

휘발유 배합재로서의 MTBE

MTBE: A Gasoline Blending Stock

조 용 우*, 김 경 원*, 나 상 천*
Y. W. Cho, G. W. Kim, S. C. Rah

1. 서 론

휘발유는 가솔린엔진을 구동하기 위한 에너지원으로서, 원료로부터 정제된 탄화수소 혼합물을 주성분으로 하고 알콜, 에테르와 같은 합산소화합물이나 특정 성능을 보완해 주기 위한 첨가제 등이 배합되기도 한다.

합산소화합물(표 1 참조) 중에서는 MTBE가 현재 가장 우수한 휘발유 배합재로 인정받고 있으며 널리 사용되고 있다. 알콜의 경우 높은 휘발성, 탄화수소와의 공비혼합물(azeotrope) 형성으로 인한 증류점 규격(특히 50% 증류점) 조절상의 어려움이 있으며 특히 수용해성(water solubility)이 매우 좋아 유통중 수분에 의한 품질오염 문제가 심각하다.

MTBE(methyl tertiary butyl ether)는 1960년대 이후 공해방지를 위해 전세계적으로 가속화된 무연화추세와 휘발유의 공급부족 문제를 극복하기 위해 개발된 휘발유 배합재의 일종으로, 1973년 Snamprogetti사와 ANIC사에 의해 공동 개발된 Snamprogetti/ANIC 공정이 ANIC사의 Ravenna 지역(이탈리아)에 메탄올과 *i*-butylene을 원료로 하여 연산 10만톤 규모로 건설, 가동된 이래 전세계적으로 급격히 생산규모가 확대되었으며^{1,2)},

국내에서는 (주)유공이 처음으로 연산 85,000톤의 MTBE 공장을 완공하여 1989년 10월부터 생산, 휘발유 배합재로 사용하고 있다.

에테르화 공정(etherification process)의 발달과 원료의 경제성 등을 고려할 때, 미래에는 MTBE와 더불어 ETBE(ethyl tertiary butyl ether), TAME(tertiary amyl methyl ether) 등의 에테르계 화합물이 휘발유 배합재로서 경쟁적으로 이용될 것으로 예상되나, ETBE와 TAME의 제조기술상의 상대적 취약성, 휘발유 배합특성이 잘 알려져 있지 않은 점, 원료 확보상의 제약 등으로 인해 당분간 MTBE의 성장추세는 계속될 것으로 판단된다.³⁾

본고에서는 최근 환경오염방지와 관련하여 휘발유 배합재로 각광받고 있는 MTBE의 전반적인 특성과 MTBE가 배합된 휘발유의 차량에서의 실용 성능에 관해 살펴보고자 한다.

2. MTBE 생산기술

MTBE는 *i*-butylene을 과잉의 메탄올과 반응시켜 제조한다(그림 1 참조). 원료인 *i*-butylene은 주로 납사 분해공정 또는 중질유 분해공정에서 부생되며, butane의 이성화/탈수소화, TBA의 탈수화에 의해 만들어지기

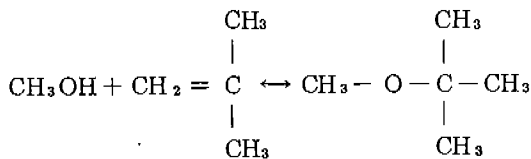
* (주)유공 울산연구소 석유연구실

표 1 합산소화합물, 톨루엔 및 휘발유의 물성

물 성	MeOH	EtOH	MTBE	ETBE	Toluene	Gasoline
탄소 함량 (wt %)	37.5	52.1	68.1	70.5	91.2	85-88
비 등 점 (°F)	149	172	131	158	231	80-437
리이드 증기압						
순성분	4.6	2.3	7.8	4.4	1.1	-
배합시	93-98*	12-27**	6-10	3-5	1-3	8-15
옥 탄 가						
RON		106	106	117	118	114-
MON		90	89	102	102	99-
배합 RON	130-140**	118-141**	113-126	117-120***	109-117	88-98
" MON	93-95	86-97	98-110	101-104***	93-101	80-88
발 열 량						
Btu / 1b	8,570	11,500	15,000	15,600	17,424	18,000-19,000
@ 60°F	56,800	76,000	93,000	96,900	125,283	199,000-119,000
Additive/ Gasoline						
Mileage Efficiency	0.6:1	0.8:1	1:1	1:1	1.1:1	1:1

* at 5 volume % in gasoline
 ** at 10 volume % in gasoline
 *** limited testing

주 반 응



부 반 응

- i-butylene + water ↔ TBA
- MeOH + MeOH ↔ water + DME
- i-butylene + i-butylene ↔ di-isobutylene
- MeOH + n-butane ↔ secondary ether

그림 1 MTBE 합성반응

도 한다.

MTBE 합성반응은 액상의 가역 발열반응으로 상온에서도 비교적 쉽게 진행되므로 상업적으로는 약 20기압, 80°C의 조건에서 행해

진다. 반응속대로는 강산성의 양이온 교환수지인 sulfonated polystyrene/divinylbenzene copolymer 가 주로 쓰인다.

3. 휘발유 배합 특성

3.1 옥 탄 가

휘발유의 옥탄가는 옥탄가가 상이한 경질분에서 중질분까지의 전체 구성성분의 평균값으로서 동일한 옥탄가의 휘발유라도 옥탄가 분포는 많은 차이가 있다.

일반적으로 경질유분은 옥탄가가 낮고 중질유분은 옥탄가가 높는데 이 점에서 접촉개질유(reformate)를 다량 배합한 휘발유의 경우 경질분의 옥탄가가 중질분의 옥탄가에 비하여 상대적으로 매우 낮은 옥탄가 편중현상이 발생한다. MTBE는 경질유분이면서 고옥탄 유분이기 때문에 이러한 옥탄가 편중을 해결하는데 적합하다.

각종 탄화수소 혼합물인 휘발유 구성성분을 증류범위별로 분류하여 옥탄가 분포를 표시해 보면 그림 2와 같은데 평균 옥탄가가 동일하여도 MTBE를 배합한 휘발유가 일반 휘발유에 비하여 옥탄가 분포가 균일함을 알 수 있다.⁵⁾

옥탄가의 분포는 특히 저속주행성과 밀접한 관계를 갖는다. 자동차를 full throttle로 저속에서 급가속할 때 manifold에서의 공기의 유속이 느리기 때문에 휘발유가 충분히 기화되지 않은 상태에서 비교적 비점이 낮은 유분이 먼저 기화하여 실린더에 흡입되는 연료 분리(fuel segregation) 현상이 일시적으로 발생한다. 이때 저비점 유분의 옥탄가가 낮을수록 일시적으로 녹킹 등 운전성 악화의 가능성이 높아진다.

MTBE 배합 휘발유는 옥탄가 분포를 보다 균일하게 함으로써 위와 같은 저속 주행시의 일시적 운전성 악화를 크게 개선시켜 줄 수 있다.

3.2 증류성상

MTBE를 휘발유에 배합하였을 경우, 증류곡선은 그림 3과 같이 혼합비율이 증가할수록 20~60% 증류온도가 저하된다.⁶⁾

이러한 증류온도의 저하는 MTBE의 낮은 비점(55℃) 때문이며, MTBE보다 비점이 높은 메탄올(65℃) 또는 에탄올(78℃)을 혼합한 휘발유의 증류곡선에서 볼 수 있는 공비현상은 나타나지 않는다(그림 3 참조).

표 2는 8.7 psi의 RVP(Reid vapor pressure)를 갖는 MTBE를 하절기용 휘발유에 배합하였을 때의 휘발성 변화를 나타낸 것으로 MTBE 배합에 따른 RVP 변화는 거의 없지만, 일정 온도에서의 V/L비는 상당히 증가되었음을 알 수 있다.⁶⁾

이러한 MTBE의 배합특성으로 인해 동절기에 MTBE를 배합하였을 경우에는 저온시동성(startability)과 난기성(warm up)이 향상되며, 하절기에 MTBE를 배합하였을 경우에는 증기폐쇄(vapor lock) 경향이 다소 높아질 것으로 판단된다. 그러나 MTBE 배합시 RVP 및 옥탄가 조정이 용이하게 되므로 배

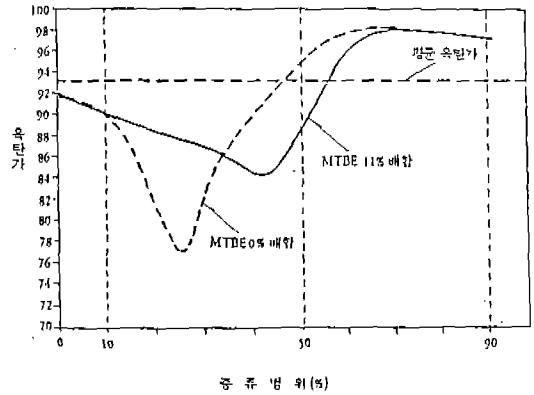


그림 2 MTBE 배합휘발유의 옥탄가 분포

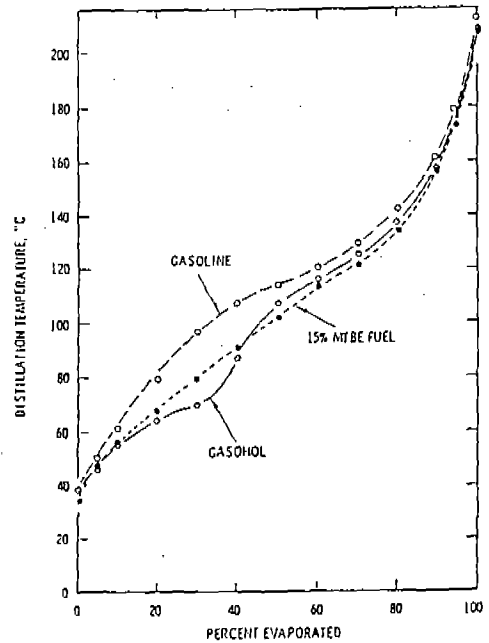


그림 3 MTBE 배합 휘발유의 증류 곡선 변화

표 2 MTBE 배합휘발유의 휘발성

휘 발 성	하 절 기 휘 발 유	15% MTBE 배 합 휘 발 유
RVP, psi	9.3	9.4
V/L 비		
140 °F	17.0	23.0
150 °F	27.2	36.0
160 °F	38.0	53.4

합성분 함량을 변화시킴으로써 하절기 증기배출 현상은 쉽게 보완될 수 있다.

3.3 탄화수소 조성

MTBE가 배합되면 휘발유의 주배합재인 집축개질유의 배합비율이 감소되므로 휘발유의 조성이 바뀌게 된다.

집축개질유는 벤젠, 톨루엔, 자일렌 등을 다량 포함하는 RON 90~100의 고방향족 유분이다. 따라서 휘발유에 MTBE를 배합할 경우 집축개질유의 배합비율이 감소되므로 휘발유종의 유해 방향족 성분(벤젠 등)의 양이 감소함과 동시에 산소 함량의 증가로 기관내의 연소가 촉진된다.

4. MTBE 배합휘발유의 실용성능

4.1 운전성 (Driveability)

표 3은 MTBE 배합 휘발유의 대기온도 변화에 따른 저온시동성능 시험결과로서 대기온도가 낮아수록 MTBE 배합시의 저온시동성 향상 효과가 더욱 크게 나타났다.⁷⁾ 이것은 MTBE 배합 휘발유가 일반 휘발유에 비하여 동절기에 더욱 우수한 저온시동성을 발휘할 것이라는 앞에서의 예상과 일치한다.

MTBE를 첨가한 휘발유의 난기성도 일반 휘발유보다 우수하였으나 예상하였던 것보다는 향상 효과가 적게 나타났다. 이것은 MTBE를 함유한 휘발유의 상대적으로 낮은 연소열 때문인 것으로 판단된다.⁶⁾

4.2 배기가스

자동차 배기가스는 사용연료, 엔진의 종류 및 주행특성 등에 따라 달라진다. 특히 차량 배기가스는 휘발유의 산소 함량에 가장 크게 좌우되고 다음으로 RVP, 방향족 및 벤젠함량 등에 영향을 받으며 비중, 증류점 등에 의한 영향은 거의 없는 것으로 알려져 있다.

CFR 엔진을 사용한 15% MTBE 배합 휘발유의 배기가스 측정시험 결과(그림 4)에 의하면 주어진 공연비에서 MTBE 배합 휘발유는 배기가스중의 미연탄화수소(unburned

표 3 저온시동성

시동온도 °C	시 동 시 도 횟 수		
	일 반 휘 발 유	MTBE 3 % 함유 휘 발 유	MTBE 16 % 함유 휘 발 유
+ 5	1	1	1
0	1	1	1
- 5	1~2	1~2	1
- 10	4~5	2~3	2~3
- 15	20~40	2~3	2~3

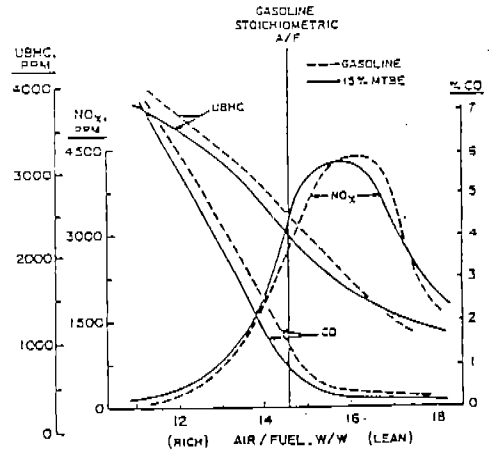


그림 4 15% MTBE 배합 휘발유의 공연비에 따른 배기가스 변화

hydrocarbon)와 CO의 양이 일반 휘발유에 비하여 적게 나타났으며, NOx의 양은 거의 변화가 없었다.⁸⁾

'89년형 엑셀(현대자동차)을 이용한 Chassis Dynamometer 시험(표 4)에서도 위의 CFR 엔진 시험과 유사한 결과를 얻었다.

이러한 MTBE의 공해 저감효과는 MTBE 중의 산소에 의한 연소효율 개선에 기인하며, 정량화된 저감효과는 Sierra 연구소의 자료(표 5)에 잘 나타나 있다.

4.3 연료 경제성 (Fuel Economy)

MTBE를 함유한 휘발유는 일반 휘발유에 비하여 이론적으로 MTBE 1%당 0.2% 낮은 발열량을 가지므로 연료경제성이 다소 나

표 4 MTBE 배합휘발유로부터의 배기가스 농도 및 연비

시 험 항 목	배 출 가 스 농 도					연 비 (km/ℓ)
	정 지 가 동 시		주 행 시 험 시 (CVS-75)			
	CO (%)	HC (ppm)	CO (%)	HC (g/km)	NOx (g/km)	
MTBE 배 합 전	0.02	10	6.25	0.35	0.25	12.87
MTBE 11% 배 합 후	0.02	10	5.25	0.32	0.24	12.85
변 화 율 (%)	nc	nc	-16.1	-8.6	nc	nc

('89년형 엑셀, Chassis Dynamometer Test 결과)

표 5 함산소화합물의 배기가스 저감효과 (Sierra Research, Inc.)

공 해 물 질	10% Ethanol	20% ETBE	15% MTBE	M-85	E-85
(1) 일산화탄소	22-30 %	20-30 %	15 %	90 %	90 %
(2) 오 존					
• 미연탄소 (UHC)	10-15 %	10-15 %	10-15 %	50 %	50 %
• 질소산화물 (NOx)	+ 2 %	neutral	neutral	+ 200 %	+ 100 %
• Photochemical Reactivity Index (UHC + BTX)	54-59	78-83	50-55	150	150
• Volatility Index	neutral	11 %	neutral	neutral	neutral
(3) Aromatics (BTX)	44 %	68 %	40 %	100 %	100 %
[Benzene Emissions + Photochemical Reactivity]					
(4) 이산화탄소 (Greenhouse Gas Minimization)					
• 탄소함량 (wt.%)	4.3 %	4.6 %	4 %	51 %	36 %
• CO ₂ Extraction Function [Renewable Biomass Effect]	2.7 %	2.7 %	0 %	0 %	23 %
Net CO ₂ =	7 %	7.3 %	4 %	51 %	59 %
(5) Aldehydes					
• Formaldehyde (toxic)	neutral	no increase	slight increase	+100%	no increase
• Acetaldehyde (non-toxic)	slight increase	slight increase	neutral	neutral	slight increase

빠질 것으로 예상된다. 그러나 실차시험 결과 (그림 5), MTBE 배합에 따른 연비의 변화는 거의 없는 것으로 나타났다.⁹⁾

'89년형 엑셀을 대상으로한 시험(표 4)에서도 MTBE 배합 휘발유의 연비 변화는 나타나지 않았다. 이러한 현상은 MTBE 배합 휘발

유 중의 산소가 배기가스 중의 CO를 CO₂로 산화시킬 때 발생하는 반응열과 회박운전(leaner operation)-10% MTBE 배합의 경우 이 른 공연비 0.3 증가-에 의한 엔진효율 향상에 기인하는 것으로 판단된다.

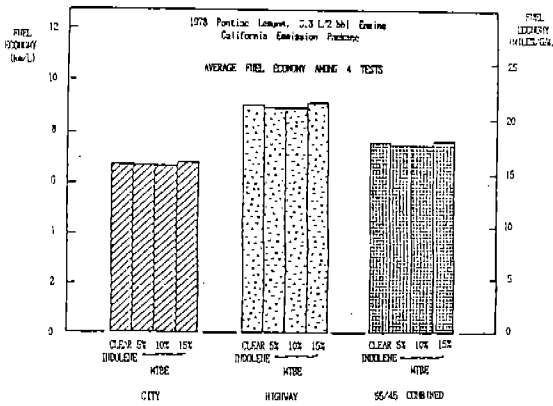


그림 5 MTBE 가 휘발유 연비에 미치는 영향

4. 4 엔진 청결성 (Engine Cleanliness)

엔진 및 연료계통의 불순물 퇴적은 엔진의 출력 및 가속성능 등의 저하를 초래하며 연비 악화를 유발하는 주요한 요인으로서 휘발유의 품질향상의 관점에서 그 중요도가 점점 높아 가고 있다.

Sun Oil사와 Nippon Mining사의 15% MTBE 배합 휘발유에 대한 intake system 청정성 시험결과(표 6)에 의하면 MTBE 배합 휘발유를 사용하였을 때가 일반 휘발유를 사용하였을 때보다 엔진 상태가 깨끗한 것으로 나타났고¹⁰⁾, Chevron의 결과(그림 6)에서도 MTBE는 carburetor deposit를 저감시키는 효과를 보여주고 있다.

표 6 흡입계통의 청정성

Carburettor Cleanliness (10 - Clean)	15 % MTBE	Reference Fuel
Throttle Plate (prim.)	10.0	9.9
Throttle Plate (second)	9.9	9.9
Throttle Body (prim.)	9.9	9.6
Throttle Body (second)	9.9	9.0
Intake Manifold (prim.)	4.6	4.9
Intake Manifold (second)	4.0	4.1
Deposit (mg)	() = Merit rating (10 - Clean)	
Cylinder Head	(1)	774
	(2)	795
	(3)	946
	(4)	727
	AVG.	811
Intake Valve	(1)	734 (7.0)
	(2)	915 (7.0)
	(3)	1036 (6.5)
	(4)	1176 (6.0)
	AVG.	965 (6.0)
Exhaust Valve	(1)	38 (9.0)
	(2)	28 (9.0)
	(3)	24 (9.0)
	(4)	39 (9.0)
	AVG.	32 (9.0)

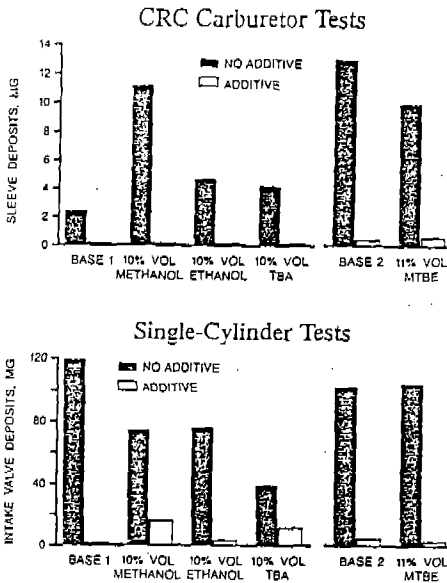


그림 6 Induction System Detergency

미국의 첨가제 회사인 Lubrizol에서 수행한 시험에서는 실험 횟수가 적어 일반화하기는 어렵지만 일반 휘발유에 비해 10% MTBE 배합 휘발유의 intake valve deposit이 증가하였다.¹¹⁾ 그러나 Chevron의 실험에서는 intake valve deposit에 대한 두 연료간의 차이는 거의 나타나지 않았다.

위의 결과들에서 볼 때 MTBE는 intake system에서는 우수한 청정 효과를 나타내지만 intake valve에서의 deposit 증가 가능성을 완전히 배제할 수는 없는 것으로 보인다. 그러나 열 안정성이 뛰어난 polyetheramine류의 청정분산제 개발로 엔진 청결성능은 첨가되는 청정제의 종류와 사용 농도에 크게 의존하게 되었으며 MTBE에 의한 intake valve deposit에 대한 우려도 청정분산제의 첨가로 완전히 해결되었다.¹¹⁾ 이것은 polyetheramine류의 청정분산제의 첨가로 deposit의 90% 이상을 감소시켰다고 보고한 Chevron의 결과(그림 6)에서도 잘 입증된다.

4.5 저장 안정성

MTBE는 산소와 접촉하여도 저장 안정성에 영향을 주는 peroxide를 형성하지 않으며,

표 7 MTBE 배합휘발유의 산화안정성

단위 : mg/100ml

연료	초기치	6개월후
MTBE 배합전	3	12
MTBE 배합후(15%)	3	8

(ASTM D 381)

표 8 Cupric Acetate가 함유된 휘발유의 MTBE 농도에 따른 산화안정성 변화

(ASTM D525)

Cu (II) 농도 (mg/50ml)	Induction Period (hr)			
	MTBE 농도 (vol. %)			
	0	10	20	30
0.2	3.75	4.75	5.5	5.75
0.4	3.25	4.0	4.25	5.0

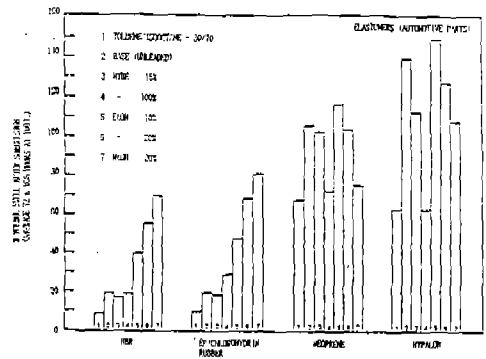


그림 7 고무류 팽윤에 미치는 영향

오히려 산화촉매인 제 2 등 (Cu)이온에 대하여 금속불활성제로 작용하여 휘발유의 산화안정성을 연장시키는 효과가 있다(표 7, 8).^{2, 12)}

MTBE가 15% 배합된 경우에는 별도로 금속불활성제를 주입할 필요가 없는 것으로 보고된 바도 있다.¹²⁾

4.6 재질에 대한 영향

MTBE 배합 휘발유는 알루미늄, 아연, 납 등의 금속 재질에 대하여 부식을 촉진시키지 않으며, NBR, neoprene, epichlorohydrin rubber, hypalon 등의 고무류 재질의 팽윤 (swelling)에 미치는 악영향도 없는 것으로 알려져 있다(그림 7).¹⁰⁾

4.7 기 타

MTBE를 휘발유에 5%이상 첨가시 소비자들은 냄새에 의하여 MTBE 배합 휘발유를 감지할 수 있다.¹³⁾

실험에 의하면 MTBE는 일반 휘발유에 비하여 인체에의 위해성이 다소 적은 것으로 나타났다.⁶⁾

15% MTBE 배합 휘발유 사용 엔진의 요구 옥탄가 상승(octane number requirement increase)은 일반 휘발유에 비해 0.6 RON 낮게 나타났으나(그림 8) 시험방법상 오차를 감안할 때 의미있는 정도는 아닌 것으로 생각된다.¹⁰⁾

5. 세계적인 사용 현황

미국의 전체 휘발유에서 MTBE 배합 휘발유가 차지하는 비율은 1988년에 14%이고 평균 배합비는 11 vol.%인데, 이것은 전체 휘발유 대비 1.5%에 해당하는 수준이다.¹⁴⁾

최근 미국의 각 정유사들은 대기정화법(Clean Air Act)과 일부 지역(California, Colorado 등)에서의 합산소화합물 사용 의무화(표 9)에 대비하여 대기오염 수준이 월등히 개선된 reformulated gasoline의 개발에 심

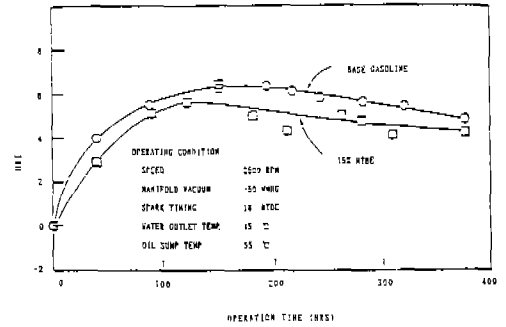


그림 8 MTBE 배합에 따른 요구옥탄가 상승률을 기울이고 있으며 일부 정유사(ARCO, Conoco, Chevron 등)에서는 이미 상품화하여 판매하고 있다(표 10).¹⁵⁾

Reformulated gasoline이란 gasoline 차량에서 배출되는 공해 물질 및 인체 유해 휘발성 물질의 저감을 위해 연료조성을 바꾸어 제조한 gasoline을 통칭하는 것으로서 이를 생산하기 위해서는 MTBE와 같은 합산소화합물의 배합이 필연적이다. 실제로 미국에서 판매되고 있는 reformulated gasoline의 대부분이 5~15%의 MTBE를 배합하고 있다.

일본은 JIS(일본공업규격)에 휘발유를 "가솔린엔진에 적당한 품질의 정제광유"로 규정¹⁶⁾하고 있기 때문에 비탄화수소계의 합성물질인 MTBE의 휘발유 배합을 금지하고 있

표 9 미국의 합산소화합물 사용 의무화

지 역	Min. 02 wt. %	MTBE equiv.
Colorado	2.0 Nov. - Feb.	125 kt
Phoenix	2.3 Oct. - Mar.	230 kt
Tuscon	2.0 Nov. - Feb.	35 kt
Las Vegas	2.5 Nov. - Feb.	40 kt
Reno	2.0 Oct. - Feb.	15 kt
Albuquerque	2.0 Nov. - Feb.	55 kt
Tampa	검 토 중	?
New York City	"	large volumes
개정된	2.0 - 3.0	VERY
대기정화법	all year	large volumes
-미국전역의 일산화탄소 규제 미충족 지역		

표 10 미국 정유사의 Reformulated Gasoline 판매 동향

Company	Name	Markets	Max. Summer RVP	Max. Aromatics (vol. %)	Max. Benzene (wt. %)	Max. Sulfur (ppm)	Typical Oxygen (wt. %)
Arco	EC-1	Southern California	8.0	20	1	300	1.0
	EC-Premium	Southern California	8.0	25	1	300	1.5
Diamond Shamrock	RG-87	Colorado	8.5	20	1	300	2.0
	RXL	Colorado, Montana	8.5	25	2	300	2.5 ¹
Conoco	Regular Unleaded	Montana	8.5	25	2	450	0
Phillips	Super Clean Unleaded Plus	St. Louis	9	20	1	300	1.0
		Colorado	8.5	20	1	300	2.0 ²
Marathon	Amaracleam ³	Southeastern Michigan	9.5	25 ⁴	2	300	1.8
Shell	SU 2000-E	Nine Severe Ozone	8.5 ⁵	-	-	-	1.0
		Nonattainment Cities plus Washington, D. C.					
Exxon	Supreme, Plus	40 Gulf Coast and East Coast Markets	8.5	-	-	-	0 ⁶
	Supreme	Los Angeles, San Diego, Santa Barbara, Houston, Baltimore, Washington	8.5	-	-	-	1.0

(단) 1. Colorado의 RXL은 겨울철에만 합산산화합물 배합
 2. 겨울철 이외에는 1.0 wt. % 배합
 3. 87, 89, 92-ostane (R+M)/2 세 등급의 제품 생산
 4. 등급에 따라 다름
 5. 판매 지역에 따라, 8.0 - 8.5 psi의 제품 생산
 6. New York 지역에서만 합산산화합물 배합

는 형편이나 최근 MTBE 배합에 대한 논의가 계속되고 있다.

6. 결 론

앞에서 살펴본 바와 같이 MTBE는 고옥탄가 저휘발성의 합산소화합물로서 휘발유 배합시 공해방지 및 차량 운전성능 향상 등의 품질향상 효과가 이미 입증되어 있어서 외국의 경우 사용이 보편화되어 있으며 향후에도 지속적인 사용량 증가가 예상된다.

국내에서는 시장의 협소성으로 외국에서와 같은 풍부한 고옥탄 배합재들(분해가솔린, alkylate, isomerate 등)을 확보하지 못하고 대부분 접촉 개질유에만 의존하여 휘발유를 제조하고 있으므로 휘발유 제반 성상의 최적 관리에 많은 어려움을 겪고 있는 실정이다. 그러나 세계적인 환경보존 추세에 부응하고 자동차의 고성능화에 따른 고급 무연휘발유의 필요성에 대처하기 위해서는 국내에서도 MTBE와 같은 고옥탄가 저휘발성, 비방향족 경질유분의 배합 사용이 절실히 요구된다.

참 고 문 헌

1. Mills, G.A. and Ecklund, E.E., "Alternative Fuels: Progress and Prospects, Part 2," CHEMTECH, Oct., 1989.
2. Pecci, G. and Floris, T., "Ethers Ups Anti-knock of Gasoline," Hydrocarbon Processing, Dec., 1977.
3. Unzelman, G.H., "Ethers Will Play Larger Role in Octane, Enviromental Specs for Gasoline Blends," Oil & Gas Journal, Apr. 17, 1989.
4. Hallberg, D.E., "Development of MTBE in the U.S.," Conference on Oxygenated Fuel in Europe, Jun. 13-14, 1989.
5. Furey, R.L. and King, J.B., "Evaporative and Exhaust Emissions from Cars Fueled with Gasoline Containing Ethanol or Methyl tert-Butyl Ether," SAE Paper 800261.
6. Reynolds, R.W., Smith, J.S. and Steinmetz, I., "Methyl Ethers as Moter Fuel Components," ACS Division of Petroleum Chemistry Meeting, Atlantic City, NJ, 8-13, 1974.
7. Csikos, R., Pallay, I., Laky, J., Radcsenko, E.D., Engline, B.A. and Robert, J.A., "Low-Lead Fuel with MTBE and C4 Alcohols," Hydrocarbon Processing, Jul., 1976.
8. Douthit, W.H., Davis, B.C., Steinke, E.L. and Doherty, H.M., "Performance Features of 15% MTBE/Gasoline Blends," SAE Paper 881667.
9. Johnson, R.T. and Taniguchi, B.Y., "Methyl Tertiary-Butyl Ether, Evaluation as a High Octane Blending Component for Unleaded Gasoline," ACS Division of Petroleum Chemistry Meeting, Miami, Florida, Sep. 10-15, 1978.
10. Miyawaki, S., Date, K., Akasaka, Y. and Maeda, T., "Evaluation of MTBE Gasoline by Japanese Passenger Cars," SAE Paper 801352.
11. Tupa, R.C. and Koehler, D.E., "Intake Valve Deposits: Engines, Fuels and Additives Effects," Automotive Engineering, Vol. 97, No. 1, Jan., 1989.
12. 藤原康雄, 吉田榮一, 野崎信義, 長澤隆夫, "MTBE 混合 ガソリン의 實用性能", 日本石油學會誌, Vol. 28. No. 1, 1985.
13. Falkiner, B., "All You Want to Know about MTBE in Gasoline," Market Technical Bulletin MTB 89-16, EXXON, May 1, 1989.
14. Baker, T. and Hunt, P., "Refinery Economics-Analyzing Oxygenates," Conference on Oxygenated Fuels in Europe, Jun. 13-14, 1989.
15. "New Reformulated Gasolines Pick Up Market Momentum," Octane Week, Mar. 26, 1990.
16. 自動車 ガソリン, "JIS K2202. 日本工業規格, 1988.