자동차 연료품질이 대기오염에 미치는 영향

손지환
국립환경과학원 교통환경연구소 연구사

1. 개요

국내 연간 대기오염물질 배출량은 총 356만톤이고 이중 도로이동오염원에서 배출되는 대기오염물질은 10만톤으로 전체 배출량의 28%를 차지하여(대기오염물질 배출량 2010, 국립환경과학원) 자동차는 국내 대기오염물질의 주요 배출원 중 하나라고 할 수 있다. 또한 국내 자동차에서 배출되는 대기오염물질은 연간 CO가 52만톤, NOx가 38만톤, SOx가 8백톤 그리고 PM이 1만5천톤으로 다양한 대기오염물질을 배출한다. 자동차 연료 품질은 자동차의 성능과 대기오염물질 배출에 영향을 미치므로 지속적으로 관리되고 있으며 자동차, 연료, 대기오염물질을 통합적으로 연구하고 관리하는 것이 필요한 실정이다. 이에 국내외에서는 자동차 오염물질 배출을 줄이기 위하여 자동차 배출가스 규제와 더불어 연료품질 향상에도 노력을 기울이고 있다. 이에 본 고에서는 자동차연료 품질이 대기오염물질 배출에 미치는 영향과 자동차 연료품질 관리의 중요성에 대하여 기술하고자 한다.

2. 국내외 연료품질 현황

대기환경보전법 상에 규정되어 있는 자동차연료 제조기준은 1991년도부터 현재까지 총 9번의 개정이 이루어졌다. 대기환경보전법에서 규정하고 있는 자동차연료의 제조기준은 대기 중에 배출되는 대기오염물질에 영향을 미치는 항목을 중심으로 휘발유 9항목, 경유 7항목을 설정하여 규제하고 있으며, 현 실정을 고려한 대기오염물질 배출을 최소화하는데 그 목적이 있다.

휘발유의 제조기준의 변화과정을 보면 황함량은 2000년 200ppm 이하에서 2009년 10ppm 이하로 규제기준 강화가 강하게 이루어 졌고, 유해물질에 해당하는 벤젠은 1993년 6% 이하에서 2009년 0.7%이하로, 방향족화합물은 1993년 55%에서 2009년 24%로 강화되었다. 또한 증기압은 2000년 82kPa 이하에서 2009년 60kPa 이하로 전항목에서 기준이 꾸준히 강화되어 왔다.

경유도 황함량의 규제기준이 1991년 4000ppm 이하에서 2009년 10ppm 이하로 기준강화가 두드러지게 나타났다. 휘발유와 마찬가지로 경유도 방향족화합물, 세탄지수, 윤활성, 밀도 항목에서 기준이 강화되어왔으며, 향후에도 법규에 의한 품질관리는 지속될 것으로 사료된다. 연료제조사의 품질개선 노력과 정부의 꾸준한 규제기준 강화 추진으로 현재 대기환경보전법 상 자동차연료 제조기준은 표1에 제시한 바와 같이 선

〈표 1〉 국내 자동차연료 제조기준 현황

종류	규제항목	대기환경보전법	미국 (CaRFG3)	미국(ASTMD4814, ASTMD975-9)	유럽 (EN228 EN590)
휘발유	방향족화합물(부피%)	24(21)이하	22이하	-	35이하
	벤젠함량(부피%)	0.7이하	0.7이하	-	1이하
	납함량(g/L)	0.013 이하	-	0.013이하	0.005이하
	인함량(g/L)	0.0013이하	-	0.0013이하	-
	올레핀함량(부피%)	16(19)이하	4이하	-	18이하
	황함량(ppm)	10이하	15이하	80이하	10이하
	증기압(kPa, 37.8℃)	60이하	48.3이하	103이하	45~60
	90% 유출온도	170이하	146.1이하	190이하	-
경유	10% 잔류탄소량(%)	0.15이하	-	0.15 이하	0.3 이하
	밀도 @15℃(kg/㎥)	815~835	-	-	820~845 / 800~ 845
	황함량(ppm)	10이하	15이하	15이하	10이하
	규제항목다고리방향족(무게%)	5이하	1.4이하	-	11이하
	윤활성(um)	400이하	520이하	520이하	460이하
	방향족화합물(무게%)	30이하	10이하	35이하	-
	세탄지수	52이상	40이상	40이상	46이상

진국의 규제기준과 비교해도 강력하며, 국내 자동차연료의 품질도 세계적인 수준이라고 할 수 있다.

3. 연료품질과 대기오염물질과의 상관관계

연료품질은 연소효율 및 배기가스 후처리장치에 영향을 미쳐 대기오염배출량과 밀접한 관계가 있다. 또한 차량에서 발생되는 증발가스의 경우 연료 성분자체가 대기로 배출되어 오염을 야기하기도 한다. 연료중의 황은 연소과정을 거치면서 황산화물로 산화되어 대기로 배출된다. 자동차는 대기환경측면에서 대기오염물질인 황산화물의 배출원이 될 수 있다. 또한 황산화물은 촉매 등 자동차 배기가스 후처리 장치에 효율을 저감시켜 탄화수소, 일산화탄소, 질소산화물의 배출증가를 야기하게 된다. 특히 디젤 자동차의 후처리 장치인 DPF의 경우 연료 중 황함량에 따라 내구성에 직접적인 영향을 받기 때문에 저황유를 사용해야 장착이 가능하다. 현행 경유 중 황함량 기준은 10 ppm 이하의 규제하고 있으며, 황함량 규제관리는 DPF 장착을 가능하도록 하여 미세먼지 배출의 저감에도 기여한다고 할 수 있다.

세탄지수는 경유의 착화성을 나타내는 지표로서 세탄가가 높을수록 착화성이 우수하며 엔진내부의 노킹현상 방지를 위해서 일정수준 이상의 관리가 필요하다. 2008년 국립환경과학원의 연구결과에 따르면 세탄지수 관리에 따른 착화성능이 향상은 엔진내부에서 연료의 연소효율이 증가되어 불완전 연소를 감소시키고 CO, THC, VOC 배출을 감소시키는 것으로 조사되었다. 따라서 자동차의 연소효율 및 대기오염물질 관리측면에서 세탄지수의 관리는 중요하다고 할 수 있다.

세탄지수와 같이 연소와 관련하여 중요한 요소는 올레핀함량과 방향족화합물 함량이다. 올레핀은 이중결합을 가지고 있는 분자이고, 방향족화합물은 벤젠고리를 함유하는 화합물이다. 2007년도 국립환경과학원의 연구에 따르면 다고리방향족의 함량이 증가 함에 따라 경유와 엔진연소와의 관계에서 착화온도에 영향을 미치게 되어 NOx가 저감되었고 PM도 저감되었다는 결과도 있다. 또한 이 연구에서 다고리 방향족의 함량이 증가함에 따라서 배출가스 중 VOCs 배출량도 증가하는 경향도 확인되었다. 방향족의 함량은 이산화탄소의 배출과 연관이 깊어 방향족 함량이 50%에서 20%로 감소할 때 이산화탄소의 배출량이 5% 저감되는 효과가 있다는 유럽의 결과도 있다. 또한 올레핀과 방향족 화합물은 오존생성의 원인물질로도 알려져 있어 환경관리 측면에서 중요한 항목이라고 할 수 있다.

연료의 증기압이 증가할수록 여름철 고온일에 자동차에서 발생하는 증발가스가 지수함수적으로 급증하게 된다. 자동차 증발가스는 탄화수소 물질로 오존생성의 전구물질로 작용하여 여름철 고농도 오존을 야기한다. 따라서 현재 여름철 6월에서 8월까지로 규정되었는 증기압기준은 대기환경에 매우 중요한 요소이다. 증발가스의 구성성분은 표 2에 제시한 바와 같이 부탄이 약 10%, 펜탄이 18%, 디메틸펜단이 14%, 트리메틸펜탄이 25%를 차지하며, 유해도가 높은 벤젠도 약 1% 정도 차지한다. 증발가스의 경우 연료의 성분이 대기중으로 배출되기 때문에 현제 규제하고 있는 벤젠, 올레핀함량, 방향족화합물의 함량이 대기질 관리측면에서 매우 중요하다고 할 수 있다. 또한 '12년도 국립환경과학원의 연구에 따르면 약

〈표 2〉 자동차 증발가스의 성분구성

Gruop	Species	NMVOC fraction(wt%)
Alkane	ethane	0.30
	propane	5.15
	I-butane	4.38
	n-butane	5.86
	I-pentane	10.69
	n-pentane	7.72
	2-methylpentane	14.02
	3-methylpentane	25.14
	n-hexane	2.02
	n-heptane	1.65
Aromatics	benzene	0.97
	toluene	3.94
	ethylbenzene	3.52
	m-xylene	5.79
	o-xylene	2.52
	1,2,4-trimethylbenzene	0.50
	1,3,5-trimethylbenzene	0.00
Alkenes	ethene	0.05
	propene	0.28
	1-butene	0.72
	trans 2-butene	1.19
	isobutene	0.12
	cis-2-butene	1.05
	1,3 butadiene	0.00
	trans-2-pentene	1.60
	cis-2-pentene	0.75
	isoprene	0.00
Alkines	propyne	0.07
	acetylene	0.01
Total(all NMVOC species)		100

출처 : EEA Emission Inventory guidebook 2009

6%의 가짜휘발유를 사용한다고 가정할 때 유해물질인 벤젠의 배출량이 23%가 증가한다는 결과가 있어 연료 품질이 인체에 미치는 영향력이 크고, 불법으로 유통되는 가짜연료에 대한 단속이 중요하다는 것을 반증하고 있다.

4. 결언

앞서 제시한 바와 같이 자동차의 연료품질은 자동차의 성능과도 직접적인 연관이 있지만 대기환경에 미치는 영향력도 매우 크다고 할 수 있다. 그러므로 자동차의 오염물질 저감은 자동차 업계의 노력도 중요하지만 연료 품질개선이 수행되지 않고서는 효율적인 오염물질 저감을 달성하기 어렵다. DPF와 같이 연료 품질개선이 선행되어야만 적용가능한 저감기술이 있고, 자동차 증발가스 저감도 특정 고온일에는 캐니스터의 흡착효율 향상만으로 효과적인 저감효율을 낼 수 없다. 따라서 대기환경 개선을 위해서는 자동차연료 품질의 개선은 앞으로도 지속되어야 할 것이며, 관련 기준 강화도 불가피 할 것으로 사료된다.

자동차와 연료 분야에 대해서 통합적으로 연구하고 관리하는 것이 중요하기 때문에 미국, 유럽, 일본에서는 각각 1989년, 1993년, 1997년부터 정부, 자동차 업계, 정유 업계 등이 공동 협력하여 오토오일 사업을 추진하고 있다. 국내에서도 환경부와 자동차 · 연료 업계가 공동으로 추진하고 있는 한국형 오토오일 사업이 2011년도부터 이미 추진되고 있다. 한국형 오토오일 사업을 통하여 현 엔진기술 및 저감장치의 현황을 고려한 환경적으로 효율적인 연료품질 개선방안이 도출될 수 있을 것으로 기대되며, 지금까지 정부와 연료 업계의 꾸준한 투자와 노력으로 이룬 세계적인 수준의 연료품질 수준이 앞으로도 지속되고 개선되어 국내 대기질 개선에 크게 기여 할 수 있을 것으로 기대한다.