한국도로포장공학회 논문집
第5券2號 2003年 6月
pp. 1 ~ 14

자체 융설 아스팔트 혼합물의 융빙특성 분석

Evaluation of Self-deicing Function of Snow-melting Asphalt

김 광 우* · 이 기 호** · 홍 상 기*** · 진 호 일**** · 도 영 수*****
Kim, Kwang-Woo · Lee, Gi-Ho · Hong, Sang-Ki · Jin, Jo-Ill · Doh, Young-Soo

Abstract

This study is a fundamental research for developing self-deicing function of snow-melting asphalt concrete for roadway pavement. The objective of this study is to develop technology of making self-snow-melting asphalt pavement and evaluate properties of the asphalt concrete containing deicers. Asphalt concrete with deicers and CRM was produced by dry process. The α-deicer, CRM and F-deicer were used for sand asphalt mixtures of thin-layer pavement on the existing pavement. The α-deicer, β-deicer, CRM A, CRM B and C were used for 13mm dense-graded mixtures on surface course. Penetration grade of 60-80 asphalt was used for asphalt mixtures. Marshall mix-design, indirect tensile strength, freezing and thawing test, analysis of extracted water were carried out to evaluate performance of self deicing function of asphalt mixtures. The study result showed that snow-melting asphalt mixtures had not only good mechanical characteristics and good snow-melting function, but also chemically safe in environmental point of view.

Keywords : self-deicing, snow-melting asphalt concrete, CRM, dry process, deicer, freezing test, thawing test

요 지

본 연구는 도로 포장에 자체 융설 아스팔트 혼합물의 적용을 위해, 융빙특성을 분석하는 기초연구의 일환으로 수행되었다. 본 연구의 목적은 이러한 문제점을 해결하기 위해 아스콘 제조시 지속성있는 융설제를 첨가하여 높은 융설기능을 유지하도록 한 아스팔트 혼합물을 개발하고 이에 대한 융빙(설) 특성 및 아스팔트 포장으로서의 역학적 특성을 알아보는데 있다. 결합재로는 AC 60-80이 사용되었고, 본 연구에서 개발된 융설제와 CRM이 건식 혼합방법으로 사용되었다. 기존 포장위에 박층포장 용도로 사용하기 위한 샌드 융설 아스팔트 혼합물과 표층용 혼합물과 동일 용도인 13mm 밀입도 융설 아스팔트 혼합물을 개발하였다. 아스팔트 혼합물의 특성을 평가하기 위하여 마샬안정도와 간접인장강도, 결빙 및 융빙실험, 용출수의 수질분석 실험을 수행하였다. 융설 아스팔트 혼합물은 포장용 혼합물로서의 충분한 강도 및 우수한 융설 기능도 가지고 있는 것으로 나타났으며, 용출수의 중성화를 유도하여 도로 주변의 식생에도 악영향을 미치지 않을 것으로 판단된다.

핵심용어 : 자체 융설 아스팔트 혼합물, 건식 혼합방법, 융설제, 결빙 실험, 융빙 실험, 융설 기능

* 정회원 · 강원대학교 지역기반공학과 교수 공학박사
** 정회원 · 강원대학교 지역기반공학과 박사과정 공학석사
*** 정회원 · 강원대학교 지역기반공학과 석사과정 공학사
**** 강원대학교 석재복합신소재센터 전임연구원 공학박사
***** 정회원 · 고속도로관리공단 기술개발팀 포장연구실장

1. 서 론

동절기에 눈이 내리면 전 세계적으로 많은 지역은 이로 인한 문제점을 안고 있다. 특히, 도로에 쌓인 눈이나, 눈이 얼어붙어 형성된 빙판은 교통체증과 교통사고를 유발시킨다. 이와 같은 도로 상에서의 눈이나 얼음의 효과적인 처리는 국가의 경제 및 공공안전을 위하여 필수적이다. 현재 눈이나 얼음에 의해 발생하는 피해를 막고자 강설시 널리 사용되고 있는 염화칼슘과 같은 융설제는 앞으로도 효과적인 처리에 주도적인 역할을 할 것이다.

상기 언급한 융설제라는 것은 통상적으로 눈이나 얼음을 녹이는 용도로 사용되는 화학약품을 총칭하는 것으로 제설제나 융빙제 또는 결빙방지제 등의 용어로 사용되기도 한다. 따라서 이하에서 사용되는 단어인 융설제는 제설제나 융빙제 또는 결빙방지제를 포함한다.

융설제를 이용하여 눈이나 얼음을 제거하는 과정을 간략히 살펴보면 1차적으로 살포된 융설제는 주위의 빙점을 낮추어 노면이 얼어붙는 것을 방지한다. 또한 눈을 녹게하여 노면과의 결합력을 약하게 만들게 되며, 이후 자연적 또는 기계적인 방법으로 눈이나 얼음이 쉽게 제거되게 된다. 상기와 같은 융설제로 현재 국내에서 주로 사용되고 있는 것은 염화칼슘(calcium chloride)이고, 미국이나 일본의 경우에는 소금인 염화나트륨(sodium chloride)과 염화칼슘이다. 염화칼슘은 염화나트륨보다 어는 온도를 더 낮추어 신속한 융설작업이 요구될 때 적합하고, 염화나트륨은 비교적 값이 저렴하며, 구입 및 보관이 용이하다는 등의 장점이 있어 더 많이 사용되고 있는 추세이다. 그러나 상기 염화칼슘과 염화나트륨 등의 염화물계 융설제는 눈이 올 때마다 반복적으로 대량살포하여야 하므로 인건비와 재료비 등 비용이 지속적으로 많이 든다는 단점이 있다. 또한 상기 염화물계 융설제는 대부분 염소이온을 포함하고 있기 때문에 교량, 자동차 및 지하 매설 케이블 등을 부식시켜 구조물의 수명을 단축시킴으로 인한 심각한 비용의 손실을 가져온다. 염화물계 융설제에 의한 철근 부식은 동결-융해의 반복이 항상 함께 일어나므로 또 다른 유해환경인 해양구조물의 경우보다 더 심각할 수도 있다.

상기의 문제점으로 인해 최근에는 도로 포장시 열선 등 발열체를 포장 내에 포함시켜 방열기능을 갖춤으로서 포장체 자체적으로 융설기능을 갖도록 하는 기술이 공지되어 있다. 그러나 이 방식은 전기세가 과다하고 시설비용에 비해 수명이 짧은 등 여러 가지 문제점으로 인해 실용화가 지연되고 있다.

이에 본 연구는 이러한 문제점을 해결하기 위해 아스콘 제조시 융설제를 첨가하여 지속성있고 높은 융설기능을 유지하도록 한 아스콘을 연구, 개발하며 이에 대한 융설 특성 및 아스팔트 포장으로서의 기본 특성을 구명하는데 목적이 있다. 따라서, 본 연구에서는 개발된 융설제를 이용하여 제조된 혼합물의 특성을 알아보고, 유출실험 및 그루빙에 따른 년차 구분으로 융빙효과를 파악하여 지속성을 알아보며, 아스팔트 혼합물의 유출수를 통해 환경오염에 대한 영향을 분석하였다.

2. 재료 및 방법

2.1 사용 재료

2.1.1 아스팔트 시멘트

본 연구에서는 국내 S사의 침입도 등급 60~80인 AC 60-80을 결합재로 사용하였다.

2.1.2 골재

본 연구에서는 강원도 횡성군에서 생산된 화강암을 사용하였다. 샌드 융설 아스팔트 혼합물은 ASTM D 3515의 샌드 아스콘 입도규정에 의거하여 5mm이하의 잔골재와 그 생산과정에서 발생하는 부순모래(screenings)를 잔골재로 사용하고, 채움재

표 1. Properties of Aggregates

Classification	Agg.	Spec. limit	13mm agg.	Fine agg.	Filler
Apparent specific gravity	Granite	〉2.45	2.71	2.74	2.75
Absorption (%)		〈 3.0%	0.58	1.41	
Abrasion (%)		〈 35%	18.3		

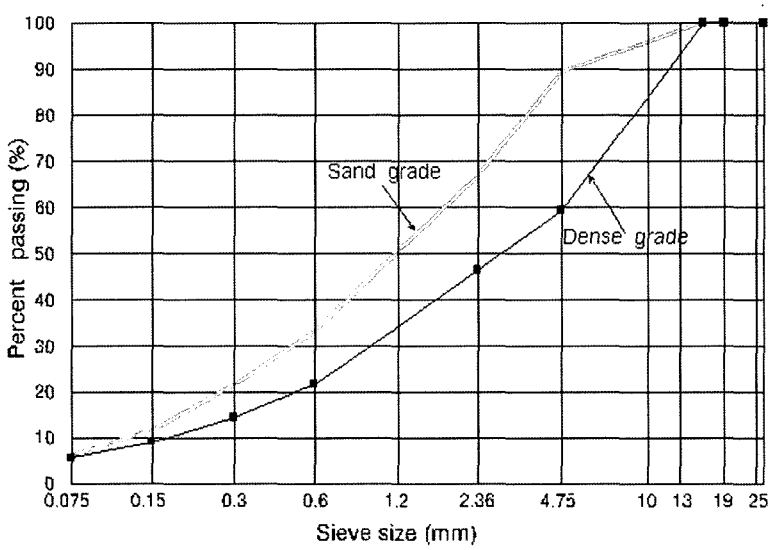

그림 1. Gradation Curve for Sand and Dense-grade Asphalt Mixtures

(filler)로 석회석분을 사용하였다. 또한, 13mm 밀입도 융설 아스팔트 혼합물은 굵은 골재의 최대치수를 13mm로 하여 그 생산과정에서 발생하는 부순모래를 잔골재로 사용하고, 채움재로 석회석분을 사용하였다. 입도분포곡선은 그림 1과 같다. 골재의 품질이나 입도는 아스팔트 콘크리트 혼합물의 강도에 중요한 영향을 미치며 생산지별로 그 조건이 각기 다르기 때문에, 골재들은 KS F에 규정된 방법에 따라서 품질시험을 수행하였으며 비중 및 흡수율, 마모율 등이 규정내에 만족하였다. 표 1은 골재의 품질시험 수행결과를 보여준다.

2.1.3 CRM 입자, 폴리머 및 첨가제

본 실험에 사용된 CRM(crumb rubber modifier) 입자는 한국자원재생공사에서 폐타이어를 수거후 제품화시켜 생산하고 있는 것으로, A와 B입자로 구분하여 실험하였다. A는 비교적 굵은 입자(#20~10mm)이고 B는 고운입자(#10 이하)이며, C는 A와 B를 적정비율 혼합한 것이다.

본 연구에서는 아스팔트 개질 및 융설제 코팅용으로 저밀도 폴리에틸렌(low-density polyethylene : LDPE)과 폴리에스터를 사용하였다. 또한 보온, 발열 및 융설반응 등을 일으키는 재료로서 탄소성분, 원적외선 방출을 야기하기 위해 석탄폐석과 염화물을 일정비율 첨가하였다.

2.2 실험 방법

본 연구에서는 1차적으로 샌드 아스팔트 혼합물로 자체 융설 박층 포장을 개발하고 이에 대한 융설효과를 평가하였으며, 2차로는 표층용 13mm 밀입도 아스팔트 혼합물로 자체 융설 아스팔트 콘크리트(스노팔트 포장 외)를 개발하여 이의 융설효과 및 지속성에 대하여 평가하였다.

2.2.1 자체 융설 아스팔트 혼합물

융설제는 사전실험을 통해 상기 언급한 재료들을 여러가지 비율로 첨가하며 그 조합을 순차적으로 결정해 나가는 방법을 사용하였다. 사용된 재료로 골재, 발열재, 보온재, 빙점강하제를 다양하게 사용하였으며 여러가지 대상 중 효과가 낮은 것부터 제거해 나갔다. 또한 비용도 고려하여 특정지역에 산지가 한정되어 있고 가격이 상대적으로 높은 것들은 같은 효과라면 제외하였다.[2,3]

상기 재료들을 일정비율 혼합하여 가장 효과가 양호하게 나타난 조합을 결정하여, 이 효과를 지속적으로 일어나게 하기 위하여 가공처리한 재료[4]를 "알파 융설제(α-deicer)" 및 "베타 융설제(β-deicer)"라 명하고 이를 일정비율 첨가하여 제조한 아스팔트 혼합물을 본 연구에서는 "자체 융설 아스팔트 혼합물(self-deicing asphalt mixture)이라 하였다.

샌드 융설 아스팔트 혼합물에는 알파 융설제가 사용되었으며, 13mm 밀입도 융설 아스팔트 혼합물에는 알파 융설제와 베타 융설제가 사용되었다. 상기 스노팔트라는 것은 베타 융설제를 첨가한 혼합물을 칭한다. 한편 비교용으로 외산 융설제(F-deicer) 한 종류를 사용하였다.

2.2.2 배합설계

융설 아스팔트 혼합물의 배합설계는 샌드 박층 포장용의 경우 아스팔트 함량을 6.0~8.0%, 13mm 밀입도 표층용의 경우는 5.0~7.0%까지 0.5%씩 증가시키면서 마샬식으로 최적아스팔트함량(OAC)을 결정하였다.

CRM 첨가는 현장 적용성을 높이기 위하여 골재와 아스팔트를 혼합하기 전에 골재에 미리 넣고, 아스팔트 시멘트를 첨가하는 건식 혼합법을 이용하였다. 공시체 제작은 교통하중에 의해 발생하는 아스팔트 혼합물의 현장밀도를 실내에서 재현하기에 적합한 선회 다짐기를 이용하였다. 이때 다짐횟수는 미국 superpave Level 1 배합설계를 참고하여 평균설계대기온도(고온) 39℃ 이하의 N_{max}값인 104회를 사용하였다.

2.2.3 마샬안정도 및 간접인장강도 시험

배합설계에서 얻어진 최적아스팔트함량으로 공시체를 제작하여 마샬안정도 시험을 수행하였다. 마샬안정도는 몰드에서 탈형한 공시체를 24시간 상온에서 양생한 다음 60℃의 수조에 30분 동안 수침시킨 후 수조에서 꺼내어 표면의 물기를 제거하고 마샬시험 장비를 이용하여 50㎜/min의 속도로 하중을 재하하였다. 이때 최대하중치인 안정도(kgf)와 혼합물의 수직 변형량인 흐름치(0.1㎜)를 측정하였다.

간접인장강도 시험은 25℃에서 측정되었으며 공시체 상하에 직경 101.6㎜인 마샬공시체의 반경과 같은 곡률의 오목한 표면을 가진 폭 13㎜의 금속 하중띠를 통해 공시체에 50㎜/min의 속도로 하중을 재하하여 최대하중과 이때의 수직변형을 측정하였다.

강성지수(stiffness modulus)는 재하된 최대하중에 대한 변형량의 비(kgf/㎜)로 나타내었다. 아스팔트와 같은 점탄성 재료에서는 상온에서 탄성계수의 측정이 매우 어려우므로 최대하중시의 변형량을 그 재료의 강성지수로 보고 이를 측정하여 사용한다.

2.2.4 결빙 및 융빙실험

샌드 융설 아스팔트 혼합물의 결빙 및 융빙실험은 304㎜×304㎜×80㎜의 몰드에 일반 표층 아스팔트 혼합물 4cm 두께 슬래브를 제조하고, 그 위에 각

표 2. Classification of Freezing and Thawing Test

Classification		Designation
Freezing step	Thin ice	최초 표면이 얼기 시작하는 살얼음 상태
	Surface ice	표면이 얼은 상태
	Entire ice	완전히 얼은 상태
Thawing Step	Surface melting	최초 표면이 녹기 시작하여 물기를 보인 상태
	Entire melting	완전히 녹은 상태

각의 융설제와 CRM 등을 결정된 비율대로 넣은 샌드 융설 아스팔트 혼합물을 약 1cm 덧씌우기식으로 슬래브를 제조한 다음 주변을 은박테이프로 감아 온도센서(thermocouple)를 설치하였고, 13㎜ 밀입도 혼합물은 융설 아스팔트 혼합물 자체를 4cm 두께로 제작하였다. 이렇게 제조한 공시체 위에 증류수를 넣고 동결융해시험기에서 영하 4℃로 고정시킨 후 결빙실험을 수행하였으며, 증류수가 완전히 결빙되는 데까지 걸리는 시간을 단계별로 측정하고, 완전 결빙 후에는 동결융해기를 다시 영상 4℃로 조정하여 융빙을 시키면서 각 단계별 시간을 측정하였다. 각 단계별 구분은 표 2와 같다. 그림 2는 실험 전경을 나타낸다.

그루빙(안전홈)공법은 일반도로, 고속도로 등에서 미끄럼사고를 미연에 방지하기 위해 미국에서 고안된 기술이다. 노면에 홈을 파는 것으로 노면 배수의 원활, 수막에 의한 미끄럼 현상 방지, 노면의 동결방지, 제동거리의 단축화 등의 뛰어난 장점을 발휘한다. 그루빙 시공한 노면에서는 일반 노면에서보다 노면 온도의 상승이 크고 한냉지에서의 동결방지 효과, 적설방지 효과를 얻을 수 있다. 특히 일조시간대에서의 노면온도의 상승이 크게 되고 융설 효과를 얻을 수 있다. 또한 노면의 동결이 예상되는 개소에서의 방지책으로서 일반적인 것이 염화칼슘 등의 살포인데 그루빙 시공후의 노면에서는 차량 통과시도 염화물의 일부가 홈에 잔류하기 때문에 융설 효과를 보다 길게 유지하는 것도 가능하다.

13㎜ 밀입도 융설 아스팔트 혼합물에 대해서는 1차 결빙 및 융빙실험 후 우리나라의 연평균 강우량인 1,274㎜를 역산하여 물의 유입과 유출이 가능하게끔 제작한 몰드를 준비한 뒤, 상기 공시체에 수침 및 건조를 상응량만큼 3회 반복하였다. 이처럼 수침, 물의 유출, 건조 및 반복 3회를 거친 상태를 1년이 경과한 것으로 간주하여 년차를 모사한 뒤 상기 과정 전·후 및 그루빙 전·후별로 결빙 및 융빙에 따른 효과를 측정하였다.

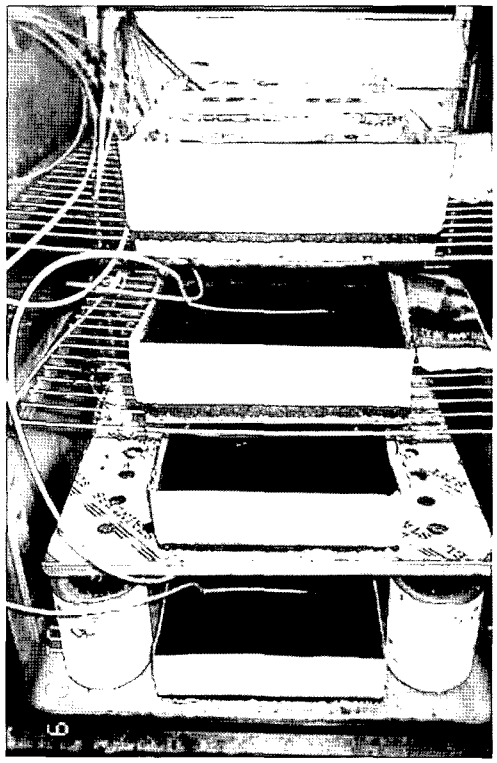

그림 2. Test Setup of Freezing and Thawing Test

본 연구에서는 1년차 공용후 2, 3, 4년차별로 각각 그루빙을 10cm, 5cm, 2.5cm 간격으로 시행하여 이에 따른 융빙 효과 등을 분석하고자 하였다. 그림 3은 각 년차별 그루빙 모식도를 나타낸다.

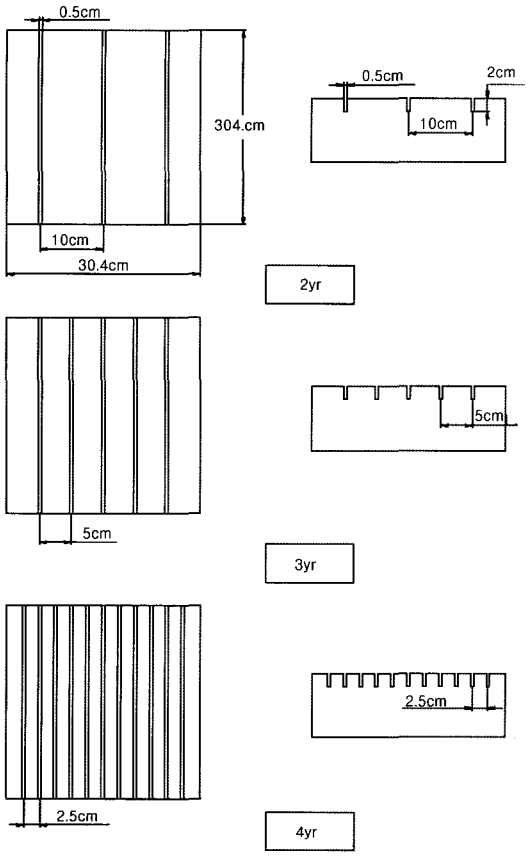

그림 3. Illustration of Grooving by Years of 13mm Dense-Graded Mixtures

2.2.5 용출수 시험

최적아스팔트함량(OAC)으로 융설 아스팔트 혼합물을 제조하여 현장에 포설하였을 때 아스콘의 공극을 통하여 흘러나오는 용출수가 환경오염을 일으킬 수 있는지의 여부를 판정하기 위하여, 결빙 및 융빙 실험을 거친 증류수를 포집하여 용출수의 성분분석 시험을 수행하였다. 용출수는 실험 과정에서 생긴 용액의 특성을 구명하기 위하여 pH와 전기전도도를 측정하였으며, 중금속 검출 여부를 알아보기 위하여 ICP(inductively coupled plasma, 유도결합 플라즈마) 분석을 통해 용출수의 오염물질 함유 여부를 검사하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 배합설계

3.1.1 샌드 융설 아스팔트 혼합물

본 배합설계는 기존 포장위에 박층(약 10mm 내외)으로 포장하여 한해 겨울동안 사용하기 위하여 잔골재만을 사용하여 개발한 것이다. 표 3은 각 혼합물을 구분하여 설명한 것이다. 잔골재만 사용하여 배합설계를 통해 결정된 최적아스팔트함량으로 샌드 아스팔트 혼합물을 제조한 결과는 표 4와 같다. 최적아스팔트 함량은 혼합물별로 큰 차이를 보이지 않았으며, 이 중 알파 융설제와 CRM A 첨가 아스팔트 혼합물이 7.7%로 가장 높았다. 안정도는 알파 융설제(α-deicer) 첨가 혼합물, 외산 융설제(F-deicer) 첨가 혼합물, 일반 혼합물, 알파 융설제와 CRM A 첨가 혼합물 순으로 나타났으며 모두 500kgf를 넘는 값을 보여주었다. 그리고 공극률, 흐름값 및 포화도는 모두 규정내에 만족하였다.

또한 간접인장강도는 알파 융설제 첨가 혼합물, 알파 융설제와 CRM A 첨가 혼합물, 일반 혼합물, 외산 융설제 첨가 혼합물 순으로 나타났으며, 강성지수는 알파 융설제 첨가 혼합물, 일반 혼합물, 외산 융설제 첨가 혼합물, 알파 융설제와 CRM A 첨가 혼합물 순으로 나타나 알파 융설제(α-deicer) 첨가 아스팔트 혼합물이 다른 혼합물에 비해 우수한 것으로 나타났다.

표 3. Designation of Sand Asphalt Mixtures

Mixtures	Designation
Control	Sand Asphalt Mixture(Control)
F-D	Foreign Deicer 5% added Mixture
α-D	Alpha Deicer 8% added Mixture
α-C	Alpha Deicer 8%, CRM A 1.0% added Mixture

표 4. Marshall Properties at OAC determined from Mix Design of Sand Mixtures

Mixture	OAC (%)	Air void (%)	VMA (%)	VFA (%)	Stability (kgf)	Flow (0.01cm)	ITS (kgf/cm²)	SI (kgf/mm)
Control	6.2	4.75	18.28	78.03	681	24	7.7	482
F-D	5.9	4.60	17.65	73.38	754	32	7.1	342
α-D	7.2	4.69	17.53	79.97	813	29	12.9	588
α-C	7.7	4.51	19.29	81.35	642	39	8.4	282

3.1.2 13mm 밀입도 융설 아스팔트 혼합물

본 배합설계는 표층용 아스팔트 혼합물과 동일한 용도로 개발된 것이다. 13mm 밀입도 혼합물의 배합설계로 결정된 최적아스팔트함량으로 CRM 첨가량을 아스팔트량의 1.0~2.0%로 건식 혼합하여 아스팔트 혼합물을 제조하였다. 안정도는 규정을 충분히 만족하였으나, CRM을 2% 첨가한 혼합물은 VFA가 규정치에 만족하지 못했고 흐름치가 높게 나왔다. 혼합물의 흐름이 큰 것은 혼합물 속의 고무입자가 굵은 골재 사이에서 완충역할을 하여 골재끼리의 마찰에 의한 변형 저항이 약화되었기 때문이라고 판단된다. CRM의 함량을 1.5%로 하였을 경우가 1%에 비하여 안정도, ITS, 강성지수가 모두 높았으며 흐름치는 낮아지고 아스팔트 함량도 크게 줄어 가장 적절한 함량으로 판단되었다(표 5). 표 6은 각 혼합물을 구분하여 설명한 것이다.

이러한 예비실험을 통해 CRM 1.0~1.5%와 알파(혹은 베타) 융설제를 첨가하여 배합설계를 수행한 결과는 표 7과 같다. 안정도와 VFA는 모든 혼합물에 있어 규정을 만족하고, 일반 혼합물에 비하여 융설 아스팔트 혼합물의 ITS와 강성지수가 전반적으로 높았으며 그 중에도 CRM C 첨가 아스팔트 혼합물의 안정도와 ITS가 우수하게 나타났다.

표 5. Marshall Properties at OAC of 13mm Dense-graded Asphalt Mixture by CRM Content

Content (%)	OAC (%)	Air void (%)	VMA (%)	VFA (%)	Stability (kgf)	Flow (0.01cm)	ITS (kgf/cm²)	SI (kgf/mm)
1.0	7.7	5.48	21.78	77.38	690	38	7.7	323
1.5	6.2	5.09	17.29	73.74	763	37	9.2	473
2.0	5.9	4.85	24.28	48.03	581	43	7.0	305

표 6. Designation of 13mm Dense-graded Mixtures

Mixture	Designation
Control	13mm Dense-graded Control Mixture
CRM A	13mm Dense-graded Fine-Particle CRM 1.5%, Alpha Deicer 6% added Mixture
CRM B	13mm Dense-graded Coarse-Particle CRM 1.5%, Alpha Deicer 6% added Mixture
CRM C	13mm Dense-graded Mixed-Particle CRM 1.0%, Beta Deicer 8% added Mixture

표 7. Marshall Properties and ITS at OAC of 13mm Dense-graded Mixtures

Mixture	OAC (%)	Air void (%)	VMA (%)	VFA (%)	Stability (kgf)	Flow (0.01cm)	ITS (kgf/cm^2)	SI (kgf/mm)
Control	5.7	5.0	18.51	71.33	620	27	7.0	302
CRM A	6.6	5.0	19.78	72.25	562	48	9.2	473
CRM B	6.5	5.0	18.29	83.74	613	50	9.4	420
CRM C	5.3	5.0	16.77	70.98	1,319	44	10.5	302

3.2 결빙 및 융빙실험

3.2.1 샌드 융설 아스팔트 혼합물

그림 4, 5는 각각 결빙실험과 융빙실험의 결과치를 나타낸다. 샌드 융설 아스팔트 혼합물의 배합설계에 따른 혼합물을 상기 실험방법에 의거하여 결빙과 융빙의 각각의 단계에 이르는 시간을 측정한 결과 결빙단계에서는 알파 융설제와 CRM A 첨가 아스팔트 혼합물(α-C), 외산 융설제 첨가 혼합물, 알파 융설제 첨가 혼합물, 일반 혼합물 순으로 나타났으며 그 차이는 알파 융설제와 CRM A 첨가 아스팔트 혼합물이 어는데까지 걸리는 시간을 일반 혼합물(control)에 비해 약 2배 가량 지연시켰다.

융빙단계에서는 알파 융설제 첨가 혼합물, 알파 융설제와 CRM A 첨가 혼합물, 외산 융설제 첨가 혼합물, 일반 혼합물 순으로 나타났으며 그 차이는 알파 융설제 첨가 혼합물 및 알파 융설제와 CRM A 첨가 아스팔트 혼합물의 녹는시간이 일반 혼합물보다 약 2배 가량 촉진되었음을 나타낸다. 이는 CRM 입자가 상부의 공시체에 존재하여 공용시에는 차량의 통과에 의한 압착으로 그 효과를 더욱 향상시킬 것으로 사료된다.

배합설계를 통한 샌드 융설 아스팔트 혼합물의 실제 현장에서의 융빙 성능을 확인하기 위해, 강원도 횡성군 소재 눈이 잘 녹지 않는 일부 구간을 선정하여 시험포장을 실시한 결과는 표 8과 같다.

본 시험포장의 결과는 그림 6의 시험포장후 눈이 내린 도로에 차량이 통과한 후의 도로표면 상태에서 알 수 있다. 본 사진은 2001년 12월 25일 새벽에 약 6cm 강설 후 오후 1시경 찍은 사진으로 이 지역(강원도 횡성군 횡성읍 북천리)의 당시 기후는 -5℃이었으며, 포장노면 온도는 -7℃ 정도였다. 도로의 좌측은 일반 아스팔트 혼합물이고, 우측은 각각의 혼합물을 구간별로 포설한 것이다. 이중 가장 효과가 탁월한 것은 알파 융설제와 CRM A 첨가 아스팔트 혼합물 및 알파 융설제와 CRM B를 표면처리한 아스팔트 혼합물로서 이는 실내에서의 결빙 및 융빙실험을 통한 결과와 같으며, 차량의 통과 등에 따른 배가 효과가 있음을 알 수 있었다.

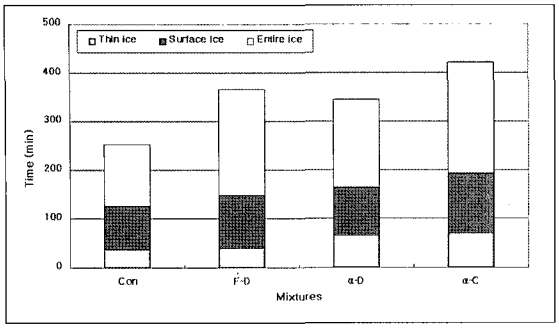

그림 4. Results of Freezing Test on Sand Mixtures(-4℃)

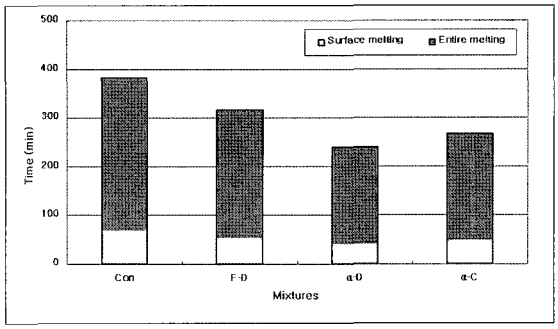

그림 5. Results of Thawing Test on Sand Mixtures(+4℃)

표 8. Summay of Sand Deicing Asphalt Test-Pavement

Type	Span(m)	Mixtures
1	30	Foreign Deicer added Sand Asphalt Mixture
2	30	Alpha Deicer added Sand Asphalt Mixture
3	30	Alpha Deicer, Fine-Particle CRM added Sand Asphalt Mixture
4	30	Alpha Deicer, Coarse-Particle CRM Scattered Sand Asphalt Mixture

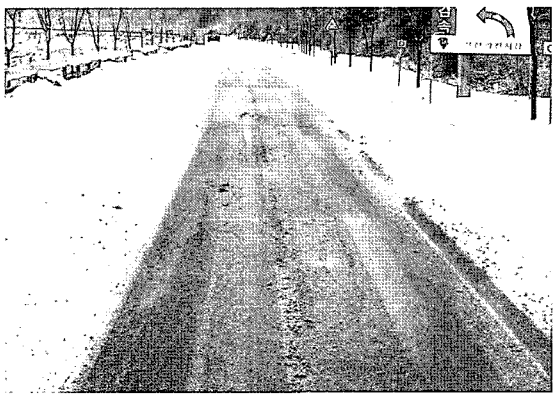

그림 6. Road Condition after Sand Deicing Asphalt Test-Pavement

3.2.2 13mm 밀입도 융설 아스팔트 혼합물

본 배합설계에 따른 혼합물을 이용한 결빙과 융빙의 각각의 단계에 이르는 시간을 측정한 결과는 그림 7, 8과 같다. 여기에서, GB(before grooving) 및 GA(after grooving)는 그루빙 전과 후를 나타내며, 이는 그루빙에 따른 당해년의 효과 차이를 보기 위하여 수행하였다. 1년차와 4년차 혼합물만을 상대 비교한 결과는 표 9와 같다. 결빙단계에서는, 1년차 혼합물에서는 CRM A 첨가 혼합물, CRM B 첨가 혼합물, CRM C 첨가 혼합물, 일반 혼합물 순으로 나타났다. 그 효과는 CRM A 첨가 아스팔트 혼합물이 어는데까지 걸리는 시간을 일반 혼합물에 비해 약 2배 가량 지연시켰으며, 4년차 혼합물로 모사된 융설 아스팔트 혼합물 또한 그 효과가 다소 줄어들기는 하나 미미하여 지속적으로 효과가 있음을 알 수 있었다.

융빙단계에서는, 1년차 혼합물에서 CRM C 첨가 혼합물의 녹는시간이 일반 혼합물보다 약 2배 가량 촉진되었고, 4년차 혼합물로 모사된 융설 아스팔트 혼합물도 그 효과가 지속적이었다.

그루빙에 따른 효과를 비교해 보면 모든 혼합물에서 약간의 차이를 보여 주었으며, 년차가 진행됨에

표 9. Result of Freezing and Thawing Test on 13mm Dense-graded Mixture

Mixture	Freezing Time (-4℃)				Thawing Time (+4℃)			
	1yr Mixture		4yr Mixture		1yr Mixture		4yr Mixture	
	Time (min)	Ratio (%)	Time (min)	Ratio (%)	Time (min)	Ratio (%)	Time (min)	Ratio (%)
Control	135	100	128	100	348	100	356	100
CRM A	269	199	203	159	203	58	247	69
CRM B	233	173	213	166	216	62	246	69
CRM C	208	154	198	155	188	54	217	61

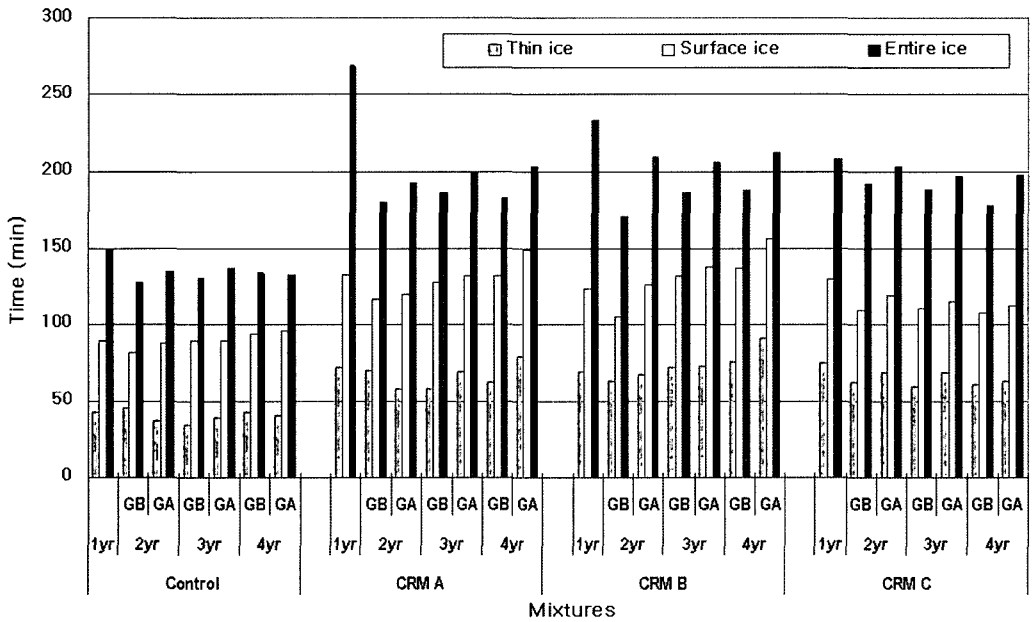

그림 7. Results of Freezing Test on 13mm Dense-Grade Mixtures(-4℃)
(GB : Before Grooving, GA : After Grooving)

따라서는 그 영향이 다소 줄어드는 경향을 보였다. 그러나 이러한 효과는 그루빙의 기본 원리에서 알 수 있듯이 차량의 공용을 통한 노면 마찰 유발로 인해 동결 방지, 적설 방지 및 융설 아스팔트 혼합물 자체의 융설성분 배출로 인한 융빙 효과 증진 등을 기대할 수 있다.

3.3 용출수 수질분석 결과

13mm 밀입도 융설 아스팔트 혼합물의 용출수의 ICP(inductively coupled plasma) 분석 결과는 표 10과 같다.

수질검사 결과 유해물질은 거의 검출되지 않거나

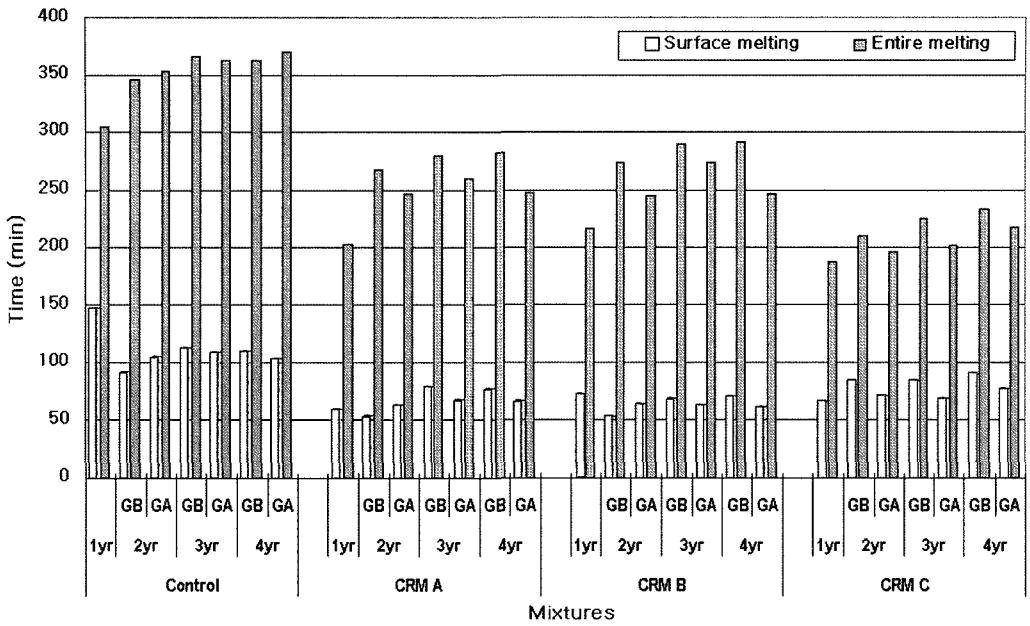

그림 8. Results of Thawing Test on 13mm Dense-Grade Mixtures(+4℃)
(GB : Before Grooving, GA : After Grooving)

표 10. Results of Water Analysis on Extraction Water in Deicing Asphalt Mixtures

Classification	Criterion Value * (mg/ℓ)	CRM A	CRM B	CRM C
Cu	〈 0.5	0.03	0.02	0.33
Cd	〈 0.01	Undetection	Undetection	Undetection
Pb	〈 0.05	Undetection	Undetection	Undetection
Cr	〈 0.05	Undetection	Undetection	Undetection
As	〈 0.05	Undetection	Undetection	Undetection
Hg	Undetection	Undetection	Undetection	Undetection
Mn	〈 0.3	0.02	0.03	0.08
Fe	〈 0.3	0.02	Undetection	Undetection
Al	〈 0.2	0.02	0.01	Undetection
Ni	〈 0.1	Undetection	Undetection	0.07
Zn	〈 1	Undetection	0.02	0.79
pH	5.8 ~ 8.0	7.66	7.78	7.41

* By WHO Limit

표 11. Results of E.C. Test of Deicing Asphalt Mixtures

Classification	Control	CRM A	CRM B	CRM C
1yr	1.47	3.11	3.93	24.2
2yr-GB	0.13	0.42	0.68	5.66
2yr-GA	0.16	5.10	6.46	7.31
3yr-GB	0.13	2.50	2.78	4.86
3yr-GA	0.80	4.88	4.09	4.25
4yr-GB	0.17	3.58	3.01	4.43
4yr-GA	3.11	6.08	8.05	-

표 12. Results of E.C. Test of Deicing Asphalt Mixtures

Classification	Control	CRM A	CRM B	CRM C
1yr	7.76	7.66	7.78	7.41
2yr-GB	7.72	7.39	7.46	7.40
2yr-GA	7.18	7.45	7.33	7.07
3yr-GB	7.63	7.47	7.37	7.55
3yr-GA	7.29	7.47	7.31	7.32
4yr-GB	7.64	7.45	7.45	7.20
4yr-GA	6.82	6.98	6.88	-

일부 용출된 성분도 WHO(world health organization, 세계보건기구)의 기준치(drinking water quality standards)와 비교할 때 낮아서 융설 아스팔트 혼합물을 현장에 포설할 경우 용출수 피해는 무해한 것으로 나타났다.

용출수의 전기전도도(E.C.; electric conductivity)와 pH(potential of hydrogen, 수소농도 지수) 측정결과는 표 11, 12와 같다. 전기전도도란 용액이 전류를 운반할 수 있는 정도를 말하며, 용액중의 이온세기를 신속하게 평가할 수 있는 항목으로서 전기저항의 역수 ohm- 또는 mho로 나타내나 현재는 국제적으로 S(siemens)단위가 통용되어, 국제단위계인 mS/m 또는 μS/cm 단위로 측정결과를 표기한다. 일반적으로 용액의 전기전도도가 높다는 것은 용액내에 전류를 운반할 수 있는 각종 이온들이 많이 용해되어 있다는 것을 의미한다. 따라서 일반 아스팔트 혼합물에 비해 융설제를 첨가한 아스팔트 혼합물이 얼마나 지속적인 융빙 및 재결빙 방지 등의 효과를 지닐 수 있는지를 추정하기 위하여 전기전도도를 측정하였다.

pH란 용액내의 수소이온(H-)농도 역수의 상용대수 값을 말하며 그 범위는 0~14를 가지고 있다. 순수한 물에서의 pH는 7이며 이때를 중성이라고 하고, pH가 7보다 작으면 산성, 7보다 크면 염기성(알칼리성)이 된다. 일반적으로 주어진 온도에서의 어떤 용액의 산성 또는 염기성의 특성 및 그 세기는 pH로 나타내어지고, 급격한 pH값의 변화는 오염도의 지표가 된다. 따라서 융설제를 첨가한 아스팔트

혼합물이 pH 값의 변화에 의해 주변 환경에 영향을 미치는가를 알아보기 위하여 pH를 측정하였다.

전기전도도의 측정결과 CRM C 첨가 아스팔트 혼합물의 포설직후의 전기전도도는 일반 혼합물에 비해 16배 이상 높은 값을 보였는데, 이는 일반 혼합물에 비해 융빙 및 재결빙 방지 등의 효과가 어느 정도 우세하게 작용하고 있음을 나타낸다. 또한 유출 실험과 그루빙을 통한 용출수의 전기전도도는 시간이 경과함에 따라 절대값 자체는 처음보다 대체적으로 감소하였으나, 일반 혼합물에 비해서는 여전히 5.3~46배 이상의 값을 나타내어 년차가 경과하여도 그 효과는 상당히 유지되고 있음을 알 수 있다.

일반적으로 염화칼슘과 염화나트륨과 같은 염화물은 물에 용해될 경우 pH 9.0 이상의 알칼리성을 띨 뿐만 아니라, 일반적인 금속원소들과 잘 결합할 수 있는 염소이온(Cl-)을 포함하고 있기 때문에 도로에 살포할 경우 주변의 교량 및 차량과 같은 금속성 물체를 부식시키거나 인근에 있는 식생에 염해를 주기도 한다. 이와 같은 폐해를 최소화하기 위해, 본 연구에서 개발된 알파(베타) 융설제는 금속성분을 쉽게 용해시킬 수 있는 염소이온이 염화철의 형태로 제거함으로써 자동차나 교량, 철근 등의 부식이 어느 정도 효과적으로 억제될 수 있도록 하였다. 또한 표 12에서의 결과와 같이 알파(베타) 융설제를 첨가한 혼합물의 용출수 pH 값이 일반 혼합물과 거의 비슷하거나 또는 오히려 중성에 가까운 pH 값을 보여, 본 연구에서 사용된 융설제가 도로 주변의 식생에 악영향을 미치지 않을 것으로 판단된다.

4. 결 론

본 연구는 겨울철 도로 포장에서 강설로 인한 교통사고와 교통체증을 저감하기 위한 연구의 일환으로 자체 융설기능을 가지는 아스팔트 포장을 개발하고 융설 특성을 파악하기 위하여 각종 시험을 수행하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 샌드 융설 아스팔트 포장의 결빙 및 융빙 실험결과, 결빙 및 융빙단계에서는 알파 융설제와 CRM A 첨가 아스팔트 혼합물이 일반 혼합물에 비해 시간적으로 2배 가량 효과를 나타냈다. 이에 대한 시험포장에서 이 재료의 조합은 융설 성능에서도 가장 우수한 효과를 나타내었다.
2. 13mm 밀입도 융설 아스팔트 콘크리트의 결빙 및 융빙 실험결과, 결빙 단계에서는 CRM A 첨가, 융빙단계에서는 CRM C 첨가 아스팔트 혼합물이 샌드 융설 아스팔트 콘크리트와 유사하게 일반 혼합물에 비해 우수한 효과를 보였다.
3. 13mm 밀입도 융설 아스팔트 혼합물을 포설 후 강우량을 모사하여 수침 및 건조 반복 후 그루빙 처리한 4년차 모사 혼합물의 결빙 및 융빙 실험결과, 포설 직후에 비해 그 효과의 차이가 크게 저하되지 않아 그루빙을 통하여 융설효과를 지속시킬 수 있음을 알 수 있었다.
4. 배합설계결과 융설 아스팔트 혼합물은 다소 높은 아스팔트 함량이 필요한 것으로 나타났고, 마샬 안정도와 밀도의 저하, 흐름치의 증가를 가져왔지만 국내에서 규정하는 표층용 아스팔트 콘크리트의 설계기준에 대부분 적합하도록 제조, 적용할 수 있었다. 또한 13mm 밀입도의 경우 9kgf/cm2 이상의 우수한 간접인장강도를 보여 일반 혼합물에 비해 우수한 강도 특성을 가지는 것을 알 수 있었다.
5. 자체 융설 아스팔트의 용출수의 전기전도도 실험결과, 일반 혼합물에 비해 포설 직후에는 16배, 년차가 지나가도 5.3~46배를 나타내어 이온의 활성화를 유발시켜 융빙 및 재결빙 방지 효과가 지속적임을 알 수 있었다.
6. 자체 융설 아스팔트 혼합물의 용출수 pH시험 결과, 염소이온을 염화철 형태로 제거시켜 철 구조물 등의 부식을 효과적으로 억제할 수 있고, 그 값은 6.82~7.78로 일반 혼합물과 비슷하거나 오히려 더 중성에 가까워 도로 주변의 식생에 악영향을 미치지 않을 것으로 판단되었다.

참고문헌

1. "비염화물계 융설제의 개발," (1999) 한국도로공사 도로연구소 1999년도 연구보고서.
2. 김광우, 이기호, 홍상기, 김대영, (2002) "융설 아스팔트 포장의 빙설제어 기능 및 강도 특성," 2002 대한토목학회 학술발표회 논문집
3. 김광우, 진호일, 이상범, 이기호, 홍상기, "자체융설 아스팔트 포장의 융빙(설) 및 공용품질 특성," 2002 아스팔트 포장공학의 첨단기술 국제 심포지엄 논문집, 2002. 4. pp. 39~58.
4. 김광우, 진호일, "아스콘용 융설제 및 그 융설제를 이용한 아스콘의 제조방법" 특허출원번호 제 2002-0000262호.

〈접수 2003. 3. 6〉