

농업용 폐비닐로 개질한 아스팔트 콘크리트의 배합설계

Mix Design for Waste PE Films Modified Asphalt Concrete

김 광 우 · 이 상 범* · 오 성 균 · 고 동 혁 · 정 승 호 (강원대)

Kim, Kwang Woo · Li, Xiang Fan · Oh, Sung Kyun · Ko, Dong Hyuk · Jeong, Song Ho

Abstract

This study is basic research to improve quality of asphalt concrete mixture, to preserve environment, and to recycle waste vinyl. The mixing method and proper content of waste vinyl were determined through preliminary mix design. This study performed mix designs using 2 type gradations of aggregate in addition content of waste vinyl. Marshall stability at optimum asphalt content of asphalt concrete mixture adding waste vinyl was satisfied with the specification of the Ministry of Construction and Transportation, and its values indicated that dense grade asphalt concrete mixture containing waste vinyl were higher than common dense grade mixture (control). From this study, it was confirmed that addition of waste vinyl improved quality of asphalt concrete mixture.

1. 서론

고소독 작물의 재배를 위해 농업용 합성수지 필름을 사용한 비닐하우스의 사용은 매년 많은 양의 폐비닐을 발생시키고 있다. 이러한 폐비닐은 방치되거나 땅속에 그대로 남아있어 작물 성장에 상당한 지장을 초래하게 되며, 시비시 비료성분이 비닐에 차단되어 토양속으로 침투되지 않아 그 효과가 감소되고 있다. 또한 밭에서 걷어낸 비닐의 누적 방치는 외관상으로 보기 흉할 뿐만 아니라 일부는 소각하여 대기오염의 원인이 되기도 한다. 한국자원재생공사에서 조사에 의하면 1998년에는 약 97,000톤이 발생하였는데 그 중 저밀도 폴리에틸렌(Low density polyethylene: LDPE) 비닐이 가장 많고, 다음이 고밀도 폴리에틸렌(High density polyethylene: HDPE)비닐이다.

본 연구팀은 다년간의 폴리머 개질 아스팔트 혼합물에 대한 연구를 통하여 LDPE를 아스팔트에 첨가시 혼합물의 여러 가지 특성을 향상시킬 수 있음을 입증하였다. 따라서 본 연구에서는 문제가 되고 있는 농업용 폐비닐을 농촌 도로 포장재료의 일부로 재활용함으로써 아스팔트 혼합물의 성능 향상과 재활용으로 인한 환경보존과 자원재생 등 효과를 목적으로 본 연구를 수행하였다.

2. 재료 및 방법

2.1 사용재료

2.1.1 골재

본 연구에서는 강원도에서 생산된 H사의 굵은골재 최대치수가 19mm인 편마암 쇄석골재를

사용하였으며, 잔골재는 굵은골재를 생산하는 과정에서 발생하는 부순모래(Screenings)를 사용하였다. 혼합물은 건설교통부 19mm 밀입도 혼합물 규격에 적합한 입도와 본 실험실에서 연구한 소성변형에 강한 겹입도를 사용하였으며 입도분포 곡선은 Fig. 1과 같다. 또한 골재들은 KS규격에 따라서 품질시험을 실시하였다. 골재의 특성은 표 1과 같다.

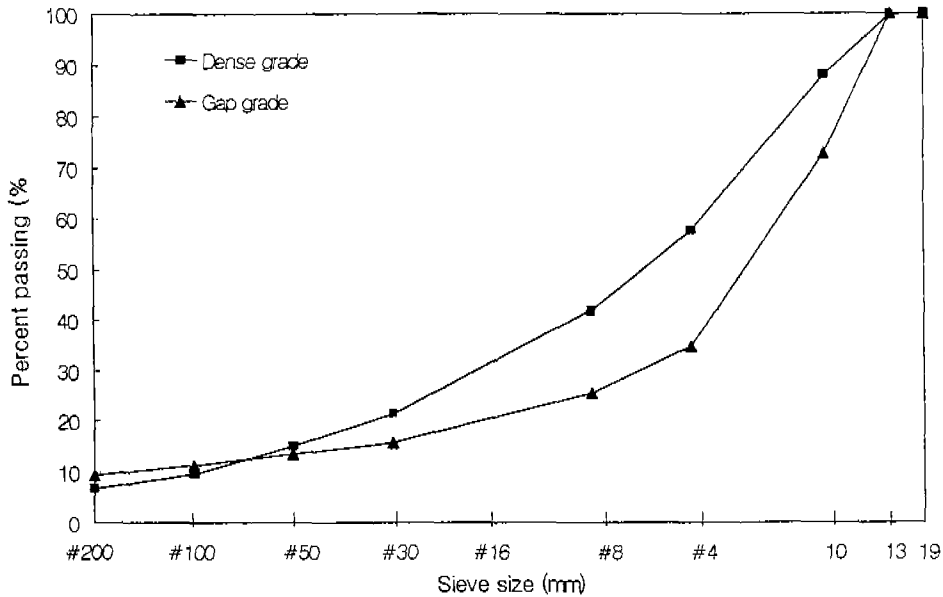


Fig. 1. Gradation of aggregates

Table 1. Properties of aggregates

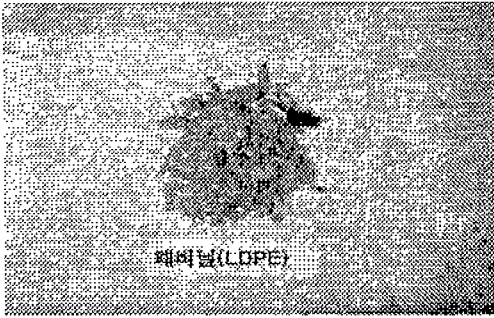
Test items	Coarse aggregates		Fine aggregates	Filler	
	Spec. limit	Measured value		Spec. limit	Measured value
Specific gravity	>2.45	2.69	2.70	>2.60	2.75
Abrasion (%)	< 35	16.7	-	-	-
Absorption (%)	< 3.0	0.72	0.32	-	-

2.1.2 아스팔트

본 연구에서는 국내에서 생산되는 우리나라 중부지역에서 널리 사용되고 있는 침입도 등급 85-100인 AP-3 아스팔트 시멘트를 사용하였다.

2.1.3 페비닐

본 연구에 사용된 페비닐은 LDPE, HDPE 두 종류이다. 본 연구에서 사용한 겹입도 혼합물은 제조시 아스팔트의 드레인 다운 현상을 방지하기 위하여 fiber 등 재료를 첨가하여야 한다. 페비닐은 드레인 다운 현상을 방지하고 개질로 인한 성능향상의 이중 효과가 있을 것으로 기대된다. 본 연구에 사용된 페비닐의 형태는 Fig. 2와 같다.



(a)



(b)

Fig. 2. Waste PE films, (a) LDPE and (b) HDPE

2.2 실험방법

2.2.1 예비시험

예비시험에서는 폐비닐을 첨가한 아스팔트 혼합물의 혼합방법과 대체적인 첨가량을 결정하기 위하여 수행되었다.

개질 아스팔트 혼합물의 혼합방법은 일반적으로 크게 건식혼합과 습식혼합으로 나뉜다. 건식혼합은 폐비닐을 골재와 아스팔트를 혼합하기 전에 골재에 추가하여 혼합하는 방법으로 현장 적용성을 높이기 위한 방법이다. 습식혼합은 아스팔트를 먼저 오븐 속에 넣어 180℃로 충분히 가열한 후 폐비닐을 아스팔트에 서서히 넣고 같은 온도를 유지하면서 고성능 전단믹서로 혼합하는 방법이다.

먼저 습식혼합으로 시험을 수행한 결과 폐비닐 조각이 너무 크고 덩어리로 응집되는 경향이 심하여 고성능 전단믹서로 혼합이 불가능하였다. 또한 습식혼합은 플랜트에 아스팔트 드럼을 따로 설치하여야 하는 불편함으로 인하여 현장에서는 건식혼합을 추천한다. 따라서 본 연구에서는 건식혼합 방식을 채택하기로 하였다.

건식혼합으로 폐비닐 LDPE를 아스팔트 함량의 6%, 10%, 14%로 증가시켜 첨가하여 혼합물을 제조하였다. 결과 6%, 10%에서는 폐비닐이 응집되는 경향이 없었으나 14%에서는 약간의 응집경향이 나타났기 때문에 폐비닐 첨가량이 20%로 증가할 때 다량의 응집현상이 예측되었다. 따라서 예비시험으로 배합설계를 통하여 결정된 최적아스팔트 함량(OAC)으로 19mm 일반 밀입도 혼합물에 폐비닐을 10%, 15%, 20% 첨가하여 혼합물을 제조하였다. 결과 20%에서는 응집현상이 심하여 혼합시간이 길고 수작업으로 응집된 폐비닐 덩어리를 분산시켜야 했다. 바살안정도 시험결과는 표 2와 같다.

표 2. 예비시험결과

아스팔트 함량(%)	폐비닐 함량 (%)	공극율 (%)	VMA(%)	채움율 (%)	안정도 (kg)	흐름값 (0.01cm)
5.2	AC 10%	5.02	16.99	70.47	1353	34
5.2	AC 15%	6.10	17.92	65.94	1227	30
5.2	AC 20%	6.98	18.65	62.59	1370	31

시험결과를 보면 공극율, 채움율을 제외하고 모두 건설교통부 규정을 만족하였다. 안정도는 규정 값 500kg보다 800kg이상 큰 것으로 개질 효과가 있음을 알 수 있었다.

상기의 결과로부터 LDPE 페비닐 첨가량은 17.5%, HDPE는 12%로 결정하고 배합설계를 수행하였다.

2.2.2 배합설계

아스팔트 혼합물의 배합설계는 마샬방법으로 수행하였으며, 공시체의 제작은 마샬다짐기를 이용하여 공시체 상하 양면을 각각 50회씩 다짐하였다. 작업성 확보를 위하여 일반 혼합물의 가열온도보다 약 15℃ 더 올려 다짐하였다.

2.2.3 마샬안정도 시험

배합설계를 통하여 얻어진 최적 아스팔트 함량으로 공시체를 제작하여 마샬 특성치를 구하였다. 마샬안정도는 몰드에서 탈형한 공시체를 60℃의 수조에 30분 동안 수침시킨 후 수조에서 꺼내어 표면의 물기를 마른 수건으로 제거한 후 마샬시험 장비를 이용하여 50mm/min의 속도로 하중을 재하하여 구하였다.

3. 결과 및 고찰

아스팔트 함량에 따른 각 혼합물의 마샬안정도 시험결과는 Fig. 3~6과 같으며, 건설교통부 밀입도 아스팔트 혼합물의 배합설계규정은 표 3과 같다. 그림에서 Control은 19mm 밀입도 혼합물이고, DL은 LDPE 17.5% 첨가한 19mm 밀입도 혼합물이며, GL은 LDPE 17.5% 첨가한 겹입도 혼합물이며, HDPE는 HDPE 12% 첨가한 겹입도 혼합물을 나타낸다.

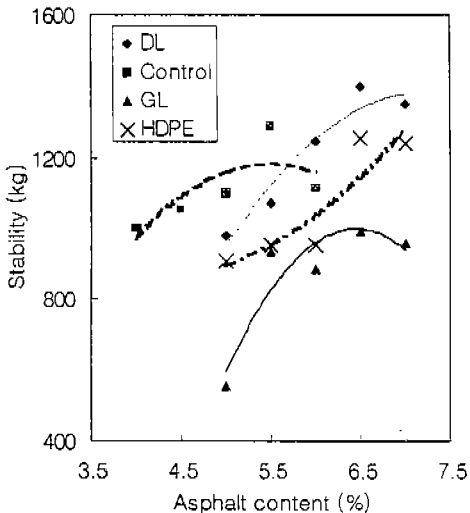


Fig. 3. Variation of stability by asphalt content

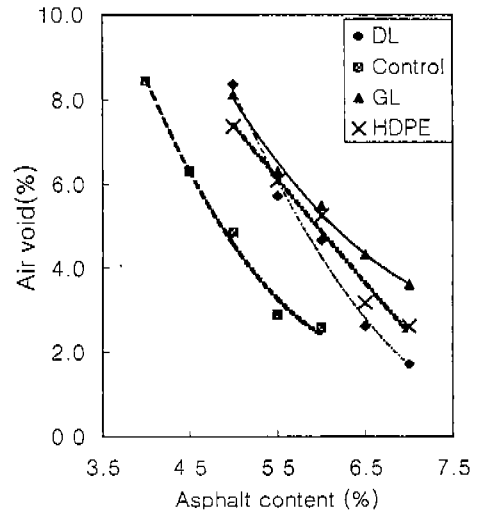


Fig. 4. Variation of air void by asphalt content

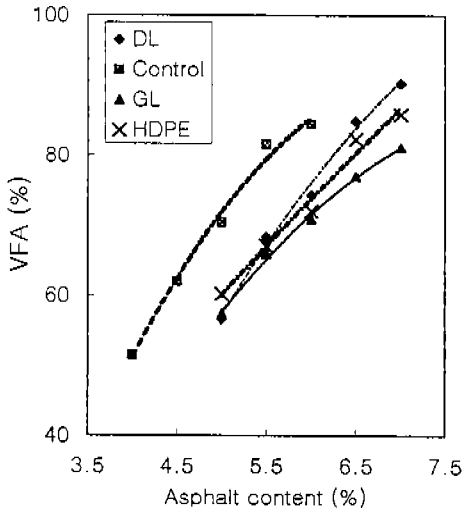


Fig. 5. Variation of VFA by asphalt content

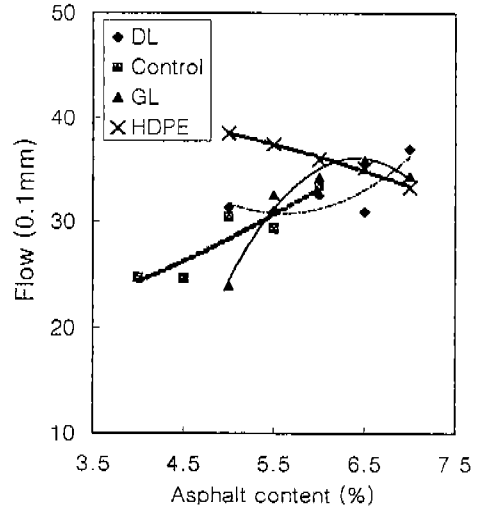


Fig. 6. Variation of flow by asphalt content

표 3. 건설교통부 마샬시험에 대한 기준치

혼합물 종류	다짐회수	공극율 (%)	채움율 (%)	안정도 (kg)	흐름값 (0.01cm)
19mm, 13mm	50	3~6	70~85	>500	20~40

상기의 규정에 의하여 최적 아스팔트 함량을 결정하였다. 결정된 최적 아스팔트 함량별 마샬안정도 시험결과는 표 4와 같다.

표 4. 혼합물별 마샬안정도 시험성과표

혼합물 종류	아스팔트 함량(%)	페비닐 종류 및 함량(%)	공극율 (%)	VMA(%)	채움율 (%)	안정도 (kg)	흐름값 (0.01cm)
밀입도	5.2	0	3.85	15.88	75.79	1366	29
	6.1	LDPE 17.5%	3.84	17.63	78.22	1732	36
겉입도	6.5	LDPE 17.5%	4.43	18.87	76.52	877	37
	6.2	HDPE 12%	4.37	18.30	76.11	882	35

시험결과 모든 혼합물은 배합설계 규정을 만족하였다. 밀입도 혼합물에서 페비닐을 첨가한 혼합물의 안정도는 규정값 500kg보다 훨씬 큰 값을 나타내었으며, 일반 밀입도 혼합물보다 안정도가 27% 향상하였다. 공극율은 약 4%로 미국의 Superpave 배합설계에서 요구하는 최적의 값에 접근하였다. 겉입도 혼합물도 페비닐의 종류에 관계없이 최대첨가량에서 안정도 값이 규정값 이상으로 비슷하게 나타났다.

4. 결론

본 연구는 폐비닐을 재활용하여 환경보전과 자원재생 및 아스팔트 혼합물의 품질향상을 위한 연구로서 예비시험을 통하여 폐비닐의 첨가함량의 범위를 결정하고 폐비닐의 종류 및 입도 특성에 따라 배합설계를 수행하고 최적아스팔트 함량으로 마찰안정도 시험을 수행하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 예비시험을 통하여 폐비닐을 첨가한 아스팔트 혼합물의 혼합은 건식혼합이 가능함을 알 수 있었다.

2. 배합설계를 통하여 결정된 최적아스팔트 함량으로 마찰안정도 시험을 수행한 결과 폐비닐을 첨가한 모든 혼합물이 규정을 만족하였다. 마찰안정도는 일반 밀입도 혼합물에 비하여 증가하여 폐비닐이 아스팔트 혼합물에 개질 효과가 있음을 알 수 있었다.

3. 상기의 결과로부터 폐비닐은 배합설계 규정을 만족하고 아스팔트 혼합물의 품질을 향상시킬 수 있으므로 사용이 가능함을 알 수 있었다. 그러나 보다 좋은 품질의 혼합물을 얻기 위하여서는 앞으로 혼합과정에서 발생하는 응집현상 제어를 위한 연구가 진행되어야 할 것이다. 또한 현장시공을 통한 현장적용 가능성 여부에 관한 연구가 수행되어야 할 것이다.

참고문헌

1. 유진홍 등, (1994), “농업용 멀칭 폐비닐 재생공장 기계설비 정밀진단,” 한국자원재생공사 연구보고서
2. 김영식 등, (1997), “농업용 멀칭 폐비닐 건식 처리 공정 개발에 관한 연구,” 한국자원재생공사 연구보고서
3. “도로포장 설계·시공 지침,” 건설교통부
4. 김광우, 조희원, 이상범, 이지용, 안경애, (1997), “폴리머(LDPE, SBS) 개질 아스팔트 혼합물의 특성 연구,” 97국제심포지엄논문, 아스팔트 포장공학의 첨단기술, 가원대학교, pp 3-20.
5. 김광우, 이명호, 안경애, 최영규, (1996), “개질아스팔트의 특성 연구,” 석재복합 신소재제품연구센터 연구 보고서, 제1집.
6. 김광우, 최영규, 조희원, (1997), “국내 폴리머를 이용한 아스팔트 혼합물의 특성,” 대한 토목학회 논문집, vol. 17, No. III-2.
7. 김광우, (1997), “건식혼합 페타이어 아스팔트 혼합물의 국내 적용성 연구,” 학연산 연구교류회, 제221회, 한국과학재단.