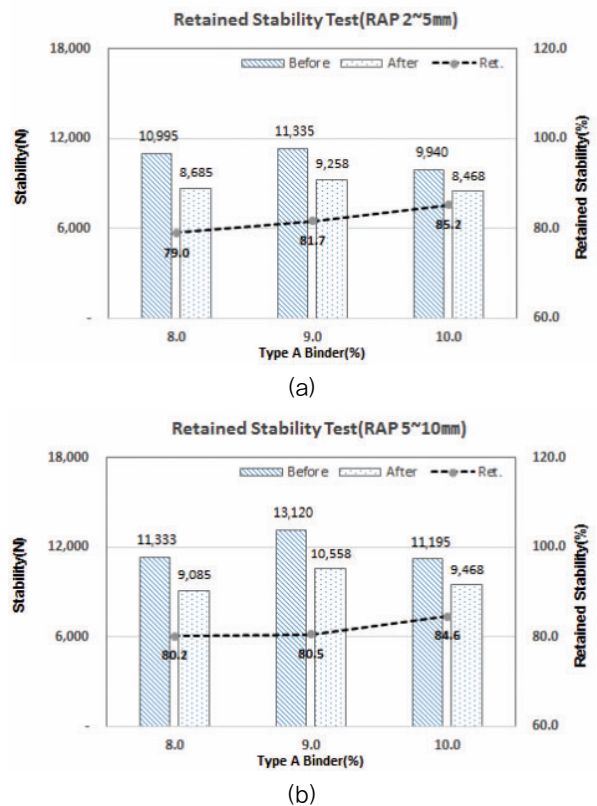


Fig. 7 Type A Result

Table 13, Fig. 8과 같이 순환골재(RAP) 크기에 따른 수침잔류안정도는 5~10mm 순환골재(RAP)가 2~5mm 순환골재(RAP)보다 1.1~3.5% 감소함을 알 수 있었다. 또한 바인더 사용량이 증가할수록 수침잔류안정도는 5.4% 이내의 감소함을 확인하였다.

Table 13. Retained Stability Test Result of Type B Binder

Mixture type	Marshall stability (30minutes in water),(N, 25°C)	Marshall stability (48hours in water), (N, 25°C)	Ratio (2)/(1)×100
B(I)-1	6,423	5,488	85.4
B(I)-2	7,098	5,865	82.6
B(I)-3	5,785	4,768	82.4
B(II)-1	6,208	5,235	84.3
B(II)-2	6,420	5,193	80.9
B(II)-3	5,793	4,568	78.9

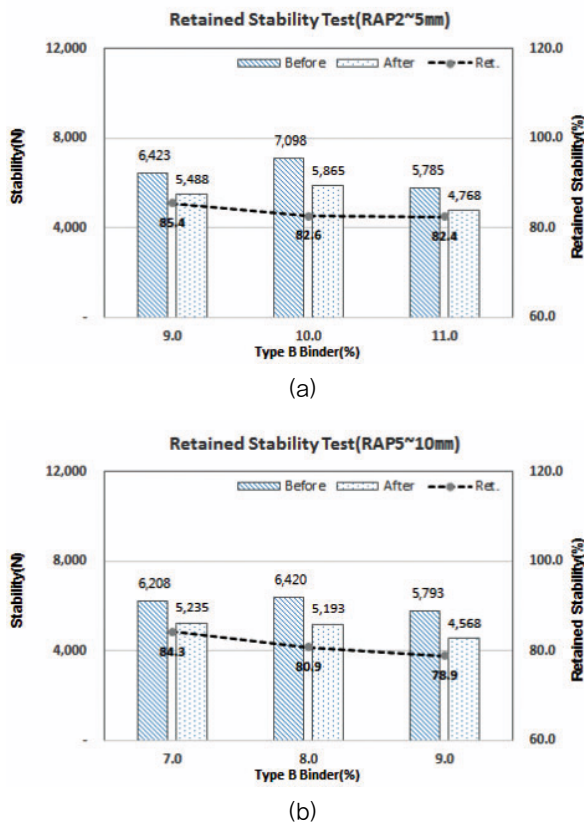


Fig. 8 Type B Result

Table 14, Fig. 9와 같이 5~10, 2~5mm 수침잔류안정도는 유사한 시험 결과를 확인하였으며 Type C 바인더 함량이 증가할수록 2~5mm 순환골재(RAP)에서 각각 2.9, 8.9% 수침잔류안정도가 감소함을 알 수 있었다. 또한 5~10mm 순환골재(RAP)에서는 5.5% 내에서의 감소함을 확인하였다.

Table 14. Retained Stability Test Result of Type B Binder

Mixture type	Marshall stability (30minutes in Water),(N, 25°C)	Marshall stability (48hours in Water), (N, 25°C)	Ratio (2)/(1)×100
C(I)-1	5,188	4,948	95.4
C(I)-2	5,543	5,130	92.5
C(I)-3	5,345	4,625	86.5
C(II)-1	4,255	3,950	92.8
C(II)-2	4,848	4,230	87.3
C(II)-3	4,193	3,695	88.1

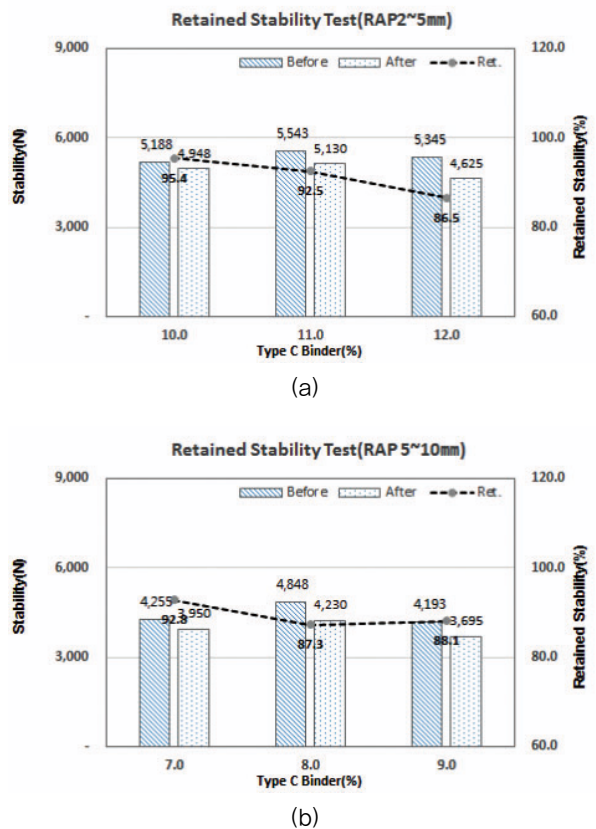


Fig. 9 Type C Result

바인더 Type A, B, C에서 수침잔류안정도는 Type C 바인더가 가장 우수함을 알 수 있었으나 이는 마샬 안정도에서 비교대상 바인더보다 낮은 결과에 따른 수침잔류안정도 향상으로 보이며 3가지 바인더 모두 품질기준에 만족하는 결과를 확인하였다.

5.3. 습윤 마모 시험

습윤 마모 시험은 아스팔트 콘크리트 포장의 표면처리용 혼합물에 대하여 습윤 상태의 마모 저항성능과 최적 아스팔트 함량 결정을 위하여 HOBART A-120 장비를 이용하여 진행하였다. ASTM D 3910에 따르면

시편을 몰드에서 제거한 후 건조기에서 60℃에서 15시간 이상 건조시키고 건조된 시편을 실온에서 질량을 측정한다. 이후 25℃수조에서 60~75분간 수침시킨 후 Fig. 10과 같은 습윤 마모 시험기에서 5.15초 작동시킨다. 시험이 끝나면 시편을 깨끗하게 씻고 60℃ 건조기에서 항량이 될 때까지 건조시킨 후 실온에서 질량을 측정하고 Eq. (2)와 같이 계산한다.



Fig. 10 Wet Track Abrasion Test Machine (A-120)

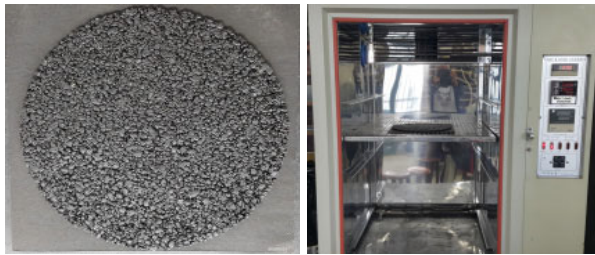


Fig. 11 Dry of Curing

$$\frac{(M^1 - M^2) \times F}{A} \quad (2)$$

M^1 : the original mass of the specimen, in grams

M^2 : the mass of the specimen after abrasion, in grams

F : Conversion Factor

A : Cross Sectional Area

Table 15. Testing Method Comparision for WTAT

Test items	This besearch	ASTM 3910
Curing condition	5, 25, 40℃ for 4, 12, 24 hour	60℃ for 15-24 hour
Water bath	Test right after curing	Test after 60-75min
Dry to constant	25℃ for 25-48 hour	60℃ for absolute dry time

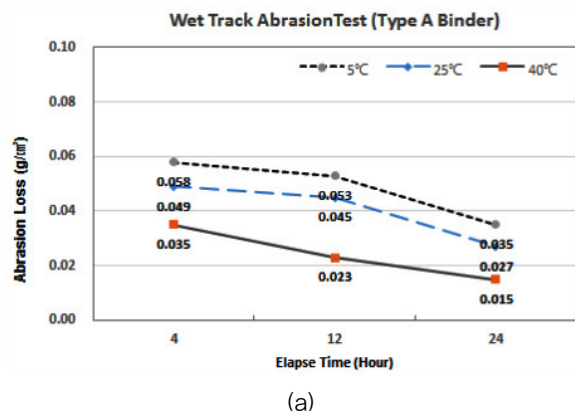
Table 16은 본 연구의 방법과 ASTM D 3910의 차이가 있으며 이는 현장 조건에 적합한 품질을 확인하고자 차이를 두었다. 본 연구에서 제안한 시험방법으로는 5, 25, 40℃에서 4, 12, 24시간 양생하였으며, 시험 후 Fig. 11과 같이 시료를 25℃ 상온에서 25~48시간 건조하는 시험방법의 차이를 주었으며 이외 방법은 ASTM D 3910 시험방법에 준하여 실시하였다.

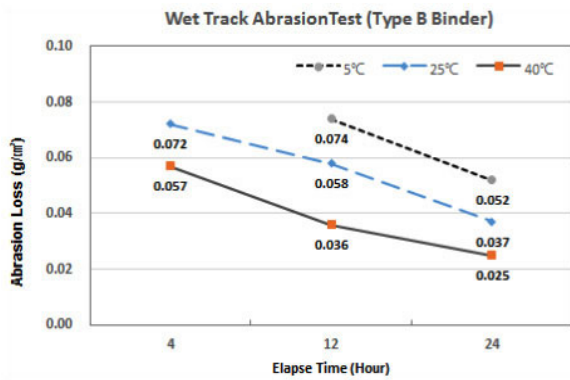
본 시험은 순환골재(RAP) 2~5mm를 사용하고 국내에서 개발된 2가지 Type A, B와 Type C(미국) 제품을 가지고 비교하였으며, 마찰 안정도에서 얻어진 최적의 배합비를 가지고 습윤 마모 저항성 시험을 진행하였고, 바인더 함량은 Table 16과 같이 Type A 9%, Type B 10%, Type C 11%로 수행하였다.

Table 16. Wet Track Abrasion Test Result

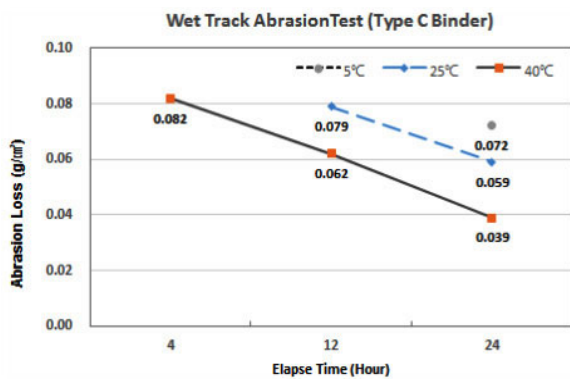
Mixture type	Curing time (hr)	Abrasion Loss (g/cm ²)		
		5℃	25℃	40℃
A(1)-2	4	0.058	0.049	0.035
	12	0.053	0.045	0.023
	24	0.035	0.027	0.015
B(1)-2	4	-	0.072	0.057
	12	0.074	0.058	0.036
	24	0.052	0.037	0.025
C(1)-2	4	-	-	0.082
	12	-	0.079	0.062
	24	0.072	0.059	0.039

Fig. 12와 같이 Type A 바인더의 경우 5℃에서 모든 기준을 충족하였으며 바인더 중 가장 안정적인 마모 저항성을 나타내었다. Type B 바인더의 경우 25℃ 이상의 온도에서는 4시간 경과 후에도 마모 저항성을 확보하였으며 5℃의 경우 12시간이 경과한 후 마모 저항성을 확보하였다. 다만 Type C 바인더는 4시간 경과 후 모든 온도 범위에서 불합격 또는 측정이 불가능하였다. 5℃의 경우 24시간이 경과 후 측정이 가능하였으며 25,





(b)



(c)

Fig. 12 Wet Track Abrasion Test

40°C 온도에서는 12시간의 양생이 필요하였다.

5.4. 동적 안정도 시험

혼합물의 변형량을 평가하기 위하여 KS F 2374에 준하여 실시하였으며 시험 온도는 25°C에 진행하였다. 동적 안정도 시험은 Fig. 13과 같이 밀입도 아스콘으로 300×300×50mm 밀판을 제작 후 노치를 형성하고 순환골재(RAP) 혼합물을 두께 20mm, 폭 100mm, 연장 300mm로 보수하여 동적 안정도를 수행하였으며 동적 안정도는 Eq. (3), 변형속도는 Eq. (4)에 의해 계산하였다.

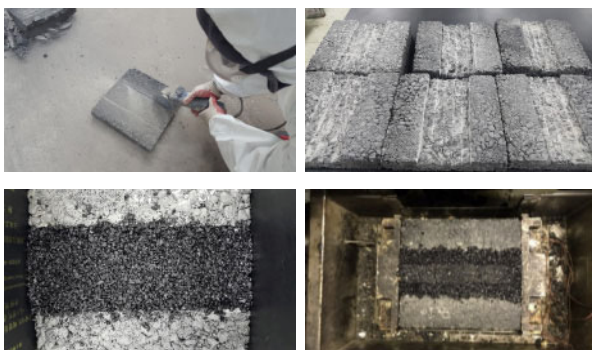


Fig. 13 Dynamic Stability Test

$$DS \times \frac{t_{60} - t_{45}}{d_2 - d_1} \times C(\text{cycle/mm}) \quad (3)$$

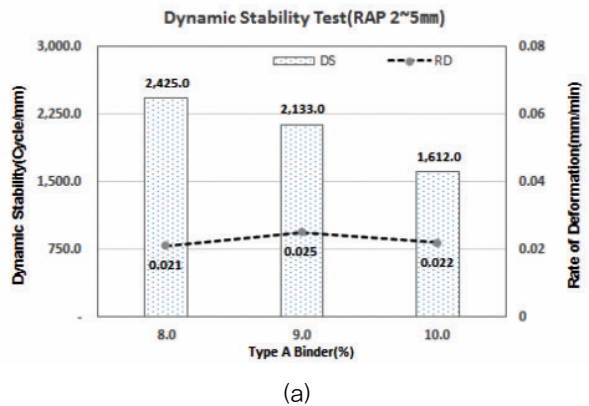
$$RD \times \frac{d_{60} - d_{45}}{15} \times (\text{mm/min}) \quad (4)$$

본 동적안정도 시험은 Table 17과 같은 품질기준에 만족하는 것으로 나타났다.

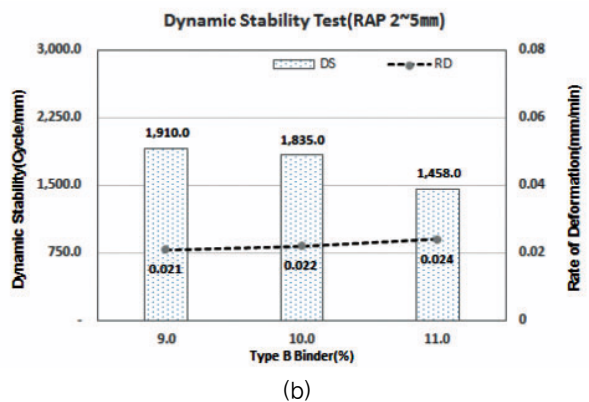
Table 17. Dynamic Stability Test Result

Mixture type	Dynamic stability (cycle/mm)	Rate of deformation (mm/min)
A(1)-1	2,425.0	0.021
A(1)-2	2,133.0	0.025
A(1)-3	1,612.0	0.022
B(1)-1	1,910.0	0.021
B(1)-2	1,835.0	0.022
B(1)-3	1,458.0	0.024
C(1)-1	1,652.0	0.023
C(1)-2	1,242.0	0.021
C(1)-3	1,206.0	0.021

Fig. 14는 Type A의 시험결과를 보여주고 있으며 품질기준에 만족하는 결과를 확인하였으며 바인더 함량이 증가할수록 동적 안정도가 감소하는 성질을 확인하였



(a)



(b)

〈Fig. Continued〉

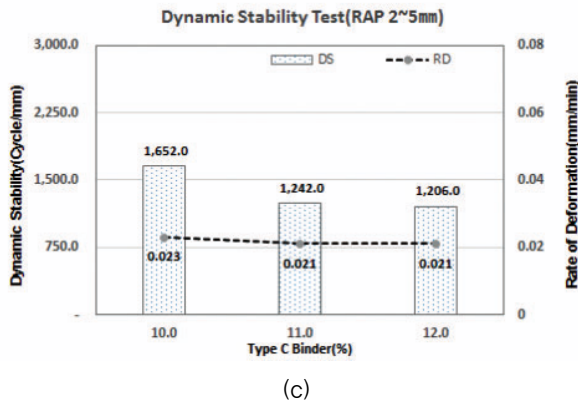


Fig. 14 Dynamic Stability Test Result

다. Type B 바인더의 동적안정도를 나타내고 있으며 바인더 함량이 증가할수록 Type A와 유사한 성질을 보였다. Type A, B에 비해 다소 낮은 결과를 보였지만 품질기준의 1.94~2.55배 높은 값을 보여주고 있다.

6. 결론

본 연구에서는 단입도의 순환골재(RAP)와 유화 아스팔트 바인더 3가지를 이용하여 배합설계에 따라 혼합물을 제작하였다. 제작한 혼합물로 수침잔류안정도와 양생온도, 시간에 따른 마모 저항성을 분석 및 평가하였다. 또한 혼합물의 보수형태에 따른 모사를 통하여 동적안정도와 긴급보수에 적합한 혼합물 배합비도 평가하였으며 다음과 같은 결론을 도출할 수 있었다.

1. 마찰 안정도의 경우 Type A 바인더에서 기준 대비 3.90배 이상의 안정도를 확인하였으며 순환골재(RAP) 크기에 따른 증가는 5~10mm에서 다소 높은 결과를 확인하였다. 반면 Type B 바인더의 경우 골재 크기에 따른 증가율은 거의 차이가 없었으며 기준 대비 2.30배 이상의 성능을 확인하였다. Type C 바인더의 경우 기준 대비 1.60배 이상의 성능을 확보하였으며 5~10mm골재보다 2~5mm가 1.23배 높은 결과를 보였다.
2. 수침잔류안정도의 경우 Type A 바인더의 경우 79%~85% 측정되었으며 골재 크기에 따른 성질은 유사하였다. 다만 바인더 함량이 증가할수록 수침잔류안정도가 증가하는 추세를 보였으며 이는 필러의 반응에 따른 결과로 판단된다. 또한 Type B 바인더는 5~10mm골재보다 2~5mm골재가 1~3% 내외에서 증가함을 확인하였다. Type C 바인더의 경우 골재

크기에 따른 성질은 유사하였으며 Type A, B 바인더보다 우수한 수침잔류안정도를 확인되었으나 Type A 마찰 안정도 기준 대비 높아서 나타난 결과로 판단된다.

3. 습윤 마모 저항성 시험은 양생온도, 양생시간에 따른 저항성을 평가하였으며 4시간 경과 후 Type A 바인더는 5, 25, 40℃ 모두 품질기준에 만족하는 결과를 확인하였다. 반면 Type B 바인더는 5℃에서 측정이 불가능하였으며 그 이상의 온도에서는 품질기준에 만족함을 확인하였다. Type C는 40℃에서만 측정이 가능하였으나 품질기준에는 부적합하였다. 또한 25℃, 40℃의 경우 12시간 경과 후 기준에 만족하였으나 5℃는 24시간이 경과한 후에 기준에 적합한 것으로 확인되었다.
4. 동적 안정도는 Type A 바인더가 높은 결과를 보였으며 Type B > Type C 순으로 나타났다. 기준 대비 1.60배 이상 높은 것으로 확인되었으며 바인더 함량이 증가할수록 동적 안정도는 감소하는 경향을 나타내었다. 또한 변형가속도(RD)는 0.021~0.025mm/min으로 확인되었다.
5. 본 실험의 결과를 바탕으로 순환골재(RAP)와 유화 아스팔트를 혼합하여 적용 시 포장면의 보수·보강이 가능할 것으로 확인되었다.

그러나 본 연구는 혼합물에 대한 평가만을 가지고 도출한 것이며 긴급 보수용 패칭 장비와의 시험시공을 통해 부착성 및 공용성능 평가의 연구가 추가로 수행되어야 할 것으로 사료된다.

감사의 글

본 연구는 국토교통부와 국토교통과학기술진흥원의 교통물류사업인 “온실가스 배출 최소화를 위한 친환경 포장도로 연구”의 연구지원으로 수행되었으며 이에 관계자 분들께 감사드립니다.

REFERENCES

- Cho, Hyo Jin., Jang, Y.I.(2016), Experimental Study on Properties of Recycled Cold Asphalt Paving Mixtures with Non-Cement and Recycled Aggregates.
- Jeong, D. J., (2000), (A) Study for Activated Recycling of Scraped Asphalt Concrete. A Master's thesis, Yonsei University, Korea.
- Kandhal, P. S., Rao, S. S., Watson, D. E., Young, B., (1995), Performance of Recycled Hot-Mix Asphalt Mixtures in the State of Georgia, NCAT Report No. 95-01, National Center for Asphalt Technology, Auburn, AL.

Lee, Jong Man.,(2010), A Study on Emulsified Asphalt Base Course with Recycled Aggregates and Polymer Admixture.

Lim. J. U., Kwon. B. J., Kim. D. Y., Lee. S. Y., Rhee. S. K., (2016), Performance Evaluation of 100% RAP Asphalt Mixtures using Rapid-Setting Polymer-Modified Asphalt Emulsion for Spray Injection Application, Journal of Korean Society of Road Engineers, Vol.18, No.2, pp.61-71.

Nam. Y. G., (2000), (A) Study of practical use for recycled asphalt concretes, Seoul, Korea.

Shim, Jae Pill.,(2007), A development of Hot Mixed Asphalt Base Material using recycled aggregates.