J. of Korean Inst. of Resources Recycling
Vol. 9, No. 3, 2000, 37-45
≫ 研究論文 ≪

廢타이어 再活用 아스팔트 混合物의 機械的 性質에 대한 濕潤과 凍結 融解의 影響

†金洛錫 · 曺基主

京畿大學校 土木環境工學部

Effect of Moisture and Freeze-Thaw on Mechanical Properties of CRM Asphalt Mixture

†Nak-Seok Kim and Kee-Ju Cho

Division of Civil & Environmental Engineering, Kyonggi University

요 약

본 논문은 가열 폐타이어 재활용 아스팔트 혼합물의 습윤과 동결융해 저항성에 대한 시험결과를 나타내고 있다. 재래식 아스팔트 혼합물과 폐타이어 재활용 아스팔트의 기계적 특성을 비교하기 위하여 각기 다른 습윤 조건과 동결-융해 횟수하에서 시험이 수행되었다. 또한, 두 혼합물에 대한 최적 아스팔트 함량을 결정하기 위하여 마샬배합설계가 우선 수행되었다. 본 연구에서 수행된 시험결과에 의하면 폐타이어 재활용 아스팔트 혼합물의 습윤과 동결-융해 저항성이 재래식 아스팔트 혼합물보다 우수함을 나타내었다. 따라서, 향후 도로포장 재료로의 폐타이어 재활용은 습윤과 동결융해로 인한 피해를 최소화할 수 있을 것으로 기대된다.

주제어: 폐타이어 재활용, 아스팔트 혼합물, 습윤, 동결융해, 기계적 특성

ABSTRACT

This paper presents the experimental test results on moisture and freeze-thaw resistance of hot mix crumb rubber modified (CRM) asphalt concrete mixture. To compare the differences in mechanical properties of conventional and CRM asphalt concretes, various tests were conducted under different moisture conditions and freeze-thaw cycles. Marshall mix design was also performed to determine the optimum asphalt contents for the both asphalt concrete mixtures. Test results revealed that the moisture and freeze-thaw resistance of CRM asphalt mixture was superior to the conventional asphalt concrete. As a result, it is considered that the utilization of waste tires in asphalt pavements has the potential of minimizing the damage due to the moisture and freeze-thaw.

Key words: CRM, asphalt mixture, moisture, freeze-thaw, mechanical properties

1. 서 론

천연고무를 아스팔트에 처음 첨가한 것은 1840년대의 일이다. 이후 아스팔트 성상을 개선코자 여러 종류의 고무가 첨가되었고, Binder의 역할을 하는 Polymer의 혼합을 통해 여러 가지로 품질이 개선된 아스팔트 연구가 진행되고 있다. 그러던 중 폐타이어 처리의 심각성이 크게 사회문제로까지 대두됨에 따라 폐타이어를 이용하여 아스팔트 특성을 강화하기 위한 연구와 시험포장이 선진국의 여러 곳에서 행하여졌다. 고무아스팔트가 실제로 도로포장에 활용되어진 것은 1964년부터이다. 1964년 Charless McDonald는 열과 화학약품으로 처리한 폐타이어 분말을 아스팔트에 첨가하여 소요의 특성(균열충전, 방수효과)을 얻었다. 그러나, 초기의 고무아스팔트는 점도가 너무 높아 사용하기 곤란하였으므로 1972년에 Kerosene 을 첨가하여 시공성을 개선하였다.

† 2000년 2월 23일 접수, 2000년 5월 30일 수리
† E-mail: nskim1@kuic.kyonggi.ac.kr

고무아스팔트 제조방법으로는 폐타이어를 도로포장에 사용하는 방법에 따라 두 가지 타입으로 나누어진다.[1~4] 첫번째는 미세하게 분쇄한 폐타이어 가루로 Hot Asphalt Binder를 만든 후 Binder를 일반적인 포장등급의 골재에 첨가하는 방법이다. 이러한 형태를 습식방법(Wet Process)이라고 하며 미국에서는 "McDonal" 기술로 대표된다. 그리고, 두번째는 1960년대 후반 스위스 회사가 만든 "Rubit"이라는 이름을 가진 방법으로 표면저항력을 높이기 위해서 아스팔트 도로포장 혼합물에 3.0~4.0%의 고무(전체 혼합물의 무게비)를 첨가하는 방법이다. 이 혼합물은 다소 큰 고무입자(0.16~0.95 cm)를 갭입도(Gap-graded)혼합물에 첨가하여 골재의 일부를 대체하게 된다 이러한 방법을 건식방법(Dry Process)이라 하며 "Plus Ride"가 대표적이다. 그러나, 본 연구에서는 현재 국내의 폐타이어 재활용 기술 여건을 고려하여 건식방법을 채택하였다.

본 연구의 주목적으로는 폐타이어 고무분말을 이용하여 아스팔트 콘크리트 포장에 실용화하는 방안에 대한 연구를 수행하는 것이며 이를 위하여 폐타이어 고무분말을 사용한 아스팔트 콘크리트 포장의 공용성에 중요한 영향을 미칠 것으로 사료되는 습윤과 동결융해에 대한 저항성을 평가 분석하고자 한다.

본 연구를 수행하기 위한 방법으로는 기존 아스팔트 혼합물(밀입도 20)의 배합설계를 실시하여 설계 아스팔트함량을 설정하고 폐타이어 고무분말을 0.5 mm 이하 규격을 아스팔트량에 1.0%를 첨가하여 공시체를 제작한 후, 동결온도 영하 20±1℃, 융해온도 영상 5±1℃로 이것을 일정한 9시간 간격으로 서로 바꿔 동결융해 반복시험을 실시하였다. 공시체 수침일수를 0일, 1일, 5일, 14일로 변화시켜 설정하고 각각에 대하여 9시간씩 0, 3, 10회 동결융해를 반복한 후 마샬안정도시험을 실시하여 기존 아스팔트 혼합물과 고무첨가 아스팔트 혼합물의 비교를 통해 안정도, 밀도, 흐름값, 포화도, 공극률과의 상관관계를 규명하고 재질의 변화로 인한 특성을 평가하였다.

2. 사용재료 및 시험방법

2.1. 사용재료

2.1.1. 폐타이어

고무분말에 사용되는 원재료는 승용차와 트럭용 타이어 전체와 도로에 주행하는 차량 타이어의 육질부분(Tread)만 사용되며, 도로용이 아닌 중기 타이어나 항공기 타이어는 일반적으로 사용되지 않는다 고무분말의 입자분포는 사용목적에 따라 여러 가지가 있으나 사용하는 원재료의 성분에 따라 제한된다.

본 연구에서는 승용차와 특럭용 폐타이어로부터 얻어진 입자가 0.5 mm이하인 폐타이어 고무분말이 재활용되었으며 사용되어진 양은 설계 아스팔트 함량의 1.0%를 첨가하여 공시체를 제작하였다. 본 연구에서 사용된 폐타이어의 입자크기와 양에 대한 자세한 내용은 참고문헌[5~8]에 기록되어 있다. Table 1 은 본 연구에서 사용된 폐타이어 고무분말의 화학적 성분을 나타내고 있다.

2.1.2 아스팔트 시멘트

아스팔트는 침입도가 85~100인 AP-3 스트레이트 아스팔트를 사용하였다. 본 연구에서 사용된 AP-3의 비중(KS M 2202), 침입도(KS M 2252), 신도(KS M 2254), 인화점(KS M 2010), 트리클로로 에탄용해도(KS M 2256)등은 Table 2 와 같다.

2.1.3. 골재

굵은골재는 20 mm와 13 mm인 쇄석을 사용하였으며, 굵은골재의 체가름 시험(KS F 2502), 굵은골재의 비중 및 흡수량 시험(KS F 2503), 굵은골재의 마모 시험(KS F 2508), 굵은골재의 안정성 시험(KS F 2526)으로 얻어진 굵은골재의 물리적 성질과 입도는 Table 3 과 같다.

잔골재는 굵은 강모래와 스크리닝스(6 mm이하)를 병용하여 사용하였고, 잔골재의 체가름 시험(KS F 2502), 잔골

Table 1. Chemical composition for passenger/truck tread rubber

Composition	Acetone Extract	Ash	Carbon Black	Rubber hydrocarbon
Mean by Weight (%)	17.2	4.8	32.7	42.9

Table 2. Properties of asphalt cement (AP-3) used for the experiment

Asphalt Type	Specific Gravity, 25°C	Penetration, 25°C, 100g, 5sec	Ductility, cm	Flash Point, °C	Pen. Ratio after TFOT, %	Ductility after TFOT, cm	Solubility in Trichlorethylene, %
Specific of KS	min. 1.01	85~100	min 100	min. 230	min. 47	min 75	min 99.0
AP-3	1.033	92	150 +	314	64.13	108	99.96

재의 비중 및 흡수량 시험(KS F 2504) 그리고 안정성 시험(KS F 2526)을 하여 얻어진 잔골재의 물리적 성질과 입도는 Table 3 과 같다. 그리고, 필러(filler)는 석회석의 석분을 사용하였으며, 체가름 시험(KS F 2502)과 비중 및 흡수량 시험(KS F 2504)의 결과는 Table 3 과 같다. 그리고, 각 골재 분석에 의한 합성입도는 Table 4 와 같으며, Fig. 1 은 합성입도와 시방입도 범위를 나타내고 있다.

2.2. 공시체 제작 및 시험방법

2.2.1. 공시체 제작

건설부 도로포장 설계지침에 의하면 설계 아스팔트량의 범위는 5.0~7.0%이다. 본 연구에서는 아스팔트량을 6.0% 사용하였고, 고무분말 첨가 아스팔트 콘크리트는 아스팔트 콘크리트량 6.0%, 고무분말 규격 0.5 mm 이하, 고무 첨가량의 공시체 무게비는 아스팔트 중량기준 1.0%로 배합하였다. 이 때 공시체의 혼합된 골재의 온도와 아스팔트 가열온도는 150°C로 관리하였고, 다짐온도는 140~147°C를 유지하였다. 공시체 제작은 두께 6.35 cm, 중량은 1.154 kg으로 3개를 1조로 양면 75회씩 다짐하여 총 72개의 공시체를 제작하였다. Table 5 는 기존 아스팔트 콘크리트 및 고무분말 첨가 아스팔트 콘크리트의 공시체 제작현황이다.

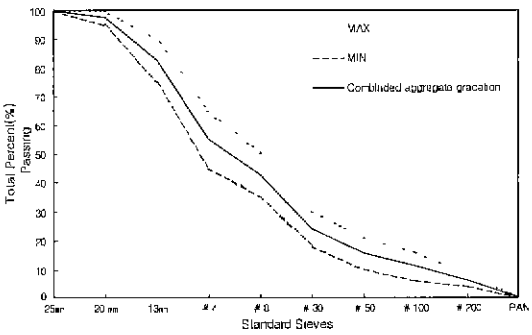

Fig. 1. Gradation curve of combined aggregates.

2.2.2. 시험방법

본 연구에서는 공시체 수침일수를 0일, 1일, 5일, 14일로 변화시켜 설정하고 국내의 동절기 도로 표면 온도를 모사하기 위하여 동결온도 영하 20±1°C, 융해온도 영상 5±1°C로 이것을 일정시간 간격으로 서로 바꿔 동결융해 반복시험을 실시하였다(Fig. 2). 각각에 대하여 9시간씩 0, 3, 10회 동결·융해를 반복한 후 마샬안정도시험을 실시하여 기존 아스팔트 혼합물과 고무분말 첨가 아스팔트 혼합물과 비교를 통해 밀도(kg/cm^3), 안정도(kg), 흐름값(1/100 cm), 공극률(%), 포화도(%)의 상관관계를 규명하고 재질의 변화로 인한 기계적 특성을 평가하였다

Table 3. Size distribution and physical properties of aggregates used for the experiment

Item \ Aggregate Type		Coarse Aggregate		Fine Aggregate		Filler
		# 67(20 mm)	# 78(13 mm)	Screenings	River Sand	Limestone Powder
Percent Passing Weight (%)	25 mm	100				
	20 mm	99.2	100			
	13 mm	53.2	96.4	100	100	
	# 4	5.4	14.7	95.3	99.5	
	# 8	0.9	6.2	72.6	91.2	
	# 30	0.0	0.0	38.8	37.6	100
	# 50			21.4	17.6	98.2
	# 100			6.4	7.2	95.3
	# 200			0.0	2.3	91.5
	PAN				0.0	0.0
Apparent Specific Gravity		2.695	2.691	2.682	2.642	2.715
Absorption (%)		0.83	0.90	1.05	1.00	0.30
Durability (%)		5.5	4.2	2.9	3.3	-
Abrasion (%)		22.5	21.7	-	-	-

Table 4. Mixing ratios for combined aggregate gradation

Aggregate Type	Percent Used (%)	Aggregate Size									
		25 mm	20 mm	13 mm	5.0 mm	2.5 mm	0.6 mm	0.3 mm	0.15 mm	0.08 mm	PAN
20 mm	34	34.0	33.4	18.1	1.8	0.3	0.0				
13 mm	13	13.0	13.0	12.5	1.9	0.8	0.0				
Screenings	35	35.0	35.0	35.0	33.4	25.4	13.6	7.5	4.4	2.2	0.0
River Sand	14	14.0	14.0	14.0	13.9	12.8	5.3	2.5	1.0	0.3	0.0
Limestone Powder	4	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	3.9	3.8	3.7	0.0
Combined Gradation (%)	100	100	99.4	83.6	55.0	43.2	22.9	13.9	9.2	6.2	0.0
Specification (%)	100	100	95-100	75-90	45-65	35-50	18-30	10-21	6-16	4-8	0.0

Table 5. Specimen preparation and experimental design for each conventional and CRM mixtures

Category		Freeze-Thaw Cycles		
		0	3	10
Period of Submersion (days)	0	3	3	3
	1	3	3	3
	5	3	3	3
	14	3	3	3

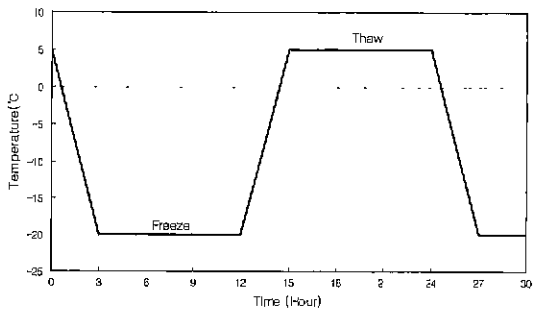

Fig. 2. Freeze-Thaw cycle used for the experiment

3. 시험결과 및 분석

기존의 아스팔트 포장재료는 교통하중이외에 도로포장 후 자연상태에서 겪게 되는 습윤, 동결융해 및 노화 등의 영향으로 인하여 점차 기계적 성질이 약화되어 결국 도로파괴의 주된 원인이 되는 것으로 알려져 있다.[2,4,9] 따라서 본 연구에서는 이러한 기존의 아스팔트 포장재료와 폐타이어를 재활용한 아스팔트 포장재료의 습윤과 동결융해로 인한 기계적 특성을 상호 비교 · 분석함으로써 폐타이어 재활용 아스팔트 포장재료의 활용가능성을 검토하고자 한다. 이를 위하여 아스팔트 함량을 6.0%로 결정[1,6,7]하여 기존 및 고무분말 첨가 공시체를 각각 3개씩 0, 1, 5, 14일 동안 수중에 침수시켜 0, 3, 10회 동결 및 융해를 9시간씩 반복하여 마샬안정도 시험을 실시하였고 밀도(kg/cm^3), 안정도(kg), 흐름값(1/100 cm), 공극률(%), 포화도(%)를 각각 측정하였다. 시료에 사용된 시료의 개수와 시험계획은 Table 5 에 나타낸 바와 같이 3개씩의 시료를 사용하여 측정하였으며 본 논문에 나타낸 각 측정치는 이들 3개 시료에 대한 평균치를 나타내고 있다. 시험결과를 기존 혼합물과 폐타이어 고무분말 첨가 혼합물을 시험별로 그래프로 나타내어 요약하면 Figs. 3~7 에서 보는 바와 같다

Fig. 3 에 나타낸 아스팔트 혼합물의 수침에 대한 동결융해 후 밀도시험결과는 기존 아스팔트 혼합물과 고무분말 첨가 아스팔트 혼합물 모두 유사한 결과를 보이고 있다. 이것은 두가지 혼합물 모두 밀도에 관한한 습윤과 동결융해에 대한 영향이 매우 미미하다는 것을 나타내고 있다. 실제로 수침 및 동결융해에 따른 혼합물의 성능저하가 매우 미세하게 진행되기 때문에 밀도에는 커다란 영향이 없는 듯이 측정된 것으로 판단된다.

Fig. 4 에 나타낸 안정도 시험결과에 의하면 수침 및 동결융해 조건에 관계없이 고무분말 첨가 아스팔트 혼합물이 기존 아스팔트 혼합물보다 약 9~29% 높은 안정도 값을 보여주고 있다 이것은 고무분말 첨가 아스팔트 혼합물이 기존 아스팔트 혼합물보다 동절기와 하

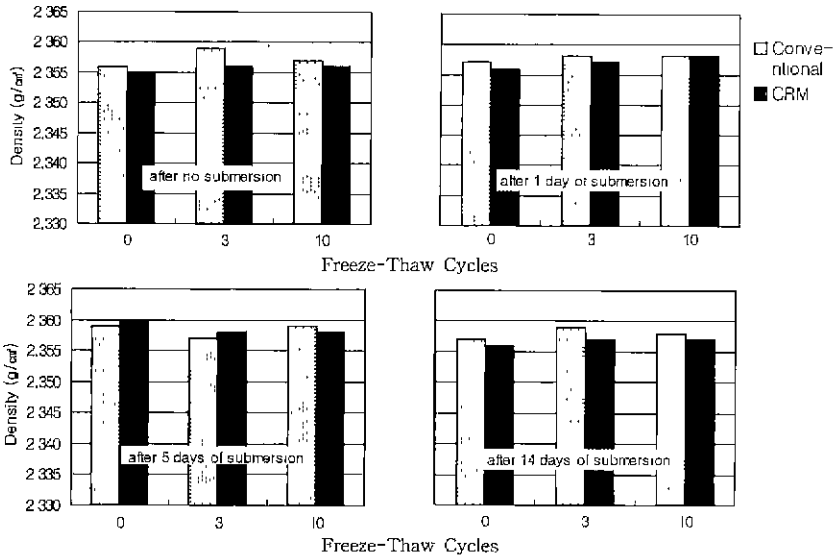

Fig. 3. Density comparison after freeze-thaw cycles.

절기 기후조건하에서 각각 피로파괴와 소성변형에 대한 저항성이 더 우수할 수 있다는 사실을 암시하고 있다. 한편, 수침기간에 따른 안정도 값을 분석하여 보면 기존 혼합물과 고무분말 혼합물 모두 수침기간이 증가함에 따라 점진적인 감소 경향을 보이고 있다. 또한, 동일한 수침조건 (1, 5, 14일 수침)내에서 동결융해 횟수가 증가함에 따라 안정도 값은 감소되고 있으며 습윤기간이 길어짐에 따라 동결융해 횟수에 따른 안정도 값의 감소는 매우 큰 것으로 나타나고 있다. 특히, 비교적 장기습윤(14일 수침)의 경우 동결융해 횟수가 증가함에 따라 고무분말 혼합물이 기존의 혼합물보다 안정도 값에서 월등히 유리(약 29%)함을 알 수 있었다. 따라서, 향후 폐타이어 고무분말의 아스팔트 포장재료로의 적용은 도로 공용성 향상, 도로수명 연장, 도로유지관리 보수비

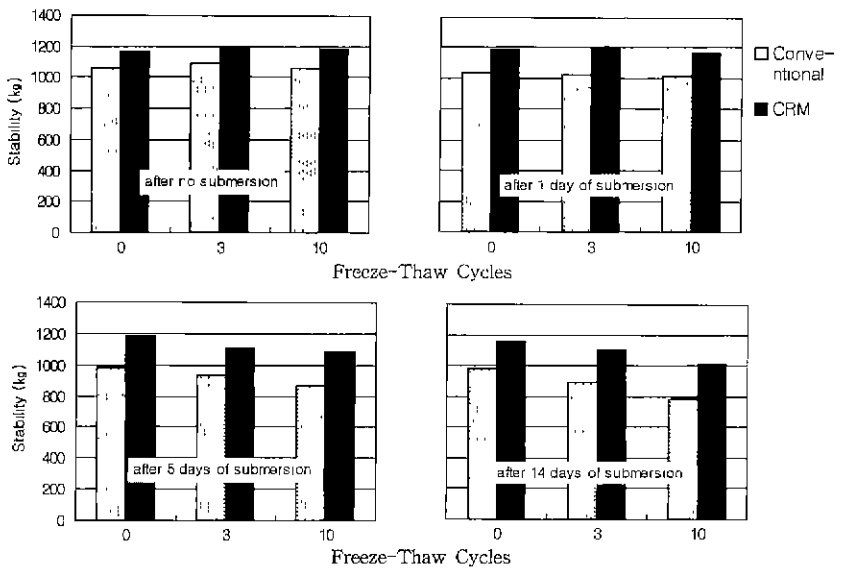

Fig. 4. Stability comparison after freeze-thaw cycles.

감소 등의 부가적인 효과를 기대할 수 있을 것으로 기대된다.

Fig. 5 에 나타낸 흐름치에 대한 분석결과 전반적으로 기존 혼합물의 흐름치가 고무분말 혼합물보다 약 5~12%정도 높게 나타나고 있다. 이것은 혼합물의 외력에 대한 저항성을 나타내며 고무분말 혼합물의 흐름치가 기존 혼합물보다 약 5~12% 작다는 것은 외력에 대한 저항성이 더 크다는 것을 나타내고 있다. 따라서, 도로포장 재료로서 고무분말 아스팔트 혼합물을 활용한다면 기존 아스팔트 혼합물을 이용한 아스팔트 포장에서 흔히 심각한 문제가 되고 있는 소성변형에 대한 문제를 어느 정도 해결할 수 있을 것으로 판단된다. 또한, Fig. 5 에서 보여주고 있는 것처럼 두가지 혼합물 모두 수침기간과 동결융해 횟수가 증가함에 따라 흐름치는 점차 증가하고 있다는 것을 알 수 있으며 이러한 현상은 혼합물내의 미세한 균열과 성능저하가 주원인인 것으로 판단된다. 비교적 장기수침 기간(14일)에 고무 분말 첨가 혼합물의 흐름치가 기존 혼합물보다 작다는 것은 도로재료에 페타이어 분말가루를 첨가함으로써 고온 다습한 하절기 장마기간동안에 발생하기 쉬운 도로의 소성변형을 최소화할 수 있다는 사실은 나타낸다.

Fig. 6 에서는 공극률의 관계를 보여주고 있으며 수침 및 동결융해 횟수에 관계없이 두가지 혼합물 모두 매우 유사한 값을 보여주고 있다 또한, 전술한 바와 같이 수침 및 동결융해에 대한 혼합물의 성능저하가 매우 미세하게 진행되고 있기 때문에 공극률에는 커다란 영향이 없는 것처럼 시험결과에 나타난 것으로 예측된다. Fig. 7에 나타낸 포화도 역시 혼합물의 성능 및 배합설계에서는 매우 중요한 역할을 하는 요인이 되지만 습윤 및 동결융해에 대한 영향은 매우 적은 것으로 나타나고 있다. 그러나, 시험조건에 관계없이 고무분말 혼합물의 포화도가 기존 혼합물보다 전반적으로 높게 나타나고 있다. 이것은 고무분말 혼합물의 미세한 고무분말 입자가 골재 사이의 공극을 기존 혼합물보다 더 잘 메워주고 있다는 것을 암시하고 있다.

또한 아스팔트 혼합물의 수침에 의한 역청재료와 골재간의 부착성 감소를 안정도의 저하를 측정하는 수침 마샬 잔류안정도시험을 실시하였다. 잔류안정도식은 다음과 같다.

$$\text{잔류안정도}(\%) = \frac{60^{\circ}C,\ 48\text{시간 수침후 마샬안정도}}{\text{마샬안정도 (kg)}} \times 100$$

아스팔트 포장 설계 · 시공 요령에서는 물의 영향을 받기 쉽다고 생각되는 혼합물 또는 그와 같은 장소에 포설되는 혼합물은 윗 식에서 구한 잔류안정도 값이 75%이상이 되어야 할 것을 규정하고 있다. 본 연구에

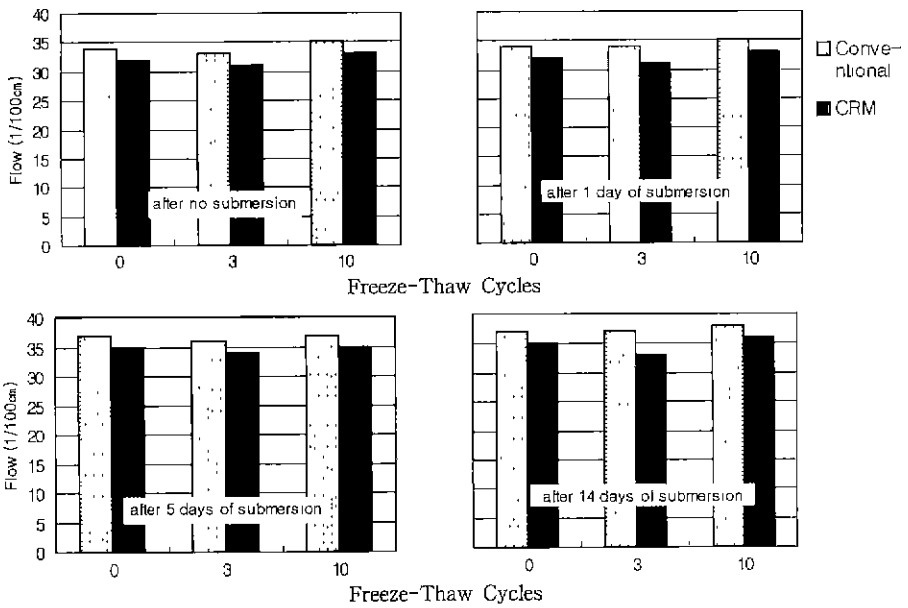

Fig. 5. Flow comparison after freeze-thaw cycles.

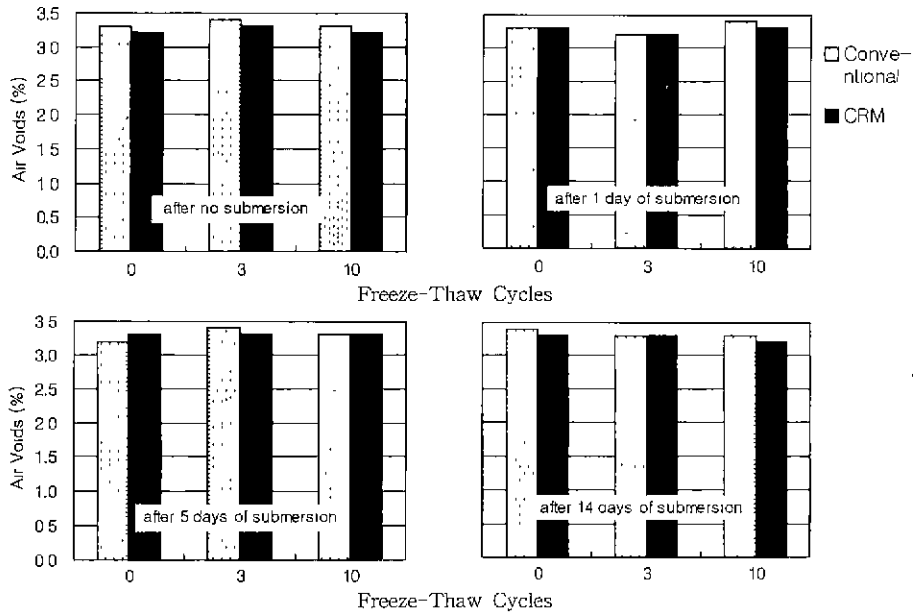

Fig. 6. Air voids comparison after freeze-thaw cycles.

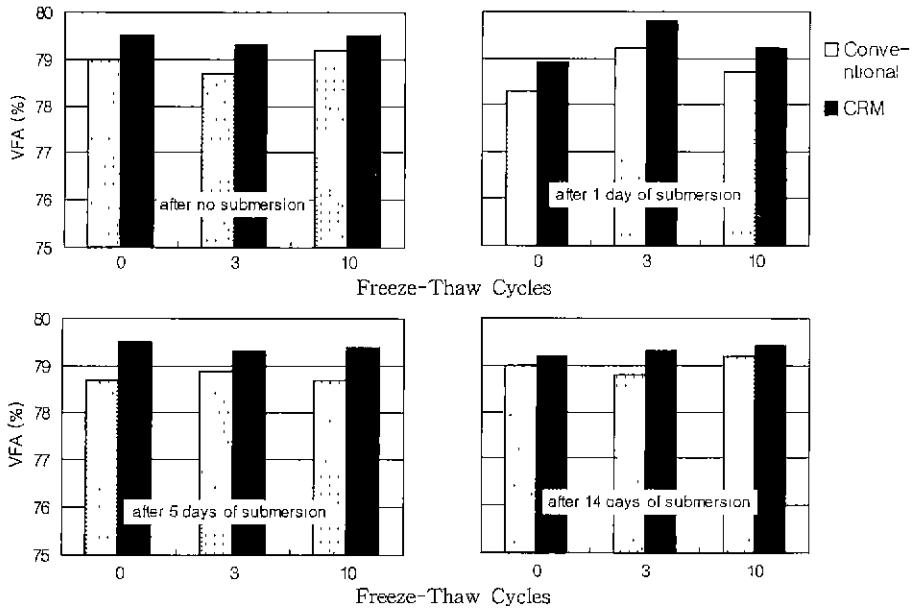

Fig. 7. VFA(Voids Filled with Asphalt) comparison after freeze-thaw cycles

서 수행된 시험결과를 그림으로 요약하여 나타내면 Fig. 8과 같다. 두가지 혼합물 모두 잔류안정도 값이 75%이상을 보임으로써 아스팔트 포장설계·시공 요령에서 규정하고 있는 잔류안정도 규정을 만족하고 있다. 그러나, Fig. 8 에서 보여주고 있는 것처럼 고무분말 아스팔트 혼합물의 잔류안정도(92.6%)가 기존 아스팔트 혼합물의 잔류안정도(88.4%)보다 높은 것으로 나타났다. 따라서, 폐타이어 고무분말 첨가 혼합물을 아스팔트 콘크리트 도로 포

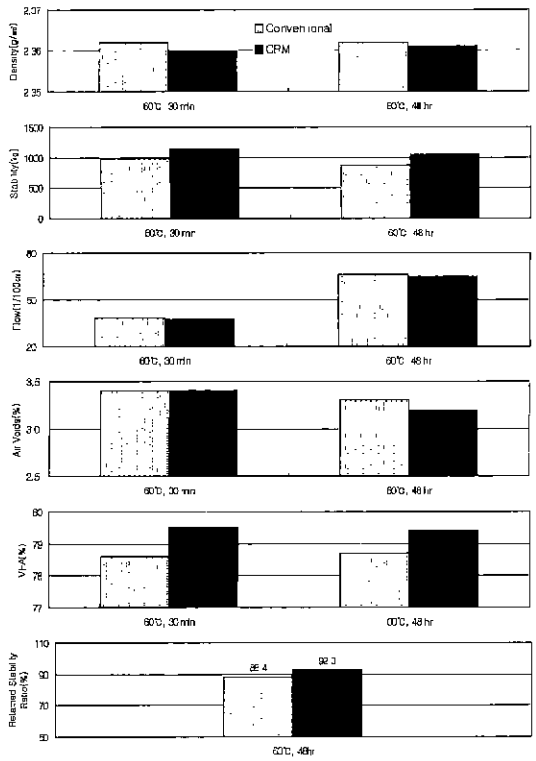

Fig. 8. Comparison of retained stability ratio between two mixture.

장재로 실용화하였을 경우 일반적으로 아스팔트 콘크리트의 내구성 저하에 대한 주요 요인으로 지적되고 있는 장기습윤 및 동결융해로 인한 내구성 저하를 최소화할 수 있을 것으로 판단되며, 도로의 수명연장이 가능하여 유지보수비의 절감을 기대할 수 있는 것으로 예상된다.

5. 결 론

본 연구는 기존 아스팔트 혼합물과 폐타이어 고무분말 첨가 아스팔트 혼합물의 습윤 및 동결융해로 인한 물리적 저항성을 비교 평가하기 위하여 시험하였다. 이를 근거로 아스팔트 혼합물에 폐타이어 고무분말을 혼합하여 도로포장 재료로서의 활용 가능성 여부를 판정하기 위한 기초자료로 삼고자 한다. 이러한 연구목적에 따라 시험한 결과는 다음과 같다.

1. 안정도 시험결과에 의하면 수침 및 동결융해 조건에 관계없이 고무분말 첨가 아스팔트 혼합물이 기존 아스팔트 혼합물보다 약 9~29% 높은 안정도 값을 보여주고 있다. 이것은 고무분말 첨가 아스팔트 혼합물이 기존 아스팔트 혼합물보다 동절기와 하절기 기후조건하에서 각각 피로파괴와 소성변형에 대한 저항성이 더 우수할 수 있다는 사실을 암시하고 있다. 특히, 비교적 장기습윤(14일 수침)의 경우 동결융해 횟수가 증가함에 따라 고무분말 혼합물이 기존의 혼합물보다 안정도 값에서 월등히 유리(약 29%)함을 알 수 있었다.
2. 흐름치에 대한 분석결과 전반적으로 기존 혼합물의 흐름치가 고무분말 혼합물보다 약 5~12% 정도 높게 나타나고 있다. 이것은 혼합물의 외력에 대한 저항성을 나타내며 고무분말 혼합물의 흐름치가 기존 혼합물보다 약 5~12% 작다는 것은 외력에 대한 저항성이 더 크다는 것을 나타내고 있다. 따라서, 도로포장 재료로서 고무분말 아스팔트 혼합물을 활용한다면 기존 아스팔트 혼합물을 이용한 아스팔트 포장에서 흔히 심각한 문제가 되고 있는 소성변형에 대한 문제를 어느 정도 해결할 수 있을 것으로 판단된다.
3. 밀도, 공극률 및 포화도는 수침 및 동결 융해 횟수에 관계없이 두가지 혼합물 모두 유사한 값을 보여주고 있다. 이러한 현상은 수침 및 동결 융해에 대한 혼합물의 성능저하가 매우 미세하게 진행되기 때문에 이러한 인자에는 커다란 영향이 없는 것처럼 시험결과에 나타난 것으로 판단된다.
4. 잔류안정도 시험결과 고무분말 첨가 아스팔트 혼합물의 잔류안정도(92.6%)가 기존 아스팔트 혼합물의 잔류안정도(88.4%)보다 높은 것으로 나타났다. 이러한 사실은 도로재료에 폐타이어 분말 가루를 활용함으로써 고온 다습한 하절기 장마기간에 발생하기 쉬운 도로의 소성변형을 최소화할 수 있다는 사실을 나타낸다.

참고문헌

1. 이우열, "폐타이어 고무분말을 이용한 아스팔트 콘크리트 혼합물의 성질에 관한 실험적 연구", 경기대학교 석사학위 논문, (1998).
2. 김낙석, "Recycling of Used-Tire in Asphalt Paving Mixtures", 경기대학교 논문집 제38편 제2호, pp. 181-196, (1996).
3. G.A. Malpass, "The Use of Ground Tire Rubber in Asphalt Concrete Pavements", Master's Thesis at North Carolina State University (1994)

4. 이석홍, "폐타이어를 사용한 아스팔트 포장재료의 노화특성 연구", 한국 콘크리트 학회지 Vol. 9 No. 6, pp. 58-66 (1997)
5. 아스팔트 포장 연구회, "가열 아스팔트 혼합물의 배합설계 지침", pp 79-107 (1998).
6. 김낙석, 이우열, "폐타이어 재활용 아스팔트 콘크리트의 역학적 특성", 한국 자원리싸이클링 학회지, 제7권 제2호. pp 53-58 (1998)
7. 이우열, 김주호, 김낙석, 임정순, "폐타이어 고무분말을 이용한 아스팔트 콘크리트 혼합물의 성질에 대한 실험적 연구", 대한 토목학회 학술 발표회 논문집(II), pp 65-68 (1997).
9. 이석홍, "CRM을 사용한 아스팔트 포장도로의 역학 특성" 한국 자원리싸이클링 학회 고무 리싸이클링 특별 심포지움 (1999, 12).

金 洛 錫

- 고려대학교 토목환경공학과 학사
- North Carolina State Univ 석사
- North Carolina State Univ 박사
- 현재 경기대학교 토목환경공학부 교수

曺 基 主

- 호원대학교 토목공학과 학사
- 전북대학교 환경대학원 석사
- 현재 경기대학교대학원 토목공학과 박사과정

《광 고》 本 學會에서 發刊한 자료를 판매하오니 學會사무실로 문의 바랍니다.

* EARTH '93 Proceeding(1993) 457쪽, 價格 : 20,000원
(International Symposium on East Asian Recycling Technology)
* 자원리싸이클링의 실제(1994) 400쪽, 價格 : 15,000원
* 학회지 합본집 I, II, III 價格 : 40,000원, 50,000원(비회원)
(I : 통권 제1호~제10호, II : 통권 제11호~제20호, III : 통권 제21호~제30호)
* 한 · 일자원리싸이클링공동워크샵 논문집(1996) 483쪽, 價格 : 30,000원
* 한 · 미자원리싸이클링공동워크샵 논문집(1996) 174쪽, 價格 : 15,000원
* 자원리싸이클링 총서I(1997년 1월) 311쪽, 價格 : 18,000원
* 日本의 리싸이클링 産業(1998년 1월)395쪽, 價格 : 22,000원, 발행처-文眞社
* 리싸이클링백서(자원재활용백서) 440쪽 價格 : 15,000원 〃