

폐플라스틱 석분이 아스팔트혼합물의 안정도와 흐름치에 미치는 영향

유인균*, 이수형
한국건설기술연구원 도로교통연구본부

Effect of waste plastic filler on stability and flow of asphalt mixture

In-Kyoon Yoo*, Su-Hyung Lee
Department of Highway and Transportation Research, Korea Institute of
Civil Engineering and Building Technology

요약 폐플라스틱은 이미 심각한 환경문제를 야기하고 있으며 코로나19로 그 심각성은 더욱 커지고 있다. 폐플라스틱을 재활용하는 방법 중에서 도로포장의 건설재료로 사용하는 방법이 다양하게 시도되고 있으나 활용률은 높지 않은 편이다. 본 연구에서는 고급 아스팔트 혼합물의 생산에 필요한 석분을 폐플라스틱 분말로 대체하기 위한 연구를 수행하였다. 이 연구를 위하여 동일한 아스팔트 바인더와 골재를 사용하고 석분만 골재석분과 폐플라스틱 석분으로 대체한 아스팔트 혼합물을 제작하여 아스팔트혼합물의 기초적인 물성을 평가하는 마샬안정도와 흐름치 시험을 수행하였다. 시험결과, 폐플라스틱을 석분으로 사용한 아스팔트혼합물은 일반 아스팔트혼합물에 비해 역학적인 강도를 나타내는 마샬안정도에서 동등한 정도의 강도를 발현하는 것을 확인하였다. 평균값에서는 근소한 차이가 나타났지만 95%신뢰도에서 이 두 그룹은 서로 다른 강도를 나타낸다고 말할 수 없음을 확인하였다. 또한 변형과 관계된 흐름시험결과는 일반 아스팔트혼합물보다 폐플라스틱 석분 아스팔트 혼합물이 더 크게 나타났다. 그러나 이것은 일반 아스팔트혼합물의 특성에서 나타나는 허용치 범위 내에 있기 때문에 문제가 되지 않는다. 이렇게 흐름치가 일반 아스팔트보다 허용 범위 내에서 크게 나오는 것은 도로포장의 승차감을 향상시킬 수 있고 겨울철 동결에 파손을 지연시킬 수 있다는 장점이 될 수 있다.

Abstract Waste plastics (WP) is already a serious problem worldwide, and it became more significant an issue due to the spread of Covid-19. Among the various methods of recycling WP, some of them have tried to use WP for laying pavements, but the amount of utilization of WP is not high in this application. In this study, we replace the filler used in the production asphalt mixture (AM) with the WP powder. As part of this study, Marshall stability and flow tests were performed to evaluate the AM's properties and to prepare an AM in which the filler is replaced with WP. From the present work, it was found that the AM using WP exhibited the same level of strength in Marshall stability as compared to other conventional AMs. Although there was a slight difference in the mean strength, it was evaluated that these two groups could not be said to have different strengths at 95% confidence. The flow test results showed that the flow value of AM with the WP filler is greater than that of the GAM. However, this higher flow value is within the allowable range and doesn't pose any problem. Higher flow value is also an advantage in that it can improve the riding on pavement and can delay the damage of pavement in winter.

Keywords : Waste Plastic, Pavement, Filler, T-Test, Marshall Stability

*Corresponding Author : In-Kyoon Yoo(Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology)
email: ikyoo@kict.re.kr

Received June 24, 2021
Accepted August 5, 2021

Revised July 29, 2021
Published August 31, 2021

1. 서론

페플라스틱은 이미 심각한 환경문제를 야기하고 있으며 코로나19로 그 심각성은 더욱 커지고 있으며 플라스틱의 사용은 급증하는데 폐기물처리가 제대로 이루어지지 않아 사회적인 문제가 일어나기도 하였다. 폐기물 처리를 위해 과거에는 바다 속에 매장하기도 하였는데 국제사회가 맺은 런던협약으로 현재는 이 방법도 어렵게 되었다. 또한 국내의 매립이나 소각도 점점 어려워져서 페플라스틱을 재활용하는 기술이 많은 관심을 받고 있다.

보통 페플라스틱을 재활용하는 방법에는, 페플라스틱 자체를 원료로 재활용하는 물질회수방법과, 열에너지 형태로 재활용하는 연료화하는 방법 그리고 화학적으로 분해하는 방법이 주로 사용된다.

이중에서 연료화 방법은 소각하는 과정에서 발암물질인 다이옥신이 발생한다는 문제를 안고 있으며, 화학적 재활용기술은 복잡한 과정과 고도의 기술을 요하기 때문에 물질회수방법이 많이 활용되고 있으며 건설자재로의 재활용이 많이 시도되고 있다.

페플라스틱이 건설재료 중에서도 아스팔트 혼합물에 바인더로 활용하기 위한 연구가 다양하게 시도되고 있으나 상용화되지는 못하고 있는 실정이며 페플라스틱을 세골재나 석분의 대체재로 활용하는 연구는 아직 없는 상황이다.

본 연구에서는 도로포장에 많이 활용되는 아스팔트 혼합물에 사용되는 석분 대체용으로 페플라스틱을 사용하여 아스팔트 혼합물을 제작하고 역학시험을 통해 페플라스틱의 재활용 가능성을 평가하였다.

2. 관련연구

가열 아스팔트혼합물의 성능개선에 페플라스틱을 활용한 연구들은 페플라스틱을 아스팔트의 개질제로 적용하기 위한 연구가 주종을 이루며 골재로 활용하기 위한 연구가 그 다음으로 많고 채움재의 용도로 활용하기 위한 연구는 거의 찾아보기 어려운 상황이다.

Kim[1] 등은 아스팔트바인더의 성능을 개선하기 위하여 PE 레진에서 발생한 침전물에 열을 가해 분자고리를 분해함으로써 왁스계열로 환원시킨 PE Wax를 아스팔트 바인더의 약 3-7%까지 혼합하여 실험한 결과, PE Wax의 혼입율이 증가하면 회전점도도 증가하고, 침입도가 감소한다고 보고하였다. 즉, 고온에서 바인더의 점성을

증가시켜 바인더의 소성변형에 대한 저항성을 강화시킬 수 있음을 확인하였다.

Kim[2] 등은 페 LDPE를 녹여서 약 5-20% 중량비까지 아스팔트 바인더와 혼합하여 실험한 결과, 페 LDPE가 약 10%이상 혼입되는 경우 고화체가 장기적으로 안정성을 유지할 수 있으며 침출저항성이 증가되는 것을 확인하였다.

Cho[3] 등은 50 mesh 이하의 페 EDPM을 아스팔트 바인더에 0-8%까지 혼입한 경우 공용성 등급은 76-22로서 일반아스팔트보다 개질 효과와 소성변형에 대한 저항성이 향상될 수 있다고 보고하였다. 또한 인장강도는 일반 아스팔트혼합물의 인장강도보다 최대 27% 정도 증가하며, 일반 아스팔트혼합물 대비 동적안정도는 최대 79% 정도까지 증가한다고 보고하였다.

또한 Park[4] 등은 페 LDPE를 약 4% 치환한 결과, 호모제나이저를 사용한 고속교반시료(시료A)는 일반 믹서를 사용한 저속교반시료(시료B)에 비하여 약간의 물리적 특성치 상승현상을 보인다고 보고하였다. 침입도 지수의 경우, 시료 A와 B 모두 도로포장의 시공에 적합한 것임을 확인하였으며, 시료 A가 온도감응성이 우수하고 성능 등급을 판단한 결과, 시료 모두 PG 70-22이며, 시료 B가 시료 A보다 레올로지 특성이 우수하다고 보고하였다.

Kim[5] 등은 페 LDPE 10-15%, 페 HDPE 8-10%를 혼입하고, 혼합물의 온도를 약 15℃ 상승시켜 시료를 제작하고 성능을 평가한 실험결과, 페 LDPE 및 페 HDPE의 첨가량이 증가하면 강성지수가 증가하고 페 LDPE 15%이상, 페 HPED 10% 이상 첨가할 경우, 페비닐이 응집하는 특성을 보인다고 보고하였다. 따라서 페 LDPE는 약 12%, 페 HDPE는 약 8% 혼입시 혼합물의 성능개선이 가능하다고 보고하였다.

페플라스틱을 골재로 적용하기 위한 연구로서 Coastal[6] 등의 연구에 따르면 약 0.06mm이하의 페 PE 5%를 아스팔트혼합물의 채움재로 사용한 결과, 소성변형에 대한 저항성이 증가하고, 수분민감성이 감소하는 것을 관찰하였다.

Rahman[7] 등은 약 1.18-3.36mm의 페 PET 분말을 이용하여 제작한 시료의 특성 분석결과, 페 PET의 적절한 치환율은 아스팔트 혼합물 중량의 5.5%를 추천하며, 이렇게 하면 강성이 증대되어 소성변형 저항성이 증가되는 것으로 확인되었다. 이를 근거로 아스팔트혼합물에 약 5.5%의 페 PET를 적용하면 도로포장을 위한 공학적 특성이 향상된다고 보고하였다.

Kim[8] 등은 페타이어(#4-#30) 조각을 아스팔트혼합

물 증량의 약 3%를 치환하여 실험한 결과, 마찰안정도는 일반 아스팔트혼합물과 유사하나 흐름도는 다소 증가하였다. 또한 수침처리를 하지 않은 페타이어를 혼입한 시편의 간접인장강도는 일반시편의 약 85%로 저하되는 것을 확인하였다. 회복탄성계수 시험결과에 따르면 페타이어를 사용한 시료의 회복탄성계수는 일반 시료의 약 67%로 저하되는 것을 확인하였다.

Zakaria[9] 등은 4.75mm이하의 페플라스틱(성분미상)과 페 LCD유리를 혼합하여 골재로 적용한 시편의 물성시험결과, 페플라스틱을 5% 혼합한 시편은 혼입하지 않은 시편과 유사한 마찰안정도와 흐름도를 보였으며, 페LCD유리 1%와 페플라스틱 4%를 혼합한 시료는 혼입하지 않은 시료보다 높은 마찰안정도 및 흐름도를 보였다. 특히 페플라스틱 4%와 페LCD유리 1%를 혼합한 시편은 강성, 소성변형 등의 특성에서도 혼입하지 않은 시편에 비해 우수한 특성을 나타내었다.

Kim[10] 등은 약 19mm의 페 PE를 10%까지 혼합하여 시편을 제작한 후에 실시한 마찰안정도, 열전도율, 휠트래킹시험 결과에 따르면, 페 PE 혼합율이 2.5%, 5%, 10%로 혼합율이 증가함에 따라 마찰안정도와 흐름치가 증가하고 페 PE 혼합율이 증가할수록 열전도율은 감소하였다. 또한 페 PE 혼입율 2.5%에서 동적 안정도가 77% 증가하는 것으로 나타났다.

Kim[11] 등은 아스팔트 바인더 AP-5에 페 LDPE를 6%까지 혼입하고 170℃의 챔버에서 용융/교반한 결과, 페 LDPE를 연화점이 높아지고, 신도와 침입도는 낮아져 점성이 개선되는 것을 확인하였다. 페 LDPE를 아스팔트 바인더에 혼합하면 신도가 감소하지만 아스팔트 바인더 기준치에는 만족하는 것을 확인하였다. 페 LDPE를 아스팔트 바인더에 혼합하면 인화점이 증가하고 작업 시 안정성이 향상될 수 있다. 최대19mm의 페 PE골재를 아스팔트 혼합물에 쇄석을 대신하여 혼합하면 페 PE골재 내부에 존재하는 공극으로 인해 열전도율이 감소하여 겨울철 아스팔트포장에서 동결차단효과와 여름철 열섬현상의 감소를 기대할 수 있다고 주장하였다.

Kim[12] 등은 LDPE를 19mm 골재를 BB-3 기층용 입도에 대하여 물성시험을 시행하였다. 실험결과, 페비닐골재의 혼입률이 증가할수록 아스팔트의 열전도율 및 초음파 속도가 감소하여 단열효과가 기대된다고 주장하였다. 모든 시료가 마찰안정도 기준은 만족하였고 혼합률이 높을수록 안정도는 크게 증기하였다. 페비닐골재 혼입률이 증가하면 동적안정도는 감소하였고, 변형속도는 증가하였으며, 소성변형에 대한 저항성은 만족하는

것으로 확인되었다. 시험시공 결과, 골재의 변형 및 재료 분리 등이 발생하지 않았으며, 장비와 혼합물의 부착문제도 발생되지 않았다고 보고하였다.

페플라스틱을 도로의 아스팔트포장에 재활용하는 경우, 아스팔트바인더에 첨가제로 사용되거나 골재대용으로 적용하기 위한 연구가 이루어 졌으나 특성별 성능개선을 보고하기도 하고 성능저하를 보고하는 경우도 있었다. 이것이 페플라스틱이 도로포장에 적극적으로 활용되지 못하는 이유이며 보다 많은 연구가 필요한 이유이기도 하다.

또한 아스팔트혼합물에는 바인더와 골재와 함께 세립석분이 사용된다. 고급 아스팔트혼합물에는 석분의 역할이 중요하지만 고급석분의 생산이 쉽지 않은 상황이며 페플라스틱으로 석분을 대체하려는 연구는 상대적으로 적으며 페플라스틱의 종류와 적용비율에 대한 특성평가가 필요한 상황이다.

본 연구에서는 페플라스틱을 아스팔트혼합물의 석분 대체제로 활용하기 위한 기본 연구로서 일반적인 석분을 사용한 아스팔트 혼합물과 페플라스틱을 석분으로 사용한 혼합물을 제작하여 아스팔트혼합물의 기본 특성인 마찰안정도와 흐름치의 특성을 통계적으로 비교 분석하고자 한다.

3. 페플라스틱 펠릿

3.1 플라스틱의 분류와 특성

고분자 물질에는 자연에 존재하는 고분자와 탄수화물을 이용한 인공 고분자로 구분되며 인공 고분자는 합성 고무, 합성수지, 합성섬유 등이 있다. 합성수지인 플라스틱은 일반적으로 상용 가능성과 열적 특성 등을 기준으로 분류되며 열변형적 특성 측면에서는 열가소성수지와 열경화성수지로 구분된다.

열가소성 플라스틱은 열에 잘 용융되는 특성을 갖고 있으며, 일상 생활에서 가장 많이 접할수 있는 플라스틱이며, 재가열을 통해 가소성을 유도할 수 있는 플라스틱이다. 그리고 열경화성 플라스틱은 가열성형을 통해 제품이 생성된 후에는 다시 열을 가해도 유동성을 갖지 않는 플라스틱을 말한다.

대부분의 열가소성 플라스틱은 현재 범용적으로 활용되는 플라스틱으로써 그 종류에는 폴리프로필렌(PolyPropylene, PP), 폴리에틸렌(PolyEthylene, PE), 폴리염화비닐(PolyVinylChloride, PVC), 폴리스틸렌

Table 1. Characteristics of the main thermoplastics (KPRA[13])

Classification	PolyEthylene (PE)	Polypropylene (PP)	PolyStyrene(PS)	Methacryl (PMMA)	PolyVinyl Chloride(PVC)
Molecular Structure	$\text{-CH}_2\text{-CH}_2\text{-}$ (n)	$\begin{array}{c} \text{-CH}_2\text{-CH-} \\ \\ \text{-CH}_3 \end{array}$ (n)	$\begin{array}{c} \text{-CH}_2\text{-CH-} \\ \\ \text{C}_6\text{H}_5 \end{array}$ (n)	$\begin{array}{c} \text{CH}_3 \\ \\ \text{CH}_2\text{-C-} \\ \\ \text{OCOCH}_3 \end{array}$ (n)	$\begin{array}{c} \text{-CH}_2\text{-CH-} \\ \\ \text{Cl} \end{array}$ (n)
Monomer Molecular Weight	28	42	104	100	62.5
Specific Gravity	0.91-0.965	0.902-0.906	1.04-1.10	1.16-1.20	1.3-1.4
Heat Resistance Temperature	90-120	121-160	50-70	60-110	60-70
Acid Resistance	○	○	○	○	○
Alkali Resistance	○	○	○	○	○
Pyrolysis Temperature	290-360	220-250	330-400	170-300	190-300
Ignition Temperature	350	389	495	450	454
Melting Point	137	137	176	240	212
Calorific Value	11,040	11,040	9,680	6,675	4,230
Chlorine-Based or Non-Chlorine	non-chlorine	non-chlorine	non-chlorine	non-chlorine	chlorine-based

(PolyStyrene, PS), 폴리메틸메타크릴레이트 (PolyMethylMethAcrylate, PMMA), 폴리염화비닐리덴(PolyVinylideneChloride, PVDC), 폴리에스테르 (PolyesterPolyethylene Terephthalate, PET) 수지 등이 있다. 이들 열가소성 플라스틱의 특성을 Table 1에 정리하였다. 그 중에서 폴리프로필렌인 PP는 열가소성 범용수지의 한 가지이며 그 중에서 유일하게 내열성이 있고, 내약품성에도 뛰어나다. 내충격성에서는 약점은 있으나 각종성분 첨가에 의한 개질로, 유연한 것부터 강성이 높은 것까지 제조 가능하다. 가격이 저렴해서 부엌용품, 잡화, 각종 용기, 자동차 부품 등에 넓게 사용되어 범용 수지 중에서 사용량이 가장 많다.

다시 가열하여도 연화되지도 않으며, 용매에도 용해되지 않는 열경화성 수지의 종류로는 에폭시, 멜라민 초산비닐, 폴리우레탄, 요소, 불포화폴리에스테르 수지 등이 있다.

범용적으로 사용되는 플라스틱의 경우, 전 세계적으로 분류번호 및 기호를 제정하여 분리배출이 용이하도록 하고 있으며, 우리나라도 이러한 국제기준을 따르고 있다. 플라스틱의 사용량이 가장 많다는 점을 고려하여 일차적으로 PP페플라스틱을 플라스틱필러재료로 선정하였다.

3.2 PP 플라스틱석분의 생산

플라스틱을 재활용하는 방법은 재활용이 어려운 플라스틱을 선별하고 이물질로 더러워진 플라스틱을 세척을 통해 재생원료로 재활용하는 방식입니다. 쉽게 말해 폐플라스틱을 물리적으로 가공해 다시 플라스틱을 생산하는 것을 말한다. 재질선별과 세척공정을 거친 폐플라스틱 조각들을 재생압출기를 이용해 일정한 크기의 플라스틱 조각인 ‘펠릿(Pellet)’으로 만들어 재생원료로 사용한다.

이러한 재생압출기에 PP 폐플라스틱 85%와 플라이애쉬 15% 중량비로 혼합하여 압출하고 직경 및 길이 2mm로 생산된 펠릿을 아스팔트혼합물의 석분대용으로 사용하였다. Fig. 1은 폐플라스틱석분 생산공정을 보여주고 있으며 Fig. 2는 생산된 펠릿의 모습을 보여주고 있다.

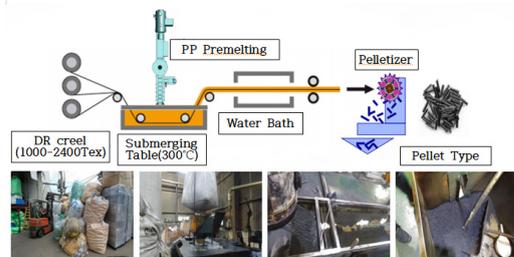


Fig. 1. Plastic Filler Manufacturing Process

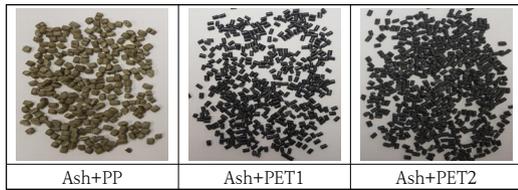


Fig. 2. Three Prototypes of Plastic Filler

이러한 펠렛이 아스팔트혼합물의 배합과정에서 용융되며 플라이애쉬가 공극을 채워주며 필러 역할을 하며 PP가 아스팔트 바인더를 개선하게 된다.

4. 아스팔트혼합물시험

4.1 시험의 개요 및 목적

아스팔트혼합물의 배합에 적용되는 채움재는 아스팔트와 골재 사이의 공극을 채워 아스팔트사용량을 감소시키고 아스팔트혼합물의 안정성, 내노화성, 인성, 내마모성 등을 개선시킨다. 아스팔트콘크리트에 사용되는 일반적인 채움재로는 석회석분, 생석회, 소석회, 플라이애쉬, 시멘트, 일반석분 등 포장의 용도 및 목표성능에 따라 다양한 종류가 있다.

본 실험은 폐플라스틱의 활용성을 증대시키기 위한 기초 연구의 일환으로 폐플라스틱을 채움재로 적용한 아스팔트혼합물의 역학적 특성인 마찰안정도와 흐름도 특성에 대해 실험하여 분석하고자 한다.

4.2 시험변수 및 방법

4.2.1 실험변수

폐플라스틱을 채움재로 적용한 아스팔트혼합물의 역학특성을 평가하기 위해 다음 Table 2와 같이 사용AP, 골재, 배합비율 등 동일한 조건을 적용하였다. 다만, 채움재만 석분과 폐플라스틱으로 구분하여 변수로 설정하였다.

Table 2. Experimental Variables

Variable	As-Binder	Agg.	Filling
Screen Asphalt	Straight	BB-3	Screen
Plastic Asphalt	Straight	BB-3	Plastic

따라서 표준시편에는 일반석분을 적용하고, 비교시편에는 물질 가공형 재활용 폐플라스틱을 석분으로 적용하였다.

4.2.2 실험방법

4.2.2.1 아스팔트 혼합비율

공시체 제작을 위한 아스팔트의 배합비율은 다음 Table 3 및 Table 4와 같으며 일반적으로 도로포장현장에서 사용하는 비율을 적용하였다.

Table 3. Mixing Ratio

AP(%)	Agg.(%)		Filler(%)
	Coarse	Fine	
4.1	50.0	40.9	5.0

Table 4. Table of Mixture

Variables	AP(g)	Agg.(g)		Filler(g)
		Coarse	Fine	
Screen	225.5	2, 749.7	2, 249.8	275.0
Plastic	225.5	2, 749.7	2, 249.8	126.9

※ Filler replacement based on volumetric displacement

4.2.2 적용골재

시편제작의 적용기준 및 골재의 입도는 다음과 같다 (Table 5 및 Table 6 참조).

- 적용대상 : 기층용 가열아스팔트
- 적용입도 : BB-3

Table 5. Sieving Analysis of Coarse Aggregates

Sieve size	Coarse Aggregate			
	Mass Remained (g)	Mass Remained (%)	Mass Passing (%)	Cumm. Remained (%)
40mm	0	0	100	0
25mm	0	0	100	0
13mm	3619.5	72.66	27.33	72.66
5mm	1334.8	26.79	0.54	99.45
2.5mm	26.3	0.52	0.014	99.98
Finer	0.7	0.014	0	100

4.2.3 적용기준

실험은 다음과 같은 관련 기준에 의거하여 실시하였다.

- ① KS F 2337(마샬 시험기를 사용한 아스팔트혼합물의 마샬 안정도 및 흐름값 시험방법)
- ② KS F 2357(아스팔트 혼합물용 골재)
- ③ KS F 3501(아스팔트 포장용 채움재)
- ④ SPS-KAI0002-F2349-5687(가열 아스팔트혼합물)

4.2.4 시편제작 및 시험

마샬안정도 및 흐름도 측정을 위한 아스팔트 시편의 제작과 시험은 관련시험법의 규정에 따라 측정하였다.

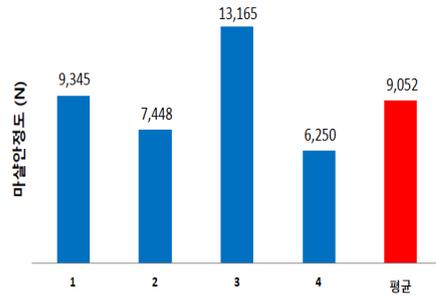


Fig. 3. Test Results of Marshall for Screens

Table 6. Sievings test result of fines

Seive size	Fine Aggregate			
	Mass Remained (g)	Mass Remained (%)	Mass Passing (%)	Cumm. Remained (%)
9.52mm	0.00	0.00	100.00	0.00
4.75mm	1.50	0.38	99.62	0.38
2.38mm	22.60	5.78	93.84	6.16
1.18mm	44.10	11.27	82.57	17.43
0.6mm	183.20	46.83	35.74	64.26
0.297mm	98.10	25.08	10.66	89.34
0.15mm	38.50	9.84	0.82	99.18
Finer	3.20	0.82	0.00	100.00

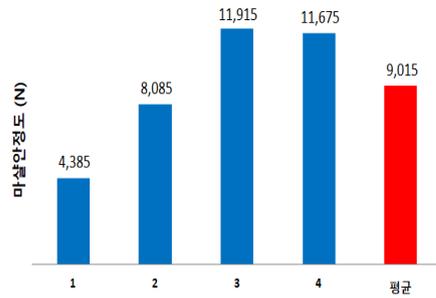


Fig. 4. Test Results of Marshall for Plastics

5. 시험결과 및 통계적 분석

5.1 마샬안정도

상기와 같이 제작된 시편의 마샬안정도 측정결과는 다음 Table 7, Fig. 3, Fig. 4와 같다.

Table 7. Test Results of Marshall Stability

Var.	Marshall Stability(N)				Avg. (N)
	1	2	3	4	
Sr	9,345	7,448	13,165	6,250	9,052
Pl	4,385	8,085	11,915	11,675	9,015

석분을 채움재로 적용한 아스팔트콘크리트의 평균 마샬안정도는 약 9,052N로 측정되었고 페플라스틱을 채움재로 적용한 아스팔트콘크리트의 평균 마샬안정도는 약 9,015N로 측정되었다.

이 두 그룹의 실험결과에 대해서 분산분석을 실시하기 위해 등분산과 이분산을 구분하기 위해 F검정을 실시한 결과가 Table 8이다. Table 8에서 P값이 0.399로 0.05보다 크므로 등분산으로 분산분석을 실시한다.

Table 8. F-test: Two-Sample for Variances

	screen	plastic
Mean	9052	9015
Variance	9142213	12595800
Observations	4	4
df	3	3
F	0.725814	
P(F<=f) one-tail	0.399285	
F Critical one-tail	0.107798	

등분산 가정으로 두 집단에 대한 t-검정을 실시한 결과가 Table 9이다. Table 9에 따르면 P 값이 0.494로 0.05보다 크므로 이 두 집단 사이에는 유의한 차이가 있다고 볼 수 없다.

Table 9. t-test: Two-Sample Assuming Unequal Variances

	screen	plastic
Mean	9052	9015
Variance	9142213	12595800
Observations	4	4
Pooled Variation	10869006	
Hyperthesized Mean Difference	0	
df	6	
t Stat	0.015872	
P(T<=t) one-tail	0.493926	
t Critical one-tail	1.94318	
P(T<=t) two-tail	0.987851	
t Critical two-tail	2.446912	

결국 통계분석에 따르면, 아스팔트혼합물에 골재석분을 사용하는 경우와 플라스틱 석분을 사용하는 경우 마샬안정도 시험결과에서 석분을 사용한 아스팔트혼합물이 약간 크게 나왔지만 통계적으로 유의한 차이를 보이지는 않았다. 이것을 시각적으로 보여주는 것이 휘스커 다이어그램이며 Fig. 5와 같다.

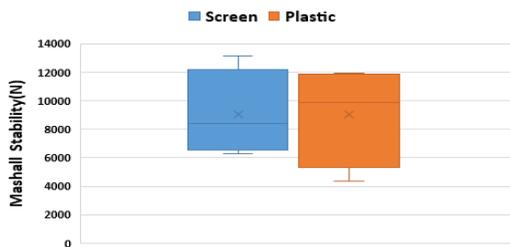


Fig. 5. Box Whisker diagram of Marshall Stability for Screen and Plastic Asphalt Mixtures

Fig. 5를 보면 두 그룹의 마샬안정도 값 범위가 대부분 중복되는 것을 알 수 있다. 이것은 폐플라스틱이 아스팔트의 석분대용으로 충분히 활용될 수 있다는 것을 의미한다.

5.2 흐름도

상기 마샬안정도 측정시 확인된 시편별 흐름도 측정결과를 다음 Table 10, Fig. 6, Fig. 7과 같다.

Table 10. Test Results of Flow test

Variables	Flow(mm)				Avg. (mm)
	1	2	3	4	
Screen	2.13	1.90	2.03	2.11	2.043
Plastic	3.02	2.33	3.02	3.28	2.913

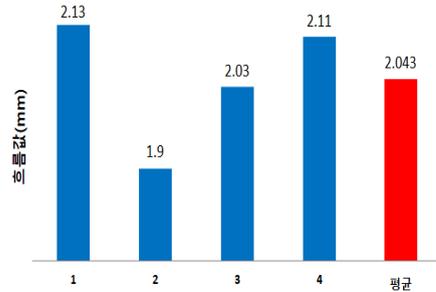


Fig. 6. Test Results of Flow for Screens

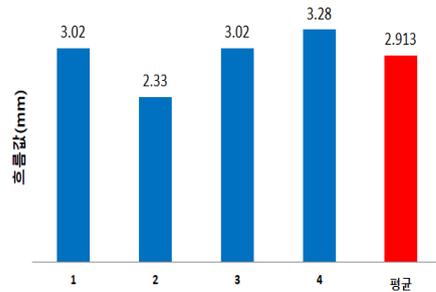


Fig. 7. Test Results of Flow for Plastics

석분을 채움재로 사용한 일반 아스팔트콘크리트의 흐름도는 약 2.043mm의 평균값을 나타내었고 폐플라스틱을 채움재로 사용한 아스팔트콘크리트의 흐름도는 약 2.913mm의 평균값을 나타내었다.

Table 11. F-test: Two-Sample for Variances

	screen	plastic
Mean	2.0425	2.9125
Variance	0.010892	0.165825
Observations	4	4
df	3	3
F	0.065682	
P(F<=f) one-tail	0.02549	
F Critical one-tail	0.107798	

이 두 그룹의 실험결과에 대해서 분산분석을 실시하기 위해 등분산과 이분산을 구분하기 위해 F검정을 실시한 결과가 Table 11이다. Table 11에서 P값이 0.0128로 0.05보다 작으므로 이분산으로 분산분석을 실시한다.

이분산 가정으로 두 집단에 대한 t-검정을 실시한 결과가 Table 12이다. Table 12에 따르면 P 값이 0.0128로 0.05보다 작으므로 이 두 집단 사이에는 유의한 차이가 있다고 볼 수 있다.

Table 12. t-test: Two-Sample Assuming Unequal Variances

	screen	plastic
Mean	2.9125	2.0425
Variance	0.165825	0.010892
Observations	4	4
Hyperthesized Mean Difference	0	
df	3	
t Stat	4.139144	
P(T<=t) one-tail	0.012801	
t Critical one-tail	2.353363	
P(T<=t) two-tail	0.025601	
t Critical two-tail	3.182446	

두 그룹에 대한 흐름치의 통계 분석에 따르면 석분을 사용한 아스팔트 혼합물과 플라스틱을 이용한 아스팔트의 흐름치는 분명한 차이를 보이는 것으로 나타났다(Fig. 8). 즉, 플라스틱을 석분으로 사용한 아스팔트가 석분을 사용한 아스팔트보다 흐름치가 큰 것으로 나타났다.

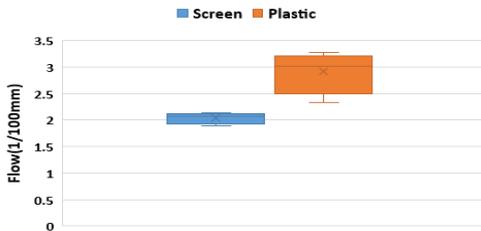


Fig. 8. Box Whisker diagram of Flows for Screen and Plastic Asphalt Mixtures

이것은 소성변형과 같은 영구변형에 영향을 미칠 수도 있으나 허용범위 내에서의 흐름치이기 때문에 아스팔트 혼합물의 탄성을 증진시킬 수 있어서 도로의 승차감을 향상시키고 겨울철 파손을 저감하는 추가적인 기능을 기

대할 수도 있다.

6. 결론

본 연구에서는 동일한 아스팔트 바인더와 골재를 이용하고 골재석분과 페플라스틱석분이 첨가된 아스팔트혼합물을 제작하여 아스팔트혼합물의 기본특성인 마찰안정도와 흐름치 시험을 시행하여 페플라스틱의 아스팔트혼합물에서의 적용 가능성을 평가하였다. 본 연구의 결과는 다음과 같다.

첫째, 석분을 사용한 아스팔트혼합물과 페플라스틱석분을 사용한 아스팔트 혼합물에 대한 강도시험인 마찰안정도 시험에서는 석분을 사용한 아스팔트 혼합물이 약간 크게 나왔으나 통계적으로 의미가 없는 차이로 밝혀졌다. 따라서 아스팔트혼합물에 석분을 대신해서 페플라스틱을 사용하더라도 아스팔트혼합물의 역학적인 강도를 충분히 발휘할 것으로 판단된다.

둘째, 석분을 사용한 아스팔트혼합물과 페플라스틱석분을 사용한 아스팔트혼합물에 대한 흐름값은 페플라스틱을 사용한 아스팔트혼합물이 크게 나왔다. 통계적 분석 결과, 95% 신뢰도에서 통계적으로 유의한 차이를 보이는 것으로 나타났다. 그러나 두 그룹에서 나타내는 흐름값은 아스팔트혼합물에서 요구하는 흐름값의 범위 내에 존재하므로 적용상의 문제는 없는 것으로 판단된다.

셋째, 페플라스틱을 석분으로 사용한 아스팔트혼합물의 흐름값이 일반 아스팔트혼합물의 흐름값보다 허용범위 내에서 크다는 것은 동일한 강도를 발휘하면서 유연성을 좋다는 것을 의미한다. 이것은 도로포장의 승차감을 향상시키며 겨울철의 동결피해를 줄여주는 기능을 기대할 수도 있다.

본 연구에서는 페플라스틱을 석분으로 이용한 아스팔트혼합물이 일반 아스팔트혼합물에서 요구하는 역학적인 특성과 흐름특성을 만족한다는 것을 보여주었으며 페플라스틱을 사용한 아스팔트에서 나타나는 유연성을 활용하면 도로포장의 기능과 수명을 향상시킬 수 있을 여지가 있음을 확인하였다.

References

[1] B. I. Kim, S. I. Jeon, M. S. Lee, Y. H. Cho (2006). Physical Properties of Asphalt Binders Added with PE

Wax, *Journal of the Korean Society of Highway Engineers*, Vol. 8, No. 4, pp. 101-113(in Korean)

[2] T. K. Kim, J. S. Son, K. P. Hong (2004). A Study on the Leaching Characteristics of Radioactive Substances from Asphalt Solid Waste Resin by Addition of PE, *Journal of the Korean Society of Environmental Engineering*, 26(1), pp. 35-39(in Korean)

[3] Y. J. Cho, J. M. Han, Y. J. Roh, S. H. Choi (2010), Plastic deformation and moisture sensitivity of R-EPDM modified asphalt mixture, *Journal of the Korean Society of Highway Engineers*, Vol. 12, No. 4, pp. 87-92(in Korean)

[4] T. S. Park, J. Y. Lee, I. W. Kang (2015), Comparative Study on Characteristics of Asphalt Binders Added with Waste LDPE According to Changes in Agitation Method, *Journal of the Korean Asphalt Society*, Vol. 5, No. 2, pp. 43-48(in Korean)

[5] K. W. Kim, J. I. Kim, S. J. Lee, S. J. Seon (2002), An Experimental Study on Determination of Appropriate Addition of Waste Vinyl to Asphalt Concrete, *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineering*, Vol. 44, No. 5, pp. 88-95(in Korean)

[6] L. M. B. Costa, J. Peralta, J. R. M. Oliveira, H. M. R. D. Silva, (2017). A New Life for Cross-Linked Plastic Waste as Aggregates and Binder Modifier for Asphalt Mixtures, *Appl. Sci.* 2017, 7.
DOI : <http://doi.org/10.3390/app7060603>

[7] W. M. Rahman1, M. A. Oardin (2016), Characterisation of Recycled Polyethylene Terephthalate as Partial Fine Aggregate Replacement Properties and Behaviour of Asphalt Mixtures for Road Pavements, *ARPJN Journal of Engineering and Applied Sciences*, Vol.11, No. 6, pp. 3755-3758, March 2016

[8] K. W. Kim, Y. K. Choi, G. D. Jeong (1996), Characteristics of CRM Asphalt Concrete, *Proceedings of the Korean Society of Civil Engineers Conference*, pp. 25-28

[9] N. M. Zakaria, M. K. Hassan, A. N. Ibrahim, S. A. Rosyidi, N. I. Yusoff, A. A. Mohamed, N. Hassan (2018), The Use of Mixed Waste Recycled Plastic and Glass as an Aggregate Replacement in Asphalt Mixtures, *Journal Teknologi (Sciences & Engineering)*, Vol. 80, No. 1, , pp. 79-88, January 2018
DOI : <http://doi.org/10.11113/jt.v80.11147>

[10] Y. J. Kim (2016), Characteristics test of mixed asphalt concrete with PE aggregate for reinforcing gravel track, *Proceedings of the Fall Conference of the Korean Railroad Association*, pp. 1136-1139(in Korean)

[11] Y. J. Kim (2015). Changes in the properties of asphalt according to the mixing of waste vinyl, *Proceedings of the Korean Society of Geotechnical and Environmental Engineering*, pp. 338-343(in Korean)

[12] B. J. Kim, Y. J. Kim, J. Y. Park, J. H. Jeong (2013), Physical Properties of Asphalt Concrete Using Waste Vinyl Aggregate, *Journal of the Korean Society of*

Highway Engineers, Vol. 15, No. 2, pp. 73-81(in Korean)

DOI : <http://doi.org/10.7855/IJHE.2013.15.2.073>

[13] KPRA(2016), Definition and Classification of Plastics, Korea Pavement Recycling Association., pp.1-5(in Korean)

유 인 균(In-Kyoon Yoo)

[정회원]



- 1986년 2월 : 고려대학교 공대대학원 토목공학과 (공학석사)
- 2000년 2월 : 고려대학교 공대대학원 토목공학과 (공학박사)
- 1995년 10월 : 도로 및 공항 기술사, 한국산업인력공단

- 1987년 4월 ~ 현재 : 한국건설기술연구원 도로교통연구본부 선임연구위원

<관심분야>

도로공학, 교통소음

이 수 형(Su-Hyung Lee)

[정회원]



- 2003년 2월 : 경기대학교 공대대학원 토목공학과 (공학석사)
- 2013년 2월 : 경기대학교 공대대학원 토목공학과 (공학박사)
- 1993년 5월 ~ 현재 : 한국건설기술연구원 더러교통연구본부 수석연구원

<관심분야>

도로공학, 교통소음