

스프레이 패칭 긴급보수용 개질 유화 아스팔트와 100% 순환골재를 사용한 상온 아스팔트 혼합물의 성능 평가

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

임 정 운	Lim, Jeong-un	경희대학교 공과대학 도로연구실 석사과정 (E-mail : jung900115@khu.ac.kr)
권 봉 주	Kwon, Bong Ju	정회원 · (주)오에이티엠엔씨 연구개발 팀장 (E-mail : oatkwon@naver.com)
김 두 열	Kim, Doo Youl	(주)오에이티엠엔씨 연구개발 대리 (E-mail : oat5767@naver.com)
이 상 yum	Lee, Sang Yum	정회원 · 인덕대학교 건설정보공학과 교수 (E-mail : yummy0220@induk.ac.kr)
이 석 근	Rhee, Suk Keun	정회원 · 경희대학교 공과대학 사회기반시스템공학과 교수 · 교신저자 (E-mail : skrhee@khu.ac.kr)

ABSTRACT

PURPOSES : The objective of this study was to determine the optimum ratio of mix design, for a reclaimed asphalt pavement (RAP) content of 100%, for spray injection application.

METHODS : A literature review revealed that spray injection is an efficient and cost-effective application for fixing small defective regions of an asphalt pavement. Rapid-setting polymer-modified asphalt mixtures prepared from two types of rapid-setting polymer asphalt emulsion were subjected to Marshall stability and wet track abrasion tests, in order to identify the optimum mix designs.

RESULTS and CONCLUSIONS : Different mix designs of type A and type B emulsions were prepared using RAP and virgin aggregates, in order to compare the performance and determine the optimum mix design. The performance of mixtures prepared with RAP was superior to that of mixtures containing virgin aggregates. Moreover, for optimum ratio of the design, the binder content prepared from RAP was set to 1~2% lower than that consisting of virgin aggregates. Compared to their Type A counterparts, type B mixtures consisting of a reactive emulsion performed better in the Marshall stability and wet track abrasion tests. The initial results confirmed the advantages associated with using RAP for spray injection applications. Further studies will be performed to verify the difference in the optimum mix design and performance obtained in the lab-scale test and tests conducted at the job site by using the spray injection machine.

Keywords

reclaimed asphalt pavement (RAP), cold recycling, asphalt emulsion, Marshall stability, wet track abrasion test, spray injection

Corresponding Author : Rhee, Suk Keun, Professor
Department of Civil and Environmental Engineering,
Kyunghee University, Global Campus, 1732, Deogyong-daero,
Giheung-gu, Yongin-si, Gyeonggi-do, 17104, Korea
Tel : +82.31.201.2900 Fax : +82.31.202.8854
E-mail : skrhee@khu.ac.kr

International Journal of Highway Engineering
http://www.ksre.or.kr/
ISSN 1738-7159 (print)
ISSN 2287-3678 (Online)
Received Feb. 29, 2016 Revised Mar. 03, 2016 Accepted Mar. 25, 2016

1. 서론

1.1 연구의 배경 및 목적

지구온난화에 의해 전 세계적으로 자연·생태적 변화

및 환경 위기가 초래되고 있으며, 이를 해결하기 위해 UN은 지구온난화를 방지하기 위한 기후변화 협약을 1992년에 탄생시키고, 1997년에는 교토의정서를 체결

하였다(Noh et al, 2004). 이러한 시대의 흐름에 따라 우리나라 정부는 저탄소 녹색성장을 국가주도 전략으로 채택하여 2020년까지 온실가스 배출량을 2005년 대비 4% 감축하려는 목표를 세우고 다각도의 노력을 하고 있다. 이에 따라 도로포장 분야에서도 지속가능한 친환경적인 도로포장 기술 개발이 요구되고 있는 실정이다(Kim et al, 2012).

현재 우리나라의 도로포장은 환경의 영향, 교통량의 증가 및 차량의 중량화 등 여러 요인에 의해 설계수명에 이르지 못하고 조기에 노후화가 초래되어 이를 위한 유지보수가 빈번히 시행되고 있다. 이와 같은 노후 아스팔트 콘크리트 포장에서 발생하는 페아스팔트 콘크리트는 주요 건설폐기물로서 이에 대한 적절한 처리는 중대한 사회적 문제로 나타나고 있다.

국내에서 발생하는 페아스팔트 콘크리트 중 상대적으로 고부가가치를 창출하는 도로포장용 순환골재(RAP)는 약 22%만이 사용되어 귀중한 건설재료의 손실이 발생하고 있으며 환경문제까지 야기하고 있는 실정이다. 이에 순환골재를 사용한 포장은 자연환경을 보호하고 부족한 골재수급 문제를 저감시킬 수 있으며 양질의 재료를 이용하여 포장의 공용성을 확보할 수 있어 효율적인 대안으로 제시되고 있다(Kim et al, 2002, Ministry 1999).

최근 기후변화와 교통량의 증가 및 공용차량의 대형화로 인해 도로포장의 영구변형, 균열 및 포트홀 등의 파손이 빈번히 발생하고 있다. 이러한 포장 파손 중 대표적인 국부적 파손형태인 포트홀은 수분, 동결융해 작용, 교통량, 연약지반의 지지력 등 여러 인자들이 복합적으로 작용하여 생성된다. 특히 포트홀은 도로 이용자에게 심각한 사고를 초래할 수 있으므로, 안전성과 주행성에 위험을 주는 요소로 판단되는 즉시 긴급보수를 수행하여야 한다(Hwang et al, 2005).

따라서, 도로포장의 조기 노후화 진행으로 인해 보수공사 시 발생하는 페아스팔트 콘크리트의 순환요인과 국부적 파손에 의한 도로안전을 확보하기 위한 조건을 만족시킬 수 있는 방안이 필요하다. 이에 본 연구에서는 건설 폐기물 중 가장 많이 발생하고 있는 페아스팔트 콘크리트를 100% 순환골재로 이용하고, 속경성 상온 개질 유화 아스팔트를 적용한 상온 긴급보수재료를 개발하기 위해 기계적 특성 분석을 통해 재료에 대한 실험적 분석을 수행하고자 한다. 또한 이를 Spray Injection 공법에 적용하여 긴급 도로 포장 파손 유지보수에 적용하고자 한다.

1.2. 연구의 범위 및 방법

순환골재(RAP)를 긴급보수용으로 사용한 연구사례가 많지 않고 특히 Spray Injection 방식으로 활용된 사례는 거의 조사되지 않았다. 따라서 국내외 순환골재(RAP) 활용 및 이를 이용한 긴급보수방법 관련 문헌조사를 통해 혼합물의 품질평가 방법과 사례, 그리고 Spray Injection 방식의 특성과 사례에 대해 각각 정리하였다.

또한, 실제 공사 현장에서 수집한 순환골재(RAP)를 실물크기 체가름 장비를 이용, 순환 가능한 골재량을 산출하여 이를 본 연구에 활용하였다. Spray Injection 방식과 재료의 성능평가에 관련된 국내 연구사례가 없기 때문에 본 연구에서는 이에 적합한 최적 배합비와 혼합물의 역학적 성질을 평가하고자 한다. 본 연구에서 진행되는 실험에 대한 주요 변수와 시험법은 Table 1과 같은 순서로 진행하였으며, Table 2와 같이 요약하였다.

Table 1. Flow Chart

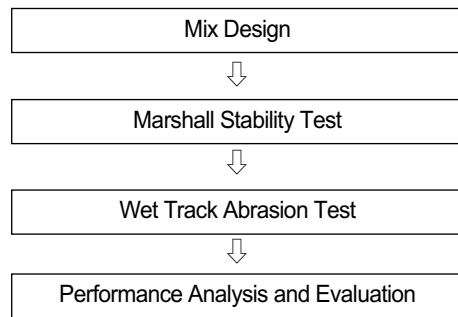


Table 2. Experimental Plan

Test factors		Test values
Mix design	Binder type	Type A : Polymer reactive asphalt emulsion Type B : Latex modified asphalt emulsion
	Binder content (%)	• 7, 8, 9, 10, 11, 12
	Aggregate type	• Recycle aggregate(RAP) • Virgin aggregate(VA)
	Aggregate size	• 2~5mm • 5~10mm
Tests	Marshall stability	• Stability • Flow
	Wet track abrasion	• Curing condition : 25°C for 1 days

2. 기존 연구 및 문헌 고찰

2.1. 도로보수용으로 순환골재(RAP) 재활용

국외의 경우 상온 순환골재 포장은 오래전부터 실행되어 왔지만 실제적인 첨가제 양의 조절 등 포장의 내구성을 높이기 위한 배합설계는 1980년대부터 실행되었다.

상온 순환골재에 대하여 Edward Kearney(1997)가 AAPT에 발표한 바에 따르면 아스팔트 포장의 상온 순환골재 기술은 근래에 개발되었기 때문에 발표된 장기 성능 평가결과는 많지 않지만, 상대적으로 단기성능 평가결과는 상당히 우수하여 상온 순환골재는 빠르게 증가하고 있다고 하였다. 그리고 상온 순환골재는 다양한 형태의 도로 손상에 대해 경제적이고 환경 친화적인 아스팔트 포장 보수 방법이라고 하였으며 가격면에서도 100mm 상온 순환골재 포장은 37mm 덧씌우기보다 더 저렴하고 포장 혼합물의 가열과 운반이 필요없으므로 상당한 양의 에너지가 절약된다고 하였다(Edward et al. 1997).

미국 조지아주 교통국(GEORGIA DEPARTMENT OF TRANSPORTATION : GDOT)은 1995년 순환골재 아스팔트 포장의 장기 공용성을 측정하였다. 순환골재 도로포장 성능을 평가하기 위하여 약 4년간 반복적으로 페아스팔트 콘크리트 순환골재 포장을 시공하여 포장 후 18~27개월에 걸쳐 측정된 품질관련 자료를 통계 분석한 결과 신규 아스팔트 포장과 품질상 다른 점이 없음을 확인하였다(Kandhal et al. 1995).

정동진(2000)은 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).

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

2.2. 포트홀 관련 연구사례 및 보수 방법

손종철(2013)의 “포트홀 저감을 위한 도로포장의 품질 관리 강화 대책”에서는 1990년대 이후 물동량의 급증과

차량하중의 증량화 및 대형화, 대기환경의 변화 등으로 소성변형과 균열, 포트홀 등 도로파손이 급격히 증가하여 유지보수로 인한 막대한 비용 손실이 발생한다고 하였다. 또한 부적절한 포장 재료의 사용과 품질관리체계 미비 등으로 인해 도로의 조기파손을 가속화시켜 도로수명을 현저히 저하시키고 있다고 하였다. 아스팔트 포장의 포트홀을 억제할 경우 운전자의 안전하고 쾌적한 주행성을 보장할 수 있고, 포트홀 발생 30% 저감 시 도로 유지보수 감소로 연간 약 250억 원의 예산을 절감할 수 있기 때문에 아스팔트 포장의 포트홀 발생을 근원적으로 해결하는 노력을 해야 한다고 하였다(Son 2013).

조명환 외 2명의 “아스팔트 콘크리트 포장의 포트홀 유지보수 방안”에서는 포트홀 파손에 대한 보수를 위해 여러 방법들이 적용되고 있으며 대부분의 방법들이 단시간에 빠른 보수를 수행할 수 있는 것을 목표로 한다고 하였다. 포트홀 보수공법 및 예방적 보수공법들은 재료 및 공법의 특성에 따라 장단점을 가지고 있어 아스팔트 콘크리트 포장의 포트홀을 예방하기 위한 공법선정 시 경제성과 중요도 및 긴급성의 정도에 따라 적절한 유지보수공법을 선정해야 하고, 선정된 보수공법에 맞는 절차를 지켜 보수를 수행해야 할 것이라 하였다(Jo et al. 2013).

Wilson and Romine(1993)에 의하면 Strategic Highway Research Program(SHRP)에서 실제 교통량과 기후조건 하에 가장 효과적인 3종류의 긴급도로 보수방법에 대한 설명과 객관적인 평가를 제시하였으며, 이는 Table 3과 같다.

Table 3. Repair Method (Karlsruhe Institute 2015)

Repair method	Description
Throw-and-roll	<ul style="list-style-type: none">• Temporary repair• No previous preparation• Truck tyres compaction
Semi-permanent method	<ul style="list-style-type: none">• Increases performance, Raises cost• Preparation necessary• Forming until vertical reasonable pavement
Spray injection method	<ul style="list-style-type: none">• No compaction• Blow water and debris• Any weather• Spray tack coat binder• Cover layer of aggregate

첫 번째 방법으로 가장 일반적인 포트홀 보수 방법인 Throw and Roll 공법은 물과 잔해물로부터 영향을 받지 않고 파손 부위에 보수재를 채운 후 트럭으로 다짐

한 뒤 다음 보수 지점으로 이동하는 것으로, 이 때 주의 할 점은 다짐된 부위를 봉우리 모양으로 쌓아 두어 교통 개방 후 교통하중에 의해 추가 다짐이 이루어지도록 해야 한다고 하였다.

두 번째 방법으로 Semi-Permanent 공법은 파손 부위를 보수재로 채우기 전 물과 잔해물을 제거하고 단부를 정리한 후 보수재를 채워 다짐기 등으로 다짐을 하고 다음 보수 지점으로 이동하는 것으로, 이는 Throw and Roll 공법보다 수명에 있어 더 우수하지만 많은 작업인원과 장비를 필요로 하므로 생산성이 낮은 단점을 가지고 있다고 하였다.

세 번째 방법으로 Spray Injection 공법은 보수 부위에 공기를 불어 물과 잔해물을 제거하고 바인더를 분사해 태코팅한 후 노즐 안에서 혼합된 아스팔트 바인더와 골재를 채우고 골재층으로 보수면을 덮는 공법으로 깔끔하고 부드러운 보수가 이루어지며 보수재료 투입 후 작업인원과 장비를 철수시킴과 동시에 보수구간을 개방할 수 있는 장점이 있다고 하였다. 보수 작업은 자동 분사차량과 인력을 이용하여 진행되고, 적은 작업인원과 장비가 사용되어 다른 공법들에 비하여 상대적으로 안전한 장점을 제공한다고 하였다.

SHRP 보고서에서 세 가지 보수 공법의 5년간 비용을 비교하여 경제성 분석을 하였다. Throw and Roll, Semi-Permanent, Spray Injection 공법은 각각 재료비로 0.765m³당 44.38달러, 42.08달러, 10.54달러가 사용되었고, 보수 후 수명은 Throw and Roll 공법은 3개월, Semi Permanent 공법은 12개월, Spray Injection 공법은 21개월로 평가되었다. 또한 Throw and Roll과 Spray Injection 두 공법은 보수 재료를 하루에 4톤을 배치할 수 있으며, Semi Permanent는 하루에 1.5톤을 배치할 수 있다고 하였다. 이에 근거하여 Spray Injection 보수 방법이 다른방법들보다 경제적으로 확연히 우수하다는 것을 확인하였다(Wilson et al. 1993).

3. 재료의 특성

3.1. 골재의 물리적 성질

순환골재(RAP)는 도로보수공사가 시행된 2개소(초교, 평교)에서 수집하여 수행하였으며, 신규골재(VA)의 경우 충청북도 음성 일원의 석산에서 수집하여 실험을 진행하였다. 2~5mm 골재는 Table 4와 같이 측정되었으며 신규골재(VA)대비 순환골재(RAP)의 경우

비중이 0.02g/cm³ 감소하고 흡수율의 경우 3.42% 증가하는 결과가 나왔다. 이는 골재의 파쇄에 의한 골재의 손상으로 흡수율이 높게 나타난 것으로 판단된다. 또한 단위중량과 실적률에서는 유사하게 확인되었다.

Table 4. 2~5mm Aggregate Properties of Recycle Materials

Material Properties	Recycle aggregate(RAP)	Virgin aggregate(VA)
Density (g/cm ³)	2.61	2.63
Absorption (%)	4.38	0.96
Unit weight (m ³)	1,510	1,540
Solid volume percentage(%)	59.5	59.6

Table 5에서 보듯이 5~10mm 골재는 2~5mm 골재와 유사한 성질을 확인할 수 있었으며 다만, 순환골재(RAP)에서 흡수율이 2~5mm 골재보다 0.75% 감소함을 알 수 있었다.

Table 5. 5~10mm Aggregate Properties of Recycle Materials

Material Properties	Recycle aggregate(RAP)	Virgin aggregate(VA)
Density (g/cm ³)	2.62	2.63
Absorption (%)	3.63	0.94
Unit weight (m ³)	1,520	1,540
Solid volume percentage(%)	59.3	59.5

따라서 흡수율이 높으면 유화아스팔트에 포함된 물이 골재에 흡수되어 혼합물의 코팅(Coating)에 유해한 작용을 함으로써 골재대비 물을 1.0% 프리믹싱하여 실험을 진행하기로 하였다.

3.2. 바인더의 물리적 성질

Table 6에서 세이볼트 퓨롤 시험결과 Type A는 28.0, Type B는 26.0으로 Type A에서 2.0 높은 결과 값을 확인하였다. 또한 체잔류분은 0.00%로 모두 통과하였으며 입자의 전하는 모두 양이온계로 측정되었다.

증발잔류분에서는 Type A 61.0%, Type B 57.0%로 4.0%의 차이를 보였다. 증발잔류 침입도에서는 Type A가 58.0으로 Type B에 비해 3.0% 높은 결과를 확인 하였으며 증발잔류 신도에서는 Type A 76.0, Type B 68.0으로 Type A가 8.0 높았으며 증발잔류분 삼염화 에탄가용분에서는 모두 99.0% 이상으로 측정되었다.

Table 6. Binder Property

Material	Type A	Type B
Properties		
Viscosity, Saybolt furol (25°C)	28.0	26.0
Sieve test(1.18mm) (%)	0.00	0.00
Particle charge (±)	Cationic (+)	Cationic(+)
Distillation residue (%)	61.0	57.0
Residue penetration (25°C, 1/10mm)	58.0	55.0
Residual ductility (15°C, cm)	76.0	68.0
Solubility in trichloroethylene, or N-propyl bromide (%)	99.47	99.42

3.3. 순환골재(RAP)의 체가름 비교 시험

현장에서 Fig. 1과 같이 체가름 장비를 이용하여 10mm 이상, 5~10mm, 2~5mm, 2mm 이하의 골재에 대한 체가름 시험을 실시하였다. 또한 상대비교를 위하여 현장에서 채취한 순환골재(RAP)를 실내에 반입하여 Fig. 2와 같이 표준 체가름 실험을 현장 체가름 장비와 같은 재료로 비교 실시하여 상대적 골재량을 평가하고자 하였다.



〈Front View〉



〈Over 10mm〉

〈Under 2mm〉



〈2~5mm〉

〈5~10mm〉

Fig. 1 Screen Using Field Screen Equipment



〈Front View〉



〈Over 10mm〉

〈Under 2mm〉



〈2~5mm〉

〈5~10mm〉

Fig. 2 Laboratory Screening Device

현장에서 장비를 이용하여 체가름을 수행한 결과 2~5mm 골재는 중량대비 25.0%가 채취 가능하고 5~10mm의 골재도 거의 동등하게 수집이 가능하다. 다

만, 10mm 이상, 2mm 이하의 경우 각각 26, 23%로 Fig. 3과 같이 측정되었으며, 49.0% 폐기물이 발생하는 것을 확인하였다. 또한 실내에서 동시에 진행된 체가름 시험의 경우 Fig. 4와 같이 10mm 이상에서는 23.0%, 5~10mm 26.0%, 2~5mm 24.0%, 2mm 이하 27.0%로 현장 체가름 장비와 유사한 결과를 확인하였다.

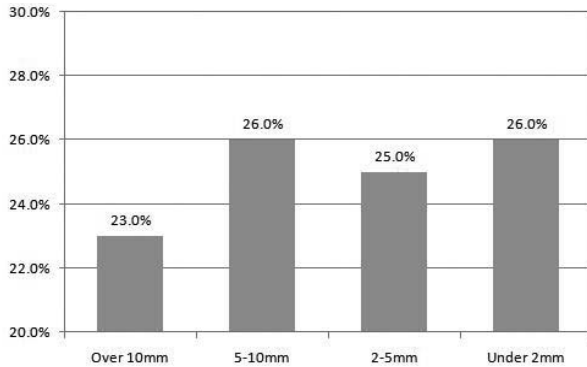


Fig. 3 Result of Field Screen Equipment

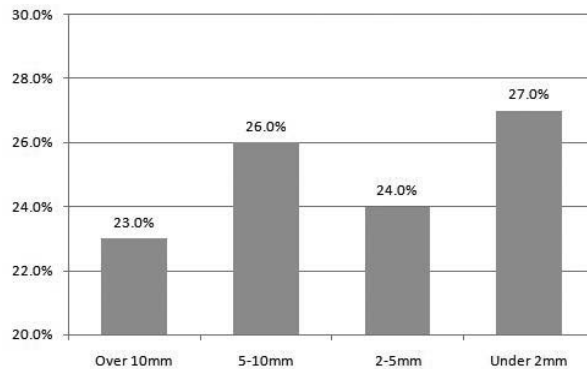


Fig. 4 Result of Laboratory Screening

4. 배합 설계

긴급보수용 바인더 두 종류(Type A, Type B)를 사용하여 순환골재(RAP)와 신규골재(VA) 2~5mm, 5~10mm 각각에 바인더 함량을 조정하여 진행하였다. 바인더 Type A에서 순환골재(RAP)의 경우 7~10%, 신규골재(VA)는 9~11% 혼합하였고 바인더 Type B는 순환골재(RAP)에서 7~9%, 신규골재(VA)의 경우 9~12%를 혼합하여 배합설계를 수행하였다. 또한, 바인더 Type A의 경우 첨가제(Mineral Filler)를 바인더 대비 20% 혼합하여 진행하였다. Table 7, 8과 같이 마샬 안정도 및 습윤마모시험 공시체를 각각 3개씩 제작하였고 Table 9, 10에서는 마샬 안정도만 수행하였으며, 이는 시편의 높이가 6.35mm로써 5~10mm 골재에서는 제작이 불가능하므로 2~5mm 골재만 진행하였다.

Table 7. Mix Design (Type A, 2~5mm)

Mixture	Binder content (%)	Aggregate type	Aggregate size (mm)	Additives content (%)
A-RAP-07	7	Recycle	2~5	20
A-RAP-08	8			
A-RAP-09	9			
A-RAP-10	10			
A-VA-09	9	Virgin	2~5	20
A-VA-10	10			
A-VA-11	11			

Table 8. Mix Design (Type A, 5~10mm)

Mixture	Binder content (%)	Aggregate type	Aggregate size (mm)	Additives content (%)
A-RAP-07	7	Recycle	5~10	20
A-RAP-08	8			
A-RAP-09	9			
A-RAP-10	10			
A-VA-09	9	Virgin	5~10	20
A-VA-10	10			
A-VA-11	11			

Table 9. Mix Design (Type B, 2~5mm)

Mixture	Binder content (%)	Aggregate type	Aggregate size (mm)	Additives content (%)
B-RAP-07	7	Recycle	2~5	-
B-RAP-08	8			
B-RAP-09	9			
B-VA-09	9			
B-VA-10	10	Virgin	2~5	-
B-VA-11	11			
B-VA-12	12			

Table 10. Mix Design (Type B, 5~10mm)

Mixture	Binder content (%)	Aggregate type	Aggregate size (mm)	Additives content (%)
B-RAP-7	7	Recycle	5~10	-
B-RAP-8	8			
B-RAP-9	9			
B-VA-9	9			
B-VA-10	10	Virgin	5~10	-
B-VA-11	11			
B-VA-12	12			

골재 채취는 실내 체가름을 통하여 순환골재(RAP)와 신규골재(VA)의 단입도로 선별하여 건조기에 24시간 동안 절대건조 상태를 만들어 준비하였다. 또한 선별된

골재는 배합 전 1%의 물을 투입해 표면의 유화아스팔트의 흡수에 의한 영향을 최소화하였다. Table 7, 8에서 마샬 안정도, 습윤마모시험을 통하여 최적의 배합비를 도출하고자 하였으며 신규골재(VA)와 순환골재(RAP)의 현장 적용에 따른 공용성을 보다 정량적으로 평가하고자 하였다.

5. 시험방법 및 결과분석

시험 분석은 마샬 안정도 및 흐름치, 습윤마모시험을 진행하였으며, 품질 기준은 Table 11과 같다.

Table 11. 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
Wet track abrasion(g/cm ²)	under 0.080744

5.1. 마샬 안정도 시험

마샬 안정도 시험은 KS F 2337에 의해서 만들어진 공시체에 대하여 KS F 2369에 준하여 마샬 안정도와 흐름값 시험을 진행하였으며 마샬다짐방법으로 양면 75회 다짐 후 Fig. 5와 같이 16~19시간 상온에 방치 후 탈영



Fig. 5 Curing



Fig. 6 Marshall Stability Machine

하여 시험 전 25(±1)°C의 공기욕조 안에서 2시간 양생 후 25°C를 유지하고, 분당 50±5mm 재하 속도로 Fig. 6과 같이 공시체에 하중을 가하여 실험을 진행하였다.

Table 12. Type A(2~5mm) Result of Marshall Stability Test

Mixture	Marshall stability, N	Flow (1/10mm)
A-RAP-07	11,270	21.5
A-RAP-08	12,128	22.4
A-RAP-09	12,360	24.0
A-RAP-10	11,513	26.4
A-VA-09	11,690	21.3
A-VA-10	12,335	25.7
A-VA-11	9,740	28.9

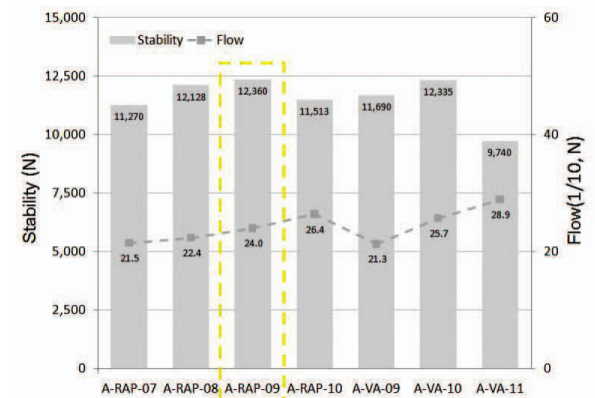


Fig. 7 Type A(2~5mm) Result

Type A 바인더에서 2~5mm 신규골재(VA)와 순환골재(RAP)의 경우 Table 12, Fig. 7과 같이 최저 안정도는 신규골재 11%(A-VA-11)에서 9,740으로 품질기준 대비 3.90배 높은 수치를 확인하였으며, 순환골재 9%(A-RAP-09)에서 12,360으로 최대의 안정도를 보였고 품질기준 대비 4.94배 높은 결과를 보였으며 흐름치는 모두 품질기준에 만족하였다.

Table 13. Type A(5~10mm) Result of Marshall Stability Test

Mixture	Marshall stability, N	Flow (1/10mm)
A-RAP-07	10,645	22.1
A-RAP-08	10,660	22.0
A-RAP-09	11,448	24.0
A-RAP10	9,303	28.0
A-VA-09	11,333	28.8
A-VA-10	13,120	30.4
A-VA-11	11,195	33.2

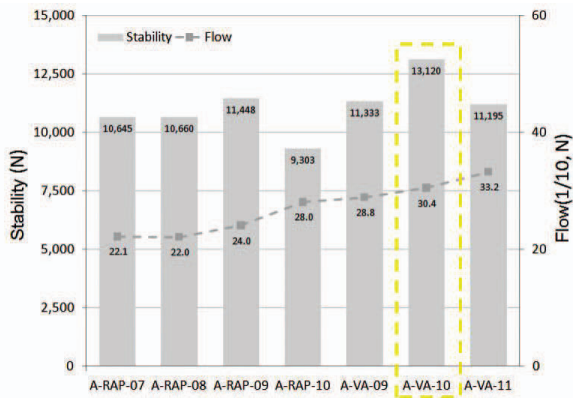


Fig. 8 Type A(5~10mm) Result

Type A 바인더에서 5~10mm 신규골재(VA)와 순환골재(RAP)의 경우 Table 13, Fig. 8과 같이 최저 안정도는 순환골재 10%(A-RAP-10)에서 9,303으로 측정되었고, 품질기준 대비 3.72배 높았으며, 신규골재 9%(A-VA-09)는 13,120으로 5.25배 높은 최대 안정도를 확인하였으며 흐름치는 모두 품질기준에 만족하였다.

Table 14. Type B(2~5mm) Result of Marshall Stability Test

Mixture	Marshall stability, N	Flow (1/10mm)
B-RAP-07	4,120	35.2
B-RAP-08	4,657	38.1
B-RAP-09	4,135	39.9
B-VA-09	7,263	27.1
B-VA-10	7,450	30.5
B-VA-11	6,130	32.4
B-VA-12	5,555	36.6

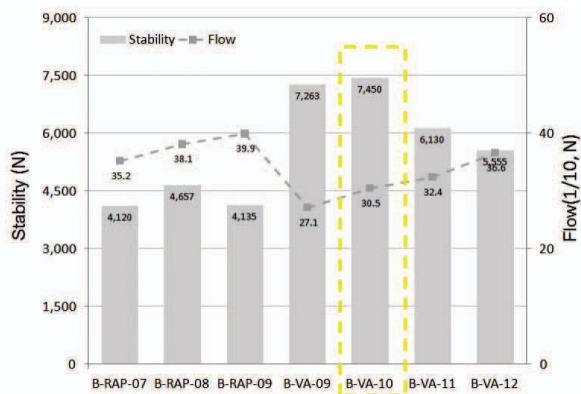


Fig. 9 Type B(2~5mm) Result

Type B 바인더에서 2~5mm 신규골재(VA)와 순환골재(RAP)의 경우 Table 14, Fig. 9와 같이 최저 안정도는 순환골재 7%(B-RAP-07)에서 4,120으로 측정되었

으며 신규골재 10%(B-VA-10)에서 7,450으로 최대 안정도를 확인하였다. 흐름치는 모두 품질기준에 만족함을 알 수 있었다.

Table 15. Type B(5~10mm) Result of Marshall Stability Test

Mixture	Marshall stability, N	Flow (1/10mm)
B-RAP-7	4,130	26.4
B-RAP-8	4,308	31.0
B-RAP-9	3,785	32.0
B-VA-9	6,893	24.0
B-VA-10	7,378	30.0
B-VA-11	6,490	30.0
B-VA-12	6,225	33.4

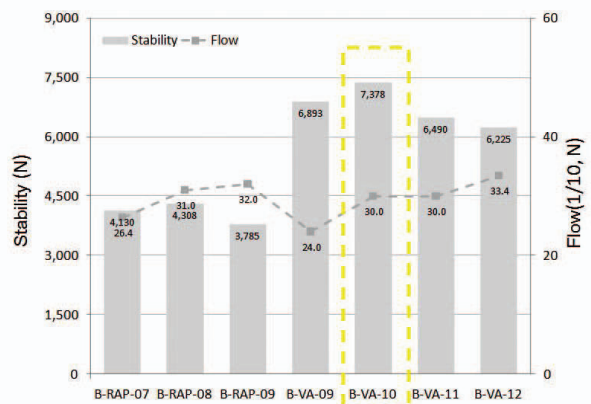


Fig. 10 Type B(5~10mm) Result

Type B 바인더에서 5~10mm 신규골재(VA)와 순환골재(RAP)의 경우 Table 15, Fig. 10과 같이 최저 안정도는 순환골재 9%(B-RAP-09)에서 3,785로 측정되었으며 품질기준 대비 1.51배 높게 측정되었다. 또한 최대 안정도는 신규골재 10%(B-VA-10)에서 7,378로 2.95배 높은 수치를 확인하였으며 흐름치의 경우 모두 품질기준에 만족하는 결과를 확인하였다.

5.2. 습윤 마모 시험

습윤 마모 시험은 아스팔트 콘크리트 포장의 표면처리용 혼합물에 대하여 습윤 상태의 마모 저항성능과 최적 아스팔트 함량 결정을 위하여 진행하였다. ASTM D 3910에 따르면 시편은 몰드에서 제거한 후 건조기 60℃에서 15시간 이상 건조시키고 건조된 시편은 실온에서 질량을 측정한다. 이후 25℃ 수조에서 60~75분간 수침시킨 후 Fig. 11과 같은 습윤 마모 시험기에서 5.15초 작동시킨다. 시험이 끝나면 시편을 깨끗하게 씻고 60℃

건조기에서 함량이 될 때까지 건조시킨 후 실온에서 질량을 측정하고 Eq. (1)과 같이 계산한다.

Table 16은 본 연구의 방법과 ASTM 3910 차이가 있으며 이는 현장 조건에 적합한 품질을 확인하고자 차이를 두었다. 본 연구에서 제안한 시험방법으로는 25℃ 상온에서 24시간 양생하였으며, 시험 후 시료를 25℃ 상온에서 25~48시간 건조하는 시험방법의 차이를 주었으며, 이외 방법은 ASTM 3910 시험방법에 준하여 실시하였다.



Fig. 11 A-120 Wet Track Abrasion Test Machine

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

M¹: the original mass of the specimen, in grams

M²: the mass of the specimen after abrasion, in grams

F : Conversion Factor

A : Cross Sectional Area

Table 16. Testing Method Comparison for WTAT

Test items	This research	ASTM 3910
Curing condition	25℃ for 24 hour	60℃ for 15~24 hour
Water bath for	Test right after curing	Test after 60~75min
Dry to constant	25℃ for 25~48 hour	60℃ for absolute dry time

상온(25℃)에서의 신규골재(VA)와 순환골재(RAP)를 비교하여 습윤마모시험을 수행한 결과, Table 17과 같이 순환골재 10%(A-RAP-10)에서 마모저항성이 가장

우수함을 알 수 있었다. 또한, Table 17, Table 18에서 바인더 함량이 높아질수록 마모저항성이 우수함을 확인할 수 있었다. 신규골재(VA)보다 순환골재(RAP)에서 마모저항성이 우수하였으며 품질기준에 모두 만족하였으나 Type B의 신규골재(VA)에서는 장비의 가동 1/2 시간만에 면적의 90% 이상 탈리현상이 발생하여 시험을 중지하였다.

Table 17. Type A (2~5mm) Result of Wet Track Abrasion Test

Mixture	Abrasion loss g/cm ²	Note
A-RAP-07	0.038	Pass
A-RAP-08	0.034	Pass
A-RAP-09	0.023	Pass
A-RAP-10	0.021	Pass
A-VA-09	0.057	Pass
A-VA-10	0.053	Pass
A-VA-11	0.052	Pass

Table 18. Type A(2~5mm) Result of Wet Track Abrasion Test

Mixture	Abrasion loss g/cm ²	Note
B-RAP-07	0.069	Pass
B-RAP-08	0.064	Pass
B-RAP-09	0.061	Pass
B-VA-09	Inaccessible state	N.G
B-VA-10		N.G
B-VA-11		N.G
B-VA-12		N.G

바인더 Type A 2~5mm 순환골재(RAP)와 신규골재(VA)를 비교한 결과 Fig. 12, 13과 같이 신규골재(VA)보다 순환골재(RAP)에서 마모저항성이 우수하였다. 또한 순환골재 10%(A-RAP-10)의 경우 품질기준 대비 3.84배 높은 결과를 확인하였고, 신규골재 11%(A-VA-11)에서는 1.55배로 높은 것으로 나타나 순환골재(RAP)에서 우수한 습윤마모저항성을 확인하였다.

바인더 Type B 2~5mm 경우 Fig. 14와 같이 순환골재(RAP)에서만 측정이 가능하였으며 신규골재(VA)는 장비 가동 1/2시간만에 면적의 90% 이상 탈리로 시험이 불가능하였다. 순환골재(RAP)의 경우 0.069~0.061로 품질기준에 만족함을 확인하였다.

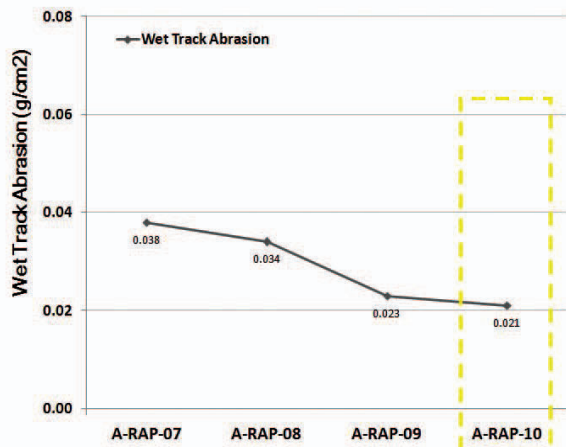


Fig. 12 Type A 2~5mm Wet Track Abrasion Test

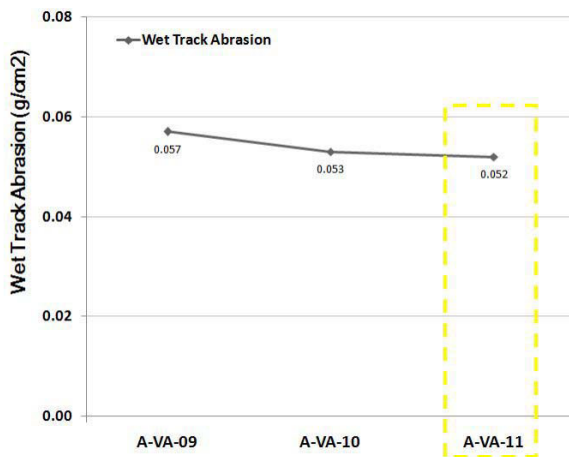


Fig. 13 Type A 2~5mm Wet Track Abrasion Test

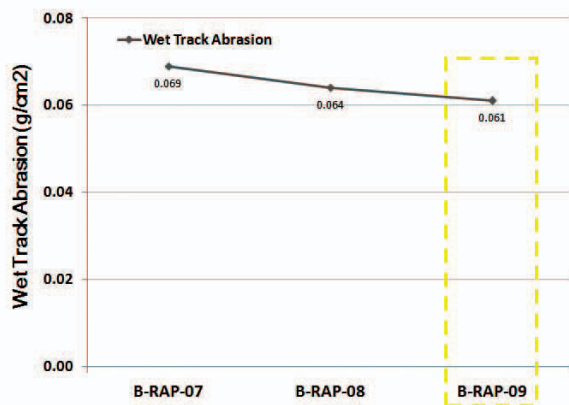


Fig. 14 Type B 2~5mm Wet Track Abrasion Test

5.3. 최적 배합비 도출

본 연구에서 수행된 순환골재(RAP)와 신규골재(VA)의 시험 결과 순환골재(RAP)에서도 우수한 성질을 확

인하였으며 이를 바탕으로 순환골재(RAP)의 마찰 안정도와 습윤마모시험을 통해 최적의 배합비를 도출하고자 하였다.

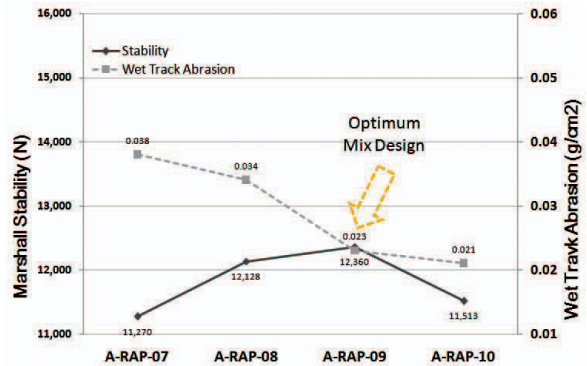


Fig. 15 Type A Result of Optimum Mix Design

Fig. 15에서는 바인더 함량이 적을수록 마모량이 높았으며 바인더량이 증가할수록 안정된 성질을 확인하였다. 다만 바인더 함량이 과다하면 마찰 안정도 값이 감소하는 성질을 확인하였다. 순환골재 9%(A-RAP-09)에서 안정도와 마모 저항성이 우수함을 알 수 있었다.

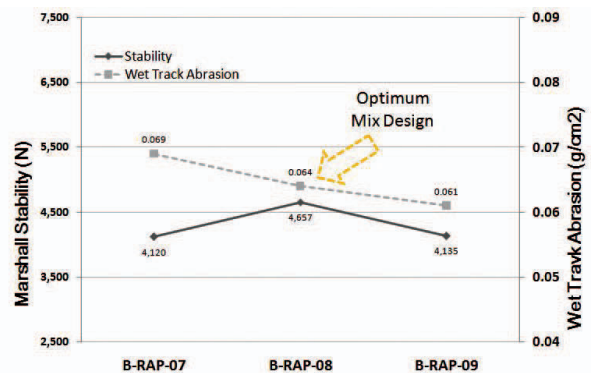


Fig. 16 Type B Result of Optimum Mix Design

바인더 Type B에서는 Fig. 16과 같이 순환골재 8%(B-RAP-08)에서 가장 우수한 성능을 확인하였다.

6. 결론

본 연구에서는 Spray Injection 방식으로 현장의 긴급 보수가 가능한 순환골재(RAP)를 사용한 혼합물의 최적 배합을 마찰 안정도와 습윤마모시험을 통해 평가하였으며, 시험결과는 다음과 같다.

1. 현장 실물 체가름 장치를 이용한 체가름을 통해 약

51% 환원골재의 수집이 가능하였으며 실내 체가름 시험 결과 유사한 환원률을 확인하였다. 현장에서 수집하는 순환골재(RAP)의 종류, 상태에 따라 환원률에 변동이 있을 수 있으나 재활용 가능한 순환골재(RAP)가 약 50% 내외가 될 것으로 예상할 수 있다.

2. 안정도, 습윤마모시험 결과, Type B보다 Type A 바인더에서 높은 품질성능을 확인하였으며 Type B에서도 품질기준에 만족하는 결과를 보여주었다.
3. 신규골재(VA)보다 순환골재(RAP)의 사용으로 1~2%의 바인더 절감효과를 나타내었으며 시험 결과 값으로도 신규골재(VA)보다 우수한 성능을 확인하였다. 따라서 Spray Injection 방식으로 순환골재(RAP)를 활용하면 공법의 경제성과 성능을 높일 수 있을 것으로 예상된다.

그러나 본 연구는 혼합물의 안정도 및 습윤마모 저항성에 대한 시험 결과를 분석한 것이므로, 향후 양생시간, 온도에 따른 습윤마모시험을 통해 긴급보수에 따른 교통개방 시간 등 공용성능 평가에 대한 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

Edward. J., Kearney, P. E., (1997), Cold Mix Recycling : State-of-the-Practice, Proc. AAPT.

Hwang. S. D., Rhee. S. G., Kim. Y. M., Lee. J. I., (2005), Evaluation of emergency pothole repair material for Asphalt Pavements using polyurethane, Annual domestic conference of the Korean Society of Civil Engineering, pp. 5303-5306.

Jeong. D. J., (2000), (A) Study for Activated Recycling of Scraped

Asphalt Concrete. A Master's thesis, Yonsei University, Korea.

Jo. M. H., Yoon. S. W., Lee. Y. H., (2013), Measure for maintenance of asphalt concrete pavement pothole, Journal of the Korean Society of Road Engineers, Vol.15, No.2, pp. 43-51.

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.

Karlsruhe Institute of Technology, (2012), “Pothole - Study of existing standards, techniques, materials and experience with them on the European market” .

Kim. A. S., (2002), An Evaluation of Application of In-Situ Recycled Asphalt Mixtures, A Master's thesis, Kyungnam University, Korea.

Kim. Y. J., Kim. T. S., (2012), A Study on Development of Systematic Greenhouse Gas Reduction(GHGR) Framework for Low-Carbon Green Growth, Autumn domestic conference of the Korean Institute of Industrial Engineering, pp. 384-393.

Mamlouk. M. S., Ayoub N. F., (1983), Evaluation of Long-Term Behavior of Cold Recycled Asphalt Mixture, TRR 911, TRB, pp. 64-66.

Ministry of Construction & Transportation, Ministry of Environment, (1999), Recycle Guideline of construction waste disposal act. the Ministry of Construction and Transportation notice, Vol.1999, No.218, the Ministry of Environment notice, Vol. 1999, No. 117.

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

Noh. D. Y., Gang. Y. J., Sin. J. S., (2004), Influence of policy for reducing emission to productivity of manufacturing business, Korea Energy Economics Institute, Research Report.

Son. J. C., (2013), Measure for strengthening of quality management for reducing the pothole, Journal of the Korean Society of Road Engineers, Vol. 15, No. 4, pp. 39-43.

Wilson. T. P., Romine. A. R., (1993), Innovative Materials Development and Testing Volume2: Pothole Repair, Strategic Highway Research Program, National Research Council, Washington, DC.