

간이이동법에 의한 페아스콘 재생시 대기오염물의 배출분석에 대한 실험적 연구

이 병 규 · 김 행 아 · 정 의 량 · Trang Duong · 채 포 기 · 박 경 원
울산대학교 건설환경공학부, "영중산업(주) 기술연구소
(2007년 2월 28일 접수; 2007년 3월 20일 채택)

A Pilot Study on Emission Analysis of Air Pollutants Produced from Portable Recycling of Asphalt Concrete

Byeong-Kyu Lee, Haengah Kim, Uiryang Jeong,
Trang Duong, Pogi Chae and Kyungwon Park

Department of Civil and Environmental Engineering, University of Ulsan, Ulsan 680-749, Korea

"Young-Jong Pavement Technology, Samdong-myun, Ulju-gun, Ulsan 689-932, Korea

(Manuscript received 28 February, 2007; accepted 20 March, 2007)

Currently, portable equipment for recycling of waste asphalt concrete (ASCON) has been used. However, any air pollution control devices are not attached in the simple portable one. Thus, a lot of air pollutants have been produced from recycling processes of waste ASCON which resulted from aging of paved roads or repavement of roads. This study deals with a preliminary result of concentration analysis of air pollutants obtained from a pilot and a real recycling processes of waste ASCON using simple portable recycling equipment. Air pollutants were taken from 4 steps of the pilot recycling process including an initial heating by liquid petroleum gas (LPG), intermediate heating and melting (H&M) process, final H&M process, and pavement processes using recycled ASCON at the recycling site. Also, air pollutants were taken from 4 steps of the real recycling processes including an initial H&M, final H&M and mixing, loading of recycled ASCON to dump trucks, and at the recycling site after leaving the loaded dump trucks for real pavement sites. The air pollutants measured in this study include volatile organic compounds (VOCs), aldehydes, particulate matter (PM: PM1, PM2.5, PM7, PM10, TSP (total suspended particulate)). The identified concentrations of VOCs increased with increasing time or degree for H&M of waste ASCON. In particular, very high concentrations of the VOCs at the status of complete melting, which is exposed to the air, of the waste ASCON just before paving by the recycled ASCON at the recycling site. Also, considerable amount of VOCs were identified from the recycling equipment after the dump trucks loaded by recycled ASCON leaved the recycling site for the pavement sites. The relative level of formaldehyde exceeded 80% of the aldehydes identified in the recycling processes. This is because the waste ASCON is exposed to direct flame of LPG during H&M processes. The PM concentrations measured in the winter recycling processes, such as the loading and rotation processes of waste ASCON into/in the recycling equipment for H&M, were much higher than those in the summer ones. In particular, the concentrations of coarse particles such as PM7 and PM10 during the winter recycling were very high as compared those during the summer one.

Key Words : Asphalt concrete, Air emission, Recycling, Particulate matter, Heating

1. 서 론

2005년 12월 31일 현재 우리나라의 전체 도로의 종합적 포장율은 76.8%이다¹⁾. 이를 각각의 도로의 종류나 지역별로 구분할 때의 포장율은 다음과 같다: 군도, 시도, 그리고 지방도로가 각각 36.6%, 66.8% 및 79.0%로 상대적으로 낮지만, 특별시 및 광역시도의 도로와 일반국도의 경우 각각 99.4% 및 97.3%로 매우 높은 비율을 차지하고 있다. 고속도로를 제외한 대부분의 도로는 아스팔트 콘크리트(아스콘) 포장도로이다. 한국아스콘공업협동조합연합회 자료에 의하면 2004년 12월 현재 국내에서는 연간 31,622천톤의 아스콘이 생산되고 있다²⁾. 아스콘 포장도로의 보급증대에 따라 도로 포장 후 경과된 시간이 오래된 도로도 증가하고 있으며, 기상이나 날씨현상 등의 잦은 변화와 도로 설계시보다 초과하고 있는 교통량 및 통과차량의 과도한 하중 등으로 노후화된 도로가 지속적으로 늘어나고 있다³⁾. 그래서 도로의 재포장 등에서 페아스팔트 콘크리트(이하 페아스콘)의 발생이 지속적으로 늘어나고 있다. 페아스팔트 콘크리트(이하 아스콘)는 각종 도로 및 주차장 등에 사용된 아스팔트 콘크리트(이하 아스콘)를 도로나 주차장의 포장 상태의 노후화나 가스공사나 지하매설공사로 포장면의 질삭 및 평삭 등으로 발생하는 물질의 상태를 말한다. 이런 페아스콘의 발생량은 국가 경제 규모의 발전과 도로의 면적의 증가, 그리고 기 포장된 도로의 노후화 가속 등으로 해마다 크게 증가하고 있다. 2000년도부터 2002년도까지는 연간 페아스콘 발생량이 415, 500, 537만 톤으로 증가하여 연간 15 - 20%의 증가율을 보였다⁴⁾. 그러나 2003년도 및 2004년도에는 각각 670만 톤 및 736만 톤의 페아스콘이 발생하였다⁵⁾. 그래서 2003년도와 2004년도에는 2002년도의 페아스콘 발생량에 비하여 각각 25% 및 37%의 증가율을 나타내었다⁶⁾. 이런 추세대로 페아스콘의 발생량이 매년 증가한다면 머지않아 연간 1,000만 톤 이상이 발생될 것으로 추정된다. 국내에서는 발생하는 페아스콘의 극히 일부분만 재활용되고 거의 대부분 방치되거나 매립되고 있어서 심각한 환경오염문제가 제기되고 있다⁷⁾.

2005년 1월 1일부터 시행되고 있는 건설폐기물 재활용 촉진법에 의하면 아스콘을 생산할 때 원료로 페아스콘을 30~50%를 투입할 수 있도록 규정하고 있다⁸⁾. 또한 2006년 1월 1일 이후 모든 아스콘 제조자는 의무적으로 페아스콘 재활용을 의무화하는 규정이 공포되었다⁸⁾. 그러나 아직 페아스콘의 재생과 관련된 기술이 확보되지 않아서, 임시방편으로 간이이동식 재생법에 의한 페아스콘을 재생하여 사용하고

있는 실정이다. 그러나 간이이동법에 의한 페아스콘 재생과정은 그냥 단순히 페아스콘을 가져와서 단순히 가열 용융하여 재생아스콘을 만들기 때문에 생산된 아스콘의 품질저하는 물론이고 상당한 양의 대기오염물이 발생될 것으로 예측된다. 그럼에도 불구하고 페아스콘의 재생을 위한 간이이동식 재생장치에는 대기오염물의 배출을 방지하는 시설이 전혀 없다. 따라서, 간이이동법에 의한 페아스콘의 재생 과정에서 발생하는 휘발성유기화합물 및 알데하이드의 성분을 분석하고, 입자상오염물의 입자크기별 배출농도에 대한 기초분석을 수행하였다.

2. 재료 및 방법

현재, 국내에서는 페아스콘을 성공적으로 재활용하고 있는 업체는 거의 없는 것 같다. 대부분 하루 2 - 3톤 정도의 소규모 간이 재활용시설을 이용하여 페아스콘을 재생하는 정도로 알려져 있다. 본 연구에서는 (주)영중산업에서 운영하고 있는 이동식 간이 페아스콘의 재생시설을 활용하였다. 본쇄나 입도의 조절 없이 도로에서 파쇄하여 얻어진 약 1톤 및 3톤의 페아스콘을 벌크상태로 아스텐 쿡(Asten Cook) 086 간이 재활용시설에서 액화석유가스(LPG 가스) 불꽃에 직접 접촉시키면서 가열하여 재생 아스팔트를 생산하는 실험적 재생과정과 실제적 재생 과정에 발생하는 공기시료를 포집 분석하였다. 우선, 페아스콘을 간이로 재생하는 현장에서 실험적으로 약 1톤 정도의 소규모 페아스콘을 재생 하여 포장하는 일련의 단계에서 공기중으로 배출되는 대기오염물의 공기 중 시료를 포집하였다. 실험적 재생 과정은 1) 초기 가열과정(열원인 LPG 불꽃만 거의 있는 상태), 2) 중간가열 및 용융과정(부분적 벌크 상태 및 용융상태), 3) 최종가열 및 용융과정(거의 대부분이 용융상태), 그리고 4) 용융된 페아스콘의 포장단계를 포함하였다. 두 번째는 약 3톤의 페아스콘을 실제적으로 재생하는 4단계로 구분하여 공기 중 시료를 포집하였다. 실제적 재생과정은 1) LPG 불꽃에 의한 초기 가열 및 용융과정, 2) 페아스콘의 용융 또는 재생 종료과정, 3) 용융된 페아스콘을 덤프트럭에 실는 과정, 4) 재생된 아스콘을 실은 트럭이 재생현장을 떠나고 재생장치의 불을 끄고 난 뒤 안정화된 상태의 재생현장에서의 시료 포집 등으로 구분하였다.

2.1. 휘발성유기화합물 시료포집 및 분석

본 연구를 진행한 페아스콘 재생현장은 울산의 전형적인 시골지역으로 그 현장과 50m의 거리에 교통량이 매우 적은 2차선 도로가 통과하고 있었다. 재생현장에 간이이동식 재생기를 이용하여 페아스

콘을 위에서 언급된 바와 같은 재생과정에서 배출되는 휘발성 유기화합물 (Volatile Organic Compounds: VOCs)을 포집하였는데, 공기시료는 실험적 안전성 및 편리성을 위하여 재생장치나 재생과정의 80-90cm의 위치에서 포집되었다. 페아스콘 재생과정에서의 공기시료는 개인용 펌프와 공기시료 채취용 백 (5 L) 을 이용하여 50 ml/min의 유량으로 약 10분간 포집하였다. 포집된 공기시료중의 VOCs에 대한 성분 및 상대 농도분석은 Cryogenic 농축기와 가스크로마토그래피 (GC-MSD)를 이용하였다. 농도분석에 사용된 가스크로마토그래피는 HP GC 5890 series II 이었으며, Column은 HP-PONA (50m x 0.2m x 0.5mm)를 사용하였다. 운반가스로써 헬륨 (0.7 ml/min, 1.5 kgf/cm³)을 사용하였고, 저온 농축된 VOCs를 승온 프로그램 (Temperature Programing)을 이용하여 오븐온도를 승온하면서 탈착하여 VOCs의 성분을 분석하였다. 즉, 오븐의 온도는 30℃에서 15분간 유지시킨 후 분당 3℃씩 온도를 높여 150℃까지 올리고, 그 이후로는 다시 분당 10℃씩 온도를 높여 200℃까지 오르게 한 후 10분간 머무르게 한 후 325℃까지 온도를 올리는 전형적인 승온 프로그램을 이용하였다. 검출기로써는 질량분석 검출기 (mass detector: HP MSD, HP 5971 series)를 사용하였다. 성분의 확인은 HP 599944C MS ChemSystem과 Library search (Wiley 138 K data base, HP 59943B REV. B.00.00)을 사용하였다.

2.2. 알데히드류 시료포집 및 분석

아스콘 재생기의 건조기 굴뚝에서 배출되는 알데히드류는 2,4-Dinitrophenyl hydrazine (DNPH) cartridge에 알데히드를 흡착시켜 알데히드와 2,4-Dinitrophenyl hydrazone을 만들고 이를 용출하여 알데히드 농도를 분석하는 방법을 사용하였다. 개인 공기시료 채취펌프를 사용하여 350mg의 DNPH-silica를 충전한 LpDNPH cartridge (supelco)와 오

존의 간섭을 제거하기위한 KI 결정을 채운 O₃ Scrubber cartridge 앞에 장착하여 페아스콘의 재생과정동안의 공기시료를 포집하였다. Aldehyde-Hydrazone 유도체를 dichloromethane으로 용출하고 0.5um의 필터로 여과한 후 이를 HPLC (Varian Prostar HPLC)로 정량 및 정성분석을 실시하였다.

2.3. 입자상 오염물의 입경별 농도분포

아스콘 재생기의 건조기 굴뚝에서 배출되는 입자상 오염물의 입경별 농도분포는 GT-331을 이용하였다. GT-331은 입자상 오염물의 크기를 광산란방식으로 입경별 (PM1, PM2.5, PM7, PM10)로 구분하고 각 입경별 수농도를 측정된 후 이를 질량농도로 환산하여 평가하게 되는 방식이다. 총부유분진 (TSP)은 입경별 입자상 오염물의 농도를 모두 합하여 계산하는데, 총 농도는 PM1, PM2.5, PM7, PM10를 합하되 중복될 수 있는 부분을 제거하고 PM10 이상의 농도를 평가하는 방식으로 TSP가 자동으로 계산되어진다. 수분이 많거나 온도차가 클 경우에는 GT-331로 측정된 농도는 1차 측정방식 (Gravimetric method)과는 약간의 차이가 날 수 있다. 그러나 본 연구에서 사용된 두 대의 GT-331은 1차 측정방식으로 교정되었으며, 측정 전에 같은 조건으로 반복 측정분석한 결과 두 대의 GT-331간의 입자상오염물의 농도는 초기 비교분석 측정시간 (20분 이내)에는 5%미만이였다. 그리고 비교측정시간이 경과될수록 측정된 농도 값의 차이는 점점 줄어들어 더욱 안정한 값을 나타내었다. 본 연구에서는 측정 전에 GT-331을 30분이상 충분히 Warming Up 하여 사용하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 휘발성유기화합물 배출 분석결과

Table 1, Fig. 1 및 2에는 실험적으로 페아스콘을 재생하는 4 단계의 과정에서 검출된 VOCs의 농도

Table 1. Identified major aromatic VOCs from a pilot recycling of waste ASCON

Status of Heating & Melting (H&M)	Initial H&M by LPG	Medium H&M	Final H&M	Paving by Recycled Ascon
VOCs	Concentration (µg/m ³)			
Benzene	182.7	654.4	239.3	53.7
Toluene	1245.9	849.2	597.3	693.7
Ethyl-benzene	2.6	3.9	10.5	63.0
m, p-Xylene	1.1	5.4	281.3	1002.5
o-Xylene	23.2	32.5	95.9	69.7
1,2,4-trimethyl benzene	6.4	2.3	12.6	617.8
1,2,5-trimethyl benzene	57.1	58.8	1.4	110.5
Styrene	0.0	0.0	24.3	320.7

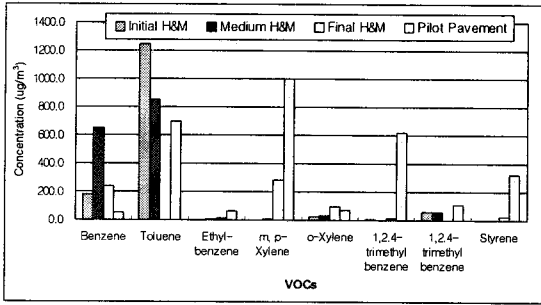


Fig. 1. VOCs obtained from a pilot recycling steps of waste ASCON.

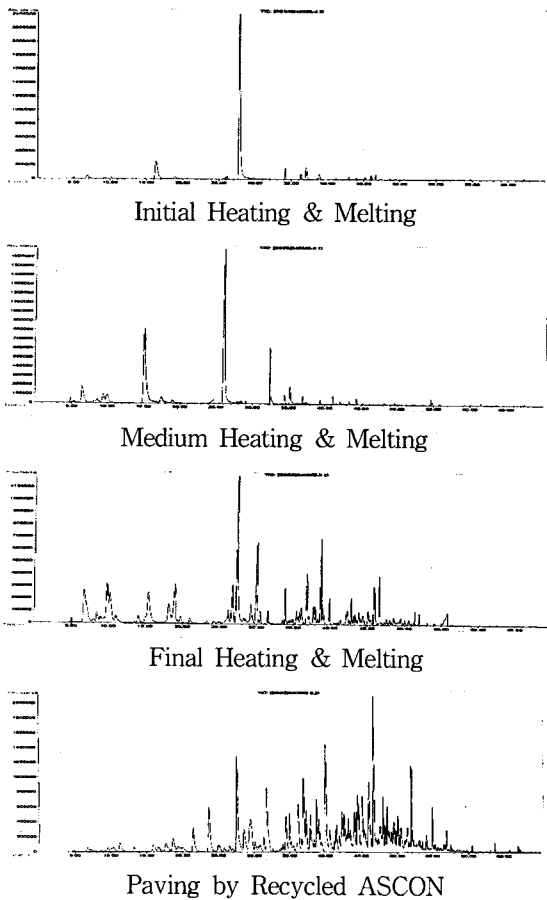


Fig. 2. Chromatogram of VOCs obtained from a pilot recycling steps of waste ASCON.

를 나타내었다. 1 단계 (LPG를 이용한 초기 가열 및 용융)의 과정에서는 LPG의 연소에 의한 VOCs가 주로 검출되었다. 중간단계의 가열 및 용융과정에서는 LPG의 연소뿐만 아니라 아스팔트 성분자체가 열과 접촉되거나 열분해에 의한 VOCs가 주로

검출되었다. 페아스콘이 거의 용융될 때의 최종단계의 가열 및 용융과정에서는 초기 및 중간 단계의 가열 및 용융상태보다도 더 많은 양의 VOCs가 더 높은 농도로 검출되었다. 증가된 대기오염물의 배출량은 연소상태에 의한 영향뿐만 아니라 페아스콘의 용융상태가 높아지고 이들의 불꽃에 의한 접촉도 더 많이 이루어짐으로써, 고온 용융 상태에서 아스팔트 및 첨가 성분의 열분해에 주로 기인된다고 판단된다. 마지막으로, 최종가열 및 용융된 아스팔트를 도로포장하기 직전 지표면에 부었을 때의 VOCs의 전체적인 배출농도는 더욱 높았다. 1 - 3 단계과정의 가열 및 용융상태에서 많이 검출되었던 물질의 농도는 상대적으로 줄어들었지만, 용융 재생된 아스팔트 및 첨가성분, 그리고 발생된 VOCs가 공기 및 햇빛과의 접촉이 활발해 지면서 1 - 3 단계에서와는 다른 종류의 VOCs 농도가 높아졌다. 페아스콘의 가열 및 용융상태, 재생아스콘의 포장 직전의 상태에 따른 주요 VOCs 물질의 농도를 요약하면 다음과 같다. 벤젠은 US EPA (US Environmental Protection Agency)와 IARC (International Agency on Cancer Research)에 의한 발암성 분류에서 각각 Group A (A2) 및 Group 1 (carcinogenic to humans)으로 평가된 1급 발암성 유해물질이다. 벤젠은 중간가열 및 용융상태에서 가장 높은 농도를 나타내었는데, 이는 LPG 불꽃보다는 아스팔트의 불꽃에의 노출 및 고온과의 접촉에서 주로 발생된다고 볼 수 있다. 그러나 포장 직전의 상태에서 벤젠의 농도는 다른 상태에 비하여 매우 낮았다. 대기중에서 가장 흔한 VOCs 중의 하나인 톨루엔은 LPG만으로 가열할 시 가장 높은 농도를 나타내었고 대체로 가열 및 용융상태가 더하여 집에 따라 상대적 농도 감소가 있었다. Xylenes이나 Trimethyl benzenes, 그리고 Styrene은 LPG만의 불꽃가열 상태에서는 아주 낮은 농도로 확인되었지만, 가열 및 용융 정도가 더함에 따라 더 높은 농도를 나타내었다. 특히, 포장 직전 공기중에 노출된 완전용융 상태에서는 이들 세 종류의 VOCs의 농도는 다른 가열 및 용융 상태에 비하여 매우 높은 농도를 나타내었다.

Table 2와 Fig. 3에는 실제 현장에 도로포설용으로 사용하기 위하여, 실험적 페아스콘 재생과정과 유사하게 제조하여 트럭에 Loading 하는 과정과 트럭 출발 후 재활용 현장에서 과정 등에 대한 주요 VOCs 분석결과를 나타내었다. 페아스콘의 실제 재생과정에서 LPG를 이용한 초기용융단계에서 벤젠과 같은 유해성 화학물질의 농도가 높게 검출되었다. 또한 용융과정이 더 진행될수록 초기용융 과정에서 보다는 방향족 VOCs의 농도가 점점 더 높아

Table 2. VOCs identified from a real recycling of waste ASCON for road pavement

VOCs	Initial melting	Final melting	Truck loading	After sending recycled ASCON
	농도 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)			
Benzene	54.44	0	3.61	1.09
Toluene	11.36	6.95	3.1	11.24
Ethyl-benzene	0	0	0	26.75
m, p-Xylene	1.12	24.55	1.73	25.85
o-Xylene	0	38.1	3.33	40.13
1,2,4-trimethyl benzene	0	233.66	8.29	19.23
1,2,5-trimethyl benzene	0	48.1	2.18	40.18
heptane	0.02	0.02	0.01	0.03
methylcyclohexane	0	0.02	0	0.04
decane	0.14	6.06	0.24	0.16
undecane	0.45	7.6	0.26	8.42

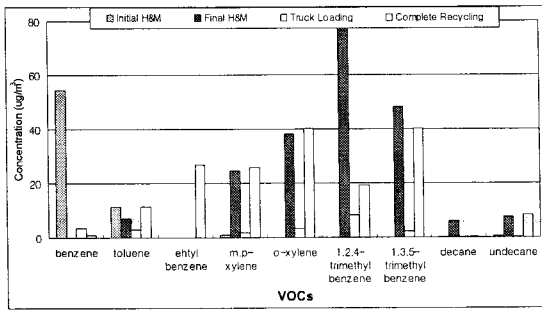


Fig. 3. VOCs obtained from a real recycling steps of waste ASCON.

지는 경향이 나타났다. 재생된 아스콘을 생산 직후 트럭에 Loading하여 트럭이 재생현장을 떠나 포설 현장을 향한 후 재생장치의 불을 끄고 난 뒤 재생현

장에서 높은 상대적으로 VOCs의 농도가 검출되었다. 이는 불꽃을 끄에 의한 불완전 연소와 트럭으로 Loading 과정에서 대기 중으로 배출된 VOCs 등의 영향으로 추정된다. 따라서, 대규모로 폐아스콘 재생시설을 운전할 때, 연료의 불꽃이 종료된 뒤의 상당기간동안에도 대기오염방지시설을 가동하여야 할 것으로 판단된다.

3.2 알데히드류의 농도분석 결과

Table 3에는 벌크상태의 폐아스콘을 간이이동식 아스콘재생기에 집어넣고 LPG 버너로 용융하여 재생아스콘을 만들 때 배출된 알데히드류의 종류와 그들의 농도를 나타내었다. 알데히드류의 성분분석은 VOCs의 경우와는 달리 폐아스콘의 초기, 중감 및 최종 용융과정 전체를 하나의 일련의 배출과정으로 간주하고 포집분석 되었다. 알데히드류의 분석

Table 3. Aldehydes identified from a pilot recycling of waste ASCON

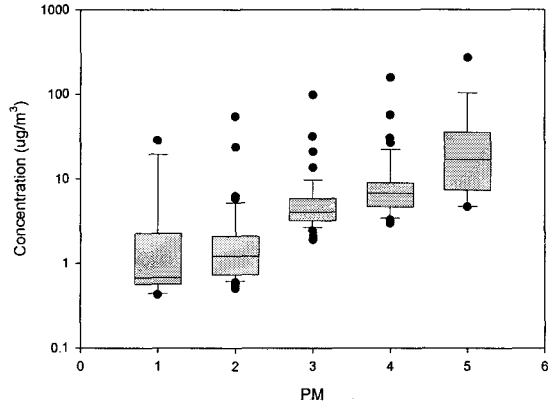
Aldehyde name	Concentration (ppb)				Relative Average Concentration (%)
	Trail 1	Trail 2	Trail 3	Average	
Formaldehyde	804.5	2847.8	2293.3	1981.9	80.4
Acetaldehyde	484.1	55.87	122.1	220.7	9.0
Acrolein	112.5	-	-	37.5	1.5
Acetone	235	32.3	44.6	104.0	4.2
Propionaldehyde	5.9	-	-	2.0	0.01
Crotonaldehyde	212.8	22.7	18.7	84.7	3.4
Butyraldehyde	15.5	-	0	5.2	0.2
I-Valeraldehyde	7	19.3	15	13.8	0.6
Hexaldehyde	16.3	-	0	5.4	0.02
m-Tolualdehyde	X	28.5	0	9.5	0.04
Total	1893.6	3006.4	2493.6	2464.7	100

에서 DNPH (2,4-dinitrophenylhydrazine) 흡착튜브를 사용하였기 때문에 DNPH와 알데히드류의 반응에 필요한 튜브내에서 공기의 일정한 체류시간이 요구된다. 따라서, 공기의 흐름속도를 너무 크게 하기 어렵고 포집공기의 양이 충분하지 않을 경우 소량으로 검출되는 알데히드류의 검출한계 등으로, VOCs의 검출의 경우와는 달리 모든 재생과정 (주로 가열 및 용융과정)을 분리포집 하지 않았다. 페아스콘의 재생과정에서 검출된 알데히드류의 80%이상은 포름알데히드로 확인되었는데, 이는 페아스콘에 있는 아스팔트 성분이 직접 LPG 불꽃에 노출되기 때문으로 판단된다. 즉, US EPA와 IARC의 발암성 평가에서 A2 와 2A (Probably carcinogenic to humans)로써 분류된 포름알데히드는 LPG의 산화과정과 아스팔트 성분의 산화 및 열분해 과정에서 발생되었을 것으로 추정된다. 다음으로, US EPA 평가에서 B1 (Probably carcinogenic to humans)로써 분류된 아세트알데히드가 약 9% 정도로 검출되었다. 따라서, 발암가능성이 높은 알데히드류가 상당히 검출되므로, 재생과정에서 Stack이나 배출구 근처에서의 인체 노출을 최소화하여야 할 것으로 판단된다.

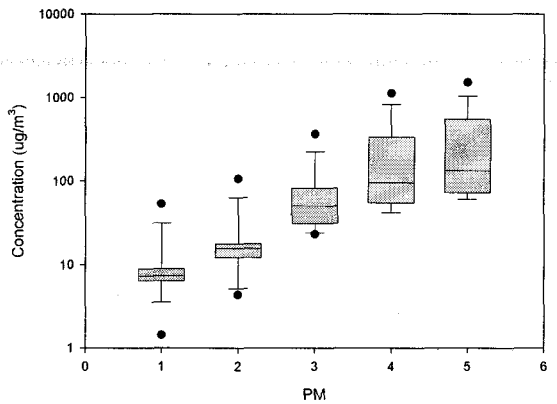
3.3. 간이이동식 페아스콘 재생과정에서의 입경별 농도분석 결과

Fig. 4에는 벌크상태의 페아스콘을 간이이동식 아스콘재생기에 집어넣고 LPG 버너로 용융하여 재생아스콘을 만드는 과정에서 여름철과 겨울철에 검출된 입자상오염물 (PM: PM1, PM2.5, PM7, PM10, TSP)의 농도분포를 나타내었다. 전 입자상 항목에서, 여름철보다는 겨울철에 배출된 농도가 훨씬 더 높은 것을 알 수 있다. 이는 실험 당시의 여름철의 대기온도 (25 - 30℃) 보다는 겨울철의 대기온도 (0 - 5℃)가 훨씬 낮아서, 재생과정에서 배출된 입자상 오염물들이 응축 (condensation)이나 응고 (coagulation)등의 과정으로 빠르게 성장하였기 때문으로 설명된다. 또한, 겨울철에는 여름철보다는 페아스콘의 표면온도가 훨씬 낮으므로 더 많은 양과 더 오랫동안 LPG 불꽃을 가하여야 페아스콘이 용융하기 때문으로도 설명된다.

겨울철의 경우 페아스콘을 간이재생기에 투입하는 과정과 페아스콘이 용융되기 전 재생기 내부에서 회전하는 과정에서 입자상오염물의 배출농도가 특히 높게 나타났다. 특히, PM10이나 PM7과 같은 Coarse particle의 농도도 매우 높게 나타났는데, 이로 보아 함수율이 적은 페아스콘을 재생기로 투입하는 과정과 용융 상태가 되기 전에 페아스콘에 열을 끌고루 전달하기 위하여 페아스콘을 회전하는 과



(a) Summer

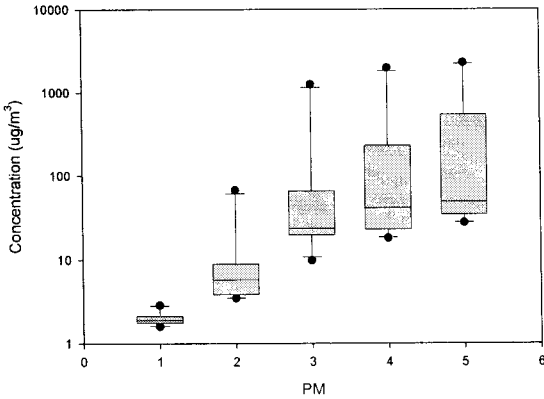


(b) Winter

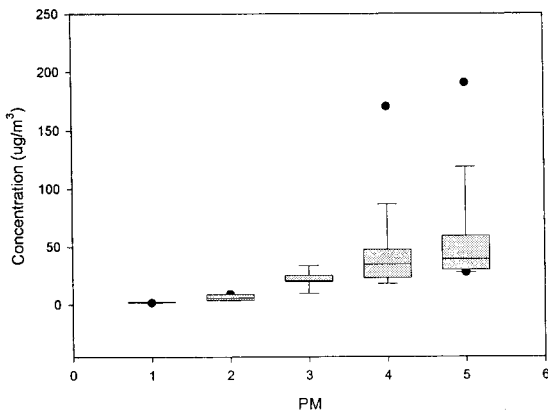
Note, X-axis Number 1:PM1, 2:PM2.5, 3:PM7, 4:PM10, and 5:TSP

Fig. 4. A seasonal comparison of particulate matter obtained from all real recycling steps of waste ASCON for pavement.

정에서는 작업자들이 입자상 오염물의 고농도에 노출될 소지가 있을 수 있다. 그러나 현재 페아스콘의 전 용융과정은 1시간이내에 거의 이루어지고, 입자상 오염물의 농도가 높은 초기용융과정은 10분 정도로 짧은 시간이기 때문에 작업자의 노출영향은 크지 않을 것으로 여겨진다. Fig. 5에는 겨울철에 벌크상태의 페아스콘을 간이이동식 아스콘재생기에 집어넣고 LPG 버너로 용융하여 재생아스콘을 만드는 과정에서, 페아스콘 투입과정과 초기용융과정을 제외한 상태에서 검출된 입자상오염물 (PM: PM1, PM2.5, PM7, PM10, TSP)의 농도분포를 나타내었다. 위에서 설명한 것처럼 페아스콘 투입과정과 초기용융시의 회전과정을 제외하면, 입자상 오염물의 농도는 그렇게 높지 않았다. 또한, 실제의 페아스콘



(a) all recycling steps including the introduction of waste ASCON



(b) all recycling steps except the introduction of waste ASCON

Note, X-axis Number 1:PM1, 2:PM2.5, 3:PM7, 4:PM10, and 5:TSP

Fig. 5. A comparison of particulate matter concentrations obtained from different real recycling steps of waste ASCON for pavement during the winter sampling period.

재생과정은 간이이동식 아스콘 재생기와는 전혀 다른 방식으로 진행되고, 페아스콘이 용융불꽃에 노출되는 과정이 없는 Drum 방식을 채택하게 되면 페아스콘 재생과정에서 작업자의 입자상오염물에 대한 노출정도는 매우 미약할 것으로 추정된다.

4. 결론

이동식 간이 페아스콘 재생장치를 이용한 실험적 아스팔트의 용융 및 가열상태가 더해질수록 휘발성 유기화합물의 배출이 늘어났으며, 유해성 물질인 벤젠 등도 재활용과정에서 검출되었다. 간이 재활용

과정의 종료 후 재생 아스콘을 트럭에 Loading 후 재생 현장에서도 상당한 양의 방향족 VOCs가 검출되고 있다. 간이 재생과정에서 배출되는 알데히드의 경우 80% 이상이 포름알데히드로 확인되었다. 이는 용융 연료로 사용되는 LPG의 산화와 아스팔트가 불꽃에 직접 접촉함으로써 아스팔트 성분이 산화분해되어 생기는 것으로 볼 수 있다, 간이 재생과정에서 배출되는 입자상 오염물의 입경별 농도분석에서 여름철 보다는 겨울철의 농도가 훨씬 높은 것으로 나타났다. 또한 간이재생과정에서 페아스콘을 재생기로 집어넣는 과정과 초기용융 직전에 페아스콘에 골고루 열을 공급하기 위하여 페아스콘을 재생기내에서 회전하는 가운데 발생되었다. 현재로서는 페아스콘 재생과정 전반에 대한 Simulation 연구가 현실적으로 어려움이 있으므로, 실험실적 규모 또는 Pilot 규모의 재생과정 및 열적특성 변화에 대기오염 배출정보에 대한 정밀연구가 필요하다. 추후 페아스콘 재생시설의 가동시에는 이들에 대한 정확한 배출농도 및 배출량 정보의 구축이 필요하다.

감사의 글

본 연구는 환경부의 차세대핵심환경기술개발사업 (Eco-technopia 21 project)의 일환으로 연구비를 지원받은 과제입니다.

참고 문헌

- 1) 건설교통부 홈페이지, 2007, 도로현황. http://www.moct.go.kr/mct_hpg/Html/09/Road_today/doc21roadnow_1.html?MID=&HOMEPAGENAME=&DEPT=1500888&UID=&view=true
- 2) 한국아스콘공업협동조합연합회 홈페이지, 2007. 통계 (생산, 납품실적), <http://www.ascon.or.kr/main.htm>
- 3) 권수안, 2006, 국내아스팔트 포장의 현황 및 미래를 위한 개선방향, 아스팔트 도로포장의 혼합물 생산 및 시공품질 향상을 위한 국제심포지움, Proceeding, 7-27.
- 4) 이병규, 2001, 페아스팔트 재활용기술개발연구, 울산대학교 지역공동연구센터, 제8차년도 지역컨소시엄 연구과제 최종결과보고서, 1-28.
- 5) 환경부 자원순환국 산업폐기물과, 2006, 건설폐기물의 현황과 향후관리방안. <http://infosys.korea.ac.kr/ippage/g/ipdata/2001/02/file/g200102-7501.pdf>
- 6) 환경부 자원순환국, 2006, 건설폐기물재활용 촉진관련규정 및 민원사례집, 1-293, <http://search>.

- me.go.kr/search/7search_search.jsp
- 7) 환경부, 2007, 2004, 전국폐기물 발생 및 처리 현황, 환경부홈페이지, 환경통계자료, http://library.me.go.kr/DLiWeb20/components/search-ir/result.aspx?m_var=447&srv_id=32&st_f=C_ID&st_o=desc&qy_idx=OBRC&qy_kwd=01&qy_opt=AND&qy_idx=PCRC&qy_kwd=J6&qy_opt=AND&tg=id1.
- 8) 환경정책평가연구원, 2004. 건설폐기물 분리배출 및 발생원단위 산정등에 관한 연구. [http://www.kei.re.kr/04_publ/pdf/report/%5B03_CR30%5D%EA%B1%B4%EC%84%A4%ED%8F%90%EA%B8%B0%EB%AC%BC%EB%B6%84%EB%A6%AC%EB%B0%B0%EC%B6%9C\(%EC%9D%B4%ED%9D%AC%EC%84%A0\).pdf](http://www.kei.re.kr/04_publ/pdf/report/%5B03_CR30%5D%EA%B1%B4%EC%84%A4%ED%8F%90%EA%B8%B0%EB%AC%BC%EB%B6%84%EB%A6%AC%EB%B0%B0%EC%B6%9C(%EC%9D%B4%ED%9D%AC%EC%84%A0).pdf)