

개질휘발유와 정유산업

辛 常 吉

(에너지 경제연구원 연구위원)

1. 머리말

美國정부에 의해 제시된 대기정화법 (Clean Air Act) (1990. Nov) 중 개질휘발유 (Reformulated Gasoline)와 低방향족 경유 (Low Aromatics Diesel)의 제품 사양을 면밀히 검토, 분석하여 본 결과, 이는 단순히 기존 휘발유와 디젤유에 대한 품질 개선보다는 근본적으로 석유제품의 성분을 재조정 한 신규제품 (내연기관용)의 공급사양을 제시한 Government Rules이다. 신규 제품의 공급사양 특징은 신규 내연기관용 연료의 성분이 현재 정유기술 수준에서 가장 대기환경공해의 유발요인을 적게 발생시키는 최소한의 탄화수소계열 즉, PONA 성분 그룹별의 구성비율을 제시한 탄화수소계통 화합물의 블렌딩 처방인것 같다. 이에 美國系 자동차 및 석유업계는 1990년 美정부가 제시한 개질휘발유와 低방향족 경유의 제품 사양에 따라 실험실적인 Test를 수행하였다. 동시에, 엔지니어링 회사는 신규제품의 원활한 생산을 위한 기존 설비의 개조 혹은 신규 건설에 대한 프로세스 분석을 진행중인 것 같다. 즉, 대기정화법은 석유산업분야에 많은 영향을 미치게 될 것으로 생각되며 구체적인 분야는 정유분야, 엔지니어링 분야, Oxygenate Blending 분야 그리고 Otto 및 디젤 엔진의 Combustion Control분야 등이다.

위에 제시한 분야별 연구 개발은 이미 제시한 탄화수소계열의 PONA 구성비변경이 현 Otto 및 디젤 엔진에 어떤 반응을 나타내는지에 대한 실증실험의 과정과 결과를 분석함으로써 대안을 제시할 수 있게 될 것으로 생각된다. 그러므로 대기정화법 중 연구

진 구성, 실증실험 방법, 새로운 개질휘발유와 현재 판매·운전중인 자동차에 의한 실험 결과 등을 설명하고 끝으로 국내 정유기업이 美國의 대기정화법을 이해하는데 도움이 될 수 있는 사항을 정리, 요약하고자 한다.

2. 대기정화법과 개질휘발유

(Clean Air Act 개정판 1990.11)의 주요 내용은 분야별로

- Ambient Air Quality (Smog)
- Motor Vehicles
- Air Toxics
- Acid Rain
- Permits
- Stratospheric Ozone
- Enforcement 등으로 구성되어 있다.

위의 사항중 Motor Vehicles는 석유산업과 직접 관련되는 분야로 그 세부 항목중 주요 14개 항목을 소개하면 다음과 같다.

- Motor Vehicles
 - Heavy-Duty Trucks
 - In-Use Certification Emission Standards
 - In-Use Compliance
 - Other Emissions Standards
 - Fuel Volatility
 - Diesel Fuel
 - Reformulated Gasoline
 - Co Non-Attainment Areas
 - Non-Road Vehicles and Engines

- Enforcement
- Clean-Fuel Vehicles and Fuels
- California Clean-Fuel Vehicle Standards
- California Pilot Program
- Urban Buses

위의 항목중 기본이 되는 항목은 차량 운행시에 발생하는 배기가스의 성분을 규정한 In-Use Certifi-

cation Standards이다. (표 2-1 참조)

트럭의 경우는 분진에 대한 규제조항이 추가되었고 이는 디젤유를 사용하는 트럭에 국한된다. 트럭의 경우 차량의 무게에 따라 2등급으로 구분, 규제범위를 설정하였다. (표 2-2 참조)

주요 개질휘발유(1995년 이후 美國 9개 지역에 판매)의 성분사양은 다음과 같다. (표 2-3 참조)

〈표 2-1〉 승용차 및 봉고급 차량의 使用年度別 배기가스성분함량기준표

구분	(gpm)	사 용 기 간	NMHC	CO	NOx
승 용 차 및 경 트 렉 (봉 고 포 함)		5년 (5만마일)	0.25	3.4	0.4
		10년 (10만마일)	0.31	4.2	0.6

〈표 2-2〉 화물차량의 공해 기준표

구분	(gpm)	NMHC	CO	NOx	분진
트럭 3751-5750 파운드	5년 사용 (5만마일주행)	0.32	4.4	0.7	-
	10년 사용 (10만마일주행)	0.46	6.4	0.98	0.10
트럭 5750 파운드 이상	5년 사용 (5만마일주행)	0.39	5.0	1.1	-
	10년 사용 (10만마일주행)	0.56	7.3	1.53	0.12

gpm : grams per miles

〈표 2-3〉 Regas*의 주요 구성 성분표

	벤젠 (Vol%)	방향족 (Vol%)	금속 (wt%)	산화물 (wt%)	VOC**
최대허용범위 (%)	1	25	0	2	15

*Regas : Reformulated Gasoline

**VOC : Volatile organic Compounds

이러한 Regas 휘발유의 성분사양은 2000년에는 20~25%의 범위내에서 상승비율이 결정될 전망이다(대기정화법에서의 상승비율 하한선 : 20%).

Clean Fuel Vehicles and Fuels(Regas 판매 대상에 대한 규제) 항목에서는 1996년을 기점으로 하여 2001년까지 연차적으로 적용범위를 확대하며, 단,

차량에 의한 도심 대기공해가 심하지 않은 지역은 대상에서 제외될 수 있음을 명시하였다.

또한 1996년 이후 적용되는 배기가스중 유해가스 함량은 2단계로 구분하여 차중별로 제시하고 있다. (표 2-4 참조)

〈표 2-4〉 단계별, 차종별, 주행년도별 유해가스 배출기준표

시행단계	차종	주행년수 (년)	NMHC (gpm)	CO (gpm)	NOx (gpm)	HCHO (gpm)	분진 (gpm)
1단계 (1995년형 모델차량)	승용차 및 경트럭	5 5만마일주행	0.125	3.4	0.4	0.015	-
		10 10만마일주행	0.156	4.2	0.6	0.018	0.08 (경유)
	트럭	5 5만마일주행	0.160	4.4	0.7	0.018	-
		10 10만마일주행	0.2	5.5	0.9	0.023	0.08 (경유)
2단계 (2001년형 모델차량)	승용차 및 경트럭	5 5만마일주행	0.075	3.4	0.2	0.015	-
		10 10만마일주행	0.090	4.2	0.3	0.018	0.08 (경유)
	트럭	5 5만마일주행	0.1	4.4	0.4	0.018	-
		10 10만마일주행	0.13	5.5	0.5	0.023	0.08 (경유)

3. “Auto/Oil Air Quality Improvement R & D Program”의 개요 및 진행현황

공기(대기)를 보존하려는 욕구는 차량엔진의 기능과 효율을 유지하면서, 공해가 적은 배기가스를 유출할 수 있는 새로운 수송용 연료를 개발하는데 주력하게 되었다. 이는 미국을 중심으로 진행 중으로 주로 가스홀, LNG, 메탄올 등과 같은 석유대체 연료 개발 보다는 기존의 대표적 차량의 엔진을 이용하여 대기정화법에서 제시한 배기가스 기준과 휘발유 성분 규제 범위내에서 적용되는 신규휘발유(Regas)의 개발을 과제로 삼는다.

이 연구가 “Auto/Oil Air Quality Improvement R

& D Program”으로 참여기업과 주요 연구일정은 다음과 같다. (표 3-1, 3-2, 3-3 참조)

1단계 Test fuels는 총 23종류의 Regas와 대체연료(M₁₀, M₈₅)를 선택하였으며, 현 생산공정체제에서 공급 가능한 공통적 Regas 종류는 총 25종이고, 4개 그룹으로 분류하면 기존, 개정, 개정-A(ETBE17% 포함), ARCO사의 EC-1 등이다. (표 3-4 참조)

테스트용 승용차, 경트럭은 가장 많이 판매되고 있는 엔진모델을 중심으로 선택하였다. (표 3-5 참조)

〈표 3-1〉 차량/연료 공동연구 프로그램에 참여한 기업

석유회사	자동차회사
Amoco, ARCO	Chrysler
Ashland, BP America	Ford
Chevron, Conoco, Exxon	General Motors
Marathon, Mobil,	
Phillips, Shell, Sun	
Texaco, Unocal	
14개사	3개사

이번 연구는 2단계 연구로 구분되어 있으며 1단계 연구는 1990년말에 완료되었고, 실험주체는 GM과

FORD의 차량실험 연구실이다. 구체적인 실험내용은 다음과 같다. (표 3-6 참조)

<표 3-2>

기 간	대 상	MTBE	Aromatic	Olefin	RVP	*T ₉₀	Ethanol
'90.4-8	신모델차량	○		○		○	
'90.4-8	구모델차량	○		○		○	
'90.9-12	신모델차량		○	○	○	○	○

*T₉₀ : 90% off distillation temperature

<표 3-3>

기 간	대 상	*M ₈₅	*M ₁₀	Methanol
'90.4-6	신모델차량	○	○	○

*M₈₅ : 85% methanol/gasoline

**M₁₀ : 10% methanol/gasoline

<표 3-4>

	아로마틱 (Vol%)	올레핀 (Vol%)	MTBE (Vol%)	RVP (psi)	T ₉₀ (°F)	옥탄가
기 존	32	12	0	10+1	335	.
개정(평균)	20	5		8	280	.
개정(A)	20	5	15		280	.
EC-1	19	10	1	7.6	351	88

<표 3-5>

테스트에 적용된 자동차와 차종 모델

	회 사 명	모델 명	엔진출력(10 ³ cc)	Fuel System	Converter
신 모델 차 량	Chrysler	Sundance	2.5	TBI	3-way
	Chrysler	Shadow	2.5TC	PFI	3-way
	FORD	Mustang	5.0	SFI	3-way (Dual-bed)
	FORD	Taurus	3.0	PFI	3-way (Dual-bed)
	FORD	Aerostar	3.0	PFI	3-way
	Toyota	Camry	2.0	TBI	3-way
	Honda	Accord	2.0	Carb	3-way (Dual-bed)
	GM	Suburban	5.7	TBI	3-way (Dual-bed)
	GM	GrandAm	2.3	PFI	3-way
	GM	Delta 88	3.8	SFI	3-way
	Chrysler	1985년 Reliant	2.2	Carb	3-way (Dual-bed)

구 모델 차 량	Ford	1985년 Tempo	2.3	TBI	3-way (Dual-bed)
	Ford	1983년 F-150	4.9	Carb	Oxidizer
	Honda	1985년 Accord	1.8	Carb	3-way
	GM	1984년 Grand prix	3.8	Carb	3-way (Dual-bed)
	GM	1985년 Impala	5.0	Carb	3-way (Dual-bed)
	GM	1984년 Suburban	5.7	Carb	Oxidizer

〈표 3-6〉

모 형	Regas	기존연료	대체연료	주관기관
신 형	19*	3	0	GM
Proto type	0	3	2 (M ₈₅ M ₁₀)	FORD
구 형	16*	3	0	FORD
신 형	9**			FORD

*사양중 EPA제시 4성분 테스트용 (Aromatic, Olefine, MTBE T₉₀)

**사양중 EPA 제4성분의 3성분(에탄올, ETBE, RVP) 추가한 RG

1단계 Test의 주요 목적은,

첫째 현존 정유설비의 개조나 최소한의 추가건설로 EPA(美환경 보호청)에서 제시한 개질휘발물 공급할 수 있는지에 대한 것이며,

둘째 현재의 또는 1990년 신모델로 채택된 승용차, 경트럭 등이 대기정화법 개정판의 배기가스 기준에 적합하지 혹은 어떤 기술분야의 개선이 필요한지의 Test이고,

셋째 대체연료로써 M₁₀, M₈₅(Methanol Gasoline Blends)의 Flexible Fuel Vehicles 엔진에의 적용여부에 대한 Test등이다.

2단계 Test의 주요 내용은,

첫째 개질휘발유의 사양이 결정될 경우, 이를 생산하기 위한 현 정유설비에의 신공정 및 구공정 개조를 위한 공정설계에 관한 연구이며,

둘째 저공해형의 미래 차량 설계를 위한 Prototype의 각종 차량(내연기관등)개발을 위한 기초자료의 도출을 위한 실증 테스트.

셋째 대체연료(메탄올, LNG 등)용 다중연료 엔진

개발을 위한 기본자료 도출등이다.

개질휘발유의 New Formulation의 주요과제는, 첫째 휘발유성분 중 기본 탄화수소의 질적향상분야(Quality of Hydrocarbons)에 의한 배기가스의 저공해화 유도이다. 이는 RVP, Aromatic, Content, Olefine Content, Oxygenate Content, Benzene Content 등이다.

둘째 휘발유 신규첨가제의 종류와 배합비율의 변경에 의한 배기가스의 저공해화를 유도함과 동시에 엔진의 성능과 기능이 저하되지 않도록 연료의 새로운 처방을 위한 것이다.

4. Auto/Fuel(개질휘발유) 테스트 결과

1단계 테스트는 총 53종(신 20종, 구 14종, 개발형 19종)의 차량과 29종의 연료를 가지고 2200회에 걸친 실험을 한 결과이나, 아직까지 만족할 만한 자료를 얻어내지는 못하였다. 1단계 테스트는 결과를 요약하면 : 테스트 휘발유의 성분조절로 배기가스의

공해가스 성분을 감소시킬 수는 있으나, 이러한 사실이 모든 차량에 균일하게 영향을 미치지 못함을 알게 되었다. 즉, 차량의(엔진) 종류에 따라 반대 현상이 발생할 수도 있음을 발견하였다.

1단계 결과를 6개 분야별로 상세히 서술하면, (표 4-1, 4-2 참조)

첫째 테스트용 연료의 방향족 성분을 45%에서 20%까지 감소시킨 결과 배기가스 중 미연소 탄화수소(NMHC)의 함량은 신형 모델은 6%로 감소했으나, 구형 모델은 10%까지 상승하였다. 현재 시판되는 휘발유의 평균 방향족 탄화수소 구성비는 32%이다.

둘째 MTBE의 함량을 15%까지 증가시킨 결과, 배기가스의 미연소 탄화수소 성분의 함량이 신모델 차량이 5%, 구모델 차량이 7%로 감소하였다.

셋째 테스트용 연료 중 올레핀계 탄화수소 함량을 20%에서 5%로 감소한 결과, 배기가스 중 미연소 탄화수소는 모든 종류의 테스트용 차량에서 6%정도였다. 현 시판중인 휘발유에 포함된 올레핀계 탄화수소 성분은 평균 12%이다.

네째 Test용 연료의 90% 증발온도범위(T_{90})를 360° F에서 280° F($\Delta T=80^\circ$ F)로 낮춘 결과, 신모델 차량은 배기가스중 미연소 탄화수소 함량은 22% 감소하였으나, 쉘모델 차량은 변화가 미비하거나 전혀 없음을 발견하였다. 현재 휘발유의 평균 T_{90} 비등온도는 335° F이다.

다섯째 방향족계 탄화수소 함량의 감소와 MTBE 첨가로 인해 모든 차량은 배기가스 중 일산화탄소(CO) 발생비율이 감소한 반면, 올레핀계 탄화수소의 감소는 일산화탄소 배출량에 영향을 주지 않는 것 같다. 비등점하락으로 신모델 차량은 CO의 발생률이 거의 변화가 없으며, 구형모델 차량은 CO함량이 상승함을 알게 되었다.

여섯째 배기가스 중 NOx 성분은 올레핀계 탄화수소의 감소시 신·구모델 모두 NOx 함량도 감소, T_{90} 비등점 하락의 경우 오히려 NOx 함량이 약간 상승함을 알게되었다. 테스트용 연료의 주요 성분변화와 NOx 발생률은 무관한것 같으나, 구형모델 차량용 테스트 연료의 방향족 함량이 감소하였을 경우, NOx 함량도 비슷하게 감소하는 것을 알게되었다.

이상의 테스트 결과는 개량형 저공해 휘발유의 사

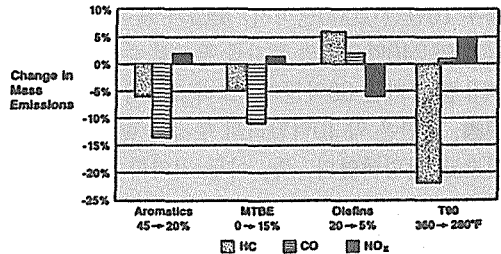
양서 작성에는 미흡하므로, 제2단계 테스트를 1991~1993까지 동일 구성원이 4,000만 달러를 출연하여 다음의 포인트로 연구하게 될 것이다.

1. 최적 개량형 휘발유와 대체연료(Gashol)가 차량의 핵심부인 엔진에 미치는 공해성, 내구성 실험.
2. 1993년으로 예상되는 저공해형 차량(Proto-type: 승용차, 경트럭등)에 개량형 휘발유 사용을 통한 장점 파악 실험.
3. 도심 대기공해 문제 해결을 위해 CNG(압축천연가스)를 연료로 채택, 신·구형 차량에 미치는 영향(배기가스 배출성분, 동력 변화 등)에 대한 실험과 메탄올 연료에 대한 추가 실험.
4. 배기가스중 극소량의 공해성 유독가스의 샘플링 및 분석기법 개발과 이 유독가스가 대기오염에 미치는 영향분석.
5. 현, 시판되는 차량과 연료에 의해 유발되는 공해에 의한 대기오염의 저감과 도시지의 공기를 깨끗이 보존하기위한 효과적이고 신속한 기술·정책 방안의 도출 등이다.

<표 4-1>

Fuel Effects on Auto Exhaust Emissions

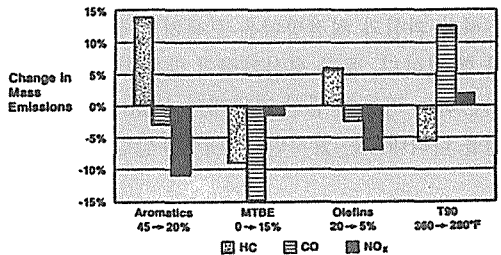
Current Vehicles - 1989



<표 4-2>

Fuel Effects on Auto Exhaust Emissions

Older Vehicles - 1983-85



5. 맺는말

1단계 테스트 결과는 대기정화법에서 제시한 배기가스 기준값에 만족할 만한 New Reformulated Gasoline의 제품사양을 발견하지는 못한것 같다. 그러므로 Auto/Oil Air Quality Improvement R & D Program은 1991/92년에도 계속 추진할 것을 발표하였다.

1단계에서의 만족할만한 결과가 도출되지 못하였음은 Proposed Reformulated Gasoline에만 그 원인이 있지는 않고, 오히려 자동차의 엔진시스템상의 기계적인 작동구조, 연소상태(점화, 분사 등), 그리고 윤활유의 기능 등에 더 많은 요인이 있을 수도 있다.

그러므로 2단계 과정에서는 위에 제시한 분야와 Newly Proposal Reformulated Gasoline의 블렌딩 기술 등을 통한 좋은 결과가 도출되기를 기대한다. 이와 동시에 석유산업은 신규제품의 제품사양에 적합하도록 기존설비 개조에 대비한 대책이 수립되어지고 있는것 같다. 예를 들면, HPI(Hydrocarbon Processing Industry) 신년 좌담회에서 M. W. Kellogg사의 G. P. Tevis 부사장의 전망에 의하면 Reformulated Fuels와 석유대체연료의 원활한 공급을 위하여 향후 10년간(2000년까지) 美國과 캐나다의 정유공장은 약 240억달러의 투자를 필요로 하게 될 것이며, 西유럽 국가는 80억달러, 그리고 극동지역의 日本, 韓國, 대만은 약 40억달러의 투자를 필요로 하게 될 것으로 전망하였다. 즉, 이들 지역의 총 신규투자 규모는 약 350~400억달러로 추산하였다.

즉, 자동차분야, 정유공장분야 그리고 엔지니어링 및 건설분야 등 다양한 분야에서 개질휘발유와 低방향족 경유의 제품사양이 영향을 미치고 있다. 그러므로 국내 관련 기업도 위의 사항에 대하여 최소한의 관심과 해결방안을 모색하도록 노력하여야만 할 것이다. 물론 생산차량의 많은 부분을 수출에 의존하는 자동차 생산 기업에서 1990년에 이어 관심을 나타내고는 있지만, 국내정유산업체의 동향은

아직은 미온적인 것 같다. 이에 정유산업체들도 美國 등 외국기업의 동향과 이에 대한 대처 방안을 창출하기 위한 모임이 필요하게 되었음을 상기시키고자 한다. 국내 정유기업의 경우 신규휘발유의 방향족 탄화수소 함량의 감소는 오히려 석유화학용 BTX(Benzen, Toluen, Xylen) 공급을 위하여 BTX 추출공정의 도입을 희망하게 될 것이다. 반면에, 올레핀계 탄화수소 함량의 감소는 또 다른 문제점을 야기시킬 수도 있다. 왜냐하면 수송용 석유제품의 공급을 위한 경질화공정 도입의 일환으로 추진중인 FCC공정과 같은 경질화공정은 많은 비율의 올레핀계 화합물을 생성시킨다. 그러므로 올레핀계 탄화수소의 생산비율을 감소시키기 위해서는 Hydroskimming 혹은 추가로 Hydrotreating Unit의 추가 건설이 필요하게 되므로 현재 계획중인 경질화공정의 선택에 신중을 기해야 할 것이다. 반면에 저분자 올레핀계 탄화수소(프로필렌, 부텐 등)는 Alkylation공정의 좋은 원료가 될 수도 있다. 또한, Oxygenate의 공급을 위한 MTBE 혹은 ETBE 생산설비의 추가건설도 요구된다. 개질휘발유와 같은 저공해성 내연기관용 연료의 공급시기(美國의 경우 1996년)에 맞추어 현 국내 정유산업이 적절한 경질화 탈황 공정을 선택할 경우 타국에 비교하여 투자효율을 높일 수 있을 것으로 예상된다.

〈참고문헌〉

1. "Clean Air Act Amendments", by U.S Government, Nov., 1990
2. "Initial Results From The Auto/Oil Air Quality Improvement Research Program", by J.M. Colucci & J.J. Wise, National Petroleum Refiners Association, March 18, 1991
3. "What Can The Oil Industry Do In the 1990's - an Auto Man's Perspective", by J.M. Colucci, General Motors Research Laboratories, April 25, 1990.