

아스콘 제조 시설에서의 먼지 배출량 산정 방안 연구

A Study on Estimating PM Emission from Asphalt-Concrete Manufacturing Facilities

장기원 · 이상보 · 김종현 · 김형천 · 홍지형 · 김상균*

국립환경과학원 대기공학연구과

(2013년 10월 21일 접수, 2013년 12월 18일 수정, 2014년 1월 13일 채택)

Kee-Won Jang, Sang-Bo Lee, Jong-Hyeon Kim, Hyoung-Chun Kim,
Ji-Hyung Hong and Sang-Kyun Kim*

Air Pollution Engineering Research Division, National Institute of Environmental Research

(Received 21 October 2013, revised 18 December 2013, accepted 13 January 2014)

Abstract

In this study, field measurement was carried out for reasonable improvement of asphalt concrete manufacturing facilities' PM emissions estimation method. Through those, this study calculated PM emission factor and tried to estimate PM emissions from asphalt concrete manufacturing facilities suitable for domestic characteristics.

As a result, the efficiency of the PM control device was measured as 99.9%. Using this, uncontrolled PM emission factor was calculated. PM emission factor was calculated 10.97 kg/ton at 23 asphalt concrete manufacturing facilities of 22 workplaces. The PM current emission factor of the US Environment Protection Agency (EPA) is 14.4 kg/ton, the factor calculated from this study is about 24% lower than the EPA standard.

Key words : Ascon, Asphalt concrete, Emission factor, PMCD, CAPSS

1. 서 론

대기배출시설을 보유한 사업장의 종류모를 산정할 때는 오염물질 발생량에 따라 1~5종으로 구분한다. 대기오염물질 발생량은 배출계수를 이용하여 산정하며 배출계수는 연료별·시설별로 정한다(MoE, 2004). 이에 따라 대기오염물질 발생량 산정은 대부분 대기오염물질 배출계수에 의한 방법을 사용하고 있으나

배출계수가 없을 경우 물질수지에 의한 이론적 방법이나 실측을 통하여 산정할 수도 있다(NIER, 2012a). 현재 아스콘 제조시설의 먼지 발생량 또는 먼지 배출량은 미국 환경보호청(US. EPA)에서 제시하고 있는 배출계수를 인용하여 산정하고 있다(NIER, 2012b, 2010a). 그러나 이러한 국외 자료를 활용하여 산정된 배출량은 국내 배출원의 특성을 반영하는데 한계가 있으며, 특히 개별 사업장의 오염물질별 배출량은 국외 배출계수를 적용했을 경우 실측 배출량과의 격차는 조금 더 커질 수도 있다고 알려져 있다(Jang *et al.*, 2009). 이런 면에서 Pham *et al.* (2008)은 다양한 자국의 산업 배출계수를 개발하여 국외의 배출계수를 대

*Corresponding author.
Tel : +82-(0)32-560-7336, Email : nierkum@korea.kr

체하거나 CEMS (Continuous Emission Monitoring System) 자료를 이용하여 배출량의 신뢰도를 높이는 것이 중요하다고 밝힌 바 있다. 또한 아스콘 제조시설의 경우 제품 특성상 주로 도시지역 인근의 계획관리지역에 대부분 설치 가동되고 있으나 연료사용량에 비해 공정에서 배출되는 먼지발생량이 많아 「국토의 계획 및 이용에 관한 법률」에 의거 입지제한을 받는 1~3종 이상 사업장으로 분류된다. 한편, 아스콘 제조시설 등 일부 배출시설은 2004년 「대기환경보전법」의 중 산정 방법의 변경에 따라 시설 자체는 변화가 없는데도 중이 상향되는 경우가 발생하였고, 이로 인하여 증설이 어려워졌다. 더불어 아스콘 제조시설은 「건설폐기물의 재활용 촉진에 관한 법률」 제 38조 제3항에 따른 「순환골재 등 의무사용건설공사의 순환골재 · 순환골재재활용품 사용용도 및 의무사용량에 관한 고시」에 의거 재활용의무가 새롭게 부과됨에 따라 (MoE, 2012a; MoLIT, 2012), 폐아스콘을 재활용하기 위한 설비(파쇄기, 건조로 등)의 증설이 불가피하다. 그러나 용도 지역 내 허용된 중규모를 상회하거나 또는 발생량이 증가하는 경우에는 설비의 증설이 허가되지 않아 현재 다수의 민원이 제기되고 있는 실정이다.

이러한 배경하에 본 연구는 아스콘 제조시설을 대상으로 현장 실측 조사를 수행하여 먼지배출계수를 도

출하고 동 시설에서의 먼지 발생량 산정 방법을 합리적으로 개선하고자 하였다. 나아가 본 연구 결과가 대기 배출시설 인 · 허가 과정에서 발생하는 민원을 해결하고 제도개선에 필요한 자료로 활용되기를 기대한다.

2. 연구 방법

2.1 아스콘 및 아스콘 제조 시설

아스콘(Ascon)은 아스팔트 콘크리트(Asphalt Concrete)를 줄인 말이며, 아스팔트, 아스팔트 혼합물, 아스팔트 콘크리트, 가열혼합 · 가열포설 역청 포장용 혼합물(KS F2349 규격), HMA (Hot Mix Asphalt) 등 여러 가지 명칭으로 사용되고 있다(US. EPA, 2009). 일반적인 아스콘은 아스팔트와 굵은 골재(자갈, Aggregate), 잔골재(모래, Sand) 또는 포장용 채움재(필러, 석분, Mineral filler)를 가열 또는 상온에서 혼합한 것으로 도로포장이나 주차장 등에 사용하고 있다(MoE, 2003). 아스콘 제조 시설은 굵은 골재, 잔골재 및 채움재 등을 적절한 양의 아스팔트와 필요시 첨가재료를 넣고서 이를 고온으로 가열 · 혼합하여 아스콘을 생산하는 시설이다. 아스콘 제조는 크게 혼합재료의 적치와 제조, 원료 및 제품의 운송으로 구분되며, 아스콘 제조시설에서의 일반적인 공정도는 그림 1과

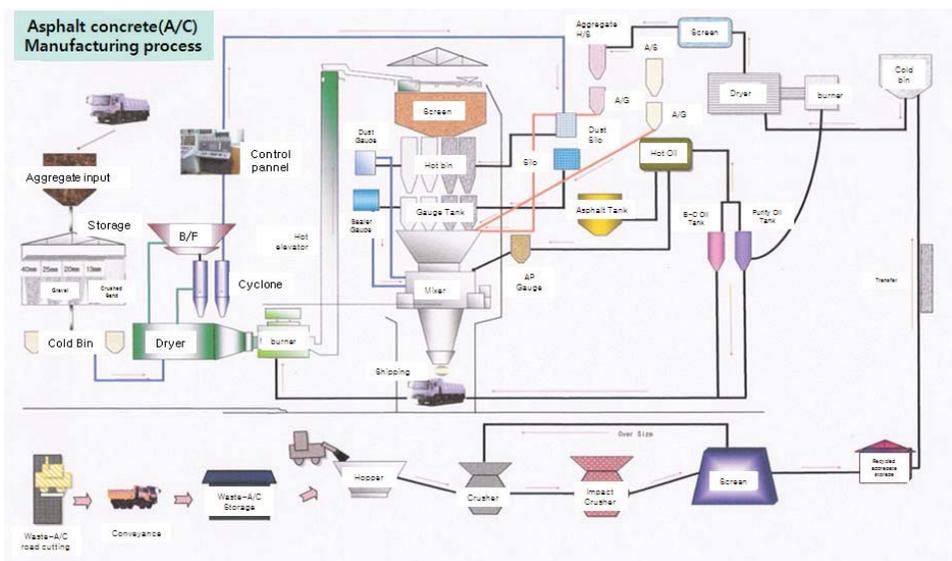


Fig. 1. Diagram of asphalt concrete manufacturing process.

같다.

아스콘 제조시설은 미국 EPA에서는 「Asphalt Concrete」라 분류하고 그 형태에 따라 크게 2가지로 구분하고 있다. 「Batch mix plant」와 「Drum mix plant」 형태이며, 「Batch mix plant」는 아스콘 제조 공정이 건조, 선별, 계량, 혼합의 공정이 일체형으로 이루어진 형태를 뜻한다. 또 다른 「Drum mix plant」는 건조 공정이 별도로 분리되어 있는 형태이다. 국립환경과학원(NIER)에서는 EPA 분류체계 및 배출계수 자료를 인정 자료로 활용하고 있으며, 인정 먼지 배출계수는 제조시설 형태에 따라 표 1과 같다.

2. 2 대상시설 선정

아스콘 제조 시설의 국내 현황을 확인하고자 국립

환경과학원의 대기배출원관리시스템(Stack Emission Management System, SEMS)을 활용하여 아스콘 사업장 현황을 파악하였다. 한국 표준산업 분류체계에 따라 구분된 아스콘 사업장은 시·도 및 종별 구분이며, '10년 자료를 활용하였다(NIER, 2010b). 조사 대상 사업장은 1~5종 사업장 중 현재 자료가 수집되고 있는 1~3종 사업장에 한하였다. 조사 결과 전국 341개 사업장(1종 53개, 2종 184개, 3종 104개)이 가동 중이었다. 이상의 아스콘 제조사업장은 지역별 인·허가 대상 사업장과는 약간 차이가 있을 수 있으며, 아스콘 사업장이 전무한 서울과 광주 등 일부 시도지역은 제외하였다.

한편, 명확한 측정 대상 사업장을 선정하기 위해 「한국아스콘협회」 및 「한국재생아스콘협회」의 협조

Table 1. PM Emission factor of asphalt concrete manufacturing facility in NIER. (unit: kg/ton)

SCC code	Level 1	Level 2	Level 3	Level 4	PM emission factor
30500245~7	Industrial	Mineral	Asphalt	Batch Mix Plant	14.40
30500205	Processes	Products	Concrete	Drum Mix Plant	12.60

*Presented emission factor is transformed into kg/ton applying 0.45 of unit conversion factor respectively to EPA emission factor 32 lb/ton and 28 lb/ton

Table 2. General information of the target workplaces with PMCD.

Industrial processes	Region	Work place	Scale	PMCD*	SEMS PMCD eff. (%)	
					Cyclone	Bag filter
Asphalt concrete manufacturing facility	GyeongGi	B	1	Cyclone, Bag filter	65.0	99.5
		C	1	Cyclone, Bag filter	99.9	99.8
	GyeongBuk	D	2	Cyclone, Bag filter	60.0	90.0
		ChungNam	E	2	Cyclone, Bag filter	-
	Busan		F	3	Cyclone, Bag filter	90.0
		Incheon	G	3	Cyclone, Bag filter	-
	Daejeon		H	1	Cyclone, Bag filter	80.0
		Ulsan	I	2	Cyclone, Bag filter	96.0
	Daegu		J	3	Cyclone, Bag filter	80.0
		Ulsan	K	4	Cyclone, Bag filter	-
	Daegu		M	1	Cyclone, Bag filter	65.0
		GangWon	N	3	Cyclone, Bag filter	95.0
	JeJu		O	1	Cyclone, Bag filter	60.0
		GyeongGi	R	1	Cyclone, Bag filter	90.0
	ChungBuk		S	4	Cyclone, Bag filter	-
		ChungBuk	T	2	Cyclone, Bag filter	60.0
ChungBuk	U		2	Cyclone, Bag filter	65.0	98.0
	ChungBuk	V	4	Cyclone, Bag filter	-	-
Recycling asphalt concrete manufacturing facility		GyeongGi	A	1	Cyclone, Bag filter	55.0
	Ulsan		L	4	Cyclone, Bag filter	-
	GyeongBuk	P	3	Cyclone, Bag filter	-	85.0
		Q	1	Cyclone, Bag filter	73.0	99.0

*PMCD: Particulate Matter Control Device

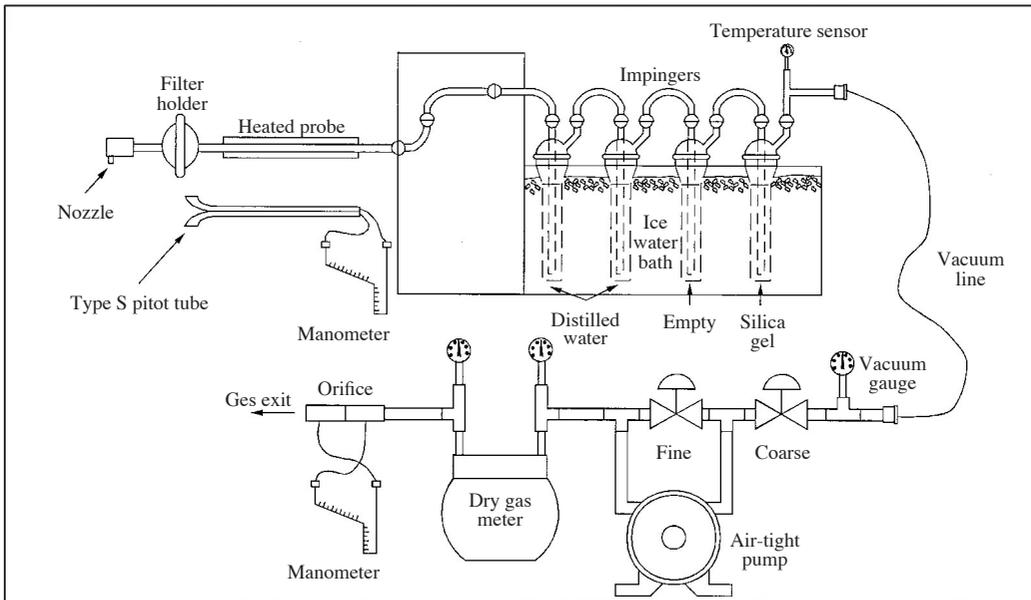


Fig. 2. Flow-chart of PM sampling from stack.

를 요청하였다. 최종 측정 대상 사업장은 총 22개 사업장이 선정되었으며, 지역별 측정 대상 사업장은 표 2와 같다.

아스콘 제조시설을 본 연구에서는 일반 골재만을 사용하여 생산되는 일반 아스콘 제조 시설과 일반 골재와 재생 아스팔트를 일정량 혼합하여 생산되는 재생 아스콘 제조 시설로 구분하였다. 아스콘 제조 공정은 18개 시설이 포함되며, 재생 아스콘 제조 공정은 4개 시설이었다.

2.3 시료채취

먼지(PM) 채취를 위해서 국내 대기오염공정시험기준 배출가스 중 먼지 「ES 01301.1」의 측정분석방법을 적용하였다. 시료채취는 반자동식 시료채취기(Stack Sampler, Clean Air Experiment, Method-5)를 이용하였다. 먼지시료채취시 가장 중요한 등속흡인을 위하여 배출가스의 유속, 온도, 압력(동압, 정압), 수분량 등을 측정하여 조절하였다. 또한 흡인펌프의 흡인 능력을 감안해 최적의 노즐 직경을 선정하고 필요 유량 확보를 위해 채취시간을 측정 지점에 맞춰 충분하게 맞췄다(Kim *et al.*, 2012). 여지는 원통형여지(Silicar Fiber filter, NO 88R, 25 × 90 mm, Advantec)를 사용하

였다. 흡인노즐, 시료채취관, 피토관, 차압게이지, 임핀저 트레이, 가스흡인 및 유량측정부 등으로 구성된 시료채취를 위한 장치 모식도는 그림 2와 같다.

채취된 시료의 먼지 분석은 115 ± 5°C에서 1~3시간 강열한 여지의 무게를 먼지포집 전에 0.1 mg까지 측정 가능한 미량측정용 저울을 사용하여 측정하고 포집 후 수분을 제거한 후 동일한 저울을 사용하여 먼지 포집 전·후의 무게차로 중량 농도로 표기하였다.

2.4 배출계수 산정 방법

실측자료를 이용한 아스콘 제조 시설에서의 먼지 배출계수는 아래의 식(1)에 의하여 도출하였다.

$$PM\text{배출계수}(kg/ton) = \frac{PM\text{농도}(mg/Sm^3) \times \text{건조배출가스유량}(Sm^3/hr) \times 10^{-6}}{\text{제품 생산량}(ton/hr)} \quad (1)$$

아스콘 제조 시설에서의 작업 시간은 일정하지 않으므로, 가스유량은 일일유량이 아닌 측정 당시의 시간당 가스유량을 적용하였다. 제품생산량 역시 시료채취 시간대에 생산되는 아스콘을 트럭대수로 환산하여 시간당 제품생산량으로 계산하였다. 먼지 농도는

Table 3. The result of inlet PM measurement at asphalt concrete manufacturing facilities.

Work place	Scale	Products (ton/hr)	Inlet sampling			
			Number of sampling (n)	PM Conc. (g/Sm ³)	O ₂ Conc. (%)	Recalculated Conc. (O ₂ 10%)(mg/Sm ³)
E	2	118.8	11	95.3736	16.84	263,482.34
R	1	107.6	9	16.1136	16.08	36,030.80
T	2	148.3	3	9.6663	14.77	17,063.46
U	2	132.1	3	13.3120	14.23	21,663.29
Average		126.7	6.5	33.6164	15.48	84,559.97

방지시설 전단농도와 후단농도를 실측할 수 있는 일부 사업장을 대상으로 전·후단 먼지농도 측정을 통해 실제 방지시설 방지효율을 도출하였다. 도출된 방지효율을 적용하여 후단에서 측정된 먼지 농도를 전단 농도로 환산하여 적용하였다. 한편, 본 연구에서 도출된 배출계수 및 배출량을 국가대기오염물질 배출량 산정시스템 (Clean Air Policy Support System, CAPSS)의 아스콘제조업에서 산정된 먼지 배출량과 비교하기 위하여 다음과 같은 가정을 설정하였다. 우선, 배출량이 산정된 대상사업장의 연료는 B-C(황함유량 0.3% 이하)유로 동일 적용하였다. 방지효율은 본 연구에서 실측된 99.9%를 동일 적용하여 배출량과 발생량을 산정하였다. 이후, 아스콘 제조업에서 발생하는 국가대기오염물질 배출량을 본 연구 결과와 비교·분석하였다.

3. 연구 결과

3.1 아스콘 제조 시설의 특성

본 연구에서 선정된 모든 아스콘 제조 시설은 건조, 선별, 계량, 출하공정이 일체형으로 구성된 「Batch mix plant」이다. 일부 사업장은 동일 아스콘 제조 시설임에도 혼합골재 중 일부를 폐아스콘으로 활용하여 재생아스콘을 제조하였다. 방지시설은 대상 사업장 모두 원심력집진시설과 여과집진시설을 설치·가동하고 있었다. 이와 같은 아스콘 제조 시설에서의 실측 결과, 다음과 같은 주요한 특징을 알 수 있었다. 우선, 대부분의 사업장에서 배출가스 산소농도가 높았다. 「대기환경보전법」 별표 8 (MoE, 2012b)에서 규정하는 아스콘 제조 시설에 대한 표준산소농도는 10%이나 본 실측에서의 산소농도는 최대 18%로써, 환산농도를 적용할 경우 배출농도가 높아지게 되었다. 두

번째, 주문/생산이 비연속식으로써 공정 가동시간과 가동일수가 수시로 변경되고, 또한 당일 주문 및 당일 물량 취소 등이 빈번하여 안정적인 측정 시간 확보가 곤란하였다. 세 번째, 소형 사업장(3종 이하)임에도 불구하고 단기간 충분한 생산 물량 확보를 위해 시설 대형화를 추구한다. 이는 작업시간 및 작업일수에 따라 오염물질 발생량이 크게 변동됨을 의미한다. 마지막으로 대부분의 아스콘 제조 사업장은 방지시설 전단에 측정구가 설치되어 있지 않았다. 따라서 본 연구에서 도출하고자 했던 「방지시설을 거치지 않은 (Uncontrolled)」 배출계수를 산정하기 위해 일부 전단 측정구가 있는 사업장을 중심으로 방지시설 전·후단에서 측정된 먼지 농도를 비교하였다.

3.2 일반 아스콘 제조 시설

3.2.1 방지시설 전단 농도 측정 결과

전국의 22개 아스콘 제조 사업장, 23개의 측정 대상 시설 가운데 4개 사업장, 4개 제조 시설의 방지시설 전단에서 시료를 채취하였다. 대상 사업장은 모두 일반 아스콘을 생산하는 사업장이다. 사업장 규모는 1종 사업장 1개소, 2종 사업장 3개소로써 대규모 사업장으로 구분할 수 있다. 전단 시료채취는 각 시설마다 최소 3회에서 최대 11회를 하였으며, 총 26회 실시하였다. 방지시설 전단에서 먼지 농도를 측정 한 결과 평균 먼지 환산농도는 84,559.97 mg/Sm³, 평균 산소농도는 15.5%로 측정되었으며, 그 결과는 표 3과 같다. 방지시설 전단에서의 먼지채취시 먼지량이 많은 관계로 흡인유량보다는 흡인시간을 설정하여 먼지를 채취하였다. 채취시간은 각 시설마다 약간씩 차이가 있으며, 최소 1분 이상 먼지를 채취하였다. 사용 연료는 1개 시설(B-A(황함유량 0.3% 이하))을 제외한 3개의 대상시설에서 B-C(황함유량 0.3% 이하)를

Table 4. The result of outlet PM measurement at asphalt concrete manufacturing facilities.

Work place	Scale	Products (ton/hr)	Outlet sampling			
			Number of sampling (n)	PM Conc. (g/Sm ³)	O ₂ Conc. (%)	Recalculated Conc. (O ₂ 10%) (mg/Sm ³)
B	1	194.9	3	0.0314	15.21	60.75
C	1	202.8	3	0.0093	17.08	26.01
D	2	106.7	4	0.0022	15.60	4.51
E	2	118.8	2	0.0463	17.47	156.70
F	3	90.0	2	0.0131	16.1	28.20
G	3	86.5	2	0.0050	16.25	11.72
H	1	98.1	9	0.0038	15.12	7.13
I	2	282.2	9	0.0081	13.51	12.47
J	3	66.2	9	0.0088	17.22	26.55
K	4	45.7	3	0.0010	14.47	1.67
M	1	160.6	9	0.0073	15.17	13.58
N	3	155.6	9	0.0065	17.73	22.05
O	1	132.9	8	0.0060	17.20	17.79
R	1	107.6	9	0.0271	16.00	59.66
S	4	40.0	9	0.0022	17.92	7.80
T	2	148.3	3	0.0049	15.83	10.47
U	2	132.1	3	0.0041	15.43	8.03
V	4	151.3	3	0.0033	15.27	6.23
Average		128.9	5.5	0.0106	16.03	26.74

Table 5. Comparison between inlet and outlet PM concentrations.

Work place	Scale	Inlet sampling		Outlet sampling		Actual PMCD eff. (%)
		Number of sampling (n)	Recalculated Conc. (O ₂ 10%) (mg/Sm ³)	Number of sampling (n)	Recalculated Conc. (O ₂ 10%) (mg/Sm ³)	
E	2	11	263,482.34	2	156.70	99.94
R	1	9	36,030.80	9	59.66	99.83
T	2	3	17,063.46	3	10.47	99.94
U	2	3	21,663.29	3	8.03	99.96
Average		6.5	84,559.97	4.3	58.72	99.92

사용하는 것으로 조사되었다.

3. 2. 2 방지시설 후단 농도 측정 결과

대상 사업장 가운데 18개의 사업장, 18개 제조 시설이 일반 골재만 사용하는 일반 아스콘 제조시설로써, 표 4와 같이 분류되었다. 시료채취는 각 시설마다 최소 2회, 최대 9회를 하였으며, 총 99회를 실시하였다. 방지시설 후단 배출구에서 먼지 농도를 측정한 결과 평균 먼지 환산농도는 26.7 mg/Sm³이며, 평균산소농도는 16.0%였다.

이와 더불어 동일한 사업장의 배출시설 전·후단 먼지 측정 자료를 비교하여 실제 먼지 제거 효율을

도출하였다. 아스콘 제조 시설의 먼지 방지시설 평균 방지효율은 99.9%이며, 표 5와 같다. 이와 같은 결과는 SEMS 자료의 방지시설 설계효율 자료와 비슷하거나 보다 높은 수준의 제거율이었다. 주요 원인으로 아스콘 제조 시설 후단에 설치된(멀티) 원심력집진기와 여과집진기를 직렬로 설치한 결과로 판단된다.

3. 3 재생아스콘 제조 시설

재생 아스콘 제조 시설은 아스콘 제조 시설에 비해 전국적으로 그 사업장 수가 많지 않다. 본 연구에서는 4개 사업장, 5개 배출시설을 조사대상 시설로 선정하여 먼지 시료를 채취하였다. 시료채취는 1종 2

Table 6. The result of outlet PM measurement at recycling asphalt concrete manufacturing facility.

Work place	Scale	Products (ton/hr)	Outlet sampling			
			Number of sampling (n)	PM Conc. (g/Sm ³)	O ₂ Conc. (%)	Recalculated Conc. (O ₂ 10%) (mg/Sm ³)
A-1	1	121.9	5	0.0026	17.39	8.76
A-2	1	121.9	3	0.0013	17.17	3.82
L	4	142.1	4	0.0045	14.68	9.09
P	3	170.9	9	0.0106	15.63	25.65
Q	1	209.3	3	0.0055	16.10	12.32
Average		153.2	4.8	0.0049	16.19	11.93

개, 3종 1개, 4종 1개로써 적은 수의 배출시설이지만 종 규모를 다양하게 선정하고자 하였다. 방지시설 후단의 먼지 농도는 표 6과 같다.

재생 아스콘 제조 시설에서의 시료채취는 시설마다 최소 3회, 최대 9회씩 하였으며, 총 24회를 실시하였다. 각 시설마다 평균 4.8회 시료채취를 하였다. 먼지농도를 환산한 결과, 평균먼지농도는 11.9 mg/Sm³이다. 이와 같은 결과는 일반 아스콘 제조 시설에서 측정된 26.7 mg/Sm³에 비해 약 40% 수준으로 낮았다. 측정된 평균산소농도는 16.2%로써, 일반 아스콘 제조 시설의 평균산소농도인 16.0%와 비슷한 수준이었다.

3. 4 아스콘 제조 시설 배출계수 산정

국내 아스콘 제조 시설에 대한 먼지 배출계수 단위는 제품 생산량에 따른 오염물질 발생량(kg/product-ton)이다. 아스콘 제조 시설의 활동도는 생산제품의 특성상 운전 및 생산 기간이 일정하지 않아 연간 가동일수의 변동이 컸었다. 따라서 아스콘 제조 시설의 오염물질 배출량 산정은 가동시간, 다년간 가동일수 등을 충분히 고려하여야할 것으로 판단된다.

먼지 배출계수는 다음과 같은 방법으로 도출하였다. 우선, 측정된 먼지농도를 「대기환경보전법」 별표 8에 규정된 아스콘 제조 시설에서 건조시설의 표준산소 농도(10%)를 적용하여 산정된 환산농도(mg/Sm³)로 나타내었다. 둘째, 일부 사업장에서 측정된 방지시설 전단 농도와 후단 농도를 비교하여 실제 방지효율을 조사하고, 측정된 아스콘 제조 시설에서의 평균 방지효율을 산정하였다. 셋째, 본 연구의 대상시설에서 측정된 모든 방지시설 후단 농도 값에 평균 먼지 방지효율을 적용하여 방지시설 전단 농도로 환산하였다.

마지막으로 굴뚝 내경(m²)과 배출가스 유속(m/s)을 이용하여 시간당 먼지 발생량을 산정하였다. 산정된 먼지발생량은 시간당 제품 생산량으로 나누어 「방지시설을 거치지 않은 (Uncontrolled)」 배출계수를 표 7과 같이 도출하였다.

아스콘 제조 시설의 방지시설 전·후단 측정을 통해 조사된 평균 먼지 제거율은 99.9%이다. 또한 동일 사업장에서 SEMS에 기재한 방지시설의 설계효율 역시 1차 원심력집진기는 평균 75.6%의 방지효율을, 2차 여과집진기는 91.8%의 평균 방지효율을 나타내고 있어, 실측 조사에서의 99.9% 방지효율이 정상적 방지시설 가동효율인 것으로 판단된다. 따라서 본 연구에서는 실측을 통해 산정된 99.9%의 실제 먼지 제거율을 방지시설 후단에서 측정된 후단 배출계수에 적용하여 「방지시설을 거치지 않은」 배출계수로 도출하였다. 방지시설 후단 배출계수는 일반 아스콘 제조 시설과 재생 아스콘 제조 시설로 구분하여 도출하였다. 그 결과 일반 아스콘 제조 시설은 13.12 kg/ton으로, 재생 아스콘 제조 시설의 3.26 kg/ton보다 약 4배 이상의 높은 배출계수가 산정되었다. 이는 재생아스콘 제조 시설에 비해 일반아스콘 제조 시설의 노후화에 따른 것으로 판단된다. 일반아스콘 및 재생아스콘 제조시설을 모두 포함한 시설에서의 최종 먼지 배출계수와 외국배출계수와 비교한 결과는 표 8과 같다 (Jang *et al.*, 2013).

본 연구에서 도출된 아스콘 제조 시설에서의 먼지 배출계수는 10.97 kg/ton이다. 현재 국내 아스콘 제조 시설의 먼지 발생량 산정시에 적용되는 인정 배출계수인 14.4 kg/ton보다 약 24% 낮게 산정되었다. 또한 가장 최근 갱신된 미국 EPA 및 유럽의 아스콘 제조 시설에서의 먼지 배출계수에 비해 낮게 도출되었다

Table 7. The PM emission factor from asphalt concrete manufacturing facilities in this study.

Industrial processes	Work place	Scale	Products (ton/hr)	Emission (g/hr)	Outlet emission factor (kg/ton)	SEMS PMCD eff. (%)		Inlet emission factor, applied Actual PMCD (kg/ton)
						Cyclone	Bag filter	
Asphalt concrete manufacturing facilities	B	1	194.9	2,501.5	0.0128	65.0	99.5	12.8346
	C	1	202.8	820.2	0.0040	99.9	99.8	4.0444
	D	2	106.7	311.0	0.0029	60.0	90.0	2.9142
	E	2	118.8	12,013.1	0.1126	—	—	112.6279
	F	3	90.0	1,017.0	0.0117	90.0	90.0	11.7381
	G	3	86.5	523.1	0.0062	—	95.0	6.1543
	H	1	98.1	432.2	0.0044	80.0	90.0	4.4082
	I	2	282.2	877.2	0.0031	96.0	96.0	3.1023
	J	3	66.2	1,288.2	0.0195	80.0	80.0	19.4638
	K	4	45.7	70.1	0.0015	—	—	1.5357
	M	1	160.6	905.0	0.0056	65.0	95.0	5.6323
	N	3	155.6	1,284.4	0.0083	95.0	95.0	8.2521
	O	1	132.9	554.1	0.0042	60.0	95.0	4.1702
	R	1	107.6	2,436.0	0.0226	90.0	90.0	22.6311
	S	4	40.0	318.8	0.0080	—	—	7.9695
	T	2	148.3	634.4	0.0043	60.0	70.0	4.2678
U	2	132.1	374.5	0.0029	65.0	98.0	2.8926	
V	4	151.3	223.0	0.0015	—	—	1.4739	
Sub-Avg.			128.9	1,476.9	0.0131	75.8	91.5	13.1174
Recycling asphalt concrete manufacturing facilities	A-1	1	121.9	47.0	0.0004	55.0	94.0	0.3857
	A-2	1	121.9	25.7	0.0002	55.0	94.0	0.2112
	L	4	142.1	406.0	0.0029	—	—	2.8562
	P	3	170.9	1,448.0	0.0102	—	85.0	10.1887
	Q	1	209.3	553.1	0.0027	73.0	99.0	2.6519
Sub-Avg.			153.2	496.0	0.0033	60.8	92.4	3.2587
Average			134.2	1,263.6	0.011	75.6	91.8	10.9742

Table 8. PM Emission factor of drum mix hot mix asphalt concrete plants and comparison of various emission factors.
(unit: kg/ton)

Industrial type	Facility	Emission factor			
		This study	US. EPA (2004)	EU EEA (2004)	*Acknowledged emission factor
Hot mix asphalt concrete	Drum mix hot mix asphalt concrete plants	10.97	16.0	15.0	14.4

*Acknowledged emission factor: Recognized emission factor by NIER at the target facilities. The emission factor of hot-mix asphalt concrete facility is cited U.S EPA AP-42.

(US. EPA, 2004). NIER (2012a)의 보고서에 따르면, 아스콘 사업장 인·허가 관련 민원 발생 주요 원인으로 미국 EPA 배출계수 적용으로 인한 불합리성이라고 조사된 결과가 있다. 따라서 아스콘 제조 시설의 먼지 배출계수(미국 EPA 배출계수)를 국내 실정에 적합한 배출계수로 변경하여야 할 것으로 판단되며, 향후 본 연구에서 산정된 배출계수가 아스콘 제

조 시설 배출량 산정 관련 규정 개정작업에 필요한 기초자료로 활용 될 것으로 기대한다.

마지막으로 본 연구 및 국외 배출계수를 적용한 먼지 배출량 및 발생량을 산정하고 이를 CAPSS에서 산정된 아스콘 제조업의 배출량과 표 9와 같이 비교하였다.

CAPSS는 현재 생산공정에 의한 배출량은 산정하

Table 9. PM amount and emissions of drum mix hot mix asphalt concrete plants and comparison with CAPSS.

	Emission factor (kg/ton)	Amount (kg/yr)	PMCD ²⁾ (%)	Emissions (kg/yr)	Emissions ratio
CAPSS ¹⁾ (2010)	0.72	25,157,500	99.92	20,126.0	0.06
Acknowledged emission factor (NIER, 2013)	14.4	503,150,000	99.92	402,520.0	1.31
EU. EEA (2004)	15.0	524,114,583	99.92	419,291.7	1.37
US. EPA (2004)	16.0	559,055,556	99.92	447,244.4	1.46
This study (2013)	10.97	383,302,465	99.92	306,642.0	1.00

¹⁾CAPSS, Clean Air Policy Support System
²⁾PMCD, Particulate Matter Control Device

지 않으며, 단순 연료사용에 의한 배출량만 산정되므로(NIER, 2010c), 중분류를 위한 발생량 산정 배출계수와 그 성격을 달리한다. 그러나 단순연료 사용에 의한 배출량이 아스콘 제조업에서 국가 배출량으로 산정되기 때문에 본 연구 및 국외 배출계수에 의한 배출량과 비교할 필요성이 있다. CAPSS에서 산정된 아스콘 제조업에서의 먼지 배출량은 연간 약 20톤이다(NIER, 2012c). 본 연구에서 산정된 배출량에 비해 약 6% 수준으로써 상당히 저평가되고 있다. 다시 말하면, 아스콘 제조시설에서의 먼지 배출량은 연료연소 부분만을 고려하는 관계로 극히 일부에 불과하며, 실제 아스콘 생산공정에서 대부분의 먼지가 발생되는 것으로 조사되었다. 또한 현행처럼 국외 배출계수를 사용할 경우 그 차이는 더욱 커짐을 알 수 있었다. 따라서 CAPSS에서 아스콘 제조 시설의 배출량은 연료연소 부분 외에 생산공정에 대한 배출계수 적용이 필요한 것으로 판단된다.

4. 결 론

본 연구는 아스콘 제조 시설에서의 먼지 발생량 산정시 인용되는 외국 배출계수를 대신할 국내 실정을 반영한 배출계수를 개발하여 합리적인 먼지발생량을 산정하는 것에 초점을 맞췄다. 이를 위하여 1) 국내 아스콘 제조 시설 및 사업장에 대한 현황을 SEMS 자료를 이용하여 조사하였다. 2) 「한국아스콘협회」 및 「한국재생아스콘협회」를 방문하여 명확한 측정 대상 사업장을 선정하였다. 3) 측정 대상 사업장을 각 시도별, 중별로 구분하는 등 다양한 조건에 맞춰 시료를 채취하였다. 4) 채취된 시료는 분석과정을 거쳐 최종

적으로 먼지배출계수로 도출하였다. 5) 도출된 배출계수를 이용하여 배출량을 산정하고 아스콘 제조시설에서의 CAPSS 배출량과 비교하였다. 이와 같은 일련의 과정을 거쳐 도출된 결과는 다음과 같다.

(1) 본 연구를 위해 선정된 대상 사업장은 전국 22개 아스콘 제조 사업장, 23개 아스콘 제조 시설이다. 시료는 전단 총 26회, 아스콘 제조 시설 1개소 당 평균 6.5회 채취하였다. 후단의 경우 총 123회, 아스콘 제조 시설 1개소 당 평균 5.3회 채취를 하였다. 산소 농도를 보정한 후단에서의 최종 먼지농도는 일반 아스콘 제조 시설에서 26.74 mg/Sm³, 재생 아스콘 제조 시설에서 11.93 mg/Sm³이었다. 일반아스콘 및 재생아스콘 제조 시설을 모두 포함한 아스콘 제조 시설의 후단 농도는 23.52 mg/Sm³이다.

(2) 아스콘 제조 시설 중 방지시설 전·후단 측정이 가능한 사업장 4개소에서 실제 효율을 측정하였다. 4개소 모두 방지시설은 원심력 집진 시설과 여과 집진 시설이 직렬 연결로 구성되어 있다. 측정 결과, 방지시설 전단 평균 농도는 84,560.0 mg/Sm³, 후단 평균 농도는 58.72 mg/Sm³로 측정되었으며, 실제 평균 방지효율은 99.9%이었다. SEMS에 기재된 방지시설의 설계효율 역시 1차 원심력집진기는 평균 73.2%, 2차 여과집진기는 92.9%로써 실측 조사에서의 99.9% 효율은 정상적 방지시설 가동효율인 것으로 판단된다.

(3) 방지시설 후단에서 채취된 시료는 실측에 의해 산정된 방지시설의 효율을 일괄적으로 적용하여 「방지시설을 거치지 않은(Uncontrolled)」 배출계수를 환산하였다. 그 결과 먼지 배출계수는 10.97 kg/ton으로 도출하였다. 이는 현재 아스콘 제조 시설의 인·허가 및 사업장 중 분류를 위해 먼지 발생량 산정시 적용되는 국립환경과학원 인정 먼지 배출계수 14.4 kg/ton

의 76% 수준이다. 미국과 유럽의 배출계수에 비해서도 낮은 수준으로 원인은 투입원료가 국가별로 일정치 않기 때문이며 국내 아스콘 제조 시설의 특성 또한 일부 반영된 결과로 판단된다. 제조 시설별로는 일반 아스콘 제조 시설의 먼지 배출계수가 13.12 kg/ton으로 재생아스콘 제조 시설 3.26 kg/ton보다 높게 산정되었다. 이는 일반 아스콘 제조 시설의 설비 노후화에 기인한 것으로 판단된다.

(4) 도출된 배출계수를 이용하여 아스콘 제조 시설에서의 배출량을 산정하고 CAPSS 배출량과 비교하였다. 그 결과, 2010년 아스콘 제조 시설에서의 CAPSS 배출량은 약 20톤/년으로 본 연구에서 산정된 배출량의 6% 수준이었다. 이와 같이 CAPSS 배출량이 저평가된 가장 큰 원인으로서는 전체 공정 배출량이 아닌, 단순 연료 사용에 의한 배출량만 산정하기 때문이다. 즉, 아스콘 제조 시설의 먼지 배출량은 연료연소에 의한 배출보다 제품생산 공정에서 발생하는 먼지가 더 많음을 본 연구를 통해 알 수 있었다.

이상의 결과를 바탕으로 아래와 같이 2가지 제안을 하고자 한다.

첫째, 본 연구를 통해 도출된 실측 배출계수와 기존 배출계수와의 비교·평가를 통해 기존 아스콘 제조 시설에서 배출량을 제대로 반영하지 못하고 있음을 알 수 있었다. 따라서 향후 산정되는 배출량은 해당 시설의 특성이 반영되어야 할 것이다. 아울러, 아스콘 제조공정 특성상 집진기에서 포집된 먼지는 아스콘 제조시 조합원료로 재활용하므로 재활용된 먼지 포집량은 전체발생량에서 제외할 수 있도록 하는 부분도 고려해야 함을 제안한다.

둘째, 향후 기존 아스콘 제조사업장의 폐아스콘 신규시설 설치 및 증설, 노후화 배출시설의 교체 및 증설시 현행 오염물질 발생량에서 제품 생산량 중심으로 종산정하는 방안을 제안한다. 배출계수에 의한 배출량의 경우 현실적으로 신뢰도 및 정확도의 한계를 내포하므로 제품생산량 중심의 배출량 산정 방안은 또 다른 실효성 있는 접근 방법이 될 것으로 본다.

감사의 글

본 연구는 전국 16개 시도보건환경연구원과 공동으로 수행되었으며, 각 시도보건환경연구원 관계자 여

러분께 감사드립니다.

References

- Jang, K.W., J.H. Kim, S.B. Lee, J.H. Kim, and J.H. Hong (2013) A Study on the Emission of Air Pollutants for Asphalt Manufacturing Facility, Proceeding of the 56th Meeting of Korean Soc. Atmos. Environ., 57.
- Jang, K.W., J.H. Lee, S.W. Jung, K.H. Kang, and J.H. Hong (2009) A Study on the Comparison of Emission Factor Method and CEMS (Continuous Emission Monitoring System), J. Korean Soc. Atmos. Environ., 25(5), 410-419. (in Korean with English abstract)
- Kim, S.K., K.W. Jang, J.H. Kim, C. Yoo, J.H. Hong, and H.C. Kim (2012) SRF Combustion Pollutant' Impact on Domestic Emissions Assessments, J. Korean Soc. Atmos. Environ., 28(6), 656-665. (in Korean with English abstract)
- Ministry of Environment (2003) Industrial process and management of environmental pollutants (Cement, Ready-mixed concrete and Asphalt concrete).
- Ministry of Environment (2004) Business guidelines of air pollutants emitting workplaces according to changing scale calculation method.
- Ministry of Environment (2012a) Ministry of Land, Infrastructure and Transport (2012) Enforcement rule of usage purpose and obligations usage for recycled aggregates and reuse of recycled aggregates products, ME No. 2012-198, MLIT No. 2012-652.
- Ministry of Environment (2012b) Clean Air Conservation Act.
- National Institute of Environmental Research (NIER) (2010a) Emission source, What are you wonder? No. 11-1480523-000583-01.
- National Institute of Environmental Research (NIER) (2010b) Point Emission source statistics 2010, No. 11-1480523-000518-10.
- National Institute of Environmental Research (NIER) (2010c) National Air Pollutant Emission Calculation Method Manual (II), No. 11-1480523-000189-01.
- National Institute of Environmental Research (NIER) (2012a) A Study in the Licensing & Certification System to Improve Asphalt Manufacturing Facility, No. 11-1480523-001325-01.
- National Institute of Environmental Research (NIER) (2012b) Enforcement rule of air pollutants emission factor on emission facility, No. 2012-10.
- National Institute of Environmental Research (NIER) (2012c)

- National Air Pollutants Emission 2010, No. 11-1480523-001348-01.
- Pham, T.B.T., K. Manomaiphiboon, and C. Vongmahadlek (2008) Development of an inventory and temporal allocation profiles of emissions from power plants and industrial facilities in Thailand, Science of the T. Environ., 397, 103-118.
- U.S EPA (2004) Emission Factor Documentation For AP-42 Section 11.1, Hot Mix Asphalt Plant.
- U.S EPA (2009) Compilation of Air Pollutant Emission Factors, Volume 1: Stationary Point and Area Source, AP-42, Fifth Edition.