

기술자료

아스콘 사업장의 대기환경 규제 현황 및 적정 운영을 위한 정책 제언

Current Status of Air Pollution Regulations for Asphalt Mixing Plants in Korea and Policy Recommendations for Improved Operation and Management

김종범¹⁾, 황규철^{1),2)}, 이해연¹⁾, 박세찬³⁾, 김현수⁴⁾, 편도철⁵⁾, 김정호^{6),*}

¹⁾충남연구원 서해안기후환경연구소,

²⁾국립부경대 지구환경시스템과학부 환경대기과학전공,

³⁾충남녹색환경지원센터, ⁴⁾대구녹색환경지원센터, ⁵⁾대구정책연구원, ⁶⁾열린공간

Jong Bum Kim¹⁾, Kyuchool Hwang^{1),2)}, Hye Yeon Lee¹⁾, Sechan Park³⁾,
Hyeonsu Kim⁴⁾, Dochul Pyun⁵⁾, Jeongho Kim^{6),*}

¹⁾Seohaean Research Institute, Chungnam Institute, Hongseong, Republic of Korea

²⁾Department of Earth Environmental System Science, Pukyong National University, Busan, Republic of Korea

³⁾ChungNam Green Environment Center, Hongseong, Republic of Korea

⁴⁾Daegu Green Environment Center, Daegu, Republic of Korea

⁵⁾Daegu Policy Institute, Daegu, Republic of Korea

⁶⁾Open Space Co., Seoul, Republic of Korea

접수일 2026년 7월 27일

수정일 2026년 8월 25일

채택일 2026년 9월 8일

Received 27 July 2026

Revised 25 August 2026

Accepted 8 September 2026

*Corresponding author

Tel : +82-(0)41-630-3924

E-mail : jeonghoflux@naver.com

Abstract This study investigated the current air pollution regulatory framework for asphalt concrete manufacturing facilities in Korea and identified priorities for improved operation and management. Permitting records, operational information, and field survey data were reviewed for 22 selected asphalt facilities. Among these, 15 facilities were subject to installation notification, while 7 required installation permits. Particulate matter (PM), sulfur oxides (SOx), and nitrogen oxides (NOx) were listed as common regulatory pollutants across all 22 facilities, whereas one or more hazardous air pollutants (HAPs) or other organic and gaseous pollutants were additionally listed at the seven permitted facilities. Cyclones and fabric filters constituted the primary air pollution control configuration at all investigated facilities. A combustion-control system and an oxidation-reduction control system were additionally identified at one facility each. The findings show that additional HAPs and organic pollutants are included in the permitting requirements of some facilities, while the basic control configurations remain predominantly focused on particulate matter. Accordingly, plant-specific characterization of both ducted and fugitive emission sources should precede the selection of additional control technologies. Management improvements should follow a stepwise approach involving source reduction, enclosure and local capture, representative measurement of pollutant concentrations and exhaust-gas flow rates, selection of technically appropriate controls, performance verification, and post-installation monitoring. Sector-specific permitting and measurement guidelines, together with a performance-based technical and financial support framework, are recommended to improve the consistency and effectiveness of environmental management at asphalt concrete manufacturing facilities in Korea.

Key words: Asphalt concrete plant, Hazardous air pollutants (HAPs), Volatile organic compounds (VOCs), Reclaimed asphalt pavement (RAP), Air pollution control system

1. 서 론

아스콘(asphalt concrete)은 굵은골재, 잔골재, 모래 및 석분 등의 골재에 아스팔트 바인더와 일부 첨가재를 혼합하여 제조하는 포장재로서, 도로와 고속도로를 비롯하여 공항 활주로, 주차장, 보도블록 등 다양한 기반시설에 사용되고 있다(Lasne *et al.*, 2022; Khare *et al.*, 2020). 아스콘은 사용되는 원료에 따라 천연골재를 이용하여 제조한 신재아스콘과, 폐아스콘을 파쇄·선별하여 재생아스콘 골재(reclaimed asphalt pavement, RAP)를 사용하는 순환아스콘으로 구분된다(Jang *et al.*, 2025). 순환아스콘은 초기에는 원자재 비용 절감을 목적으로 주로 활용되었으며, 품질과 내구성 측면에서 일부 문제점이 제기되기도 하였다(Xiu *et al.*, 2020). 그러나 배합설계와 생산기술의 발전으로 이러한 한계는 점차 개선되고 있다(Ga and Mun, 2022). 최근에는 폐아스콘의 매립량을 줄이고 천연골재 채취에 따른 산림 훼손과 석산 개발을 억제할 수 있다는 환경적 이점이 부각되면서, 국가 차원에서 순환아스콘의 사용을 확대하고 있다(Ro and Lee, 2021; MCEE, 2016).

아스콘 제조시설은 과거 국토개발과 도로 건설 지원을 목적으로 도심 외곽지역에 설치되었으나, 최근에는 도시의 확장에 따라 주거지역과 인접하게 되면서 지역 환경갈등 사례로 부각되고 있다(Kang *et al.*, 2025; Lee *et al.*, 2025). 기존의 대기환경 관리에서는 아스콘 제조시설에서 배출되는 먼지와 황산화물(sulfur oxides, SOx), 질소산화물(nitrogen oxides, NOx) 등 일반대기오염물질을 중심으로 관리하였으며, 다수의 사업장이 설치신고 대상으로 관리되어 왔다(MCEE, 2026a, 2026b). 그러나 측정·분석기술의 발전과 환경 관련 법령의 정비에 따라 벤젠, 다환방향족탄화수소(polycyclic aromatic hydrocarbons, PAHs), 포름알데히드 등 인체 유해성이 높은 특정대기유해물질(hazardous air pollutants, HAPs)이 아스콘 제조공정에서 함께 배출될 수 있다는 점이 확인되면서, 설치허가 대상으로의 전환이 논의되고 있다(NIER, 2012).

선행 연구에 따르면 골재와 RAP의 하역·저장 및 이

송 과정에서 비산먼지가 발생하며, 건조 과정에서는 NOx와 SOx가 배출될 수 있다. 또한 RAP와 아스팔트 바인더의 가열·혼합 과정에서는 휘발성유기화합물(volatile organic compounds, VOCs)과 HAPs가 배출되는 것으로 나타났다(Jeong *et al.*, 2026; Lee *et al.*, 2020). 아스팔트 바인더 저장탱크, 건조·혼합시설 및 제품 출하공정이 충분히 밀폐되지 않은 경우에는 유증기와 유기성 물질이 비산·누출될 수 있으며, 이러한 배출은 아스콘 특유의 악취를 유발하여 주변 생활환경에 영향을 줄 수 있다(Lee *et al.*, 2025). 중국에서는 아스팔트가 시공된 도로를 대상으로 오염물질 노출평가를 수행하였고, 그 결과 입자상 오염물질과 더불어 아스팔트 흙, 벤조[a]피렌 등이 검출되었다(Wang *et al.*, 2023). 이에 대한 관리를 위해 아스팔트 사업장을 대상으로 PAHs의 배출계수 산정연구를 진행하였다(Gil *et al.*, 2025; Lee *et al.*, 2004). 국내에서는 Kang *et al.* (2025)이 전국 29개 아스콘 제조시설을 대상으로 공정별 VOCs 농도를 측정하고, 그 결과를 미국 환경보호청(United States Environmental Protection Agency, U.S. EPA)의 배출계수와 비교하였다. 대부분 공정에서 VOCs 농도는 기준보다 낮은 수준으로 나타났으나, 일부 공정에서는 벤젠이 상대적으로 높은 수준으로 검출되었다. 또한 굴뚝 배출량 중심의 산정방식은 저장·이송·혼합 및 출하공정에서 발생하는 비산배출량을 충분히 반영하지 못하므로, 실제 사업장 배출량을 과소평가할 가능성이 있다고 보고하였다. Lee *et al.* (2025)은 33개 아스콘 사업장의 배출구를 대상으로 복합악취와 지정악취물질을 측정하였고, 그 결과 기타 지역의 복합악취 배출허용기준 적용 시 조사대상의 절반 이상이 기준을 초과한 것으로 확인되었다. 인천의 경우 시 차원에서 주기적으로 아스콘 사업장에 대해 VOCs를 비롯하여 HAPs와 악취를 측정·분석하여 관련 자료를 구축하고, 관리방안을 제시하기도 하였다(Kim *et al.*, 2024; Shin *et al.*, 2022).

그러나 현재까지 아스콘 사업장 관리정책은 주로 입자상 물질(먼지) 처리에 초점을 두고 있어 VOCs 및 HAPs에 대한 관리에 한계점을 가진다. 이에 본 연구

에서는 국내 아스콘 사업장의 대기환경 규제체계를 검토하고, 22개 아스콘 관련 사업장의 인허가 자료와 현장 조사를 바탕으로 사업장 규모, 조업조건, 사용연료, 인허가상 관리항목, RAP 관련 공정 및 대기오염 방지시설의 구성을 분석하였으며, 이를 바탕으로 향후 아스콘 사업장의 관리 및 개선방향을 제안하고자 한다.

2. 아스콘 사업장 현황 및 관리체계

2.1 아스콘 사업장의 분포 및 출하 현황

국내 아스콘 제조시설의 분포와 생산 현황을 정리하여 표 1에 제시하였다(KACC, 2026a, 2026b). 2025년 12월 기준 전국에는 514개 아스콘 사업장이 운영되고 있다. 지역별로는 대구·경북지역이 83개소로 가장 많았고, 제품 출하량은 서울·인천·경기지역이 4,961천톤/년으로 가장 높게 나타났다. 이 가운데 순환아스콘이 차지하는 비율은 평균 22.8%로 확인되었다.

2.2 아스콘 사업장의 대기환경 관리체계

아스콘 사업장의 대기환경 관리체계와 관련된 일반 대기오염물질 및 특정대기유해물질에 대한 허가 및 관리 기준을 표 2에 정리하였다. 「대기환경보전법 시

행규칙」 제5조와 별표 3 대기오염물질배출시설의 배출시설 15)에 따르면 아스콘 제조시설 중 연료사용량이 30 kg/hr 이상(무연탄 기준 고체연료 환산량)이거나 용적이 3 m³ 이상인 ① 가열·건조시설, ② 선별시설, ③ 혼합시설, ④ 용융·용해시설을 배출시설로 규정하여 먼지 25 mg/Sm³ (O₂ 10%), SO_x 200 ppm, NO_x 150 ppm을 배출허용기준으로 제시하고 있다(MCEE, 2026b). 이와 함께 아스콘 사업장에 대해 배출 가능성이 검토되는 HAPs 8개 항목에는 설치허가 기준이 설정되어 있으며, 이 중 염화수소, 시안화수소, 페놀화합물, 벤젠, 포름알데히드 및 PAHs는 아스콘 사업장에 적용 가능한 배출허용기준이 설정되어 있다(MCEE, 2026a). 아스콘 사업장의 대기환경 관리체계는 배출시설의 설치허가와 시설 가동 중 배출허용기준으로 구성되며, 특정대기유해물질의 설치허가 적용기준은 해당 배출시설이 설치허가 대상인지 판단하기 위한 기준이며, 배출허용기준은 설치된 시설을 가동하는 과정에서 최종 배출농도가 법적 기준을 준수하는지 판단하기 위한 기준으로 작용한다.

2.3 아스콘 사업장 현장 조사 및 분석 방법

2024년 2월에서 2026년 6월에 걸쳐, 지역 녹색환경 지원센터와 관련 지자체 협조를 통해 아스콘 사업장에 대한 현장 방문에 기반한 인허가 서류 확인 및 공정

Table 1. Nationwide distribution of asphalt concrete plants and production/shipment volumes in Korea (2025).

No.	Region	No. of plants	Asphalt concret shipments (10 ³ ton/year)			Recycled asphalt ratio (%)
			Conventional asphalt concrete	Recycled asphalt concrete	Total shipments	
1	Seoul - Incheon - Gyeonggi	66	3,460	1,501	4,961	30.2
2	Busan - Ulsan - Gyeongnam	80	2,090	269	2,359	11.4
3	Daegu - Gyeongbuk	83	1,926	815	2,741	29.7
4	Gwangju - Jeonnam	62	1,549	355	1,904	18.7
5	Daejeon - Sejong - Chungnam	67	1,448	483	1,931	25.0
6	Gangwon	54	1,310	122	1,432	8.5
7	Chungbuk	39	955	443	1,398	31.7
8	Jeonbuk	48	1,430	221	1,651	13.4
9	Jeju	15	391	97	488	19.9
Nationwide total		514	14,558	4,306	18,864	22.8

Table 2. Emission limits and installation-permit thresholds for general air pollutants and HAPs at asphalt concrete manufacturing facilities.

Category	Air pollutant	Installation permit applicability threshold ¹⁾	Applicable emission limit for ascon plants ²⁾	Stricter limit for a single HAP emitted at ≥ 10 ton/yr ³⁾
General air pollutant (3)	Dust	–	25 mg/Sm ³ (O ₂ : 10%)	–
	SOx	–	200 ppm	–
	NOx	–	150 ppm	–
Hazardous air pollutants (8)	Chlorine (Cl)	0.4 ppm		
	hydrogen chloride (HCl)		4 ppm	3 ppm
	Hydrogen cyanide (HCN)	0.05 ppm	4 ppm	2 ppm
	Vinyl chloride (PVC)	0.1 ppm	No prescribed	No prescribed
	Phenol and its compounds	0.2 ppm	4 ppm	3 ppm
	Benzene	0.1 ppm	6 ppm	3 ppm
	Formaldehyde	0.08 ppm	8 ppm	4 ppm
	Acetaldehyde	0.01 ppm	No prescribed	No prescribed
	PAHs	10 ng/m ³	0.05 mg/Sm ³ expressed as benzo[a]pyrene	0.03 mg/Sm ³ expressed as benzo[a]pyrene

¹⁾It is the concentration threshold used to determine whether a facility emitting a specific hazardous air pollutant is subject to an installation permit rather than a general notification requirement.

²⁾This is the maximum concentration that must be complied with at the final emission outlet during facility operation.

³⁾A stricter emission limit applies where a facility emits 10 tonnes or more per year of a single specific hazardous air pollutant.

조사를 수행하였다. 그림 1은 현장 방문하여 조사한 아스콘 사업장 사례에 대한 주요 시설을 보여준다.

현장 조사를 수행한 대상 사업장은 총 22개소에 해당하며, 강원권 14, 충청권 5, 영남권 3개소로 개별 사업장 정보는 사업장 식별과 영업정보 보호를 위해 A01~A22로 익명화하였다. 사업장에서 의무 보존하고 있는 대기 배출시설과 관련된 인허가증에 기재된 내용을 바탕으로 분석항목을 다음과 같이 구분하였다. 업종, 사업장 종별, 일일·연간 조업시간, 연료 종류, 인허가상 관리항목, 배출시설 및 방지시설의 명칭·용량을 확인하였으며, 배출시설과 방지시설에 대한 전체 계통은 현장 조사를 통해 검토 및 인허가증과 대조하여 동일함을 확인하였다.

22개 사례 사업장은 자료 확보 가능성을 고려하여 선정한 목적 표본으로, 전국 아스콘 사업장의 지역별·규모별 분포를 통계적으로 대표하는 확률표본이 아니다. 따라서 본 연구의 결과는 조사대상 사례에서 확인된 인허가 및 시설 구성 특성으로 해석하였으며, 국내 전체 아스콘 사업장에 직접 일반화하는 데에는 한계가 있음을 전제한다.

3. 조사대상 사업장의 관리 특성과 공정별 대기오염물질 배출 특성

3.1 조사대상 아스콘 사업장의 운영 및 관리 특성

본 연구에서 조사한 22개 아스콘 사업장에 대한 분석 결과를 표 3에 제시하였다. 인허가 문서는 사업장 15개소와 설치허가 사업장 7개소로 구분되었다. 대기 오염물질 발생량에 따른 사업장 종별은 1종 2개소, 2종 5개소, 3종 7개소, 4종 6개소 및 5종 2개소로 나타나 대규모 사업장부터 소규모 사업장까지 다양한 규모의 시설이 포함되었다. 인허가 서류에 기재된 연간 대기 오염물질 발생량은 0.891~78.8 ton/yr 범위였으며, 사업장별 생산규모와 연료·원료 사용량 및 공정구성에 따라 큰 차이를 보였다. 다만 이 값은 인허가 과정에서 배출계수와 연료·원료 사용량 등을 이용하여 산정한 발생량으로, 자가측정이나 연속측정을 통해 확인한 실제 연간 배출량과는 구분할 필요가 있다.

일일 조업시간은 4~18 h/day 범위로 나타났다. 연간 조업일수가 확인된 19개소에서는 40~300 days/yr 범위

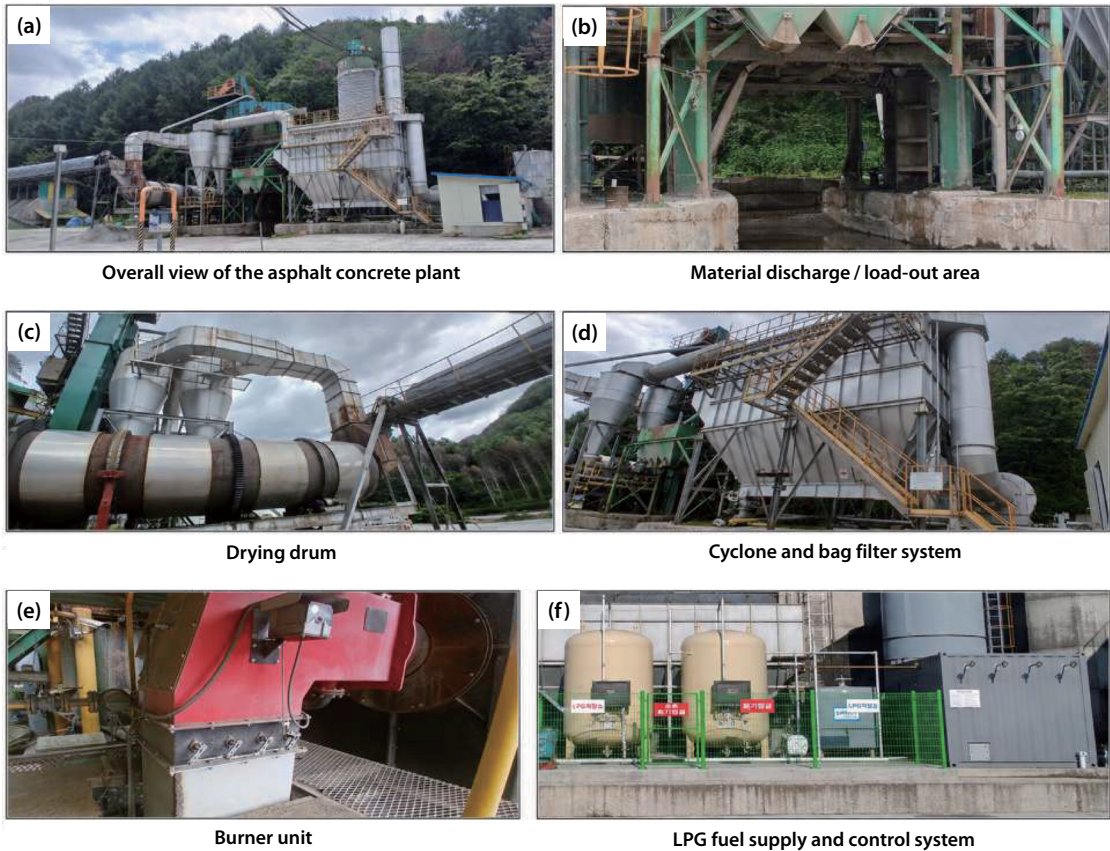


Fig. 1. Representative field photographs of an asphalt concrete manufacturing plant and major process units.

였으며, 나머지 3개소는 검토한 인허가 자료에서 연간 조업일수를 확인할 수 없었다. 기술통계상 사업장 종별이 높을수록 연간 조업일수가 일관되게 증가하거나 감소하는 경향은 관찰되지 않았다. 이는 사업장 종별이 조업일수뿐 아니라 시설용량, 시간당 생산능력, 연료 및 원료 사용량, 배출계수와 공정구성 등의 영향을 복합적으로 받기 때문으로 판단된다.

사용연료를 기준으로 보면 LPG를 단독 사용하거나 경유와 병용하는 사업장은 10개소였고, LNG 사용 사업장은 3개소였다. 나머지 9개소에서는 B-C유를 중심으로 B-B유 또는 경유 등을 단독 또는 병용하고 있었다. 일부 사업장에서는 B-C유에서 LPG 또는 LNG로 연료를 전환한 이력이 확인되었으며, 연료전환 이후 인허가상 산정 발생량이나 사업장 종별이 낮아진 사

례도 포함되어 있었다. 그러나 연료전환에 따른 실제 배출농도와 질량배출량의 변화를 본 연구에서 직접 비교한 것은 아니므로, 연료별 저감효과는 동일 사업장의 전환 전·후 측정자료를 이용하여 별도로 평가할 필요가 있다.

먼지, SO_x 및 NO_x은 22개 사업장의 인허가 자료에서 공통적인 관리항목으로 확인되었다. 설치허가 사업장 7개소에서는 모두 일반 관리항목 외에 1종 이상의 HAPs 또는 기타 유기성·가스상 물질이 추가로 기재되어 있었다. 추가 관리항목에는 벤젠, 포름알데히드, 페놀류, 시안화수소, 염화수소, 아세트알데히드 및 벤조[a]피렌을 비롯하여 염화비닐, 에틸벤젠, 1,3-부타디엔, 스티렌, 총탄화수소(total hydro carbon, THC) 및 암모니아 등이 포함되었다. 반면 설치신고 사업장 15

Table 3. Regulatory and operational characteristics of the 22 selected asphalt facilities.

ID	Regulatory document	Emission class		Operation schedule		Fuel type	RAP status ¹⁾	Air pollution control system	Permit-listed pollutants
		Class	ton/year	h/day	days/yr				
A01	Notification	4	6.4	7.5	–	LPG	Not identified	Cyclone and fabric filter	PM, SOx, NOx
A02	Notification	2	76.2	8.0	300	Diesel, B-C	Not identified	Cyclone and fabric filter	PM, SOx, NOx
A03	Permit	2	30.3	18.0	–	LNG	Probable	Cyclone and fabric filter	PM, SOx, NOx, formaldehyde
A04	Permit	3	17.9	10.0	150	B-B, B-C	Confirmed	Cyclone and fabric filter	PM, SOx, NOx, benzene
A05	Notification	3	17.8	8.0	150	LPG	Probable	Cyclone and fabric filter	PM, SOx, NOx
A06	Notification	4	7.3	8.0	40	B-C	Not identified	Cyclone and fabric filter	PM, SOx, NOx
A07	Notification	4	3.8	5.4	53	B-C	Not identified	Cyclone and fabric filter	PM, SOx, NOx
A08	Notification	5	0.9	4.0	120	LPG	Confirmed	Cyclone and fabric filter	PM, SOx, NOx
A09	Notification	3	13.3	12.0	200	LPG	Not identified	Cyclone and fabric filter	PM, SOx, NOx
A10	Notification	3	14.4	8.0	300	Diesel, LPG	Not identified	Cyclone and fabric filter	PM, SOx, NOx
A11	Notification	5	1.8	8.0	120	LPG	Not identified	Cyclone and fabric filter	PM, SOx, NOx
A12	Permit	3	19.3	6.0	200	B-C	Probable	Cyclone and fabric filter	PM, SOx, NOx, formaldehyde
A13	Notification	4	9.5	8.0	–	B-C	Probable	Cyclone and fabric filter	PM, SOx, NOx
A14	Notification	4	8.0	8.0	300	B-C	Not identified	Cyclone and fabric filter	Primarily PM; SOx and NOx also listed for selected sources
A15	Permit	1	478.8	8.0	300	B-C	Confirmed	Cyclone and fabric filter → oxidation - reduction control system	PM, SOx, NOx, THC, NH ₃ , phenol, HCl, HCN, HCHO, acetaldehyde
A16	Permit	4	9.4	5.0	180	LPG	Probable	Cyclone and fabric filter	PM, SOx, NOx, phenol, HCN, HCl, acetaldehyde, benzene, Benzo[a]pyrene, HCHO, vinyl chloride
A17	Notification	2	59.8	8.0	150	LPG	Confirmed	Combustion-control system, cyclone, and fabric filter	PM, SOx, NOx
A18	Notification	1	114.1	8.0	150	B-C	Confirmed	Cyclone and fabric filter	PM, SOx, NOx
A19	Notification	2	39.7	7.0	160	LPG	Probable	Cyclone and fabric filter	PM, SOx, NOx
A20	Permit	2	36.9	10.0	180	LNG	Not identified	Cyclone and fabric filter	PM, SOx, NOx, benzene, HCHO
A21	Permit	3	14.6	8.0	200	LNG	Probable	Cyclone and fabric filter	PM, SOx, NOx, HCN, HCl, HCHO, benzene, ethylbenzene, 1,3-butadiene, styrene, THC, and other compounds
A22	Notification	3	19.6	8.0	300	LPG	Confirmed	Cyclone and fabric filter	PM, SOx, NOx

¹⁾RAP classification: "Confirmed" indicates that a recycled-aggregate dryer, recycled-asphalt process, recycled-material treatment facility, or recycled raw material/product was explicitly identified in the reviewed documents. "Probable" indicates that RAP use was inferred from the combined presence of two dryers, an added drying line, crushing or grinding facilities, and relevant permitting or HAP-management history, although RAP was not explicitly stated. "Not identified" indicates that the available records did not provide sufficient evidence of RAP use and does not necessarily indicate the absence of RAP processing.

개소에서는 주로 먼지, SOx 및 NOx가 관리항목으로 기재되어 있었다.

이러한 결과는 일부 아스콘 사업장에서 인허가상 관리범위가 기존의 먼지와 연소가스뿐 아니라 HAPs와 기타 유기성 물질까지 확대되어 있음을 보여준다. 그러나 특정 물질이 허가서류에 관리항목으로 기재되었다는 사실만으로 해당 물질이 모든 조업조건에서 실제로 배출되거나 높은 농도로 검출된다고 판단할 수는 없다. 또한 허가과 신고의 차이가 원료나 연료의 종류만으로 결정된다고 단정하기 어렵고, 인허가 시점, 배출량 산정자료, 특정대기유해물질의 배출 가능성, 공정구성 및 관할기관의 검토범위 등이 복합적으로 작용할 수 있다.

RAP 사용 여부는 인허가 자료에 재생 관련 공정이 직접 명시되었는지와 시설구성을 종합하여 세 단계로 구분하였다. 순환골재 전용 건조시설, 재생아스콘 공정, 상온 재생공정, 재생원료 처리시설 또는 순환골재·순환아스콘 생산자료가 명시된 사업장은 6개소로, RAP 사용이 확인된 사업장으로 분류하였다. 추가로 7개소에서는 2기의 건조시설, 건조시설 증설, 파쇄·분쇄시설, 특정대기유해물질 허가 전환 또는 관련 원료·제품 이력이 복합적으로 확인되어 RAP 사용 가능성이 있는 사업장으로 분류하였다. 그러나 이들 7개소는 RAP 사용이 인허가 자료에 직접 명시되지 않은 추정 사례이므로, 실제 RAP 사용 사업장으로 확정하여 해석해서는 안 된다. 나머지 9개소에서는 검토한 자료의 범위에서 RAP 관련 공정이나 사용이 확인되지 않았다. 따라서 RAP 관련 분석에서는 단순히 건조시설이 2기라는 사실만으로 순환아스콘 생산 여부를 판단하기보다, 일반골재 및 RAP 건조시설의 용도, 재생공정 변경 이력, 폐아스콘 파쇄·선별시설, 순환골재 원료사용량 및 순환아스콘 제품생산량을 함께 확인해야 한다. 향후 사업장별 RAP 관리 특성을 평가하기 위해서는 RAP 사용 여부뿐 아니라 혼입률, 투입 위치, 별도 가열 여부, 직접 화염 접촉 여부, 수분함량, 생산 온도 및 시간당 생산량을 함께 조사할 필요가 있다.

대기오염 방지시설은 22개 사업장 모두에서 원심력

집진시설과 여과집진시설을 기본으로 하는 직렬 구성이었다. 이와 별도로 1개소에서는 연소조절시설을 원심력 집진시설 전단에 운영하고 있었고, 다른 1개소에서는 여과집진시설 후단에 산화·환원시설을 운영하였다.

이상의 결과를 종합하면, 조사대상 사업장에서는 인허가상 관리항목이 사업장별로 차이를 보이고 일부 허가 사업장에서는 HAPs 및 기타 유기성 물질까지 확대되어 있는 반면, 현장에 적용된 기본 방지시설은 원심력집진시설과 여과집진시설을 중심으로 구성되어 있었다.

3.2 아스콘 제조공정의 공정영역별 배출원 및 잠재 대기오염물질

앞 절에서는 22개 사례사업장의 인허가상 관리항목, RAP 관련 공정 및 방지시설 구성을 분석하였다. 본 절에서는 이러한 사업장별 분석과 구분하여, 그림 2에 제시한 천연골재와 RAP를 이용하는 대표적인 배치식 아스콘 제조공정을 기준으로 공정 영역별 배출경로와 잠재 대기오염물질을 검토하였다. 그림 2의 세부 공정번호를 배출특성에 따라 RAP 저장·전처리공정(I), 신골재 저장·공급공정(II), 아스팔트 바인더·필러·첨가제 저장 및 공급공정(III), 집진·회수 및 굴뚝배출계통(IV), 건조·선별·계량·혼합공정(V), 제품 저장·출하 및 운송공정(VI)의 6개 영역으로 구분하였으며, 주요 작업과 잠재 오염물질을 표 4에 정리하였다. 그림 2는 일반아스콘과 순환아스콘을 생산하는 배치식 플랜트의 대표적인 계통을 나타낸 것으로, 조사대상 22개 사업장의 개별 사업장의 설비구성과 RAP 투입방식은 서로 다를 수 있다.

U.S. EPA는 아스콘 제조시설의 배출을 굴뚝·벤트·덕트 등을 통해 배출되는 공정배출(ducted production emissions), 원료 취급 과정의 비산먼지(pre-production fugitive dust emissions), 그리고 저장·혼합·출하 등에서 발생하는 기타 생산 관련 비산배출(other production-related fugitive emissions)로 구분하고 있다(U.S. EPA, 2004). 이러한 구분에 따르면 건조기와 고온

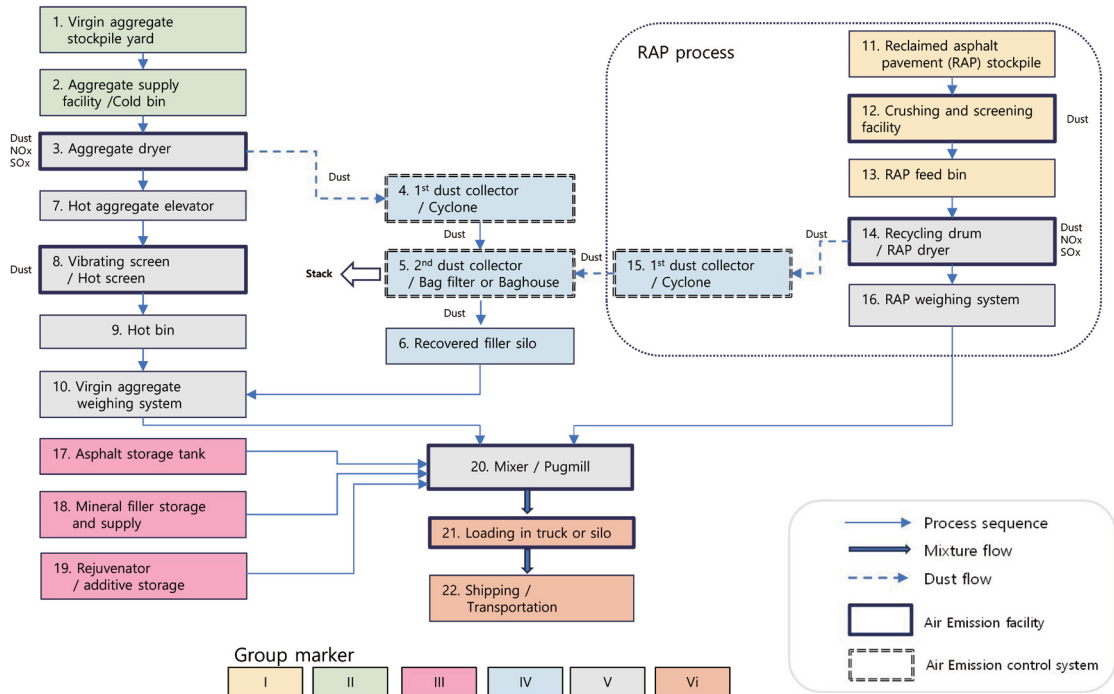


Fig. 2. Manufacturing process of recycled asphalt concrete using virgin aggregate and reclaimed asphalt pavement.

공정에서 발생하여 집진계통으로 유입되는 배출가스는 주로 공정배출에 해당하고, 골재와 RAP의 하역·야적·이송 및 제품 출하 과정에서 포집되지 않는 배출은 비산배출에 해당한다.

I 영역(공정번호 11~13)은 RAP의 야적, 하역, 파쇄·선별 및 공급공정이며, II 영역(공정번호 1~2)은 신골재의 야적과 콜드빈 공급공정이다. 두 영역에서는 원료의 낙하, 충격, 마찰, 풍식 및 차량 이동으로 인한 비산먼지가 주요 배출물질이다. 특히 RAP 파쇄·선별공정은 노후 아스팔트 바인더가 부착된 입자를 취급하지만, 상온의 저장·파쇄·이송만으로 VOCs 또는 PAHs가 주요하게 발생한다고 단정하기는 어렵다. RAP의 가열에 따른 유기성 오염물질 발생은 RAP 건조·가열시설과 믹서가 포함된 V 영역에서 구분하여 해석하는 것이 타당하다. 이들 원료취급 공정의 비산먼지는 원료 함수율, 입도, 낙하 높이, 이송 속도, 컨베이어 밀폐 상태, 살수 및 사업장 도로의 청소 상태에 영향을 받

는다.

III 영역(공정번호 17~19)은 아스팔트 바인더 저장 탱크뿐 아니라 석분·필러 및 재생첨가제 저장·공급시설을 포함한다. 석분과 필러의 공압 이송, 저장 및 투입 과정에서는 연결부와 벤트에서 먼지가 발생할 수 있다. 반면 가열된 아스팔트 바인더와 재생첨가제의 저장·이송 과정에서는 탱크 충전 시 증기 공간의 가스가 치환되는 작업손실(working loss), 외기 온도와 액체 온도 변화에 따른 증기 공간의 팽창·수축으로 발생하는 호흡손실(breathing loss), 그리고 펌프·밸브·플랜지·배관 연결부의 비정상 누출에 의해 VOCs, 악취 및 일부 HAPs가 배출될 수 있다. 배출 정도는 저장 온도, 탱크 회전율, 충전 속도, 벤트 구조, 원료의 휘발성 및 밀폐 상태에 따라 달라진다(U.S. EPA, 2004).

V 영역(공정번호 3, 7~10, 14, 16 및 20)은 신골재 및 RAP의 건조·가열, 열골재 이송·선별·계량과 아스팔트 혼합이 이루어지는 핵심 생산공정이다. 건조기는

Table 4. Major operations, emission pathways, potential air pollutants, and management considerations by process area in a batch-type asphalt concrete manufacturing plant.

Group	Process No.	Main operation	Primary emission pathway	Potential air pollutants and emission sources	Current or commonly applied management	Additional assessment and management needs
I	11~13	RAP stockpiling, crushing, screening, storage, and conveying	Primarily fugitive and area-source emissions	Fugitive PM generated during unloading, stockpiling, crushing, screening, material drop, conveyor transfer, and loader or truck movement. Heating-related organic emissions are addressed under Group V.	Covered or enclosed conveyors; enclosure and local dust collection at crushing and screening points; control of material-drop height; road cleaning and vehicle-speed control	Confirm RAP moisture content, particle-size distribution, stockpile condition, material-drop points, enclosure integrity, and fugitive PM or visible-dust emissions. RAP heating should not be inferred from storage and handling alone.
II	1~2	Virgin aggregate stockpiling, cold-bin feeding, and conveying	Primarily fugitive and area-source emissions	Fugitive PM generated during stockpiling, front-end-loader handling, cold-bin feeding, conveyor transfer, wind erosion, and material drop; road dust from vehicle movement	Aggregate moisture management; partial enclosure or covers; enclosed conveyors; reduced drop height; paved-road cleaning and vehicle-speed control	Evaluate aggregate moisture, fine-particle content, drop height, conveyor enclosure, traffic activity, and PM concentrations or deposition near the site boundary.
III	17~19	Asphalt binder, mineral filler, and additive storage and transfer	Tank-vent emissions, equipment leaks, and fugitive emissions	VOCs, TOC/THC, condensable organic compounds, odor, and potentially relevant HAPs from heated binder or rejuvenator tank filling, venting, and transfer; fugitive PM from pneumatic transfer and storage of mineral filler; leaks from pumps, valves, flanges, and pipe connections	Closed transfer systems; insulated and temperature-controlled tanks; vent management or local capture; silo-vent filters for mineral filler; routine inspection of pumps, valves, flanges, and piping	Record storage temperature, filling rate and frequency, tank turnover, vent configuration, binder loss-on-heating properties, and additive composition; conduct leak inspection and source-specific VOC and odor measurements where necessary.

Table 4. Continued.

Group	Process No.	Main operation	Primary emission pathway	Potential air pollutants and emission sources	Current or commonly applied management	Additional assessment and management needs
IV	4~6, 15	Dust collection, recovered-filler handling, and stack discharge	Ducted and stack emissions	Residual filterable and condensable PM after dust collection; combustion- and process-related SO _x , NO _x , CO, VOCs, aldehydes, PAHs, and other HAPs conveyed from Group V. PM emissions may increase because of bag damage, hopper malfunction, duct leakage, or process bypass.	Cyclone or other primary collector followed by a fabric filter; induced-draft fan and duct system; recovered-filler collection and return; stack discharge	Monitor pressure drop, bag integrity, hopper discharge, fan operation, duct leakage, gas temperature, flow rate, and O ₂ ; perform inlet-outlet PM measurements where feasible. Gas-phase and condensable pollutants should be evaluated separately because PM-control performance does not represent their removal efficiency.
V	3, 7~10, 14, 16, 20	Drying, heating, hot-aggregate conveying, screening, weighing, and mixing	Mainly ducted process emissions; fugitive emissions where enclosure or capture is incomplete	PM and water vapor from aggregate drying; SO _x , NO _x , and CO from fuel combustion; VOCs, methane, aldehydes, PAHs, HAPs, condensable organic aerosol, and odor from incomplete combustion and heating or mixing of asphalt binder and RAP; fugitive dust and organic emissions from elevators, screens, bins, weighing systems, and mixers	Fuel and burner management; enclosure of hot-side equipment; scavenger or local exhaust systems; cyclone and fabric-filter treatment of captured gas; management of production and binder temperatures	Evaluate fuel type and sulfur content, burner condition, excess O ₂ and CO, aggregate moisture, production temperature, binder temperature, RAP content, RAP feed location, direct-flame contact, exhaust-gas flow, source capture efficiency, and pollutant mass-emission rates.
VI	21~22	HMA silo filling, storage, truck load-out, and transportation	Low-level fugitive emissions; ducted emissions where local capture is installed	VOCs and TOC/THC, CO, condensable organic PM and aerosol, blue smoke, PAHs, potentially relevant HAPs, and odor from silo filling and hot-mix load-out; continued organic emissions from loaded trucks; road dust from vehicle movement	Silo and load-out enclosure; local exhaust or blue-smoke collection; control of HMA storage and loading temperature; truck-bed covering or sealing; road cleaning and traffic management	Assess silo-filling and load-out temperatures, binder loss-on-heating characteristics, capture efficiency, short-term concentration peaks, truck-bed sealing, post-load-out yard emissions, and VOC or odor levels at the site boundary.

아스콘 제조시설에서 가장 중요한 굴뚝 배출원으로, 골재의 수분 증발에 따른 수증기, 골재 유래 먼지, 연료 연소에 따른 SO_x, NO_x 및 CO와 함께 소량의 VOCs와 HAPs가 발생할 수 있다. CO와 일부 유기성 물질은 버너의 불완전연소와 관련되며, SO_x는 연료 중 황 함량, NO_x는 연소 온도·공기비·버너 구조 및 운전조건의 영향을 받는다. 열골재 엘리베이터, 진동스크린, 열골재 저장빈 및 계량시설에서는 입자상 물질이 발생하며, 믹서에서는 고온 골재와 아스팔트 바인더의 접촉으로 유기증기와 응축성 유기에어로졸이 발생할 수 있다. 배출 특성은 연료 종류, 버너의 연소 상태, 골재 함수율, 배기가스 산소농도, 생산 온도, 바인더 투입 온도, RAP 투입위치·혼입률 및 화염의 직접 접촉 여부 등에 의해 복합적으로 결정된다.

IV 영역(공정번호 4~6 및 15)은 건조·선별·혼합공정에서 포집된 배출가스를 처리하고 회수 먼지를 공정으로 환류하는 집진·회수 및 굴뚝 배출계통이다. 일반적으로 원심력집진시설은 비교적 큰 입자를 1차로 분리하고, 후단의 여과집진시설은 잔류 미세입자를 제거하며, 포집된 먼지의 일부는 회수필러로 재이용된다. Jang *et al.* (2014)은 국내 22개 사업장 23개 아스콘 제조시설을 조사하여 원심력집진시설과 여과집진시설을 포함한 먼지 방지계통의 평균 제거효율을 약 99.9%로 보고하였다. 이는 해당 집진계통이 적정하게 설계·운전될 경우 입자상 물질 처리에 효과적일 수 있음을 보여준다. 다만 이 결과는 본 연구의 22개 사례사업장에서 직접 측정된 값이 아니며, VOCs나 가스상 HAPs의 제거효율을 의미하지도 않는다. 또한 여과포 파손, 집진기 또는 덕트 누기, 부적정한 차압과 풍량 및 비정상적인 우회 배출은 굴뚝의 잔류 먼지 배출을 증가시킬 수 있다.

VI 영역(공정번호 21~22)은 고온 아스콘의 저장 사일로 충전, 차량 적재 및 운송공정이다. 이 과정에서는 고온 혼합물에서 유기증기와 응축성 유기입자가 순간적으로 방출될 수 있으며, 냉각 과정에서 유기증기가 미세입자로 응축되면 청색연(blue smoke)의 형태로 관찰될 수 있다. 주요 잠재 배출물질은 VOCs, 총유기

화합물, 응축성 먼지, PAHs, 일부 HAPs 및 악취이며, 차량 이동에 따른 도로 재비산먼지도 함께 발생할 수 있다. U.S. EPA는 저장 사일로 충전과 차량 출하공정의 PM 및 유기성 배출이 아스콘 온도와 바인더의 가열감량 특성에 영향을 받는 것으로 보고하고, 출하 후 적재차량에서도 일정 시간 동안 유기성 물질이 계속 배출될 수 있다고 제시하였다(U.S. EPA, 2004).

국내 현장 조사에서도 굴뚝과 비산배출원의 공간적 배출 특성이 서로 다를 수 있음이 확인되었다. Kim *et al.* (2024)은 인천지역 8개 아스콘 사업장에서 규제대상 VOCs 16종을 분석하여 10종을 검출하였으며, 검출 농도는 각 물질의 배출허용기준 대비 17% 이하로 나타났다. 일부 사업장에서는 출하시설보다 부지경계에서 VOCs 농도가 높게 나타난 반면, 복합악취는 생산 시설 및 배출구에 가까울수록 높은 특성을 보였다. 특히 배출구의 평균 복합악취는 1,433배로 배출허용기준 500배를 초과하여, VOCs 농도와 복합악취의 공간 분포가 반드시 동일하지 않으며 굴뚝, 출하시설 및 부지경계를 구분하여 조사할 필요가 있음을 보여주었다.

RAP는 잔류 아스팔트 바인더를 포함하므로 가열조건에 따라 VOCs, 응축성 유기입자, PAHs 및 악취 발생에 영향을 줄 수 있다. 그러나 RAP 혼입 여부나 혼입률만으로 유기성 오염물질의 배출 증가를 일반화하기는 어렵다. U.S. EPA는 일부 병류식 드럼믹스 공정에서 RAP 함량과 응축성 유기입자 배출 간의 관계가 관찰되었으나, 자료편동의 약 89%가 RAP 함량 이외의 미확인 공정변수에 의해 설명된다고 제시하였다(U.S. EPA, 2004). 국내 29개 아스콘 제조시설을 조사한 Gil *et al.* (2025)의 연구에서도 벤조[a]피렌이 모든 시설에서 검출되었고 평균 농도는 1.78 µg/m³로 나타났으나, 일반아스콘과 순환아스콘 간 PAHs 및 벤조[a]피렌 농도의 유의한 차이는 확인되지 않았다. 반면 아스팔트 사용량으로 정규화한 평균 PAHs 농도는 중질유 사용시설이 LNG와 LPG 등 액화가스 사용시설보다 약 2.4배 높게 나타나, RAP 사용 여부뿐 아니라 연료와 연소조건이 중요한 배출영향인자임을 보여주었다.

앞서 3.1절의 표 3에서는 인허가 자료상 RAP 관련

공정의 명시 여부와 시설구성을 바탕으로 RAP 상태를 ‘Confirmed’, ‘Probable’ 및 ‘Not identified’로 구분하였으나 RAP 사용 가능성이 있는 사업장을 포함하여 혼입률과 세부 투입조건은 확보되지 못했다. 따라서 본 절의 RAP 관련 내용은 22개 사례사업장에서 직접 측정된 배출 특성은 아니며, 공정구조와 선행 연구를 바탕으로 제시한 잠재적 배출 메커니즘에 해당함을 주의하여야 한다. 향후에는 RAP 혼입률뿐 아니라 투입위치, 별도 건조·가열 여부, 화염 직접 접촉 여부, 수분 함량, 생산 온도, 연료, 버너 운전 상태 및 포집조건을 동시에 조사할 필요가 있다.

4. 아스콘 사업장의 관리 및 개선방안

4.1 배출경로별 관리 우선순위와 단계적 개선전략

제3절에서 검토한 바와 같이 아스콘 제조시설의 배출 특성은 공정과 배출경로에 따라 구분하여 관리할 필요가 있다(표 4). RAP 및 신골재의 저장·파쇄·이송 공정에서는 비산먼지 억제가 우선되어야 하며, 아스팔트 바인더 저장탱크, 저장 사일로 및 차량 출하부에서는 아스팔트 흠(fume) 및 청연 배출관리와 악취의 밀폐·포집이 중요하다. 건조·가열·혼합공정에서는 연료와 버너 상태, 생산 온도 및 RAP 투입조건을 관리하고, 포집된 배출가스는 원심력집진시설과 여과집진시설을 통해 입자상 물질을 적정 처리해야 한다.

기존 원심력집진시설과 여과집진시설은 차압, 입구 온도, 탈진 장치, 호퍼 배출, 덕트 누기 및 송풍기 상태를 중심으로 관리해야 한다. 다만 입자상 물질에 대한 집진 성능이 VOCs나 가스상 HAPs의 처리성능을 의미하지는 않는다. 따라서 추가 관리항목이 반영된 사업장에서는 대표 운전조건에서 배출가스 유량과 오염물질 농도, 수분, 온도, 산소농도 및 분진 부하를 확인하고 기존 방지제통의 적용 가능성을 별도로 평가해야 한다.

시설개선은 ① 연료·버너·생산 온도 등 발생조건의 개선, ② 주요 발생원의 밀폐와 국소 포집, ③ 포집가스

의 대표성 있는 측정, ④ 사업장 조건에 적합한 방지기술 선정, ⑤ 개선 전·후 오염물질 배출량과 장기 운전 상태의 검증 순으로 추진하는 것이 타당하다. 방지기술은 제거효율만으로 선정하기보다 배출가스 유량과 농도, 조업 변동성, 전처리 필요성, 에너지 사용, 2차 오염물질, 화재·폭발 위험 및 유지관리 능력을 함께 고려해야 한다.

4.2 인허가 및 지원체계 개선방안

4.2.1 업종별 인허가·측정 가이드라인 마련

현행 설치허가 적용기준과 배출허용기준은 각각 허가대상 판단과 가동 중 배출농도 관리라는 서로 다른 기능을 가진다. 그러나 아스콘 제조 공정별 배출원, 대표 시료채취 지점, 최대부하 운전조건 및 비산배출원의 포함범위에 관한 세부 적용방법은 충분히 구체화되어 있지 않다. 따라서 국가 차원의 업종별 가이드라인에는 일반·순환아스콘 공정별 배출원, 우선 조사물질, 시료채취 지점, 대표 운전조건, 자료의 대표성 판단 방법, 허가 검토절차 및 사후관리 기준을 포함할 필요가 있다. 특히 굴뚝뿐 아니라 저장탱크 벤트, RAP 가열부, 저장 사일로 및 차량 출하부의 처리방식을 명확히 제시해야 한다.

4.2.2 사업장 맞춤형 기술선정과 성능 기반

지원체계 구축

아스콘 사업장은 생산규모, 연료, RAP 사용조건, 작업시간 및 포집 가능성이 서로 다르므로 특정 방지기술을 일률적으로 적용하기 어렵다. 사업장 지원은 단순한 노후 방지시설 교체보다 사전 기술진단, 발생원 개선, 밀폐·포집, 후보 방지기술의 적합성 평가, 개선 전·후 성능검증 및 사후 모니터링을 연계하는 방식으로 추진할 필요가 있다.

지원대상은 사업장 종별만으로 결정하기보다 실제 배출 특성, 주변 민감지역과의 거리, 예상 저감효과, 기술적 시급성 및 사업자의 유지관리 역량을 종합적으로 평가하여 선정하는 것이 바람직하다. 지원시설의 준공 이후에도 차압, 온도, 송풍기와 배출시설의 가

동 상태, 자가측정 결과 및 주요 비산배출원의 관리 상태를 일정 기간 확인하여 개선효과의 지속성을 평가해야 한다.

5. 결 론

본 연구는 국내 22개 아스콘 사업장의 인허가 자료와 현장 조사를 바탕으로 사업장 규모, 조업조건, 연료, 인허가상 관리항목, RAP 관련 공정 및 방지시설 구성을 분석하였다. 조사대상은 설치신고 사업장 15개소와 설치허가 사업장 7개소로 구성되었으며, 먼지, SO_x 및 NO_x는 모든 사업장의 인허가 자료에 공통적으로 기재되어 있었다. 설치허가 사업장에서는 HAPs 또는 기타 유기성·가스상 항목이 추가로 반영되어 있었다. 방지시설의 기본 계통은 원심력집진시설과 여과집진시설로 구성되었으며, 연소조절시설과 산화·환원시설이 추가된 사례는 각각 1개소였다. 순환아스콘을 생산하는 RAP 관련 공정은 6개소에서 문서상 명시적으로 확인되었고, 7개소에서는 시설 구성상 사용 가능성이 나타났으나 직접 확인되지는 않았으며, 9개소에서는 검토 자료의 범위에서 관련 근거가 확인되지 않았다. RAP 혼입률과 투입·가열조건은 모든 사업장에서 확보되지 않아 RAP 사용에 따른 배출 특성을 직접 비교하지는 못하였다. 이상의 결과는 일부 사업장에서 인허가상 관리범위가 HAPs와 기타 유기성 물질로 확대되어 있으나, 현장의 기본 방지시설은 대부분 입자상 물질 집진계통을 중심으로 구성된 한계점을 확인하였다.

향후 아스콘 사업장에 대한 인허가 및 관리 가이드라인이 필요하며, 사업장별 발생원 개선과 밀폐·포집, 적정 방지기술 선정, 성능검증 및 사후 모니터링을 연계하는 방향으로 지원체계를 개선할 필요가 있다.

감사의 글

본 논문은 충남녹색환경지원센터의 재원으로 수행

된 “아산시 악취배출원 및 민원 특성을 반영한 맞춤형 악취저감 방안 연구(26SU0001)”의 일환으로 수행되었습니다. 이와 함께 현장 조사에 도움을 주신 대구녹색환경지원센터, 강원녹색환경지원센터, 충남녹색환경지원센터와 관련 지자체에 감사드립니다.

References

- Ga, H.-G., Mun, S.-H. (2022) A Study on the Performance Evaluation of Reclaimed Asphalt Concrete Mixture with Rejuvenator, *Land and Housing Review*, 13(4), 125-134, (in Korean with English abstract). <https://doi.org/10.5804/LHIJ.2022.13.4.125>
- Gil, H.N., Gong, B., Kang, D.I., Jo, H., Kim, K., Jeong, J.E. (2025) Emission Characteristics of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons from Asphalt Concrete Manufacturing Facilities in South Korea, *Atmosphere*, 16, 1006. <https://doi.org/10.3390/atmos16091006>
- Jang, E., Hwang, K., Noh, S., Kim, D., Kim, J., Shin, I.-C., Kim, Y.-J., Park, S., Kim, J.B. (2025) Characteristics of Air Pollutants Emitted from Direct-Fired Grill Restaurants and Policy Proposal for Small-scale Facility Support Project, *Journal of Korean Society for Atmospheric Environment*, 41(1), 124-136, (in Korean with English abstract). <https://doi.org/10.5572/KOSAE.2025.41.1.124>
- Jang, K.-W., Lee, S.-B., Kim, J.H., Kim, H.-C., Hong, J.-H., Kim, S.-K. (2014) A Study on Estimating PM Emission from Asphalt-Concrete Manufacturing Facilities, *Journal of Korean Society for Atmospheric Environment*, 30(1), 37-47, (in Korean with English abstract). <https://doi.org/10.5572/KOSAE.2014.30.1.037>
- Jeong, S., Do, W., Cha, Y., Kang, N., Jung, J., Lee, Y. (2026) The Study of Characteristics for Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs) in Air around Ascon Manufacturing Facilities, *Journal of Korean Society of Environmental Engineers*, 48(5), 87-103, (in Korean with English abstract). <https://doi.org/10.4491/KSEE.2026.48.5.87>
- Kang, K.-G., Jo, H., Kim, M., Kang, D., Kim, S., Gōng, B. (2025) VOCs emission characteristics of ascon plant in Korea, *Journal of Odor and Indoor Environment*, 24(1), 50-61, (in Korean with English abstract). <https://doi.org/10.15250/joie.2025.24.1.62>
- Khare, P., Machesky, J., Meganhe, R.S., Presto, A.A., Gentner, D.R. (2020) Asphalt-related emissions are a major missing nontraditional source of secondary organic aerosol

- precursors, *Science Advances*, 36(6), ebb9785. <https://doi.org/10.1126/sciadv.abb978>
- Kim, K., Sim, W., Lee, J., Kim, K., Lee, J., Park, E., Heo, J., Kwon, M. (2024) A study on the Emission characteristics of VOCs at Ascon plant (Report of 2024 Research Project), Incheon, South Korea, (in Korean with English abstract). <https://www.incheon.go.kr/ecopia/EC040401/2232469> (accessed on 18 Jul. 2026).
- Korea Federation of Asphalt Concrete Industry Cooperatives (KACC) (2026a) Member Status. <http://www.ascon.or.kr/ASCON/Type3/View/Introduction/memberList.jsp> (accessed Jul. 17, 2026).
- Korea Federation of Asphalt Concrete Industry Cooperatives (KACC) (2026b) Production and Shipment Statistics. <http://www.ascon.or.kr/ASCON/Type3/View/StatisticalData/result.jsp> (accessed on 18 Jul. 2026).
- Lasne, J., Lostier, A., Salameh, T., Athanasopoulou, E., Karagiannis, D., Kakouri, A., Vassaux, S., Lesueur, D., Romanias, M.N. (2022) NO_x emissions by real-world fresh and old asphalt mixtures: Impact of temperature, relative humidity, and UV-irradiation, *Urban Climate*, 49, 101457. <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2023.101457>
- Lee, K., Choi, S., Kim, M., Song, D., Kim, K.-Y. (2020) Airborne Levels of Lung Carcinogens at an Ascon Manufacturing Site, *Aerosol and Air Quality Research*, 20, 1411-1417. <https://doi.org/10.4209/aaqr.2019.09.0456>
- Lee, W.-J., Chao, W.-H., Shih, M., Tsai, C.-H., Chen, T.J.-H., Tsai, P.J. (2004) Emissions of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons from Batch Hot Mix Asphalt Plants, *Environmental Science and Technology*, 38(2), 5274-5280. <https://doi.org/10.1021/es035455d>
- Lee, Y., Gil, H., Kim, K., Kang, D., Jeon, J., Gong, B. (2025) Emission characteristics of odor substances from Ascon Plant in Korea, *Journal of Odor and Indoor Environment*, 24(1), 50-61, (in Korean with English abstract). <https://doi.org/10.15250/joie.2025.24.1.50>
- Ministry of Climate, Energy, and Environment (MCEE) (2016) Act on the Promotion of Saving and Recycling of Resources. <https://law.go.kr/LSW/LSInfoP.do?lsiSeq=167401&urlMode=engLSInfoR&viewCls=engLSInfoR#0000> (accessed on 18 Jul. 2026).
- Ministry of Climate, Energy, and Environment (MCEE) (2026a) Clean Air Conservation Act, [Enclosure 8] Permissible Emission Standards for Air Pollutants. https://www.law.go.kr/DRF/lawService.do?OC=dl_lawinfosearch&target=law&MST=288199&type=HTML&mobileYn=&efYd=20260715 (accessed on 18 Jul. 2026).
- Ministry of Climate, Energy, and Environment (MCEE) (2026b) Clean Air Conservation Act, [Enclosure 3] Air Pollutant Emission Facilities. https://www.law.go.kr/DRF/lawService.do?OC=dl_lawinfosearch&target=law&MST=288199&type=HTML&mobileYn=&efYd=20260715 (accessed on 18 Jul. 2026).
- National Institute of Environmental Research (NIER) (2012) A Study in the Licensing & Certification System to Improve Asphalt Manufacturing Facility, (in Korean with English abstract). <https://scienceon.kisti.re.kr/commons/util/originalView.do?cn=TRKO201700008243&dbt=TRKO&rn=>
- Ro, J.S., LEE, K. (2021) Development of malodor remove solution for recycled ascon using microbial mineral and plant systems, *Korean Journal of Hazardous Materials*, 9(2), 1-5, (in Korean with English abstract). <https://doi.org/10.31333/kihm2021.9.2.01>
- Shin, J.-W., Lee, S.-H., Cho, S.-G., Kim, K.-Y., Yang, H.-W., Lee, S.-J., Chu, W.-J., Lee, C.-D., Kwak, W.-S., Kwon, M.-J. (2022) A Study on Management Plans for Hazardous Air Pollutants (HAPs) from Asphalt Concrete Manufacturing Facilities (Report of 2021 Research Project), Incheon, South Korea, (in Korean with English abstract). <https://www.incheon.go.kr/ecopia/EC040401/2083358>
- United States Environmental Protection Agency (U.S. EPA) (2004) AP-42, Fifth Edition, Volume I, Chapter 11: Mineral Products Industry, Section 11.1 Hot Mix Asphalt Plants, Office of Air Quality Planning and Standards, Research Triangle Park, NC, USA. <https://www.epa.gov/sites/default/files/2020-10/documents/c11s01.pdf> (accessed on 18 Jul. 2026).
- Wang, D., Nie, L., Zhang, X., Ying, N., Yang, L., Zhang, W., Zhao, W., Qu, S. (2023) Atmospheric Pollutant Profile of a Road Asphalt Application: Highly Socioeconomic Development-Related Emission, *Environmental Science & Technology Letters*, 10(5), 398-403. <https://doi.org/10.1021/acs.estlett.3c00011>
- Xiu, M., Wang, X., Marawska, L., Pass, D., Beecroft, A., Mueller, J.F., Thai, P. (2020) Emissions of particulate matters, volatile organic compounds and polycyclic aromatic hydrocarbons from warm and hot asphalt mixes, *Cleaner Production*, 275, 123094. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.123094>

Authors Information & Contributions

김종범 (충남연구원 서해안기후환경연구소 연구위원, kjb0810@cni.re.kr) Conceptualization, Writing - original draft

황규철(충남연구원 서해안기후환경연구소 연구원, 국립부경대학교 지구환경시스템과학부 환경대기과학전공 박사과정, kchwang@cni.re.kr) Data curation, Visualization

이혜연(충남연구원 서해안기후환경연구소 연구원, yeonii530@cni.re.kr) Formal analysis, Visualization

박세찬(충남녹색환경지원센터 부장, scpark@cngec.or.kr) Investigation

김현수(대구녹색환경지원센터 팀장, pointcountry@nate.com) Investigation

편도철(대구연구원 부연구위원, do@dpi.re.kr) Software, Writing - review & editing

김정호(열린공간 소장, jeongho@flux@naver.com) Conceptualization, Project administration, Supervision, Writing - original draft