

페아스콘 순환골재 혼입율에 따른 알칼리활성화 채움재 상온 재생 아스팔트 혼합물의 특성

Properties of Cold Recycled Asphalt Mixtures with Alkali-activated Filler according to Wasted Asphalt Aggregate Content

이민희¹ · 강석표^{2*}Min-Hi Lee¹ · Suk-Pyo Kang^{2*}

(Received September 10, 2018 / Revised September 28, 2018 / Accepted September 28, 2018)

Due to the advantages of less raw materials and fossil fuel consumption, lower carbon footprint, and the capability of pavement performance improvement, the recycling technology of asphalt is developed and applied for road rehabilitation and construction in the western countries over the past two decades. Cold recycled asphalt mixtures are bituminous materials normally made by mixing recycled aggregate from wasted asphalt with an asphalt emulsion and water at room temperature. This paper aims at investigating the properties of cold recycled asphalt mixture with alkali-activated filler according to wasted asphalt aggregate content. As a result, as the content of wasted asphalt aggregate increased, the marshall stability of cold recycled asphalt mixture decreased and void ratio increased. Also, grading curves for cold recycled asphalt mixture as specified in GR criteria were satisfied in all aggregate mixing conditions regardless of the wasted asphalt aggregate content.

키워드 : 상온 재생 아스팔트 혼합물, 알칼리활성화 채움재, 페아스콘 골재, 마샬안정도, 공극률

Keywords : Cold recycled asphalt mixture, Alkali-activated filler, Wasted asphalt aggregate, Marshall stability, Void ratio

1. 서론

도시 발전과 산업화에 따라 발생하는 건설폐기물은 다양한 종류가 있으며, 그 중 시멘트 콘크리트나 아스팔트 콘크리트가 가장 큰 비중을 차지한다. 건설폐기물들은 과거에는 쓰레기매립장 또는 불법투기 등으로 매립 처리되어 왔으나 최근 매립장 부족이 심각한 사회 문제로 대두되고 있으며, 재활용이 가능한 폐자재의 매립을 줄여야 한다는 사회적 요구가 제기되고 있다(Park et al. 2001; Wang et al. 2018).

최근 구조물이 고층화, 대형화 되고 있어 그에 따른 골재수요는 증가하고 있으나, 남해안 EEZ(배타적 경제수역) 바닷모래 채취제한으로 인하여 골재의 공급 문제는 더욱 심화 되었고 골재공급원 개발을 위한 국토훼손 및 자연환경파괴 등으로 환경복원을 위한 막대한 국가예산 소요는 불가피 하게 되었다. 또한, 지구온난화

방지협약(일본 교토협약)의 발효로 국내외의 환경규제가 강화되어 국내 산업 분야에서 CO₂의 감축노력이 진행되고 있다. 최근에 국내외적으로 가열에너지의 소비가 없고 온실가스를 배출하지 않는 상온형 포장공법이 주목받고 있다. 상온 재생 아스팔트 혼합물은 상온에서 페아스콘 순환골재를 물과 유화 아스팔트와 함께 혼합하는 역청재료이다. 유럽등지에서는 1980년대부터 활용하고 있으며, 미국도 1990년대부터 새로운 공법을 적용하였다. 국내에도 1990년대에 도입되어, 현재는 건설폐자재를 활용하여 도로포장재료로 사용하기 위한 많은 연구와 노력이 진행되고 있다(Xiao et al. 2018; Hong et al. 2014; Lin et al. 2015).

또한 최근 녹색성장이 키워드로 부각됨에 따라 국제적으로 환경 부하 저감을 위한 노력이 활발하게 이루어지고 있다. 건설산업의 경우 건설재료의 대부분을 차지하고 있는 보통 포틀랜드 시멘트를 제조할 경우 많은 에너지를 소비하고 CO₂ 가스가 발생되어

* Corresponding author E-mail: ksp0404@woosuk.ac.kr

¹호원대학교 건축학과 교수 (Department of Architecture, Howon University, Jeonlabuk-do, 54058, Korea)

²우석대학교 건축학과 교수 (Department of Architecture, Woosuk University, Chungcheongbuk-do, 27841, Korea)

환경문제에 대한 주요 원인이 되고 있다. 이러한 연구의 일환으로 건설산업에서는 시멘트를 전혀 사용하지 않고 산업부산물을 재사용하며 경제적인 효과를 동시에 얻을 수 있는 방법으로 플라이애시 또는 고로슬래그 미분말을 이용한 알칼리 활성화 무시멘트 결합재 연구가 국내외에서 활발히 이루어지고 있다(Kang 2012; Kang et al. 2017; Kim et al. 2018).

따라서 본 논문에서는 건설폐기물 중간처리업체에서 발생하는 페아스콘을 파쇄, 선별하여 처리된 순환골재의 물성을 평가하고, 페아스콘 순환골재의 재활용률을 제고시키기 위하여 알칼리활성화 채움재를 사용한 상온 재생 아스팔트 혼합물의 물성이 페아스콘 순환골재 혼합물에 의하여 어떠한 차이를 나타내는지를 검토하고자 하였다.

2. 실험계획 및 방법

2.1 실험계획

페아스콘 순환골재 혼합물에 따른 상온 재생 아스팔트 혼합물의 특성분석을 위한 실험계획을 Table 1에 나타내었다. 실험배합은 채움재 3.5%, 유화아스팔트 1.5%, 첨가제 4%와 페아스콘 순환골재를 신재골재에 대해 0, 30, 50, 70, 100%를 대체하였으며 실험항목으로는 안정도, 흐름값, 공극률을 측정하였다.

2.2 사용재료

1) 채움재

본 논문에서 사용한 알칼리활성화 채움재는 국내 C사에서 시제

품으로 제조되어진 고로슬래그미분말의 주요 자극제로서 탈황석고를 사용하는 무시멘트 채움재를 사용하였다. 화학조성은 SiO₂ 21.2%, Al₂O₃ 8.8%, CaO 46.6%, SO₃ 11.5%로서 고로슬래그미분말과 비교하여 SiO₂와 Al₂O₃의 조성비율이 낮지만 SO₃의 조성비율이 높은 것으로 나타났다. 또한 물리적 특성으로서 비표면적 4,058cm²/g, 밀도 2,83g/cm³은 고로슬래그미분말과 유사한 수준을 보이고 있다. 알칼리활성화 채움재의 화학적 특성을 Table 2에 나타내었다.

2) 골재

페아스콘 순환골재 혼합물에 따른 상온 재생 아스팔트 혼합물의 특성분석을 위해 사용된 페아스콘 순환골재는 천안에 위치하고 있는 건설폐기물중간처리업체에서 생산되고 있는 골재를 사용하였다. 또한 신재골재로서 최대치수 20mm의 부순골재를 사용하였으며 기본 물성을 Table 3에 나타내었다.

3) 첨가제

페아스콘 순환골재 혼합물에 따른 상온 재생 아스팔트 혼합물의 특성분석을 위해 사용된 첨가제는 상온 재생 아스팔트 혼합물의 부착성, 힘저항성 및 내구성 등 포장재의 각종 물성을 개선시키기 위하여 폴리아크릴레이트 에멀전을 첨가제로 사용하였다. 첨가

Table 3. Properties of new aggregate

Type	Absorption(%)	Density(g/cm ³)	Soundness(%)
Crushed gravel	0.66	2.67	3.2

Table 1. Experimental plan and mix design

Type	Recycled aggregate content (%)	New aggregate(NA)				Recycled aggregate(RA) 25mm	Filler	Emulsified asphalt	Additive	Test items
		40mm	20mm	13mm	8mm					
NA100	0	27.3	18.2	18.2	27.3	0.0	3.5	1.5	4.0	-Marshall stability -Flow value -Void ratio
NA70-RA30	30	18.2	9.1	9.1	27.3	27.3	3.5	1.5	4.0	
NA50-RA50	50	9.1	9.1	4.6	22.8	45.5	3.5	1.5	4.0	
NA30-RA70	70	4.6	9.1	4.6	9.1	63.7	3.5	1.5	4.0	
RA100	100	0.0	0.0	0.0	0.0	91.0	3.5	1.5	4.0	

Table 2. Chemical composition of filler

Type	Chemical composition(%)							
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	K ₂ O	Na ₂ O
Alkali activated filler	2.86	0.81	2.51	58.7	2.99	15	0.2	-
Blast furnace slag	31.6	14.8	-	45.6	3.59	2.35	0.6	0.28
Waste gypsum	1.72	1.45	0.07	39.17	-	56.04	-	-

제의 물성을 Table 4에 나타내었으며 Fig. 1 및 Fig. 2에 본 논문에 사용한 첨가제 및 IR 측정결과를 나타내었다. 첨가제는 원액 3%의 비율로 혼합수와 교반하여 사용하였다.

4) 유화 아스팔트

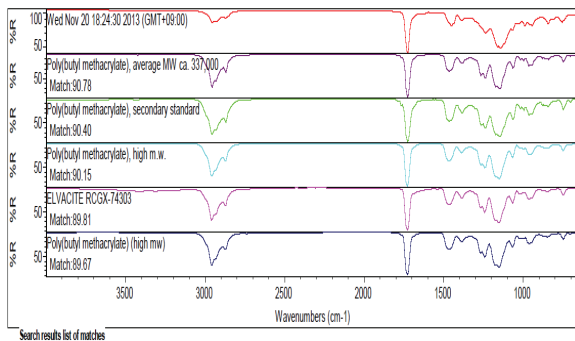
페아스콘 순환골재 혼입율에 따른 상온 재생 아스팔트 혼합물의 특성분석을 위해 사용된 유화 아스팔트는 국내 K사에서 제조된

Table 4. Properties of additive

Type	Viscosity(cps, 25°C)	Non-volatile content(%)	pH
Poly acrylate emulsion	Less than 100	20±3	8±0.5



Fig. 1. Additive



Index	Match	Compound Name	Library Name
1	90.78	Poly(butyl methacrylate), average MW ca. 337,000	Alklich FT-IR Collection Edition II
2	90.40	Poly(butyl methacrylate), secondary standard	Alklich FT-IR Collection Edition II
3	90.15	Poly(butyl methacrylate), high m.w.	Alklich Polymers
4	89.81	ELVACITE RCGX-74303	Industrial Coatings
5	89.67	Poly(butyl methacrylate) (high mw)	Spruce Polymers by Transmission
6	89.40	Poly(butyl methacrylate-co-isobutyl methacrylate), ave. MW	Alklich FT-IR Collection Edition II
7	89.29	Poly(butyl methacrylate)	Alklich Polymers
8	89.27	Butyl Methacrylate Homopolymer	Coatings Technology
9	88.74	Poly(isobutyl methacrylate)	Hummel Polymer and Additives
10	88.36	ELVACITE 2044	Industrial Coatings

Fig. 2. IR result of additive

Table 5. Properties of emulsified asphalt

Type	Viscosity	Screen residue (%)	Evaporation residue mass(%)	Charge	Evaporation residue		
					Intrusion(1/10mm)	Ductility(cm)	Toluene soluble fraction(%)
MSC-2	7.8	0.03	60.5	+	135	120 or more	99.7

MSC-2 Type의 유화아스팔트를 사용하였으며, 물성은 Table 5에 나타낸 것과 같다.

2.3 실험방법

1) 페아스콘 순환골재 물성평가

페아스콘 순환골재 혼입율에 따른 상온 재생 아스팔트 혼합물을 제조하기 위하여 페아스콘 순환골재의 물성분석을 실시하였다. 페아스콘 순환골재의 물성을 분석하기 위하여 KS F 2572 『아스팔트 콘크리트용 순환골재』에서 규정하고 있는 품질평가 항목인 구재아스팔트 함량, 구재아스팔트 침입도, 씻기 시험에서 손실되는 양 및 이물질 함유량을 평가하였다.

① 구재 아스팔트 함량 시험

건설폐기물 중간처리업체에서 생산된 페아스콘 순환골재의 구재 아스팔트 함량은 KS F 2354 『아스팔트 포장용 혼합물의 아스팔트 함유량 시험방법』에 준하여 실시하였다.

생산된 페아스콘 순환골재를 건조기에서 110±5°C로 가열한 후 원심분리기용 볼에 소정량 투입한 후 삼염화에틸렌을 볼내에 있는 시료가 잠기도록 부어서 1시간 동안 충분히 침수시킨다. 그리고 시료가 담긴 볼을 원심분리기에 장착한 후 시험기기를 천천히 회전시켜 최대 속도 3600r/min까지 회전시키고 배수구로부터 삼염화에틸렌이 흐르지 않을 때까지 점차적으로 속도를 회전시킨다. 기계가 정지되면 삼염화에틸렌을 200ml씩 더 첨가시켜 상기 과정을 반복하고 추출액이 맑고 연한 색깔이 될 때까지 실시한다. 시험과정 중 식(1)에 의하여 구한 회분총량, 시료 중 수분질량, 추출된 골재의 질량, 추출액 중 세분 골재분의 지량, 필터링의 질량 증가 분 등을 측정하여 시험시료의 아스팔트 함유율을 다음의 식(2)에 의하여 산출한다.

$$W_4 = G \left(\frac{V_1}{V_1 - V_2} \right) \tag{식(1)}$$

여기에서, W₄ : 회분총량
 G : 시험한 액체 중의 회분 질량(g)
 V₁ : 총 부피(ml)
 V₂ : 시험한 액체를 뺀 부피(ml)

아스팔트 함유율(%)

$$= \frac{(W_1 - W_2) - (W_3 + W_4 + W_5)}{W_1 - W_2} \times 100 \quad \text{식(2)}$$

여기에서, W_1 : 시료의 질량
 W_2 : 시료 중 수분의 질량
 W_3 : 추출된 골재의 질량
 W_4 : 추출액 중 세립 골재분의 질량
 W_5 : 필터링의 질량 증가분

② 구재 아스팔트 침입도 시험

페아스콘 순환골재에 포함되어 있는 구재 아스팔트의 침입도는 KS F 2381 『얹은 방법에 의한 아스팔트 회수시험방법』에 따라 구재 아스팔트를 추출하고 KS M 2252 『역청 재료의 침입도 시험방법』에 준하여 침입도를 측정하였다.

아스팔트 콘크리트용 순환골재에 포함되어 있는 구재 아스팔트의 추출시험 방법은 원심분리기로부터 추출된 용액 중 미립분을 침전시킨 후 1차 증류용 플라스크 붓고 약 200mL가 될 때까지 1차 증류를 실시되고 다시 500mL의 추출용액을 넣고 2차 증류를 실시한다. 온도가 135°C에 이르렀을 때 이산화탄소를 약 100mL/min으로 공급하고 온도가 157°C에서 160°C일 때에는 약 900mL/min으로 공급한다. 추출액 표면으로부터 6mm의 온도를 160~166°C로 유지하며 이산화탄소를 약 10분 동안 계속 공급하며 용제가 떨어짐을 멈추면 5분 동안 이산화탄소 가스 주입을 유지시켜 남아있는 휘발분을 완전히 제거한 후 회수된 구재 아스팔트를 용기에 담는다.

구재 아스팔트의 침입도 시험은 얹은 방법에 의해 회수된 아스팔트를 용기에 담아 항온수조속의 유리용기에 설치한 후 항온이 될 때까지 일정시간 유지시킨 후 이를 꺼내어 침입도계 시험대위에 설치한다. 그리고 광원을 적당히 조절하여 시료의 표면에 침끝의 그림자를 맞추고 침 그림자의 끝이 접촉하도록 시험대의 높이를 조절하여 침의 끝은 시료 표면에 접촉시킨다. 다이얼 게이지의 피니언과 맞물리고 있는 래크를 침 지지장치의 상단에 대고 다이얼 게이지를 0점 조절한 후 고정쇠를 눌러 무게에 의하여 침이 5초간 시료속에 진입시킨다. 다시 래크를 침 지지장치에 살며시 대어 다이얼 게이지의 눈금을 읽어 침입도를 측정한다.

③ 씻기 손실양

씻기 시험은 KS F 2511에 준하여 건조된 순환골재 시료를 용기에 넣고 시료가 완전히 침수되도록 물을 가한 후 휘저어 굵은 입자와 잔 입자를 완전히 분리시키고 0.08mm체를 통과하는 잔 입자를

제거해 준다. 이 작업을 씻은 물이 맑아질 때까지 반복한 후 씻기 전의 건조 질량과 씻은 후의 건조 질량을 측정하여 씻기 시험에서 손실되는 양을 산출한다.

④ 아스팔트 추출 후 골재의 입도시험

페아스콘 순환골재의 추출 후 입도시험은 원심분리기로 아스팔트 콘크리트용 순환골재를 피복하고 있는 아스팔트를 추출한 후 KS F 2502 『굵은 골재 및 잔골재의 체가름 시험방법』에 준하여 조합 망체를 사용하여 체가름을 실시한 후 각 체에 남은 시료의 질량을 측정하여 각 체를 통과하는 무게 백분율을 산출하여 분석하였다.

⑤ 이물질 함유량 시험

페아스콘 순환골재의 이물질 함유량 시험은 KS F 2576 『순환골재의 이물질 함유량 시험방법』에 준하여 실시하였다. 유기 이물질의 경우는 부피 측정방법으로 순환골재의 전체 부피 및 이물질의 부피를 측정하여 이물질 함유량을 산출하고 무기 이물질의 경우는 시험용 순환골재의 질량과 순환골재 중에 포함되어 있는 무기 이물질의 질량을 측정하였다.

2) 상온 재생 아스팔트 혼합물의 물성평가

① 안정도 및 흐름값

안정도는 시험은 아스팔트 혼합물 공시체가 파괴될 때까지 견딜 수 있는 최대 하중을 나타내는 것이며, 흐름값은 최대하중에 이를 때까지의 아스팔트 혼합물 공시체의 총 수직변위를 의미한다. 즉 하중이 가해지는 시작점부터 하중이 감소하기 시작할 때까지의 총 수직변위를 나타낸다. 일반적으로 흐름값이 높으면 그 혼합물은 소성변형에 대한 저항성이 낮은 것을 의미하며, 흐름값이 낮으면 혼합물의 내구성을 확보하는데 필요한 아스팔트량이 부족하여 조기 균열이 발생할 우려가 있다.

본 연구에서는 페아스콘 순환골재 혼합물에 따른 상온 재생 아스팔트 혼합물의 특성분석을 위하여 KS F 2337 「마찰시험기를 사용한 역청혼합물의 소성흐름에 대한 저항력 시험방법」에 준하여 시험을 실시하였다.

② 공극률

페아스콘 순환골재의 혼합물에 따른 상온 재생 아스팔트 혼합물의 공극률 시험은 KS F 2364 『다져진 역청 혼합물의 공극률 시험방법』에 준하여 다음의 식에 의하여 산출하였다. 공극률 산출시 적용되는 이론최대밀도는 KS F 2366 『역청 포장 혼합물의 이

론적 최대 비중 및 밀도 시험 방법』에 준하여 측정하였다.

$$\text{공극률}(V) = \left(1 - \frac{d}{D}\right) \times 100(\%)$$

- 여기에서,
- d :공시체의 실측밀도(g/cm³)
 - D :공시체의 이론적 최대 밀도(g/cm³)
 - V_a :아스팔트의 용적(cm³)
 - V_v :공극의 용적(cm³)
 - V_t :혼합물 전체 용적(cm³)

3. 실험결과 및 분석

3.1 페아스콘 순환골재의 물성

건설폐기물 중간처리업체에서 생산된 페아스콘 순환골재를 정기적으로 총 5회 채취하여 페아스콘 순환골재의 물성 평가한 결과를 Table 6에 나타내었다.

1) 구재 아스팔트 함량

건설폐기물 중간처리업체에서 생산된 페아스콘 순환골재를 정기적으로 총 5회 채취하여 실시한 구재 아스팔트 함량을 측정하였다. 페아스콘 순환골재의 채취시기 즉 페아스팔트 콘크리트의 반입시기 및 순환골재화를 위한 중간처리 시점별에 따라 페아스콘 순환골재에 포함되어 있는 구재 아스팔트량은 상이한 결과를 나타내 3.9~5.1%를 나타냈고 평균 4.4%의 구재아스팔트 함량을 갖고 있는 것으로 분석되었다.

현재 KS F 2572 “아스팔트 콘크리트용 순환골재”에서는 구재 아스팔트 함량에 대한 품질기준을 3.8% 이상으로 규정하고 있어 모든 채취 시료에서 이를 만족시키는 것으로 나타났다.

2) 구재 아스팔트 침입도

구재 아스팔트의 침입도는 반입되는 페아스콘의 특성에 따라

Table 6. Properties of aggregate

Sample No.	Asphalt content (%)	Penetration (1/10mm)	Washing loss (%)	Impurity(%)	
				Organic impurity	Inorganic impurity
1	3.9	25	0.38	0.028	0.279
2	5.1	20	0.99	0.041	0.301
3	4.3	27	0.58	0.010	0.115
4	4.0	23	1.14	0.015	0.050
5	4.6	31	0.76	0.020	0.192
Ave.	4.4	25.3	0.87	0.022	0.165
KS F 2572	over 3.8	over 20	under 5.0	under 1.0	under 1.0

최소 20(1/10mm), 최대 31(1/10mm)의 침입도를 나타내며 평균 25.3(1/10mm)을 나타내었다. 침입도는 아스팔트에 있어서 경도를 표시하는 지표로서 페아스콘의 경우는 원시공시 사용된 아스팔트의 종류, 적용 용도, 공용기간 및 환경인자 등에 따라 달라지게 된다. 따라서 각각의 공사현장에서 유입되는 페아스팔트의 특성차이에 의해 시료별 상이한 침입도 결과를 나타낸 것으로 판단된다.

3) 씻기손실량

페아스콘 순환골재의 씻기 시험 결과 손실량은 0.38~1.14%를 나타내며 시료 생산시기별에 따라 상이한 결과를 나타내 평균 0.87% 정도의 손실 양을 나타냈다.

현재 KS F 2572에서는 아스팔트 콘크리트용 순환골재의 씻기 시험에 의해 손실되는 양에 대한 품질기준치를 5% 이하로 규정하고 있어 본 시험결과 모든 시료에서 관련 기준을 충족시키는 것으로 나타났다.

4) 이물질 함유량

도로 포장재로 활용되는 아스팔트 콘크리트는 현장해체, 선별, 운반과정에서 담배꽂초, 폐비닐, 폐목재 등의 유기 이물질과 폐블록, 폐기와 등의 무기 이물질과 같이 다양한 이물질이 포함될 수 있다. 이와 같은 이물질의 함유는 아스팔트 콘크리트의 품질저하와 직결될 수 있으므로 현재 관련 KS 표준에서는 유기이물질 및 무기이물질 함유량을 각각 1.0%이하로 규정하고 있다.

이물질 함유량 측정결과 페아스콘 순환골재에 포함되어 있는 유기이물질은 0.010~0.041%, 무기이물질은 0.115~0.301%를 나타내 무기이물질 함유량이 유기이물질의 경우보다 큰 것으로 나타났으나 KS 표준에서 규정하고 있는 품질기준치는 만족시키는 것으로 나타났다.

5) 페아스콘 순환골재의 입도 선정

페아스콘 순환골재의 입도선정을 위하여 상온 기층 혼합물에 사용되는 골재의 종류(신재골재-부순골재, 페아스콘 순환골재) 및 입도별 통과백분율을 Table 7 및 Fig. 3에 나타내었다. 페아스콘 순환골재의 입도 선정을 위하여 페아스콘 순환골재를 신재 골재(부순골재) 대비 질량비로 일정비율 치환 후 합성입도 분석과 포장재 혼합물용 입도기준 충족여부를 검토하여 최적입도 범위(골재별 합성비 범위)를 선정하였다.

페아스콘 순환골재를 신재 골재(부순골재) 대비 치환하여 실시한 합성입도 시험결과 현재 GR F 4026에서 규정하고 있는 재활용 상온 아스팔트 콘크리트 혼합물(기층용 BB-2)의 입도범위를 만족

Table 7. Synthetic particle size of aggregate for recycling cold asphalt mixture

Type		Passing weight(%)						
		40mm	20mm	10mm	5.0mm	2.5mm	0.6mm	0.08mm
Synthetic particle size	NA100	100.0	85.0	57.0	33.1	23.1	7.8	1.2
	NA70-RA30	100.0	86.1	62.8	40.5	31.2	10.5	1.5
	NA50-RA50	100.0	88.5	65.4	41.5	33.4	11.0	1.5
	NA30-RA70	100.0	88.4	62.1	34.0	28.7	8.9	1.1
	RA100	100.0	87.0	62.0	33.0	30.0	9.0	1.0

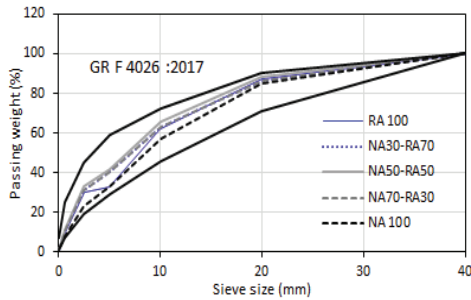


Fig. 3. Gradation curves

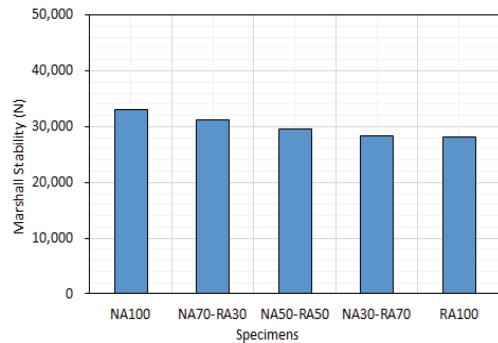


Fig. 4. Marshall stability

시키는 각각의 골재별 합성비는 순환골재의 혼입정도에 따라 차이가 발생하여 신재골재이고 입도가 40mm의 경우는 0~30%, 20mm의 경우는 0~20%, 13mm는 0~20%, 8mm이하는 0~30% 정도의 합성비를 나타내는 것으로 분석되었다.

그리고 본 연구에 사용된 페아스콘 순환골재와 선정된 신재 골재를 입도별로 합성비를 산출하여 적용한 결과 모든 순환골재 혼입률에서 현재 GR에서 규정하고 있는 표준배합 입도범위를 충족시키는 것으로 나타났다. 또한 상온 기층용 혼합물(BB-2)에 적용하기 위한 골재종류, 골재입도, 순환골재 혼입률에 따른 최적 입도 범위(골재별 합성비율)를 Table 7 및 Fig. 3과 같이 도출하였다.

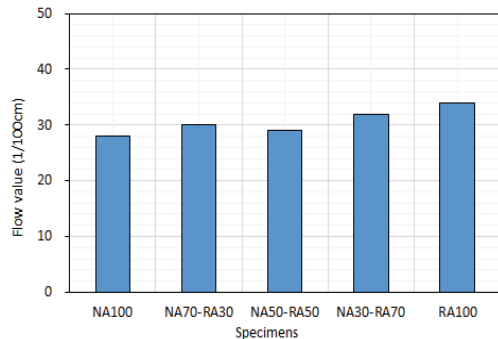


Fig. 5. Flow value

3.2 상온 재생 아스팔트 혼합물의 물성

1) 안정도 및 흐름값

페아스콘 순환골재 혼입률에 따른 알칼리활성화 채움재 상온 재생 아스팔트의 마찰 안정도 및 흐름값 시험결과를 Fig. 4 및 Fig. 5에 나타내었다.

페아스콘 순환골재의 혼입률(신재골재 치환, 질량비)에 따른 기층용 상온 재생 아스팔트 혼합물의 안정도 측정결과 순환골재의 혼입률이 증가함에 따라 혼합물의 안정도는 감소하는 경향을 나타냈다. 이는 동일 결합재량 및 AP 함량 조건하에서 순환골재의 혼입률이 증가할 수 록 바인더와 골재 계면 사이의 부착력 저하에 기인한 것으로 판단된다.

하지만 순환골재만을 사용한 경우도 신재골재만을 사용한 경우에 비하여 약 85% 이상의 안정도를 확보하고 현재 GR F 4026에서

규정하고 있는 재활용 상온 아스팔트콘크리트 혼합물(기층용)의 마찰시험에 의한 안정도 기준치인 3,500 이상을 충분히 만족시키는 것으로 확인되었다.

흐름시험 결과를 살펴보면 순환골재 혼입률에 따라 전체적으로는 다소 흐름값이 증가하는 경향을 나타내기는 하였으나 안정도의 경우와 비교해서는 순환골재 혼입에 따른 특성차이가 뚜렷하지 않은 것으로 나타났으며, 순환골재를 혼입한 기층용 재생 아스팔트 혼합물의 흐름값은 28~34(1/100cm)의 범위를 나타내는 것으로 확인되었다.

2) 공극률

페아스콘 순환골재 혼입률에 따른 알칼리활성화 채움재 상온

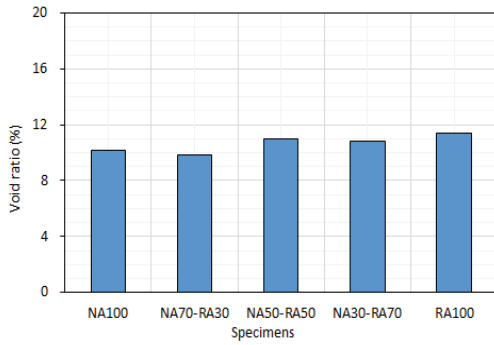


Fig. 6. Void ratio

재생 아스팔트의 공극률 측정결과를 Fig. 6에 나타내었다.

공극률 측정결과 전체적으로 페아스콘 순환골재의 혼입률이 증가함에 따라 혼합물의 공극률은 다소 증가하는 경향을 나타내었다. 페아스콘 순환골재를 혼입율에 따른 혼합물의 공극률 범위는 9.8~11.4%를 나타냈으며, 페아스콘 순환골재만을 사용한 경우는 신재골재만을 사용한 경우에 비하여 약 12% 정도까지 공극률이 증가하는 경향을 나타냈다. 또한 모든 순환골재 혼입률 조건에서 GR F 4026에서 규정하는 공극률 품질기준 범위인 3~12%를 충족시키는 것으로 나타났다. 순환골재만을 사용한 경우는 품질기준 상한치인 12%에 가까운 공극률을 나타낼 수 있으며, 향후 바인더량의 조절 등 배합상 고려를 통해 안정적인 공극률 확보 조건을 도출하여 적용해야 할 것으로 판단된다.

페아스콘 순환골재의 혼입율에 따른 기층용 재생 상온 아스팔트 혼합물의 물성평가 결과 순환골재의 혼입률이 증가할수록 안정도가 감소하는 경향을 나타내기는 하였으나 현재 GR F 4026에서 규정하고 있는 품질기준치를 순환골재만 사용한 혼합물이 모두 충족시키는 결과를 나타내 기층용 재생 상온 아스팔트 혼합물용 골재로서 페아스콘 순환골재의 대량 활용성을 확인할 수 있었으며, 향후 적절한 품질관리 기법을 도출 적용할 경우 재생 상온 아스팔트 혼합물용(기층) 골재로서 순환골재를 100% 활용할 수 있을 것으로 판단된다.

4. 결론

건설폐기물 중간처리업체에서 발생하는 페아스콘을 파쇄, 선별하여 처리된 순환골재의 물성을 평가하고, 페아스콘 순환골재 혼입율에 의한 알칼리활성화 채움재를 사용한 상온 재생 아스팔트 혼합물의 물성이 차이를 검토한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 페아스콘 순환골재를 신재 골재(부순골재) 대비 치환하여 실

시한 합성입도 시험결과 현재 GR F 4026에서 규정하고 있는 재활용 상온 아스팔트 콘크리트 혼합물(기층용 BB-2)의 입도범위를 만족시키는 각각의 골재별 합성비는 순환골재의 혼입정도에 따라 차이가 발생하여 신재골재이고 입도가 40mm의 경우는 0~30%, 20mm의 경우는 0~20%, 13mm는 0~20%, 8mm이하는 0~30% 정도의 합성비를 나타내는 것으로 분석되었다.

- 2) 안정도 측정결과 순환골재의 혼입률이 증가함에 따라 혼합물의 안정도는 감소하는 경향을 나타냈으며 현재 GR F 4026에서 규정하고 있는 재활용 상온 아스팔트콘크리트 혼합물(기층용)의 마찰시험에 의한 안정도 기준치인 3,500 이상을 충분히 만족시키는 것으로 확인되었다. 흐름시험 결과 순환골재 혼입율에 따라 전체적으로는 다소 흐름값이 증가하는 경향을 나타내며 순환골재를 혼입한 기층용 재생 아스팔트 혼합물의 흐름값은 28~34(1/100cm)의 범위를 나타내는 것으로 확인되었다.
- 3) 공극률 측정결과 전체적으로 페아스콘 순환골재의 혼입률이 증가함에 따라 혼합물의 공극률은 다소 증가하는 경향을 나타내었다. 페아스콘 순환골재를 혼입율에 따른 혼합물의 공극률 범위는 9.8~11.4%를 나타냈으며, 페아스콘 순환골재만을 사용한 경우는 신재골재만을 사용한 경우에 비하여 약 12% 정도까지 공극률이 증가하는 경향을 나타냈다.

감사의 글

본 연구는 2017년도 정부(미래창조과학부)의 재원으로 한국연구재단의 지원(No.2017R1A2B2007967)에 의해 수행되었습니다.

References

Hong, I.K., Jeon, G.S., Yang, C.B., Lee, S.B. (2014). Development of optimal binder for recycling cold asphalt mixture, Applied Chemistry for Engineering, **25(4)**, 409-413 [in Korean].

Kang, S.P. (2012). A study on the usability of red mud as activator of alkali-activated cementless binder, Journal of the Architectural Institute of Korea Structure & Construction, **28(11)**, 133-140 [in Korean].

Kang, S.P., Kwon, S.J. (2017). Effects of red mud and alkali-activated slag cement on efflorescence in cement mortar, Construction and Building Materials, **133**, 459-467.

Kim, H.J., Kang, S.P., Choe, G.C. (2018). Effect of red mud content

- on strength and efflorescence in pavement using alkali-activated slag cement, *International Journal of Concrete Structures and Materials*, **12(2)**, 207–215.
- Kim, N.S., Jo, M.H., Lim, J.S. (2003). Laboratory performance characteristics of cold-mixed reclaimed asphalt pavement(RAP), *Journal of the Korean Society of Hazard Mitigation*, **3(1)**, 133–140 [in Korean].
- Lin, J., Wei, T., Hong, J., Zhao, Y., Liu, J. (2015). Research on development mechanism of early-stage strength for cold recycled asphalt mixture using emulsion asphalt, *Construction and Building Materials*, **99**, 137–142.
- Park, S.B., Kwon, H.J. (2001). A study on the properties of modified asphalt mixtures using cold recycling method, *Journal of the Korean Academic Industrial Society*, **2(2)**, 65–71 [in Korean].
- Wang, Y., Leng, Z., Li, X., Hu, C. (2018). Cold recycling of reclaimed asphalt pavement towards improved engineering performance, *Journal of Cleaner Production*, **171**, 1031–1038.
- Xiao, F., Yao, S., Wang, J., Li, X., Amirkhanian, S. (2018). A literature review on cold recycling technology of asphalt pavement, *Construction and Building Materials*, **180**, 579–604.

페아스콘 순환골재 혼입율에 따른 알칼리활성화 채움재 상온 재생 아스팔트 혼합물의 특성

아스팔트의 재활용 기술은 화석연료 감소, 탄소 저감, 포장 성능 개선 등의 장점으로 인해 지난 20년간 선진국의 도로 건설 및 유지관리를 위해 개발되고 적용되고 있다. 상온 재생 아스팔트 혼합물은 상온에서 페아스콘 순환골재를 물과 유화 아스팔트와 함께 혼합하는 역청재료이다. 본 논문은 페아스콘 순환골재 혼입율에 따라 알칼리 활성화 채움재를 사용한 상온 재생 아스팔트 혼합물의 특성을 검토하고자 하였다. 그 결과 페아스콘 순환골재의 혼입율이 증가할수록 상온 재생 아스팔트 혼합물의 마찰 안정도가 감소하고 공극률이 증가하였다. 또한, GR에서 정하고 있는 상온 재생 아스팔트 혼합물의 입도 기준을 모든 골재 혼합 조건에서 만족하였다.