

저탄소 중온 아스팔트 혼합물 생산시 이산화탄소 배출량 연구

A Comparison of CO₂ Emissions from Hot Mixture and Warm Asphalt Mixture Production

정규동^{*} · 황성도^{**} · 양성린^{***} · 김용주^{****} · 김영민^{*****}

Jeong, Kyu-Dong · Yang, Seong-Lin, Kim, Yongjoo, Hwang, Sung-Do

1. 서론

1997년 교토에서 개최된 기후변화협약 제3차 당사국총회에서 CO₂ 를 비롯한 6가지 가스를 지정하여 온실가스 배출량 감축을 주요내용으로 하는 교토의정서(Kyoto Protocol)을 채택하였다. 그리고, 배출권 거래제(Emission Trading, ET), 공동 이행(Joint Implementation, JI), 청정개발체제(Clean Development Mechanism, CDM) 등 3가지의 국제협력수단을 허용하고 있다. 따라서 이러한 국제적 환경에 대처하기 위해서는 국가 고유의 온실가스 배출특성값(배출계수, 탄소함량 등) 및 배출계수의 개발과 구축이 필수적이다.

본 연구에서는 저탄소 아스팔트 혼합물 생산시 CO₂ 배출량을 산정하는 방법을 연구하고, 시험시공을 통하여 CO₂ 배출량을 산정하였다.

2. 온실가스 발생량

환경관리공단에서 2009년 11월에 발간한 '지자체 온실가스 배출량 산정지침'에 따르면, 온실가스 배출량 산정 기준 방법은 2006 IPCC G/L(2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories)에 따르게 되어 있다. 그리고, 상기 지침에서 산정대상 온실가스는 교토의정서에서 규정한 CO₂, CH₄(메탄), N₂O(이산화질소), HFCs(수소불화탄소), PFCs(과불화탄소), SF₆ 등 6개이다.

그림 1은 2009년 환경통계연감의 온실가스 배출량 발생추이이며, 에너지산업에서 대부분의 온실가스가 배출되고 있으며, 1998년 이후 점증하는 것을 알 수 있다.

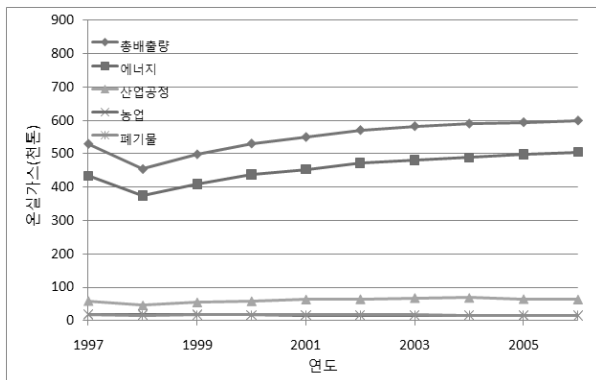


그림 1. 온실가스 배출량의 발생추세

* 정회원 · 한국건설기술연구원 도로연구실 전임연구원 · 공학박사수료(E-mail:kdjeong@kict.re.kr) – 발표자
 ** 정회원 · 한국건설기술연구원 도로연구실 연구위원 · 공학박사(E-mail:sdhwang@kict.re.kr)
 *** 정회원 · 한국건설기술연구원 도로연구실 연구원 · 공학석사(E-mail:siyang@kict.re.kr)
 **** 정회원 · 한국건설기술연구원 도로연구실 수석연구원 · 공학박사(E-mail:yongjook@kict.re.kr)
 ***** 정회원 · 한국건설기술연구원 도로연구실 전임연구원 · 공학석사(E-mail:choozang@kict.re.kr)



3. 연구 방법

3.1 일반적인 CO₂ 배출량 측정 방법

CO₂의 배출량 산정은 연료 사용량을 이용하여 IPCC 기준에 따른 배출계수 등을 이용하여 계산으로 구하거나 배출농도를 직접 측정하여 구할 수 있다. 직접적인 측정방법은 일반적으로 비분산 적외선 방식을 통해 얻어진다. 농도를 측정한 후 질량으로 환산하기 위해 배출가스 부피 유량을 센서를 이용하여 측정하거나, 연료조성 등의 변수로 계산한다.

3.2 연료 사용량을 이용한 CO₂ 배출량 측정

2006 IPCC G/L 자료를 이용한 '지자체 온실가스 배출량 산정지침'에 따라 CO₂의 배출량을 연료 사용량, 순발열량, 배출계수 등으로 구할 수 있다.

$$\text{CO}_2 \text{ 배출량} = \text{연료 사용량} \times \text{순발열량} \times \text{배출계수}$$

3.2.1 배출계수

국내에서 일반적으로 아스팔트 혼합물 생산시 연료로 사용하는 병커-C유는 'Residual Fuel Oil'에 해당되며, 이에 해당하는 배출계수는 표 1과 같다.

표 1. 에너지산업에서 고정 연소에 대한 배출계수 기본값

단위:kg/TJ

연료	CO ₂			CH ₄			N ₂ O		
	배출계수 (기본)	최소	최대	배출계수 (기본)	최소	최대	배출계수 (기본)	최소	최대
Residual Fuel Oil	77,400	75,500	78,800	r 3	1	10	0.6	0.2	2

3.2.2 순발열량

병커-C 유의 순발열량은 표 2와 같이 39.1 TJ/1000m³이다.

표 2. 연료의 종류와 순발열량(NCV)

국내 연료 종류	IPCC 기준	단위	순발열량(NCV)
경 유	Gas/Diesel Oil	TJ/1000m ³	35.4
B-C 유	Residual Fuel Oil		39.1

3.3 배출농도를 이용한 CO₂ 배출량 측정

배출계수와 순발열량 등을 이용하여 CO₂ 배출가스를 산정하는 방법은 실제 연료효율 등이 포함되지 않기 때문에 만일 정확하게 측정한다면 직접적으로 측정하는 방법이 더욱 정확하다. 또한, 다양한 아스팔트 플랜트에서 여러 번 측정된다면, 아스팔트 플랜트에 적합한 별도의 배출계수도 제시할 수 있다.

측정방법은 비분산 적외선 흡수 방법에 따라 CO₂ 배출 농도를 측정하고, 가스 체적 유량을 측정하여 전체 CO₂ 배출량을 계산한다.

$$\text{CO}_2 \text{ 배출량} = \text{CO}_2 \text{ 배출 농도} \times \text{연도내 가스 체적 유량}$$

3.3.1 CO₂ 배출 농도의 측정

CO₂의 배출량 측정은 KS I ISO 12039의 ‘고정 오염원-일산화탄소, 이산화탄소 및 산소의 측정-자동화 측정 시스템의 성능 특성과 교정’에 따른다.

일반적으로 CO₂의 측정은 서로 다른 원자를 갖는 분자들로 구성된 가스가 하나의 특정 과정에서만 적외선을 흡수하는 원리를 이용한 비분산 적외선 흡수 방법(NDIR)에 따른다.

3.3.2 연도 내의 가스 유량 측정

연도 내의 가스 유량 측정시 덕트에 설치된 자동 측정 유량기기로 측정하지 않고, 수동 측정할 경우에는 KS I ISO 10780의 ‘고정 오염원-덕트 내 가스 흐름의 속도와 부피 유량 측정방법’에 따른다.

유속을 측정하기 위해 L자형 또는 S자형 등의 피토크가 사용되며, 레이놀즈 수가 1.2보다 크고, 피토크 오리피스를 흐르는 압력 차가 5Pa 이상이고, 덕트의 단면적이 최소 0.07m² 이상이어야 한다. 유량 측정 방법은 다음과 같이 평균 유속에 단면적과 곱하여 계산한다.

$$q_{vs} = \bar{v}A$$

여기서, \bar{v} : 굴뚝 조건에서의 유속(m/s)

A : 시료 채취점에서의 굴뚝의 단면적(m²)

q_{vs} : 부피 유량(m³/s)

3.4 중온 아스팔트 혼합물 생산 및 배출가스 측정

아스팔트 혼합물의 생산온도는 가열 아스팔트 혼합물을 약 160℃로 생산한 후 저탄소 아스팔트 혼합물을 약 130℃로 생산하였다.

연료 사용량은 아스팔트 플랜트에서 사용되는 병커-C 유 탱크의 유량 지시계의 눈금 옆에 줄자를 붙여서 눈금의 감소량과 탱크의 직경으로 유량을 측정하였다. CO₂의 측정은 그림 1과 같이 아스팔트 플랜트의 연도에서 측정하였다.



그림 2. CO₂ 등 배출가스 측정

4. 연구결과 및 고찰

4.1 연료 사용량을 이용한 CO₂ 배출량 측정 결과

병커-C유 1L 당 배출량은 배출계수와 순발열량을 이용하여 아래의 식에 따라 3.026kg으로 계산하였다.

$$\begin{aligned} \text{CO}_2 \text{ 배출량} &= \text{연료 사용량} \times \text{순발열량} \times \text{배출계수} \\ &= 0.001 \text{ m}^3 \times 0.0391 \text{ TJ/m}^3 \times 77,400 \text{ kg/TJ} \\ &= 3.026 \text{ kg} \end{aligned}$$

여기서, 연료사용량 = 1 L = 0.001 m³

순발열량 = 39.1 TJ/1000m³ = 0.0391 TJ/m³

CO₂ 배출계수 = 77,400 kg/TJ

시험시공 결과 연료사용량은 가열 아스팔트 혼합물은 7.7L/ton이었으며, 저탄소 아스팔트 혼합물은 5.0L/ton으로 약 35% 절감되는 것으로 나타났다. 그리고, 위에서 계산한 CO₂ 배출량과 연료사용량을 이용하여 아스팔트 혼합물 생산시 발생하는 CO₂ 발생량을 계산한 결과는 표 3과 같다.

표 3에서 아스팔트 혼합물 35,060천톤은 아스팔트 혼합물공업협동조합연합회의 2009년 아스팔트 혼합물 생산 통계자료를 이용하였으며, 국내 아스팔트 혼합물을 저탄소 아스팔트 혼합물로 대체할 경우 CO₂ 배출량이 약 286,447톤 절감되는 것으로 나타났다. 또한, 병커-C유 사용량의 절감에 따라 절감되는 양을 석유환산량으로 환산하면 약 88,509TOE에 해당하였다.



표 3. 아스팔트 혼합물 생산시 연료사용량 및 CO₂ 절감 효과

구 분		단위	가열	저탄소	절감
아스팔트 혼합물 1톤당	병커C유 사용량	L	7.7	5	2.7
	CO ₂ 배출량 (3.026kg/L)	kg	23.3	15.1	8.2
아스팔트 혼합물 35,060천톤	병커C유 사용량	L	269,962,000	175,300,000	94,662,000
	석유환산량 (환산계수:0.935)	TOE	252,414	163,906	88,509
	CO ₂ 배출량	kg	816,905,012	530,457,800	286,447,212
CO ₂ 배출율		%	100	64.9	35.1

4.2 CO₂ 배출농도 측정 결과

아스팔트 플랜트의 연도에서 실제 측정된 배출가스량은 표 4와 같이 CO₂ 의 절감효과가 33.3%로 가장 컸으며, 실제 연료사용량으로 계산한 절감률과 비슷한 것으로 나타났다.

표 4. 아스팔트 혼합물 생산시 측정된 배출가스량

구 분		생산온도 (°C)	연료 (L/ton)	먼지 및 유해가스				
				CO ₂ (%)	먼지 (mg)	NoX (ppm)	SoX (ppm)	CO (ppm)
아스팔트 혼합물	가열	160	7.7	6.3	8.51	38	8	1300
	저탄소	130	5.0	4.2	8.01	34	7	1200
	감소율	30	35%	33.3%	5.9%	10.5%	12.5%	7.7%

5. 결 론

중온 아스팔트 혼합물은 현장 시험시공 결과 연료 소모량과 CO₂ 배출량이 약 35% 저감되는 것을 확인하였으며, 아스팔트 혼합물의 생산시에 냄새가 거의 없고, 유증기가 발생하지 않았다. 그러나, 연도내 가스 유량을 측정하지 못하여 연료 사용량을 이용한 방법과 배출농도를 이용한 방법의 배출가스량을 직접적으로 비교하지는 못하였다.

향후에는 CO₂ 농도와 연도내 가스 유량 등을 측정하여 배출가스량을 비교·분석할 예정이다.

참고 문헌

1. 환경관리공단 ‘지자체 온실가스 배출량 산정지침’, 2009. 11