

# 아스팔트 콘크리트용 채움재로서 製鋼더스트의 특성에 관한 실험적 연구

## An Experimental Study on Properties of Electric Arc Furnace Dust for Mineral Filler of Asphalt Concrete

김 주 원\*  
Kim, Ju Won

---

### 요약

본 연구는 아스팔트 콘크리트의 채움재(充填材)로서 제강더스트의 사용가능성을 실험을 통하여 분석하였다. 실험에는 제강더스트의 기본물성시험과 혼합물의 비교시험을 포함시켰다. 비교시험에서는 채움재로서 석회석분을 사용하는 경우와 제강더스트를 사용하는 경우, 채움재와 아스팔트를 혼합한 필러-비투멘, 그리고 골재까지 혼합한 아스팔트 콘크리트에 대하여 물성을 비교분석하였다.

실험결과 제강더스트는 포장용 채움재의 규정을 만족시키며, 제강더스트를 사용한 필러-비투멘과 아스팔트 콘크리트는 석회석분을 혼합한 것과 비슷한 성상을 보임을 알았다. 또한 제강더스트를 채움재로 사용한 아스팔트 콘크리트는 환경오염의 우려가 없고, 장기간 수침 후의 잔류안정도 면에서 석회석분을 채움재로 사용한 아스팔트 콘크리트 보다 우수하며, 제강더스트는 아스팔트 혼합물용 채움재로서 충분히 사용가능한 것으로 밝혀졌다.

### Abstract

Applicability of electric arc furnace dust for mineral filler of asphalt concrete mixture is examined experimentally in this study. Experiments include the basic property tests of electric arc furnace dust and comparison tests of asphalt mixtures. Physical properties of filler-bitumen and asphalt concrete mixture are compared for the cases which electric arc furnace dust and limestone dust are used as mineral fillers respectively.

From the comparison study, it is found out that electric arc furnace dust satisfies requirements of mineral filler and the properties of filler-bitumen and asphalt concrete mixture containing mineral filler of electric arc furnace dust are similar with those of limestone dust. It is also found out that the retained stability of asphalt concrete containing electric arc furnace

---

\* 정희원, 성원건설기술사사무소 대표, 토목품질시험 기술사

• 본 논문에 대한 토의를 1994년 3월 31일까지 학회로 보내 주시면 1994년 6월호에 토의회답을 게재하겠습니다.

dust is superior to that containing limestone dust. The leachate test of asphalt concrete specimens containing electric arc furnace dust shows negligible effect on ground contamination. It is concluded that electric arc furnace dust can be used as mineral filler of asphalt concrete equally with limestone dust.

**Keywords :** electric arc furnace dust, mineral filler, asphalt concrete mixture, filler-bitumen, limestone dust, Marshall stability, retained stability, optimum asphalt content, viscosity.

## 1. 서 론

산업폐기물의 재활용에 관한 연구는 환경의 보전과 자원의 재활용이라는 면에서 대단히 큰 의미를 갖고 있다. 제강더스트도 산업폐기물의 일종으로 고철을 전기로에서 제강하는 과정에서 발생되는 것으로, 과거에는 제강더스트를 흙이나 시멘트 콘크리트와 혼합하여 매립용으로 폐기하였으나, 현재는 환경관련법규의 강화로 폐기에 어려움이 따르는 실정이다.

아스팔트 콘크리트에 사용되는 채움재(Mineral filler)는 석회석분, 수경성 시멘트, 암석분말, 슬래그 더스트, 플라이 애쉬, 기타 적당한 비활동성의 광물성물질로 정의되고 있다.<sup>(1)</sup>

또한 일반적으로 채움재는 600미크론(No. 30) 표준체에 완전히 통과되며, 75미크론(No. 200) 표준체에 70%이상 통과되어야 하는 것으로 규정되어 있다.<sup>(1), (2)</sup>

아스팔트 콘크리트에서 채움재는 굵은 입자인 경우에는 골재의 일부로써 공극을 채우며, 미세입자인 경우에는 아스팔트와 필라-비투멘(Filler bitumen)을 이루어 안정성을 증가시키는 기능을 갖는다. 또한 신도(伸度)와 점착성을 해치지 않고 감온성(感溫性)을 적게하며, 저온에서 아스팔트의 취성화(脆性化)를 방지하여 노화를 적게하는 기능도 가지고 있어 아스팔트 콘크리트에는 없어서는 안될 재료이다.<sup>(3)</sup>

본 연구에서는 제강더스트의 아스팔트 콘크리트 채움재료로서의 사용가능성을 비교시험을 통하여 분석하였다. 비교시험에는 채움재료로서 석회석분을 사용한 경우와 제강더스트를 사용한 경우의 필라-비투멘과 아스팔트 콘크리트 특성비교를

위한 시험을 실시하였다.

## 2. 실 험

### 2.1 사용재료

본 연구에서 실험에 사용된 재료로는 아스팔트 시멘트, 제강더스트, 석회석분, 모래 그리고 깬골재를 포함한다.

아스팔트 시멘트는 현재 포장용 혼합물에 사용되고 있는 국산 아스팔트로 KS 규격(M 2201-88) 및 시험성과는 표 1과 같다.

Table 1 Properties of asphalt cement

Item	Spec.of KS	Sample
Penetration at 25℃, 100g, 5sec, 1/10mm	85 to 100	89
Specific gravity at 25℃		1.035
Ductility at 25℃, cm	min. 100	150+
Flash point, Cleveland Open cup, ℃	min. 230	296
Thin-film oven test :		
Penetration of residue, % of original	min. 47	58.4
Ductility at 25℃, cm	min. 75	150
Solubility in trichloroethane, %	min. 99.0	-

고철을 제강하는 공정은 고철을 전기로에서 용해, 정련(精鍊)하여 강(鋼)을 제조하는 일종의 재생공정이며, 이 때 부수적으로 더스트와 슬래그가 발생된다. 더스트는 고철의 가스와의 혼합되어 배기되는 것을 여러 단계의 백필터(Bag filter)로 포집하며, 그 화학적 조성은 표 2에서 보여준다. 표 2에서 보는 바와 같이 제강더스트는 산화철이 주성분이며, 산화아연, 실리카 순으로 구성되어 있다. 이들 화학조성은 원료로 사용하는 고철의 질에 따

Table 2 Chemical components of electric arc furnace dust(%)

Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	ZnO	MnO <sub>2</sub>	SiO <sub>2</sub>	CaO	K <sub>2</sub> O	SO <sub>3</sub>	MgO	PbO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	CuO	BaCO <sub>3</sub>	Etc
48.86	21.74	3.81	8.07	1.95	3.76	3.48	1.40	1.40	0.94	0.63	0.46	0.15	0.4	3.31

라 약간 상이한 경우도 있으나, 근본적인 조성이나 특성은 큰 변화가 없다. 정련과정에서 1,750°C 정도의 고온에서 생성되므로 일단 안정되어 있으며 수분도 거의 없다. 선진 외국에서는 Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>만을 분리회수하여 안료(顔料)로 사용하기도 하고, 또는 조성성분을 각각 분리하여 회수하고 잔재(殘滓)는 매립용으로 폐기하고 있으나, 우리나라에서는 분리시설에 엄청난 비용이 소요되는 관계로 자원화를 못하고 있는 실정이다. 또한 우리나라에서는 폐기물관리법에 의하여 이 분진은 일반 산업폐기물의 “무기물류 산업폐기물”로 분류된다.

시험에 사용한 석회석분은 현재 포장용혼합물에 많이 사용되고 있는 것으로 석회석분과 제강더스트의 KS규격(F 3501-85)에 대한 시험성과는 표 3과 같다. 표 3의 제강더스트-D는 동국제강(인천 남구 송현동 소재)의 산물이며, 제강더스트-K는 기아특수강(서울 구로구 구로동 소재)의 산물이다.

또한 시험에 사용된 모래는 경기도 광주군 강하면 지내 남한강 수계 강모래이며, 깬골재는 용인군 오포면 추자리 소재 석산의 생산품이다.

Table 3 Properties of mineral fillers

Filler	Specific gravity	Plastic index	Weight percent passing			Blaine's fineness cm <sup>2</sup> /gr.
			No.30	No.50	No.200	
Limestone dust	2.710	-	100	99.1	93.2	3.024
Elec. A.F. dust-D	3.655	NP	-	-	100	10.518
Elec. A. F. dust-K	3.832	NP	-	-	100	10.452

## 2.2 필라-비투먼의 시험

채움재와 아스팔트의 배합비에 따른 물리적 특성의 변화를 조사하기 위하여 필라-비투먼에 대한 침입도<sup>(4)</sup>, 신도<sup>(5)</sup>, 연화점<sup>(6)</sup> 및 점도시험<sup>(7)</sup>을 실시하였다.

배합비로서는 석회석분과 제강 더스트는 비중에 큰 차이가 있으므로 채움재(F)와 필라-비투먼(B=F+As.)의 비(F/B)를 중량비 대신 용적비로 5, 7.5, 10%로 변화시켜 시험을 실시하였다.

## 2.3 아스팔트 콘크리트의 시험

채움재의 종류와 혼합량의 변화는 탄성특성, 온도변화, 침수영향면에서 공사중이거나 공용중인 포장의 거동에 영향을 미친다.<sup>(3)</sup>

본 연구에서는 현재 우리나라에서 실시하고 있는 마살배합설계방법<sup>(9)</sup>에 의하여 석회석분과 제강더스트(D사용)를 각각 채움재로 사용하여 최적 아스팔트함량(optimum asphalt content, o. a. c.)을 구하고, o. a. c. 상태에서 채움재 혼합량을 4~8%로 변화시키면서 마살기준치와 비교하였다.

시험에 사용한 혼합물의 종류로는 현재 우리나라 국토포장의 표층용으로 사용빈도가 가장 많은 밀입도 아스팔트 콘크리트(최대입경 13mm)로 그의 시방 및 사용골재입도는 표 4와 같으며, 혼합물에 대한 마살시험기준은 표 5과 같다.<sup>(9), (10)</sup> 시험용 공시체는 마살다짐으로 양면 50회로 다져 만들었다.

포장체의 침수시 거동은 포장체의 수명에 큰 영향을 미친다. 본 연구에서는 채움재의 종류에 따른 아스팔트 콘크리트의 수침에 대한 예민성분석

Table 4 Gradation of aggregate

Sieve size	Weight percent passing	
	Gradation	Sample
19mm	100	100
13mm	95~100	98.3
No.4	55~70	58.3
No.8	35~70	44.8
No.30	18~30	21.9
No.50	10~21	13.3
No.100	6~16	9.3
No.200	4~8	5.0

Table 5 Requirements of Marshall values

Item	Criteria
Marshall stability, Kg	min. 500
Flow value, (1/100cm)	min. 20 max. 40
Voids, %	min 3 max. 6
Voids filled, %	min. 70 max. 85

을 위하여 잔류안정도를 비교분석하였다. o. a. c. 로 제작한 공시체의 표준마살안정도와 60℃에서 48시간 수침후의 마살안정도시험결과의 비로서, 채움재로 석회석분을 사용한 경우와 제강더스트를 사용한 경우의 잔류안정도 분석을 실시하였다.

### 3. 시험결과 및 고찰

#### 3.1 필라-비투멘의 물리적 특성

필라-비투멘에 대한 침입도, 신도, 연화점 및 점도시험 결과는 각각 3회시험의 평균치를 KS시험방법에 따라 끝수를 정리한 것으로 표 6과 같다. 표 6에서 채움재를 혼합하지 않은 아스팔트를 1시간동안 가열하여 시험한 것은 필라-비투멘의 혼합물시료를 만들 때 160℃의 오븐 속에서 약 1시간 소요되는 것을 감안하여 동일한 상태에서 아스팔트의 변화를 알아보기 위한 것이었다. 표 6에서 볼 수 있는 바와 같이 아스팔트에 채움재를 혼합하면 침입도와 신도를 감소시키며 점도를 증가시

킨다.

이들에 대한 영향을 채움재의 종류와 배합비별로 비교하기 위하여 필라-비투멘의 배합비 F/B에 따른 침입도, 신도 및 점도의 변화를 그림 1~그림 3에 표시하였다.

그림 2에서 F/B의 변화에 따른 신도의 변화는 석회석분이나 제강더스트 모두 유사한 모양을 나타내었다. 그림 3에서 점도의 차이는 채움재재료의 비표면적의 큰 차이(표 3)에 의하는 것으로 추

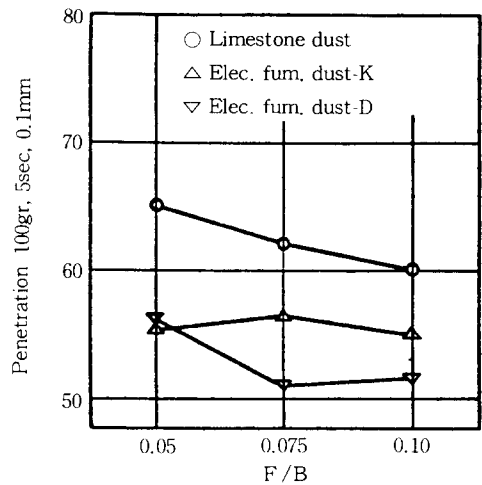


Fig. 1 Effect of filler type and concentration on penetration of filler-bitumen mixtures

Table 6 Effect of filler type and concentration on properties of filler-bitumen mixtures

Soft point

Filler	Concentration		Penetration, 25°C, 0.1mm	Ductility 25°C 5cm/min	Soft point °C	Viscosity 60°C Poises
	F/(F+As) % by Vol.	F/(F+As) % Weight				
Asphalt	No filler		89	150+	—	1,951
Heated <sup>(1)</sup> asphalt	No filler		72	150+	—	2,009
Limestone dust	5.0	13.8	65	74	49	2,435
	7.5	21.2	62	53	49	2,477
	10.0	29.0	60	49	49	2,769
Electric arc furnace dust-K	5.0	19.5	56	61	50	2,963
	7.5	30.0	51	59	51	3,205
	10.0	41.1	52	40	52	3,803
Electric arc furnace dust-D	5.0	18.6	56	66	55	3,115
	7.5	28.6	57	50	55	3,812
	10.0	39.2	55	45	55	3,952

(1) Asphalt heated for one hour at 160°C

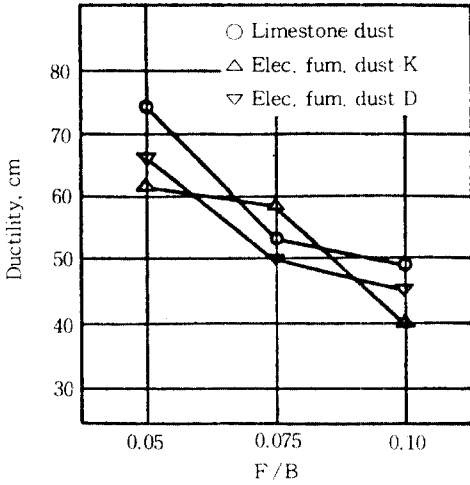


Fig. 2 Effect of filler type and concentration on ductility of filler-bitumen mixtures

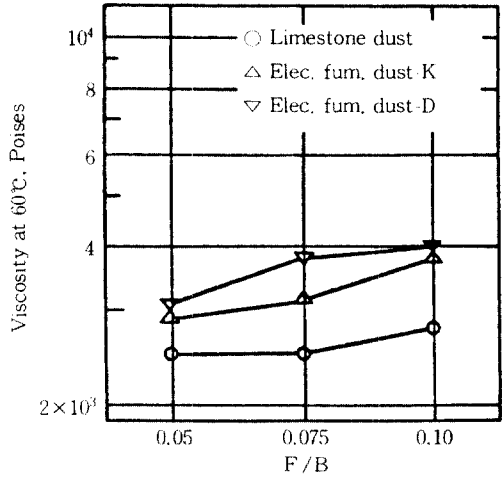


Fig. 3 Effect of filler concentration on viscosity at 60°C of filler-bitumen

정된다.

### 3.2 아스팔트 콘크리트의 특성

#### 3.2.1 마샬특성치에의 영향

혼합물의 배합설계결과는 그림 4와 같다. 그림 중 사선부분은 설계기준을 보여준다. 그림 4의 마지막 그림의 실선은 제강더스트, 점선은 석회석분의 설계조건별 아스팔트함량의 범위를 보여준다. o. a. c.는 실험결과 석회석분의 경우 6.1%, 제강더스트(D사용)의 경우 5.9%로 구해졌다. o. a. c.는 그림 4에서 표 5의 기준을 공통으로 만족시키는 범위의 중앙값을 채택하였다.<sup>(9)</sup>

그림 5는 채움재로 석회석분을 사용한 경우와 제강더스트를 사용한 경우의 마샬특성치를 비교하고 있다. 그림 5에서 아스팔트함량은 o. a. c.로 배합하고, 표 4의 입도에 No.200체 통과분으로서 석회석분과 제강더스트를 각각 사용하되 그 혼합량을 4~8%(중량비)로 변화시켰다. 여기에서 혼합량의 변화(즉 입도의 변동)에 따라 마샬특성치가 변하고, o. a. c.가 변할 것으로 예상되나 실무에서 현실적으로 아스팔트함량의 기준을 o. a. c. ±0.3%범위로 관리하고 있으며, 또한 골재의 입도를 표 4의 범위로 관리하고 있는 점을 감안하고 실험의 간편성을 위하여 위와 같은 방법을 택하였

다.

그림 5로부터 다음과 같은 사실을 고찰할 수 있다.

1) 채움재 혼합량의 증가에 따라 채움재가 혼합물의 공극을 채워 밀도는 증가하며, 비중이 큰 제강더스트의 혼합량 증가는 다져진 혼합물의 밀도를 상당히 증가시킨다.

2) 마샬안정도는 채움재 혼합량의 증가에 따라 증가하며, 혼합량 4~8% 범위에서는 제강더스트를 혼합한 것이 석회석분을 혼합한 경우보다 안정도가 약간 적게 나타났다. 이러한 현상은 제강더스트의 비중이 석회석분에 비해 40%정도 크기 때문에 중량비로 배합할 경우 석회석분의 용적에 비해 제강더스트의 용적이 작아짐에 따른 결과로 판단된다. 그러나 마샬 안정도의 하한 기준치가 500Kg인 점을 감안하면 어느 경우의 것이나 충분한 여유를 가지고 만족한다.

3) 플로우는 채움재의 혼합량 4~8% 범위에서 모두 마샬기준치(20~40)를 만족시킨다.

#### 3.2.2 잔류안정도에의 영향

물의 영향을 받기 쉬운 장소에 포설되는 혼합물에 대하여는 잔류안정도(율)가 75%이상이 바람직하다.<sup>(9)</sup> 표 7은 수침아스팔트 콘크리트의 비교 시험결과를 보여주고 있다. 표 7에 의하면 제강더

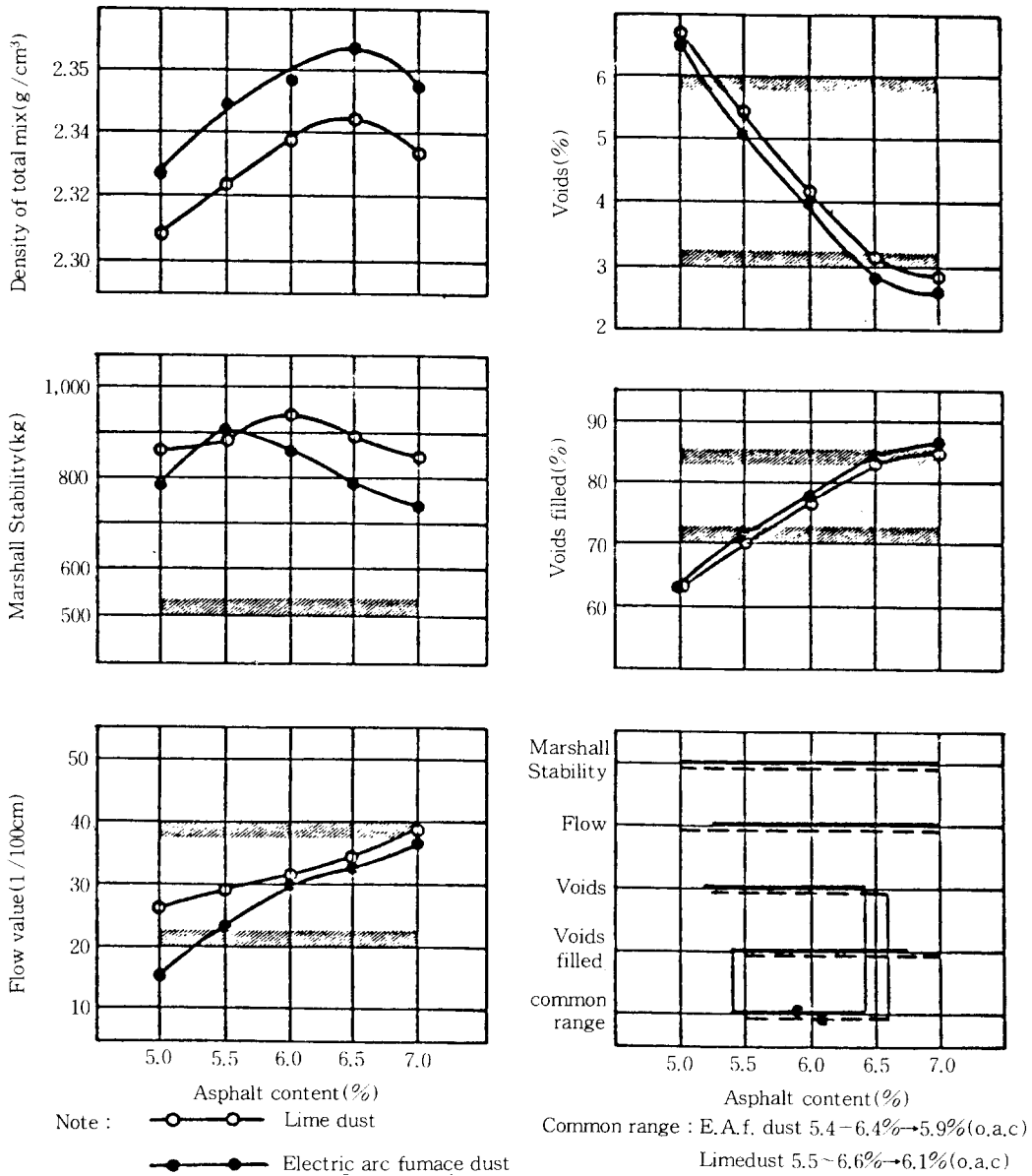


Fig. 4 Determination of Design Asphalt Content

Table 7 Effect of water on asphalt concrete paving mixtures

Filler	Filler content % total mix	Specimens immersed for 30min. at 60°C		Specimens immersed for 48hrs. at 60°C		Index of retained stability %
		unit weight gr. /cm <sup>3</sup>	stability kg	unit weight gr. /cm <sup>3</sup>	stability kg	
Limestone dust	4	2.351	896	2.316	775	86
	6	2.370	1,015	2.366	895	88
Elec. A. F. dust	4	2.364	824	2.338	808	98
	6	2.405	970	2.400	906	93

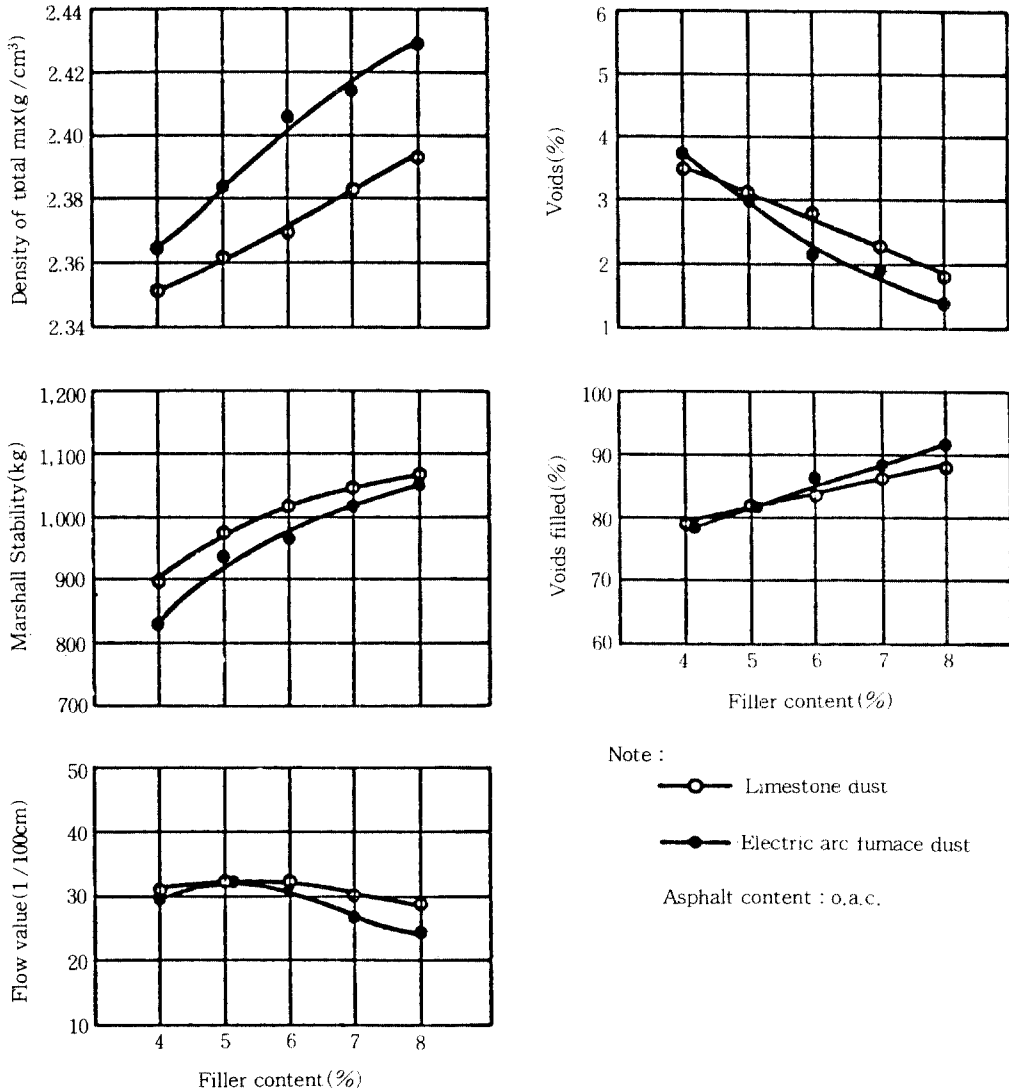


Fig. 5 Comparison of Marshall values

스트를 채움재로 혼합한 경우의 잔류안정도지수는 98 및 93%로서 잔류안정도지수 86 및 88%인 석회석분의 경우보다 물에 의한 영향이 적은 것으로 추정된다. 제강더스트는 원재료의 경우 쉽게 흡수하지 않는 특성이 있다.

#### 4. 환경성 검토

제강더스트를 채움재로 사용할 때 환경에 미치는 영향을 두가지 측면에서 고려할 수 있다.

첫째로, 아스팔트 콘크리트 제조과정에서의 고려이다. 제강더스트는 고운 분말로 되어 있어 운반 및 취급 중 바람에 날리어 대기중의 먼지로 비산되면 대기오염을 초래할 수도 있다. 그러나 시멘트의 경우와 같이 벌크 수송 트럭으로 운반하고 아스팔트 플랜트의 사일로에 저장하여 기계식으로 이송, 혼합되므로 대기중에 노출되는 일이 없다.

둘째로, 아스팔트 콘크리트로 혼합제조되어 도로포장에 포설된 후 지하수 및 토양오염등의 환경

Table 8 Result of leachate test

Component	Regulation ×10 <sup>-3</sup> gr./liter	Elec. A. F. dust content	
		4% total mix	15% total mix
Cu	< 3	not detected	0.03
CN	< 1	not detected	not detected
Cd	<0.3	not detected	0.005
Pb	< 3	not detected	0.02
Cr <sup>B+</sup>	<1.5	not detected	not detected
As	<1.5	not detected	not detected
Hg	<0.005	not detected	not detected
Tetra chlo roethylene	<0.1	not detected	not detected
Tri chloro ethylene	<0.3	not detected	not detected

에 미치는 영향에 대한 고려이다.

이를 위해서 제강더스트를 중량비로 4%와 15%를 혼합하여 만든 아스팔트 콘크리트로 한국화학시험검사소에 의뢰하여 용출시험을 실시해 본 결과, 거의 검출이 안되거나(표 8) 또는 일부 용출되는 성분도 폐기물관리법(시행규칙 제 2조 3항)의 기준치와 비교할 때 미미한 정도이어서 채움재로써 사용시 환경성에는 우려할 것은 안된다고 판단되었다.

### 5. 결 론

본 연구에서 산업폐기물인 제강더스트가 아스팔트 콘크리트의 채움재로 현재 많이 사용되고 있는 석회석분을 대체할 수 있는지를 시험을 통하여 분석하였다. 비교시험에서는 채움재로 제강더스트와 석회석분을 각각 사용한 경우의 필라-비투먼과 아스팔트 콘크리트의 물리적 특성을 비교하였다. 제강더스트를 아스팔트 혼합물에 첨가하였을 때의 환경적인 영향을 검토하기 위하여 제강더스트를 혼합한 아스팔트 콘크리트의 용출시험도 실시하였다.

본 연구로부터 얻어진 결론은 다음과 같다.

1) 비교시험결과 제강더스트를 채움재로 사용한 경우의 필라-비투먼과 아스팔트 콘크리트의 물리적 특성은 석회석분을 사용한 경우와 비슷하며

일반적으로 적용되는 설계기준을 잘 만족시킴을 알 수 있다.

2) 아스팔트 콘크리트의 장기간 수침 후 잔류안정도 면에서는 제강더스트를 채움재로 사용한 경우가 석회석분의 경우보다 훨씬 높아 물에 의한 강도저하 영향을 적게 받는 것으로 판단된다.

3) 지하수 및 토양오염 등 환경에 미치는 영향을 검토하기 위하여 제강더스트를 채움재로 사용한 아스팔트 콘크리트의 용출시험결과를 폐기물관리법의 기준치와 비교한 결과, 제강더스트 배합비를 중량비로 15%까지 혼합하여도 용출되는 물질이 미미하여 환경문제는 전혀 우려하지 않아도 됨을 알 수 있었다.

이상과 같은 검토결과로 고찰할 때 제강더스트는 아스팔트 포장용 채움재로써 손색이 없으며, 분쇄하여 제조하는 석회석분의 경우에 비하여 품질면(특히 입도)에서 안정적이며, 제조비용이 별도로 소요치 않는 재료로 아스팔트 혼합물용 채움재로써 충분히 사용가능하다고 판단된다.

### 참 고 문 헌

1. AASHTO, AASHTO Designation, M 17-88, "Standard Specification for Mineral Filler for Bituminous Paving Mixtures."
2. KS F 3501-85, "역청포장용 채움재"
3. 金周元, "최신 아스팔트 鋪裝", 세종문화원, 1985, p. 30, p.59
4. KS M 2252, "역청재료의 침입도 시험방법"
5. KS M 2254, "역청재료의 신도 시험방법"
6. KS M 2250, "역청재료의 연화점 시험방법(환구법)"
7. KS M 2247, "아스팔트의 절대점도 시험방법"
8. V. P. Puzinauskas, "Filler in Asphalt Mixtures" The Asphalt Institute, Research Report, 69-2, 1983, pp.7~9
9. 건설부, "도로포장설계·시공지침", 1991, pp. 84~90
10. KS F 2349-91, "가열혼합·가열포설 역청포장용 혼합물"

(접수일자 : 1993. 6. 4)