

플랜트 생산 재활용 상온 혼합물의 도로 표층 적용성에 관한 기초연구

Fundamental Study on the Application of a Surface Layer using Cold Central-Plant Recycling

최준성 Choi, Jun Seong | 정회원 · 인덕대학교 토목환경공학과 정교수 · 공학박사 · 교신저자 (E-mail : soilpave@induk.ac.kr)

ABSTRACT

PURPOSES : This study determined the optimal usage rate of RAP (reclaimed asphalt pavement) using cold central-plant recycling (CCPR) on a road-surface layer. In addition, a mixture-aggregate gradation design and a curing method based on the proposed rate for the surface-layer mix design were proposed.

METHODS : First, current research trends were investigated by analyzing the optimum moisture content, mix design, and quality standards for surface layers in Korea and abroad. To analyze the aggregate characteristics of the RAP, its aggregate-size characteristics were analyzed through the combustion asphalt content test and the aggregate sieve analysis test. Moreover, aggregate-segregation experiments were performed to examine the possibility of RAP aggregate segregation from field compaction and vehicle traffic. After confirming the RAP quality standards, coarse aggregate and fine aggregate, aggregate-gradation design and quality tests were conducted for mixtures with 40% and 50% RAP usage. The optimum moisture content of the surface-layer mixture containing RAP was tested, as was the evapotranspiration effect on the surface-layer mixture of the optimum moisture content.

RESULTS : After analyzing the RAP recycled aggregate size and extraction aggregate size, 13-8mm aggregate was found to be mostly 8mm aggregate after combustion. After using surface-chipping and mixing methods to examine the possibility of RAP aggregate segregation, it was found that the mixing method contributed very little for 3.32%, and because the surface-chipping method applied compaction energy directly as the maximum assumption the separation ratio was 15.46%. However, the composite aggregate gradation did not change. Using a 40% RAP aggregate rate on the surface-layer mixture for cold central-plant recycling satisfied the Abroad quality standard. The optimum moisture content of the surface-layer mixture was found to be 7.9% using the modified Marshall compaction test. It was found that the mixture was over 90% cured after curing at 60°C for two days.

CONCLUSIONS : To use the cold central-plant recycling mixture on a road-surface layer, a mixture-aggregate gradation design was proposed as the RAP recycled aggregate size without considering aggregate segregation, and the RAP optimal usage rate was 40%. In addition, the modified Marshall compaction test was used to determine the optimum moisture content as a mix-design parameter, and the curing method was adapted using the method recommended by Asphalt Recycling & Reclaiming Association (ARRA).

Keywords

Cold central-plant recycling (CCPR), Reclaimed asphalt pavement (RAP), possibility of aggregate segregation, optimal RAP usage rate, mix design parameter

Corresponding Author : Choi, Jun Seong, Professor
Induk University, 12, Choansan-ro, Nowon-gu, Seoul, 01878, Korea
Tel : +82.2.950.7565 Fax : +82.2.950.7579
E-mail : soilpave@induk.ac.kr

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

Received Dec. 22, 2017 Revised Dec. 23, 2017 Accepted Jan. 14, 2018

1. 서론

최근 우리나라뿐만 아니라 전 세계적으로 국가 산업발전의 위해 발생한 환경오염에 대한 대책의 일환으로서 온실가스를 배출하지 않고 가열에너지의 소비가 없는, 페아스팔트 콘크리트포장재를 골재로 재활용한 재활용 상온 포장공법을 개발 및 연구 중에 있다. 현재 우리나라는 온실가스 배출량이 교통부문에서 94.4%(2012년 기준)에 이르고 있으며, 최근 20년간에 우리나라의 이산화탄소(CO₂) 배출 증가속도가 OECD(Organization for Economic Cooperation and Development) 국가 중 가장 높은 증가세(2016년 기준)를 보이고 있다. 이와 같이 교통부문이 온실가스 배출에 차지하는 비중이 90% 이상이기 때문에 우리나라에서도 교통부문에서 온실가스 및 탄소발생을 저감하기 위한 대책 및 기술개발에 관한 연구가 활발히 진행되고 있는 추세이다.

현재 플랜트 생산 재활용 상온(CCPR: Cold Central Plant Recycling) 혼합물의 경우 기존의 가열 아스팔트 혼합물에 비해서 양생기간 및 조기강도 확보가 어려워 교통량이 적은 기층용으로만 사용되어 왔으며, 전 세계적으로 재활용 상온 표층 아스팔트는 아직 연구초기 단계이기 때문에 아스팔트 포장의 성능을 구현하는 가능성을 타진하고, RAP(Reclaimed Asphalt Pavement)골재를 실내에서 상온 표층 아스팔트 혼합물 공용성능을 분석하는 연구를 진행하고 있다.

본 연구에서는 페아스팔트 콘크리트 골재를 사용할 경우 절삭에 의해서 발생하는 큰골재들이 입경이 작은 골재들이 묻혀있는 경우들이 있으므로 연소식 AP함량 시험을 통해 RAP골재 추출입도 분석을 실시하고 선회다짐을 통해 RAP골재 분리 가능성을 확인하고자 한다. 또한, 기존 연구에서 제시된 RAP 사용비율을 최적 입도설계 및 품질시험을 실시하여 국외 기준으로 검증하고자 한다. 이를 위하여 먼저 기존 연구를 토대로 최적함수비 실험방법을 비교분석하고 증발산 영향 실험을 통해 재활용 상온 표층 아스팔트의 양생기간을 제시하고자 한다.

2. 국내·외 연구동향

현재 재활용 상온 아스팔트 혼합물의 배합설계는 표준화된 방법은 없고 국가마다의 환경영향에 따른 양생방법과 품질 시험법 및 품질기준이 다소 상이하다.

또한 우리나라의 경우 일반적으로 마샬다짐 시험을 사용하고 있기 때문에 마샬다짐 방법을 기준으로 국내

·외 연구동향을 조사하여 RAP골재를 적용한 혼합물을 만들기 위한 Table 1의 최적함수비 및 Table 2의 양생방법들을 조사·분석하였다.

Table 1. Korea and USA Optimum Moisture Content Test Method Research

Korea	USA
Ministry of Land, Infrastructure and Transport (2017)	Asphalt Institute (2001)
Add the water in a aggregate	Add the water in a aggregate
Mix emulsified asphalt with aggregate	Mix emulsified asphalt with aggregate
Mixing aeration required until optimum moisture content is reached	Mixing aeration required until optimum moisture content is reached
Compaction of the specimen 75 blow on both sides	Compaction of the specimen 50 blow on both sides
Curing for 1 day at room temperature and then extrusion	Curing for 1 day at room temperature and then extrusion
Measuring the dry density of a specimen	Measuring the dry density of a specimen
Determine the moisture content that provides the highest density with the optimal moisture content	Determine the moisture content that provides the highest density with the optimal moisture content

Table 2. Korea and Abroad Mix-Design Curing Method Research

Country	Curing Method
Ministry of Land, Infrastructure and Transport (Korea)	1. Curing at 60°C for 2 day in mold 2. Curing at 25°C for 1 days after demolding
Asphalt Institute (USA)	1. Curing at room temperature 25°C a day 2. Curing at 38°C for 1 day in mold 3. Curing at 25°C for 5 days after demolding
Asphalt Recycling & Reclaiming Association (USA)	1. Curing at 60°C for 2 day in mold 2. Curing at 25°C for 1 days after demolding (Demolding the mixture from surface temperature 35°C)
Kangwon National University (Korea)	1. Curing for 45 minutes on a 40.6°C pan 2. 75 times marshall compaction in 22.7°C mold 3. Curing in mold for 15-24 hours at 22.7°C 4. Mold demolding and curing at 40°C for 3 days 5. Marshall stability test
Torbjöm, J. (Sweden)	1. 7 days 40°C 2. Stability marshall 25°C
Alex, K. A. (USA)	1. 72 h at 40.6°C(3day) 2. 72 h at 40.6°C, covered(3day) 3. 48 h at 60°C(2day) 4. 168 h at 25°C(7day)

Table 3의 국내·외 품질기준을 살펴보면, 국내의 경우 기준이 없으며, 해외에서도 재활용 상온 표층 아스팔트 혼합물의 품질기준 정립을 위해 연구초기단계임을 알 수 있다.

Table 3. Korea and Abroad Recycled Cold Asphalt Quality Standards

Test method	Korea (Base layer) ^{*1}		Abroad (Surface layer)	
	Ministry of Land, Infrastructure and Transport (2017)	KATS(GR) (2017)	Torbjöm, J. (Sweden)	Rongji, C. (China)
Marshall stability (N)	More than 6000	More than 6000	More than 5000	Report
Flow (mm)	10-40	10-40	-	-
Air void (%)	9-14	9-14	4-12	9-14
ITS (g/cm ³)	More than 0.4	More than 0.4	More than 0.3	More than 0.3
Marshall compaction blow	75	75	75	75

*1. In Korea, There is No Surface Quality Standard

Sravani et al.(2015)은 재활용 상온 표층 아스팔트 혼합물을 선화다짐으로 간접인장강도 시험을 실시하여 RAP골재 사용량에 따른 최적 유제 아스팔트 함량을 분석하여 3.5~5%로 제시하고 있다.

3. RAP 골재의 상온 표층 적용성 검토

3.1. 연소 시험을 통한 RAP골재 입도분석

본 연구의 개념 정립을 위해 치수별로 적재된 RAP골재를 연소식 AP함량 시험기를 통해 연소시킨 후 골재 체가름 시험방법에 의하여 RAP 원골재와 추출입도의 특성을 분석하였다.

아스팔트 연소식 AP함량시험기를 통한 RAP 추출입도의 특성을 분석한 결과, Table 4와 같이 RAP 원골재의 구재 아스팔트 바인더 함량은 평균 4.37%로써 Table 9의 RAP 골재 구재 아스팔트 바인더 함량 품질기준 3.8%를 만족하며, 특히 8mm 이하 원골재의 구재 아스팔트 바인더 함량이 높음을 알 수 있다. 또한, Fig. 1과 같이 골재 크기별로 RAP 25-13mm골재는 구재 아스팔트 혼합물 연소 시 골재들이 떨어져 분리되었기 때문에 13-10mm골재로 입도가 작아지고, Fig. 2의

RAP 13-8mm골재는 Table 5와 같이 8mm 이하로 작아짐을 알 수 있다.

Fig. 3과 Table 6의 8mm 이하 골재에서는 큰 변화가 없음을 알 수 있다. 따라서 RAP골재에서 구재 아스팔트 바인더로 코팅되어 있는 골재들이 분리가 일어날 경우 25-13mm는 13mm 이하로 작아지나 RAP 원골재가 20mm 이상으로 남을 수 있으므로 WC-3~WC-5 골재원으로 타당하지 않을 것으로 판단된다. 그러므로 본 연구에서는 우선적으로 플랜트생산 재활용 상온혼합물 표층의 최대입경을 WC-1 기준으로 분석을 수행하였다.

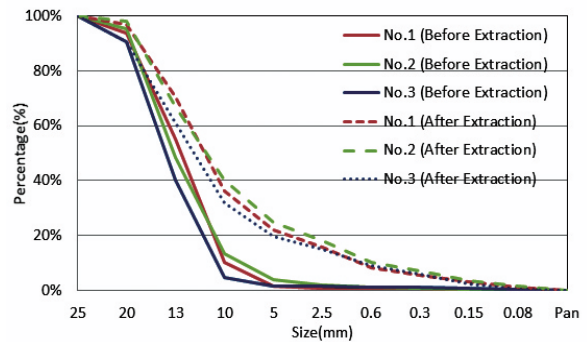


Fig. 1 25-13mm RAP Extraction Aggregate Sieve Analysis Result

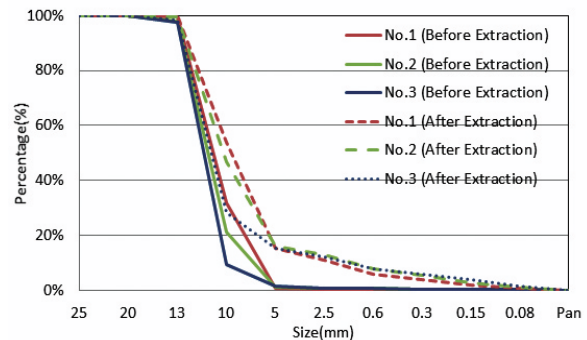


Fig. 2 13-8mm RAP Extraction Aggregate Sieve Analysis Result

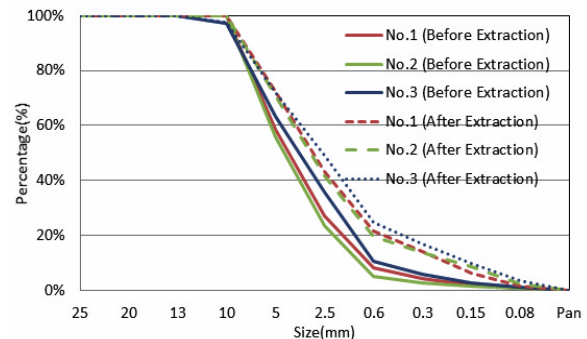


Fig. 3 8-0mm RAP Extraction Aggregate Sieve Analysis Result

Table 4. Asphalt Combustion Content Test Result

Aggregate size	RAP aggregate asphalt binder average ratio
25-13mm	4.13%
13-8mm	3.15%
8-0mm	5.84%
Average	4.37%

Table 5. 13-8mm RAP Extracted Aggregate Analysis

Aggregate size(mm)	RAP original aggregate(%)	Extracted aggregate (%)	Variation ratio(%)
13	98.36	99.3	0.94
10	20.84	42.91	22.07
5	1.18	15.53	14.35
2.5	0.8	12.08	11.28
0.6	0.6	7.27	6.67
0.3	0.51	5.12	4.61
0.15	0.39	2.72	2.34
0.08	0.25	1.12	0.87

Table 6. 8-0mm RAP Extracted Aggregate Analysis

Aggregate size(mm)	RAP original aggregate(%)	Extracted aggregate (%)	Variation ratio(%)
5	100	71.63	28.37
2.5	99	44.86	54.15
0.6	59.23	21.91	37.31
0.3	28.8	15.03	13.78
0.15	8.08	8.21	0.13
0.08	4.35	2.55	1.81

3.2. 현장 다짐시 RAP 원골재의 분리가능성 검토

RAP골재는 Fig. 4와 같이 RAP 원골재가 잔골재들의 조합으로 뭉쳐있을 수 있으므로 다짐시 다짐에너지에 따라서 골재분리가 되어 최종 현장입도가 합성입도를 벗어날 수 있다. 이러한 가능성을 확인하고자 본 연구에서는 분리가능성을 최대한으로 구현하기 위하여 RAP골재 100%를 사용하여 Fig. 5와 같이 선회다짐으로 공시체를 제작하였다. 제작된 공시체가 현장 다짐 상태를 구현하였다고 가정하여 공시체를 다시 해체하여 체분석을 통하여 합성입도 적정성을 검토하였다. Table 5의 추출입도 변화를 살펴보면 13~10mm 변화가 가장 크므로 공시체 제작시 13-10mm 골재의 분리가능성을 분석하고자 13-10mm골재를 페인트칠하여 분리가능성 시험 전후의 페인트 골재 중량 및 체분석으로부터 현장에서 포설 후 다짐시 골재분리 가능성을 확인하고자 하였다.

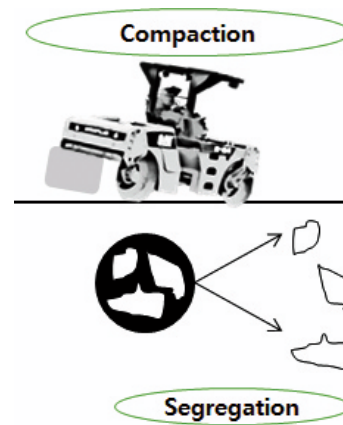


Fig. 4 Review the Possibility of Separating Aggregates

골재분리현상의 실험방법은 상온빈 골재 중 10mm 이상 골재를 페인트로 칠하여 Fig. 6(a)와 같이 페인트 골재를 치핑한 골재치핑실험과 Fig. 7(a)와 같이 페인트 골재를 공시체 제작시 혼합한 골재혼합실험의 두 가지 방법으로 실시하였다. Fig. 6(a)의 골재치핑실험은 골재분리 가능성을 최대한 모사한 것으로, 파란색 페인트를 칠한 골재를 제외한 후 Fig. 5의 입도에 맞춘 골재들을 먼저 선회다짐 70회를 실시한 후 페인트칠한 골재를 공시체 위에 올려두고 나머지 30회를 다짐하여 공시체를 제작하였다.

Fig. 7(a)의 골재혼합실험은 페인트칠한 골재를 처음부터 혼합하여 100회 다짐을 실시하였다. 다짐된 공시체에서 페인트를 칠한 10mm 이상의 골재를 7(b)와 같이 혼합물로 해체하였다.

골재분리현상 실험을 손으로 분리 후 Table 7과 같이 체분석한 결과, 전체적으로 혼합한 경우 굵은골재에 잔분이 붙어서 떨어지는 정도로써 3.32%의 변화가 있었으며, Fig. 6(a)와 같이 골재치핑 시 페인트칠한 굵은골재가 선다짐된 공시체 안으로 파고들면서 페인트 골재가 다짐에너지를 직접적으로 받아서 분리가 더 크게 발생하였다.

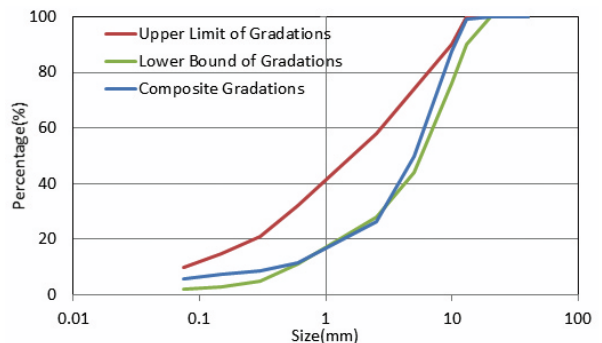


Fig. 5 RAP 100% Gradation Curves of Combined Aggregates



(a) Specimens (b) Mixture
Fig. 6 Chipping Paint Aggregate



(a) Specimens (b) Mixture
Fig. 7 Mixing Paint Aggregate

Table 7. Test Result of Aggregate Separation

	Total weight of painted aggregate(g)	More than 10mm aggregate(g)	Less than 10mm aggregate(g)	Aggregate separation ratio
Aggregate chipping	742.7	627.9	114.8	15.46%
Aggregate mixing	829	801.5	27.5	3.32%

골재분리 가능성을 극대화한 골재치핑 방법은 페인트칠한 골재 중 15.46% 분리가 발생하였으나, Table 8, Fig. 8과 같이 분리 후에도 기준입도범위 내에 있음

Table 8. Composite Gradations Before and After Aggregate Separation in Aggregate Chipping Test

Aggregate size (mm)	13-8mm weight before separation (g)	Paint aggregate (g)	Composite gradations before paint aggregate separation (%)	13-8mm weight after paint aggregate separation (g)	Composite gradations after paint aggregate separation (%)
10	790.21	742.7	85.54	675.39	87.47
5	369.69	0	48.5	397.62	49.93
2.5	4.51	0	25.66	47.27	26.36
0.6	2.1	0	11.22	30.84	11.42
0.3	0.68	0	8.75	12.7	8.76
0.15	1.18	0	7.28	2.79	7.25
0.08	1.34	0	5.84	3.09	5.78

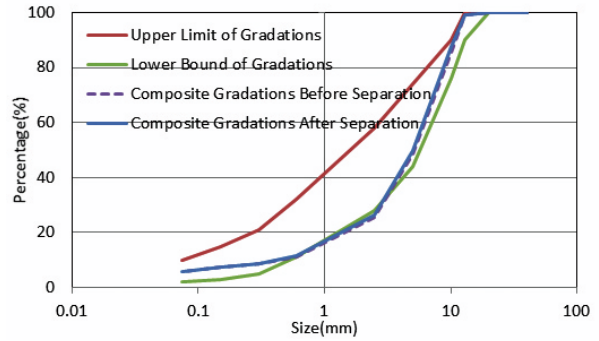


Fig. 8 Composite Gradations Before and After Aggregate Separation in Aggregate Chipping Test

을 알 수 있었다. RAP 원골재의 경우 실제 플랜트에서 혼합하여 현장에서 다짐하므로 골재분리의 영향이 적을 것으로 사료된다. 따라서 표층의 경우 원골재 입도설계를 제안하였다.

4. 표층 배합설계 적용성 검토

4.1. 최적 RAP 골재 배합비 검증

Choi et al.(2017b)은 재활용 상온 표층 아스팔트 포장의 경우 실내품질시험을 통해 RAP 40%를 제안한 바 있다. 제안된 40% RAP사용량을 검증하고자 본 연구에서는 40%, 50%에 대한 입도설계 및 품질시험을 실시하여 국외품질기준으로 분석하였다.

먼저 합성입도설계를 통하여 신규골재를 굵은골재 7호와 잔골재 4호로 선정하여 Fig. 9의 입도를 사용하였다. 검증시험에 사용할 RAP 골재와 굵은골재 및 잔골재를 Table 9~Table 11과 같이 국내 골재사용 품질기준 적합여부를 검토하였다.

RAP 골재와 굵은골재 및 잔골재의 품질을 확인한 결과 Table 9와 같이 RAP 골재의 구재 아스팔트 바인더 함량, 구재 아스팔트 침입도, 씻기 시험에서 손실되는 이물질 함유량이 RAP 골재 품질기준에 부합하는 것을 알 수 있었으며, 굵은골재 및 잔골재의 품질도 품질기준에 전부 부합하는 것을 알 수 있었다.

표층 입도설계에서 현재 국토교통부 기준은 가열 또는 중온, 상온으로 입도가 나뉘어 있지 않고 표층, 기층용에 따라 골재 입도 기준이 나뉘어 있기 때문에 본 연구에서는 표층용 입도기준인 WC-1 입도를 적용하여 합성입도설계를 실시하였다(Ministry of Land, 2017).

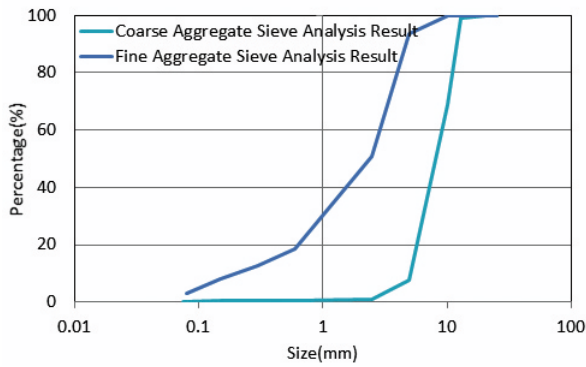


Fig. 9 Average Sieve Analysis Result of Coarse Aggregate #7, Fine Aggregate #4

Table 9. RAP Aggregate Quality Test Result

Test method	Korea Standard	RAP	
Asphalt binder content(%)	More than 3.8	4.2	
Asphalt binder penetration (25°C, 1/10mm)	More than 20	23	
Amount lost in washing test(%)	Less than 5	3	
Foreign matter content(%)	Organic matter	Less than 1.0	0.0
	Inorganic matter	Less than 1.0	0.1
Size	Surface layer, Middle layer	Less than 13	13
	Base layer	(20-13), Less than 13	-

Table 10. Coarse Aggregate #7 Quality Test Result

Test method	Surface layer	
	Korea Standard	Test result
Dry density(g/cm ³)	More than 2.5	2.64
Absorption(%)	Less than 3.0	1.1
Soundness(%)	Less than 12	6
Flat and Elongated Particles(%)	Less than 30	9
Percentage of abrasion(%)	Less than 35	18
Fracture surface ratio(%)	More than 85	100

Table 11. Fine Aggregate #4 Quality Test Result

Test method	Surface layer	
	Korea Standard	Test result
Dry density(g/cm ³)	More than 2.5	2.57
Absorption(%)	Less than 3.0	1.4
Soundness(%)	Less than 15	4
Sand equivalent(%)	More than 50	78
Fracture surface ratio(%)	More than 45	52

본 연구에서는 RAP 40% 및 50%의 사용량을 검증하기 위하여 기존 연구에서 제시된 함수비 5.5%와 유화 아스팔트 함량 4.5%로 Fig. 10과 Fig. 11의 합성입도를 설계한 후 실내에서 각 3개의 공시체에 대해 Table 12와 같이 간접인장강도를 포함한 마찰안정도, 흐름값, 공극률 시험을 실시하였다(Choi et al., 2017a; Sravani et al., 2015).

2017년 개정된 GR기준과 아스팔트 콘크리트 포장 시공 지침은 기층만 제시되어 있으므로 국외 품질기준으로 비교분석한 결과, RAP 40% 사용 시 국외 품질기준을 만족함을 알 수 있었으며, RAP 50%의 경우 Table 3의 스웨덴 기준에 만족하지 않는 것을 알 수 있었다. 따라서 본 연구에서는 재활용 상온 아스팔트를 표층에 적용하기 위해 신규골재와 RAP골재 60:40의 비율이 최적임을 검증하였다.

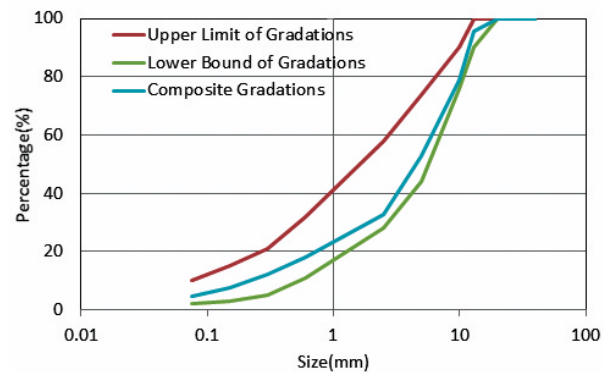


Fig. 10 Composite Gradations Using Natural Aggregate (Coarse Aggregate, Fine Aggregate) 60%, RAP 40%

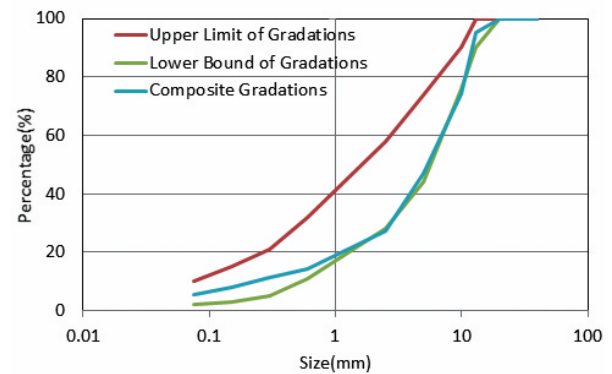


Fig. 11 Composite Gradations Using Natural Aggregate (Coarse Aggregate, Fine Aggregate) 50%, RAP 50%

Table 12. Average Quality Test Result According to RAP Usage Rate

Test method	Natural aggregate 50%, RAP 50%	Natural aggregate 60%, RAP 40%
Marshall Stability(N)	11200	15500
Flow(mm)	8	21
Air void(%)	13.5	11.2
ITS(g/cm ³)	0.78	0.85

4.2. RAP 40% 혼합 비율의 최적함수비 결정

Choi et al.(2017a)에서 플랜트 상온 기층 혼합물에 대한 최적함수비(OMC) 시험방법을 결정하기 위해 미국 아스팔트협회(Asphalt Institute) 마샬 다짐시험방법과 KS F 2312에 의거한 A다짐시험방법, D다짐시험방법을 통하여 최적함수비를 미국 아스팔트협회 마샬 다짐시험 방법으로 제시한 바 있다. 따라서 마샬다짐시험으로 최적함수비 산정을 위해 신규골재 60%, RAP 40%를 적용한 입도설계에 대해 미국 아스팔트협회 마샬다짐 시험방법에 따라 최적함수비 시험을 3set로 진행한 결과 평균적으로 아래의 Fig. 12와 같이 7.9%로 산정되었다.

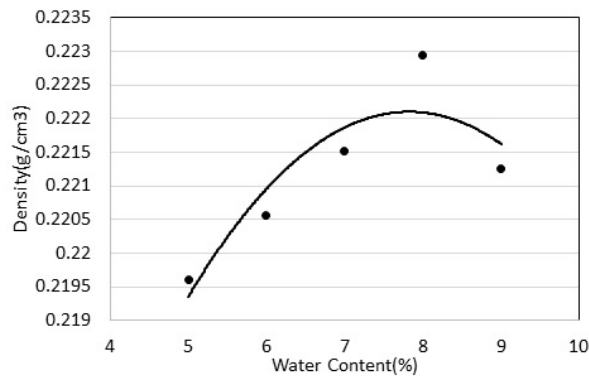


Fig. 12 Average Optimum Moisture Content Test

4.3. 양생방법 비교분석

Alex.(2013)는 현장 상온 재활용 공법의 경우 양생방법이 정립되지 않았음을 제시하고, 기존 적용되고 있는 25°C, 40°C, 60°C 양생방법을 정리하였다. 또한, Choi et al.(2017a)은 재활용 상온 기층 아스팔트 공시체의 증발산 영향 실험을 통해 상온 아스팔트 공시체가 채움재에 따라 양생에 미치는 영향이 미비한 것을 확인하였다. 따라서 본 연구에서는 표층 증발산 영향 실험을 Table 2의 40°C 및 60°C 영향을 고려한 미국아스팔트협회 양생방법, 아스팔트재생&재활용협회 양생방법과 상온 25°C 7일 양생방법으로 증발산 영향 실험을 통하여 비교분석함으로써 표층 양생방법을 결정하고자 한다.

표층 양생방법에 따라 증발산 영향 실험 결과로부터 Fig. 13과 같이 1일째 60°C 온도에서 하루 양생하면 90% 이상의 양생이 끝난다는 것을 알 수 있다. 또한 40°C와 60°C의 양생효과를 통해 함수량 저하 정도를 기울기로서 분석하면 60°C 양생의 경우 양생효과가 훨씬 큼을 알 수 있었고, 48시간 후 양생효과가 수렴함을 알 수 있었다. 본 연구에서는 증발산 영향 실험으로부터 한국의 여름철 포설온도를 감안하여 60°C 2일 양생 후 상온 25°C에서

하루 안정화시키는 양생을 재활용 표층 혼합물 양생방법으로 제시하고자 한다.

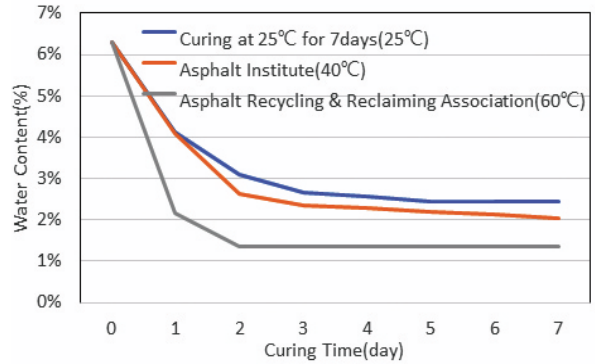


Fig. 13 Evapotranspiration Effect Test

4.4. 플랜트 생산을 위한 골재 배합비 제안

실제적으로 플랜트에서 생산시에는 실내에서 합성입도설계한 것을 생산체계에서 구현하여야 한다. 이를 위해 본 연구에서는 재활용 상온 표층 혼합물의 RAP골재 40% 사용량을 합성입도 설계를 통해 Table 13과 같이 배합비를 제안하였다.

Table 13. Mixture Gradation for Plant Production using RAP 40%

RAP (%)	Number of natural aggregate hoppers	Natural aggregate	Mixing ratio(%)				
			Coarse aggregate	Fine aggregate	RAP 13-8mm	RAP 8-0mm	Filler
40	2	Coarse aggregate, Fine aggregate	16	40	20	20	4
40	1	Fine aggregate	0	57	20	20	3

RAP 40% 사용함에 따라 신규골재 1빈 사용시 잔골재를 통해 Fig. 14와 같이 입도설계는 가능하였지

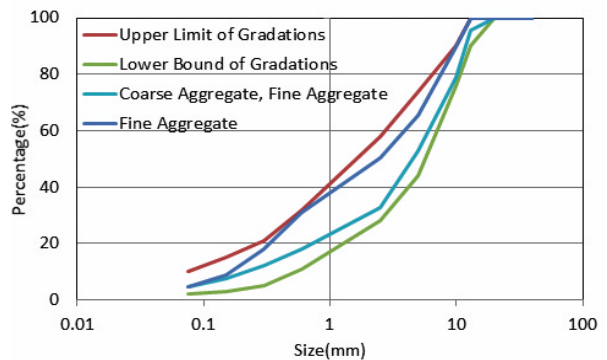


Fig. 14 Natural Aggregate 60%, RAP 40% Composite Gradations

만 5mm 이하의 잔골재 비율이 높아 강도가 떨어질 것이 우려되므로 충분한 현장생산 후 검토가 필요할 것이다.

5. 결론

본 연구에서는 플랜트 생산 재활용 상온 혼합물을 도로 표층에 사용하기 위해 국내·외 문헌의 연구동향을 분석하였으며, 재활용 상온 밀입도 혼합물의 RAP골재의 분리 가능성을 검토하였다. RAP 사용시 적정투입율을 결정하기 위하여 기존 연구에서 제안된 40%와 50%에 대하여 해외기준을 통하여 검증하였다. 플랜트 생산 재활용 상온 혼합물의 배합설계인자로서, 최적함수비 및 표층 양생기간 결정방법을 분석하였다. 본 연구의 결과를 정리하면 다음과 같다.

1. 국내·외 플랜트 생산 재활용 상온 혼합물 표층적용을 조사한 결과, 국내 품질기준은 없으며, 연구초기단계로서 배합설계인자 및 재활용 상온 혼합물의 품질기준 확립이 필요함을 알 수 있었다.
2. RAP 골재의 특성분석을 위해 연소식 AP함량시험과 골재 체가름 시험을 통해 RAP 골재의 추출입도를 분석한 결과, RAP 25-13mm골재는 13-10mm골재로 입도가 작아지고, 13-8mm골재의 대부분은 8mm골재로 작아짐을 알 수 있었다.
3. 현장 다짐 및 차량 주행시 RAP 원골재의 분리가능성을 검토하기 위해 닿는 하중을 극대화한 골재치핑 및 혼합방식으로 조사한 결과, 혼합방식은 3.32%의 분리율을, 골재 치핑은 15.46%의 분리율이었다. 골재분리 가능성을 극대화한 골재치핑 방법에서도 분리 후에도 기준입도범위 내에서 전체 합성입도에는 큰 영향을 끼치지 않음을 확인하였다.
4. RAP 사용시 적정투입율을 결정하기 위하여 기존 연구에서 제안된 40%와 50%에 대하여 입도설계 및 품질시험을 실시한 결과, RAP 40% 사용시 국외 품질기준에 만족함을 알 수 있었다.
5. RAP 골재가 포함된 표층 혼합물의 최적함수비 시험을 실시하여 표층 혼합물의 최적함수비는 수정 마사 다짐 시험으로 7.9%임을 알 수 있었다.
6. 최적함수비 기준의 표층 혼합물에 대한 증발산 영향 실험결과, 60℃ 온도에서 2일 양생하면 90% 이상의

양생이 끝난다는 것을 확인하였다. 그리하여 한국의 여름철 포설온도를 감안하여 아스팔트재생 및 재활용협회 양생방법을 재활용 상온 표층 혼합물 양생방법으로 제시하였다.

감사의 글

본 연구는 인덕대학교 연구비에 의해 수행되었으며 이에 감사드립니다.

REFERENCES

- Alex, K. A. Brian, K. D. (2013). "Evaluation of Cold In-Place and Cold Central-Plant Recycling Methods using Laboratory Testing of Field-Cored Specimens." *J. of Mater. Civ. Engrg.* ASCE, Vol.25, No.11, pp.1712-1720.
- Asphalt Institute (AI) (2001). *Asphalt Cold Mix Manual*, Manual Series No. 14 (MS-14), Appendix F.
- Asphalt Recycling & Reclaiming Association (ARRA) (2015). *Basic Asphalt Recycling Manual*, Chapter.11
- Choi, J. S. Jung, C. H., Lee, C. H., and Lim, I. S. (2017a). "Study on the Curing Time of Cementless Cold Recycled Asphalt Base-Layer using Field-Application Review." *J. of Korean Society of Road Engineers*. Vol.19, No.2, pp.66-74.
- Choi, J. S., Lee, C. H., Lee, M. J. (2017b). "The Base Study on the Cold Mix Design of Surface Course using Reclaimed Asphalt Pavement." *Korean Society of Road Engineers*, Essays on Academic Science, pp.48-48.
- Kangwon National University, Korea Institute of Construction Technology (2005). "A Study on Quality Improvement for Life Improvement of Recycled Asphalt Pavement."
- Korea Institute of Construction & Transportation Evaluation Technology, Ministry of Construction and Transportation Korea Agency for Technology and Standards (KATS) (2017). *GR F 4026-2017* (in Korea).
- Ministry of Land, Infrastructure and Transport (MOLIT) (2017). *Asphalt Concrete Pavement Construction Guidelines* (in Korea).
- Rongji, C. (2012). "Asphalt Pavement Cold Recycling In Highway Rehabilitation Projects." *International Pavement Engineering Conference*.
- Sravani, A. M., Pramod, K. J., and Nagabhushana, M. N. (2015). "Optimization of Recycled Asphalt Pavement in Cold Emulsified Mixtures by Mechanistic Characterization" *J. of Mater. Civ. Engrg.*, ASCE, Vol.28, No.2.
- Torbjöm, J. (2002). "Cold Recycling of Asphalt Pavement - Mix In Plant." Swedish National Road and Transport Research Institute.
- Yonhapnews (2016). <http://www.yonhapnews.co.kr/bulletin/2016/04/08/0200000000AKR20160408164600003.HTML>