

아스팔트 콘크리트에 적정 폐비닐 첨가량 결정에 관한 실험적 연구

Experimental Study for Determination of Optimum Waste Vinyl Contents in Asphalt Concrete

김 광 우* · 김 주 인** · 이 순 제*** · 최 선 주****

Kim, Kwang Woo · Kim, Ju In · Lee, Soon Jae · Choi, Sun Ju

Abstract

This study is a fundamental research for recycling waste vinyl (WV) in asphalt mixture for improving roadway pavement. Mix design was conducted by WV content and optimum asphalt content (OAC) was determined for dense-graded surface course mixture. Marshall stability test, indirect tensile strength (ITS) test and wheel tracking test were carried out to measure the characteristics of WV-added asphalt concretes. From the results of this study, recycling WV in asphalt mixture is possible. However, as WV content increased, melted WV clustering appeared in asphalt mixture. It could be considered that adding too much WV in asphalt mixture is not proper. The proper content of LDPE and HDPE WV was appeared to be 12% and 8%, respectively.

Keywords : Waste vinyl, Wheel tracking test, Recycling, Pavement

I. 서 론

농업용 비닐 사용량이 갈수록 늘어나는 가운데 수거되지 않은 채 방치되는 폐비닐도 함께 늘어나 환경보호 차원에서 대책 마련이 시급한 것으로 지

적되고 있다.

2001년 8월말까지 경기도와 자원재생공사에 따르면 지난 한해 동안 전국에서 발생한 폐비닐은 모두 23만 8천여톤이며 이 가운데 수거된 폐비닐은 48%인 11만 4천여톤에 불과하다(매일경제신문, 2001). 하지만 자원재생공사는 처리시설이 턱없이 부족해 별다른 방안이 제시되지 않는 한 앞으로 지속적으로 폐비닐 쓰레기 오염을 감수해야 하는 실정이다.

농경지에 방치된 폐비닐은 작물의 뿌리성장에도 방해를 주어 생육에 상당한 지장을 초래하게 된다.

* 강원대학교 지역기반공학과 교수
** 농업기반공사 조사설계부장
*** 강원대학교 석재신소재센터 연구원
**** 강원대학교 대학원 지역기반공학과 석사과정
* Corresponding author. Tel.: +82-33-250-6467
fax: +82-33-250-6467
E-mail address: kwkim@kangwon.ac.kr

비료의 시비시에도 비닐에 차단되어 토양 속으로 고르게 분산 침투되지 않아 그 효과가 감소되고 있다. 또한 매립할 경우 부피가 커서 매립용적을 많이 차지할 뿐만 아니라 분해되는데 오랜 세월이 소요되며, 노천 소각시 발생하는 발암성 오염물질인 다이옥신은 대기는 물론 인근 토양을 오염시키고 있으며, 토양의 오염은 바로 가축이나 생산되는 작물의 오염으로 이어지고 있다.

다년간의 폴리머 개질 아스팔트 혼합물에 대한 연구에 의하면 LDPE(Low density polyethylene)를 아스팔트에 첨가시 혼합물의 여러 가지 특성을 향상시킬 수 있음이 입증되었다(김광우 등 1997a, 1997b, 1998a, 1998b). 그런데 페비닐의 주성분이 LDPE와 HDPE(High density polyethylene)이므로 이를 아스팔트 포장에 재활용할 경우 페비닐도 처리하고 아스팔트 포장재료의 특성도 향상시킬 가능성이 크다.

따라서 본 논문은 농업용 페비닐을 표층용 아스팔트 포장재료로 재활용하기 위한 기초연구로서 연구목적은 페비닐 함량에 따른 아스팔트 콘크리트의 특성변화를 파악하여 페비닐의 적정 사용량을 제시하는 것이다. 본 연구를 수행하기 위하여 아스팔트 혼합물에 페비닐을 첨가하는 방법에 대한 연구를 수행하고, 페비닐 함량에 따른 아스팔트 바인더의 특성, 페비닐 종류 및 함량차이에 따른 아스팔트 혼합물의 강도특성 및 반복주행시험을 통하여 페비닐의 적정사용량을 제시하였다.

II. 재료 및 방법

1. 사용재료

본 연구에 사용된 페비닐의 모양은 Fig. 1~2에서 보여주고 있다. 이 중 Fig. 1의 LDPE는 단순재생 처리의 건조공정을 거친 것이고, Fig. 2의 HDPE는 복합재생 처리공정의 스크린 벤트식 압출기를 거친 것이다. 이들은 모두 한국자원재생공사

정읍사업소와 시화페비닐공장에서 수거 처리된 것이다(김영식 등 1997, 유진홍 등 1994). 아스팔트는 우리 나라 중부지역에서 널리 사용되고 있는 AC 85-100 아스팔트 시멘트를 사용하였다.

골재는 강원도 춘천시 소재 S 아스콘회사에서 사용하는 최대치수가 19 mm인 편마암 골재를 사용하였으며, 잔골재는 굵은골재를 생산하는 과정에서 발생하는 부순모래를 사용하였다.

혼합물은 건설교통부 표층용 19 mm 밀입도 규격에 적합한 입도를 사용하였으며, 입도분포 곡선은 Fig. 3과 같다. 또한 골재들은 KS규정에 따라서 품질시험을 실시하였다.



Fig. 1 Waste vinyl (LDPE)



Fig. 2 Waste vinyl (HDPE)

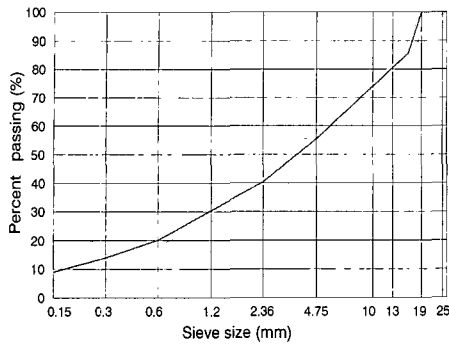


Fig. 3 Gradation of combined aggregates

2. 페비닐 첨가방법

페비닐을 개질재로 사용하는 방법은 크게 건식방법과 습식방법으로 나누어진다. 습식혼합은 아스팔트를 먼저 오븐 속에 넣어 180℃로 충분히 가열한 후 페비닐을 아스팔트에 서서히 넣고 같은 온도를 유지하면서 고성능 전단믹서로 혼합하는 방법이다. 건식혼합은 골재와 아스팔트를 혼합하기 전에 골재에 페비닐을 추가하여 혼합하는 방법으로 별도의 장치없이 현장 적용이 가능한 방법이다. 따라서 본 연구에서 혼합물 제조는 건식 방법을 채택하였다.

페비닐 첨가량을 결정하기 위하여 다음과 같이 예비실험을 수행하였다. 건식 혼합으로 LDPE 페비닐을 아스팔트 무게함량의 6%, 10%, 14%로 증가시켜 첨가하여 혼합물을 제조하였다. 그 결과 6%, 10%에서는 페비닐이 응집되는 경향이 없었으나 14%에서는 약간의 응집경향이 나타났다. 본 연구에서는 페비닐 사용량을 가능한 높이기 위하여 최대 페비닐 첨가량을 15%로 잠정 결정하였다. HDPE 페비닐은 밀도가 높아 LDPE 페비닐보다 응집현상이 심하여 최대함량을 12%로 잠정 결정하였다(김광우 등 1999).

3. 배합설계

아스팔트 혼합물의 배합설계는 마살방법을 이용

Table 1 Mixture designation

Designation	Description
Control	Dense grade - AC 85-100 without waste vinyl
DL10	Dense grade - AC 85-100 with LDPE waste vinyl 10%
DL12	Dense grade - AC 85-100 with LDPE waste vinyl 12%
DL15	Dense grade - AC 85-100 with LDPE waste vinyl 15%
DH08	Dense grade - AC 85-100 with HDPE waste vinyl 8%
DH10	Dense grade - AC 85-100 with HDPE waste vinyl 10%
DH12	Dense grade - AC 85-100 with HDPE waste vinyl 12%

하여 아스팔트 함량을 4.0~6.0% 또는 4.5~6.5% 까지 0.5%씩 증가시켜 수행하였다. 공시체의 제작은 마살다짐기를 이용하여 공시체 상하 양면을 각각 50회씩 다짐하였다. 페비닐을 첨가하는 경우에는 작업성 확보를 위하여 일반 혼합물의 가열온도보다 약 15℃ 더 올려 혼합·다짐하였다.

각 혼합물 별 최적아스팔트함량은 시방규정(안정도, 흐름치 및 포화도)을 만족하는 범위 내에서 공극이 4%일 때의 아스팔트 함량으로 결정하였다. 최적 아스팔트 함량으로 마살안정도 및 간접인장강도 시험을 수행하여 페비닐의 개질 효과를 검증하였다.

본 연구에서는 아스팔트 AC 85-100, 페비닐 두 종류(LDPE, HDPE)를 잠정적으로 결정한 최대 첨가량 이하에서 3개 첨가량으로 배합설계를 수행하고 Table 1과 같이 명명하였다. 배합설계를 통하여 결정된 각각의 최적아스팔트함량은 본 시험용 공시체 제작시의 아스팔트 함량으로 이용되었다.

4. 마살안정도 시험

본 실험에서는 페비닐 첨가량에 따른 마살안정도의 변화를 보기 위하여 배합설계를 통하여 얻어

진 최적아스팔트함량으로 공시체를 제작하여 몰드에서 탈형한 공시체를 24시간 상온에 보관한 후 60℃의 수조에 30분 동안 수침시킨 다음 수조에서 꺼내어 표면의 물기를 마른 수건으로 제거한 후 50 mm/min의 속도로 하중을 재하하여 구하였다.

5. 간접인장강도 시험

간접인장강도(Indirect tensile strength: ITS)는 Fig. 4와 같이 25℃에서 측정되었으며 공시체 상하에 직경 101.6 mm인 마찰공시체의 반경과 같은 곡률의 오목한 표면을 가진 폭 13 mm의 금속 하중 띠를 통해 50 mm/min의 속도로 하중을 재하하여 측정하였다.

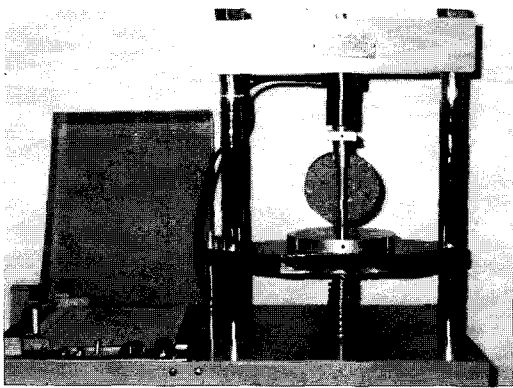


Fig. 4 Indirect tensile strength test setup

6. 반복주행시험

아스팔트 콘크리트의 소성변형 발생 메커니즘을 모사한 시험방법이 반복주행(Wheel tracking) 시험이다. 본 연구에서는 배합설계를 거쳐 결정된 최적 아스팔트 함량으로 305 mm×305 mm×70 mm의 슬래브 공시체를 공극률 4±0.5%로 맞추어 제작하였다. 제작된 공시체는 48시간 양생 후 시험온도인 60℃에서 6시간 이상 저장 후 반복주행 시험기로 시험을 수행하였다(Fig. 5).

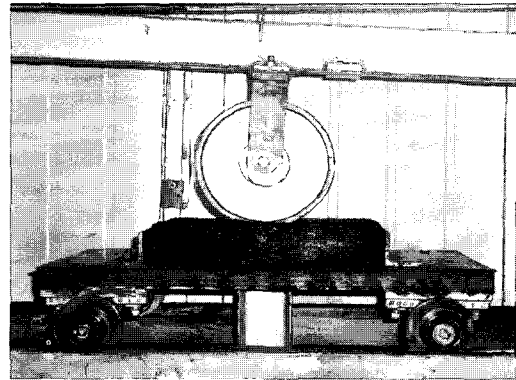


Fig. 5 Wheel tracking test setup

반복주행시험기는 강재(鋼材) 바퀴를 사용하였고 지름은 200 mm, 바퀴의 나비는 53 mm로 하였으며 바퀴의 반복주행에 따른 수직 침하량을 측정하였다. 또한 강재와 아스팔트 콘크리트의 직접 접촉에 의한 골재의 파손 등을 방지하고 타이어 접촉과 유사한 효과를 모사하기 위하여 폴리프로필렌 부직포를 공시체 표면에 덮었다. 차륜 축하중은 70 kgf으로 하고 축에 LVDT(Linear variable differential transformer)를 설치하여 반복주행에 따른 변형량을 컴퓨터를 통해 측정·기록하였다.

이 시험을 통하여 혼합물의 동적안정도(Dynamic stability: DS)와 최종 침하량을 구하였다. 반

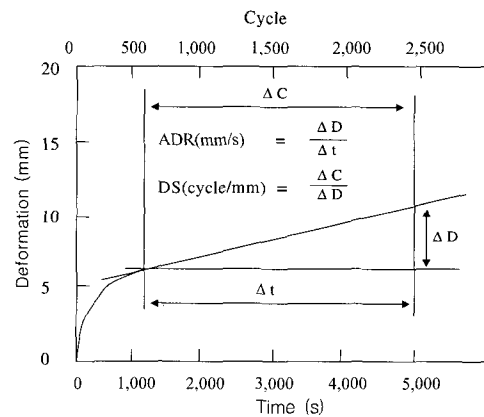


Fig. 6 Accumulative deformation rate and dynamic stability of flexible pavement in wheel tracking test

복주행시험 중 LVDT로 읽어들이는 침하량을 컴퓨터를 통하여 기록하였으며 초기 일정횟수가 지난 후 반복 재하에 따른 누적 침하율은 Fig. 6에서와 같은 기울기로 나타나게 되는데 이 값은 대략 500 cycle과 2,500 cycle 사이에서 회귀분석을 통하여 구하였다. 또한 동적안정도는 혼합물이 1mm 침하하는데 필요한 반복횟수로 나타내며 이를 같은 구간 내에서 cycle/mm로 구하였다(김광우 등 1998c).

III. 결과 및 고찰

1. 혼합물 제조 및 배합설계

골재를 이용하여 일반 아스팔트 혼합물, 페비닐 종류 및 첨가량에 따른 아스팔트 혼합물에 대한 배합설계를 수행하여 각 혼합물의 최적 아스팔트 함량을 결정하였다. 혼합물 제조시 페비닐량이 증가함에 따라 작업성이 현저히 떨어지고 페비닐의 응집현상이 증가하였다. 즉 첨가량이 증가할수록 혼합이 어렵고 응집형태로 존재하는 경향이 육안으로 보기도 뚜렷하였다. 따라서 실험실 작업의 경우 품질관리를 고려하면 LDPE는 12%까지, 그리고 HDPE의 경우 8%까지를 적정 첨가량으로 판단하였다. 각 혼합물의 배합설계 결과는 Table 2와 같다.

Table 2 Mix design results of each mixture

Mixtures	OAC (%)	Air void (%)	VMA (%)	VFA (%)	Stability (kgf)	Flow (0.01cm)
Control	5.2	3.73	15.78	76.35	1,197	36
DL10	5.4	4.17	16.38	74.55	1,209	39
DL12	5.5	4.19	16.71	74.93	1,263	34
DL15	6.0	4.04	17.59	77.02	1,526	37
DH08	5.8	3.94	17.03	76.84	1,038	40
DH10	6.0	4.11	17.64	76.69	1,519	33
DH12	6.3	4.02	18.12	77.83	1,472	30

2. 마찰안정도

각 혼합물에 대한 배합설계로부터 결정된 최적 아스팔트 함량으로 마찰공시체를 제작하고 페비닐 첨가량 별로 마찰안정도 시험을 수행한 결과는 Table 2와 같다.

시험결과 혼합물의 물성은 규정을 만족하였으며 안정도는 규정값인 500 kgf 보다 500 kgf 이상 높은 값이 얻어졌다. LDPE 페비닐을 첨가한 혼합물은 마찰안정도 값이 일반 밀입도 혼합물보다 크게 나타났으며 페비닐 함량이 증가함에 따라 증가하였다. HDPE를 첨가한 혼합물은 DH08을 제외하고 일반 혼합물보다 안정도가 높게 나타났다. 대체적으로 페비닐 첨가량이 증가함에 따라 안정도는 증가추세를 보여주었다.

3. 간접인장강도

혼합물에 대한 배합설계로부터 결정된 최적 아스팔트 함량으로 공시체를 제작하고 페비닐 첨가량 별로 간접인장강도 시험을 수행한 결과는 Table 3과 같다. 또한 일반 밀입도 혼합물에 대한 페비닐 첨가 혼합물의 간접인장강도 증가비율은 Fig. 7과 같다.

상기의 표에서부터 페비닐 첨가량이 증가함에

Table 3 Indirect tensile strength test results

Mixtures	OAC (%)	Air void (%)	VMA (%)	VFA (%)	ITS (kgf/cm ²)	Stiffness index (kgf/mm)
Control	5.2	4.26	16.25	73.75	8.7	437
DL10	5.4	4.17	15.92	73.83	9.6	526
DL12	5.5	4.27	16.09	73.48	11.2	684
DL15	6.0	4.19	15.91	73.67	11.9	741
DH08	5.8	4.01	15.73	74.54	8.9	490
DH10	6.0	4.11	15.84	74.04	9.0	534
DH12	6.3	4.10	15.73	73.93	9.3	552

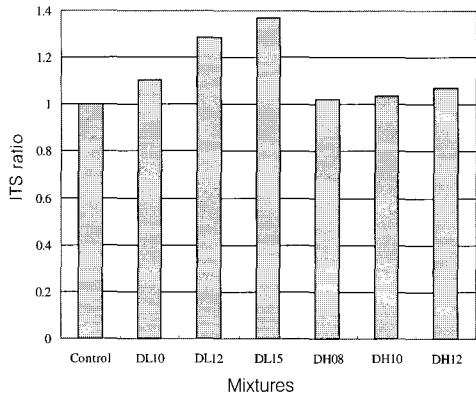


Fig. 7 Increased indirect tensile strength ratio of waste vinyl asphalt concretes based on control

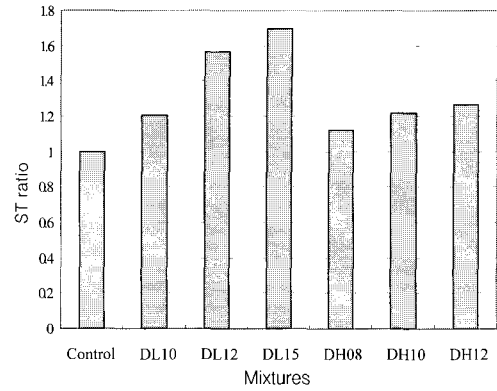


Fig. 8 Increased stiffness index ratio of waste vinyl asphalt concretes based on control

따라 DL 혼합물의 간접인장강도는 크게 향상되나 DH 혼합물은 증가가 그리 크지 않음을 알 수 있었다. 즉, LDPE를 첨가한 혼합물은 페비닐 첨가함량이 10%, 12%, 15%로 증가하면서 간접인장강도가 일반 밀입도 혼합물의 간접인장강도보다 10%, 29%, 37%의 증가를 나타내어 페비닐 첨가함량이 증가함에 따라 간접인장강도도 계속적으로 증가하였다. 반면에 HDPE 페비닐을 첨가한 혼합물은 페비닐 함량이 8%, 10%, 12%로 증가하면서 간접인장강도가 일반 밀입도 혼합물의 2%, 3%, 7%로 나타나 페비닐 함량이 증가함에 따라서도 그 증가폭이 크지 않을 것으로 나타났다. 이는 LDPE 페비닐이 HDPE 페비닐보다 밀도가 낮아 쉽게 아스팔트 혼합물에 용해되며 잘섞이기 때문인 것으로 사료된다.

또한 혼합물 강성(Stiffness)의 변화를 살펴보면, Fig. 8에서 보듯이 간접인장강도와는 달리 페비닐을 첨가한 모든 혼합물에서 크게 나타났으며 그 증가폭도 LDPE를 10%, 12%, 15% 첨가하였을 경우 약 20%, 56%, 70%, HDPE를 8%, 10%, 12% 첨가하였을 경우 약 12%, 22%, 26%로 비교적 크게 나타났다. 강성지수도 역시 LDPE 첨가 혼합물이 HDPE 첨가 혼합물보다 증가폭이 크게 나타났다.

4. 반복주행시험

배합설계로부터 결정된 최적 아스팔트 함량으로 슬래브 공시체를 제작하고 반복주행시험을 수행하였다. 페비닐 첨가함량 별 혼합물의 물성 및 최종 침하깊이, 동적안정도는 Table 4와 같으며, 반복주행시험결과는 Fig. 9~10에서 보여주고 있다. 또한 반복주행시험 후 슬래브 공시체의 절단면을 Fig. 11에서 보여주고 있다. 최종 침하깊이와 동적안정도를 비교해보면 페비닐을 첨가한 혼합물이 일반 밀입도 혼합물보다 월등히 우수함을 알 수 있다. 동적안정도를 비교해보면 LDPE 페비닐을 첨가한 혼합물은 일반 혼합물보다 약 6, 15, 24배 증가하였고, HDPE 페비닐을 첨가한 혼합물은 25, 34, 38배 우수하게 나타났다.

Table 4 Properties and rut depth of asphalt mixtures

Mixtures	OAC (%)	Air void (%)	VMA (%)	VFA (%)	Final rut depth (mm)	DS (cycle/mm)
Control	5.2	3.87	15.82	75.52	22.3	284
DL10	5.4	4.00	17.49	77.16	5.3	1,571
DL12	5.5	3.63	15.96	78.53	3.1	3,361
DL15	6.0	4.31	16.39	73.69	1.7	9,112
DH08	5.8	3.89	16.90	76.96	1.8	7,105
DH10	6.0	4.17	17.60	76.31	1.6	11,661
DH12	6.3	3.87	17.90	78.37	1.3	11,661

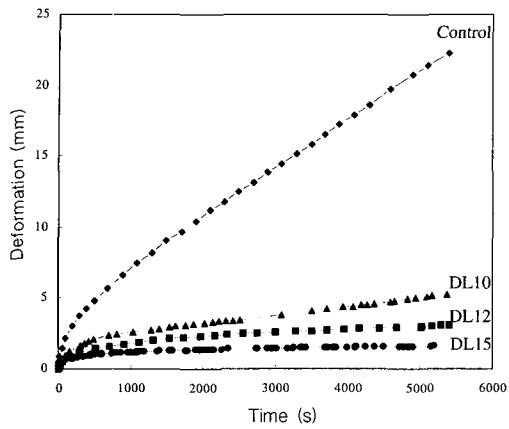


Fig. 9 Wheel tracking test results of LDPE-modified asphalt mixtures

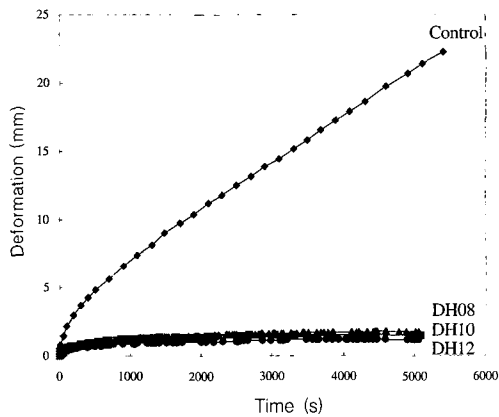


Fig. 10 Wheel tracking test results of HDPE-modified asphalt mixtures

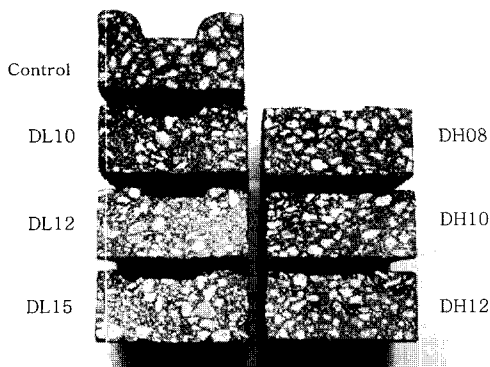


Fig. 11 Photograph showing rut depth of different mixtures after wheel tracking test

IV. 결 론

본 연구는 농업용 페비닐을 도로포장재료로 재활용하여 자원절약 및 아스팔트 혼합물의 품질향상을 위한 기초연구이다. 이를 위하여 페비닐의 첨가량 별 배합설계를 수행하여 적정 페비닐 첨가량과 최적아스팔트 함량으로 공시체를 제작하여 마찰안정도, 간접인장강도 및 반복주행시험 등 실내시험을 통하여 혼합물의 특성을 분석 하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 페비닐을 첨가한 혼합물은 국내 표준 아스팔트 혼합물 규정을 모두 만족하였으며, 페비닐 첨가량이 증가함에 따라 혼합물의 안정도는 증가추세를 보여주었으며 페비닐의 종류에 따라 증가폭에 차이가 있었다.

2. 페비닐 첨가량이 증가함에 따라 간접인장강도는 페비닐의 종류에 따라 비슷하거나 증가하였으며 강성지수는 페비닐 첨가량이 증가함에 따라 크게 증가하였고 그 정도는 LDPE가 HDPE 페비닐 보다 컸다.

3. LDPE 페비닐의 경우 첨가량 15% 이상, HDPE의 경우 10% 이상에서 혼합이 어렵고 페비닐이 응집형태로 존재하는 경향이 뚜렷하였다.

4. 반복주행시험결과 페비닐을 첨가한 혼합물이 일반 밀입도 혼합물보다 월등히 우수하였으며 페비닐 첨가량이 증가함에 따라 소성변형 저항성이 크게 향상되는 경향을 나타내었다.

5. 상기의 결과로부터 페비닐을 아스팔트 포장재료로 재활용하는 것은 충분히 가능하고 실용성이 있다. 하지만 페비닐 함량이 증가함에 따라 응집현상이 크게 발생하여 다량 첨가에는 문제가 있다. 지금까지 연구결과에 의하면 LDPE 페비닐의 경우 12%, HDPE의 경우 8%만 첨가하면 응집현상도 적고 성능도 우수한 혼합물이 얻어짐을 알 수 있었다. 하지만 실제 플랜트에서 현장생산이 가능한 함량을 결정하기 위해서는 향후 현장 적용성에 대한 연구를 수행해야 할 것으로 사료된다.

감사의 글

본 연구는 농림부 및 한국과학재단지정 강원대학교 석재복합신소재제품연구센터의 지원에 의하여 이루어진 연구입니다.

References

1. Kim, K. W., Y. S. Doh, H. W. Joe, X. F. Li, and J. Y. Lee. 1998a. Deformation characteristics of modified-asphalt concretes, 209-243. Korea:Kangwon National University Research Center for Advanced Mineral Aggregate Composite Products. (in Korean)
2. Kim, K. W., K. A. Ahn, H. W. Joe, and X. F. Li. 1998b. Evaluation of tensile properties of polymer-modified asphalt concretes. *Journal of the Korean Society for Civil Engineer* 18(III-1) : 53-59. (in Korean)
3. Kim, K. W., X. F. Li, S. K. Oh, D. H. Ko, and S. H. Jung. 1999. Mix design for waste PE films modified asphalt concrete. In *Proceedings of the Korean Society of Agricultural Engineers*, 313-318. Daegu : KSAE. (in Korean)
4. Kim, K. W., H. W. Joe, and Y. S. Doh. 1998c. Evaluation of rut and fatigue resistance of selected polymer-modified asphalt concretes. In *Proceedings of the Korean Society for Civil Engineer*. 635-643. Seoul : KSCE. (in Korean)
5. Kim, K. W., H. W. Joe, X. F. Li, J. Y. Lee, and K. A. Ahn. 1997a. Evaluation of polymers (LDPE and SBS) modified asphalt mixtures. In *Proceedings of International Symposium Advanced Technologies in Asphalt Pavement Engineering*. 251-271. ChunChon, Korea :Kangwon National University Research Center for Advanced Mineral Aggregate Composite Products. (in Korean)
6. Kim, K. W., Y. K. Choi, and H. W. Joe. 1997b. Evaluation of modified sand asphalt mixtures using domestic polymers. *Journal of the Korean Society for Civil Engineer*, 17(III-2). 151-158. (in Korean)
7. Kim, Y. S. 1997. Study on dry processing procedure development for waste vinyl. 2-252. Korea :The Korea Resources Recovery and Reutilization Corporation. (in Korean)
8. Ryu, J. H. 1994. Closer look on recycling plant machine facilities for waste vinyl. 25-135. Korea :The Korea Resources Recovery and Reutilization Corporation. (in Korean)
9. Maeil business newspaper. 2001. Waste vinyl. 9 Aug. Seoul. (in Korean)