인돌렌-메탄올 대체연료의 연료 특성과 엔진성능에 관한 연구

A Study on the Fuel Characteristics and Engine Performance of Indolene-Methanol Alternative Fuel

이 민 호*, 오 율 권**, 차 경 옥***
Min-ho Lee, Yool-kwon Oh, Kyung-ok Cha

Abstract

A study of the property and performance effect of Indolene-Methanol Plus High Alcolhols (MPHA) has been completed. This study invested the measurement of fuel properties and performance parameters. The fuel properties investigated are distillation characteristics, heating value, flash point, specific gravity and water tolerance. The performance parameters measured are minimum advance for best torque (MBT) spark timing, power output. The alcohol concentration was varied from 0 to 100 percent by volume in clear Indolene.

The measurement of fuel properties indicated that, in general, Indolene-MPHA blends have higher water tolerance, similar specific gravity, similar flash point and different distillation characteristics compared to Indolene-Methanol blends.

The performance parameters were measured using a single cylinder spark ignition engine at different compression ratios. The results of the performance measurements indicated that Indolene-MPHA blends have a higher MBT spark advance, similar power output.

주요기술용어 (Key Words) : MPHA (Methanol plus high alcohols), CFR engine (Cooperative fuel research engine), KLCR (Knocking limit compression ratio), BSFC (Brake specific fuel consumption)

1. 서 론

세계적으로 오늘날 에너지 자원의 고갈과 지구 온난화에 따른 환경문제 중 하나는 배기 배출물 및 연료에 관한 규제가 더욱 엄격해지면서 강화되고 있는 추세이다. 그렇지만 대체연료 중 메탄올 연료는 가솔린 및 가스터빈 연료와 마찬가지로 완전연소가 가능하고, 가솔린과 비슷한 연료특성을 가지고 있어서 기존엔진의 과도한 개조를 요구하지 않으므로 산업용 연료로써 관심이 크게 높아지고 있다.[1~4]

특히 메탄올은 석탄 및 농축산의 부산물을 비롯하여 대도시 생활 및 환경 쓰레기들로부터 생산이 될 수 있을.[5~8] 뿐만 아니라 화학적 합성으로서도 생산이 될 수 있다. 이렇게 생산된 메탄연료는 순수한 메탄올이 아니고, 오히려 메탄올과 고농도 알콜의 혼합물 특성을 가지고 있다.

한편, 저농도 메탄올의 생산과정에서 얻어지

* 명지대학교 대학원 기계공학과
** 조선대학교 기계공학부
*** 명지대학교 기계공학과

고 있는 메탄올은 전통적인 증류방법에 의해서만 이루어지고 있지만, 이와는 다르게 고농도 알콜 성분들은 증류탑의 하부에서 추출되고 있다.[9]

순수 메탄올 대신에 이렇게 생산되는 MPHA 이용의 장점은 연료비와 생산비를 줄일 수 있다는 것이다. 이러한 메탄올의 특성은 석탄이나 다른 자원에서 추출되는 알콜 연료의 성분과 생산과정, 작업조건의 과정 및 원료 재료의 특성 등에 따르고 있다.[10]

여기에서, Indolene - Methanol과 Indolene - MPHA 혼합물은 서로 다른 성분들을 가지고 있기 때문에 이들 물성치를 파악한 후에 여러 가지의 작업조건에 따른 실험과 엔진 성능인자에 대한 실험을 할 필요가 있다.

따라서 본 연구는 Indolene - Methanol 혼합연료 및 Indolene - MPHA 혼합연료의 연료 특성과 성능인자들을 규명하기 위하여, 연료의 에너지 밀도, 발열량, 인화점, 비중 및 내수성 등이 어떠한 형태의 특성을 가지고 있는지를 실험하여 비교하고, 성능인자인 MBT 점화시기, 제동출력을 조사하였다. 또한, MPHA와 메탄올 혼합비율은 Indolene의 체적에 대해 0~100 %까지 변화시켰으며, 성능 인자들의 다양한 압축비에 따른 경향도 분석하였다.

2. Indolene - MPHA 연료 특성

Indolene - MPHA의 연료에 대한 물성치는 밀도, 비중, 절대점성, 표면장력, 증류 온도, 인화점, 발열량값 등이 있다. 아울러, 스파크 점화 엔진의 작동효과에 커다란 영향을 미치는 것은 연료 물성치들이며 증류특성, 인화점, 발열량값 및 성분 등이 있다.

본 실험에서도 표준 ASTM 실험방법에 의하여 발열량값, 인화점, 내수성, API 비중, 화학양론의 공연비 등의 물성치들을 측정 및 계산을 하였다.

2.1 에너지 밀도

보통 연료 경제성은 엔진에서 제동연료 소비율(BSFC)의 형태로 표현된다. 제동연료 소비율은 화학적 에너지의 효율을 유용한 기계적 일의 전환으로 나타내는 변수이다. 이러한 제동연료 소비율에 영향을 미치는 다른 열역학의 변수들은 에너지-질량 밀도의 함수이다. 연료의 에너지 밀도 및 발열량은 완전 연소에 의한 결과와 관련되는 에너지 량을 측정하는 것이다. 이때 연료의 고위 발열량 값은 단열 봄베 열량계에 따른 것이고, Indolene과 Indolene - Methanol, Indolene - MPHA 혼합물의 발열량도 같은 방법으로 측정하였다.

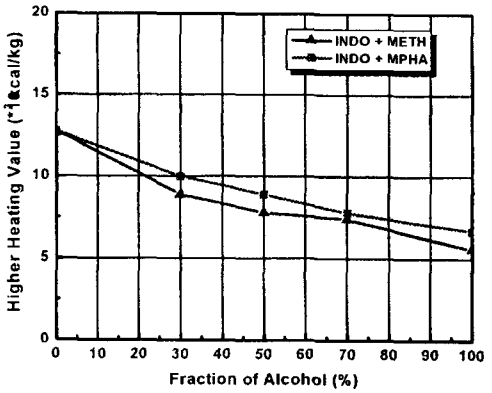

Fig. 1 Measured higher heating values of Indolene-Alcohol blends

Fig.1은 Indolene - MPHA 혼합물의 고위 발열량 값을 나타낸 것이다. 측정된 발열량은 순수 알콜에서는 낮아지고, 혼합물에서는 높아진다. 물론 모든 혼합비율에서 Indolene - MPHA 혼합물의 발열량 값은 Indolene - Methanol 혼합물의 발열량 값보다 한층 더 높다.

에너지-체적 밀도는 전적으로 에너지-질량 밀도와 비중의 곱에 비례한다. MPHA의 비중은 메탄올의 비중과 유사하며, Indolene - MPHA 혼합물의 에너지-체적 밀도는 Indolene - Methanol 혼합물보다 높다.

혼합물들의 발열량 값은 순수한 성분 물성치로부터 식(1)에 의해 얻어지게 된다. Fig.2는 혼합물에 대한 순수 성분으로부터 식(1)과 측정치를 사용해 재시된 혼합물인 Indolene - Methanol과 Indolene - MPHA의 고위 발열량을 나타내고 있다.

$$HVM = MI * HVI + MA * HVA \qquad (1)$$

여기서, HVM = 혼합물의 발열량
MI = Indolene의 질량비
HVI = Indolene의 발열량
MA = 알콜의 질량비
HVA = 알콜의 발열량

위의 결과에 따르면 먼저 Indolene - MPHA 혼합물에서 측정값과 예상값은 잘 일치하고 있음을 알 수 있다. 그러나 Indolene - Methanol 혼합물에 대해 계산된 값은 측정값 보다 더 높게 나타나고 있음을 확인할 수 있다.

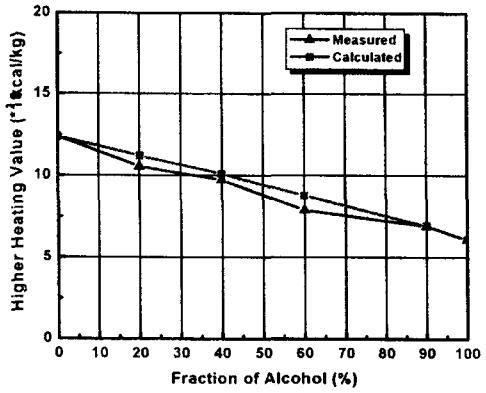

Fig. 2 Measured and calculated higher heating values of Indolene-MPHA blends

2.2 내수성도

Fig.3은 Indolene - Alcohol 혼합물의 내수성을 나타내고 있다. 물이 포함된 가솔린 내에서 알콜의 용해성, 즉 분당 용해량은 실내 온도에 제한을 받는다. 소량의 물을 Indolene - Alcohol의 혼합물에 첨가했을 경우 수소는 물과 알콜 분자와 결합하며, 혼합물은 두 가지 상으로 나누어진다. 파라핀 탄화수소는 높은 상에서 지배적이지만, 낮은 상일 때는 주로 알콜과 물로 이루어져있다. 이러한 특성은 내수성이 낮은 온도에서 더욱 확실해 진다. 실온에서 알콜 농도가 증가함에 따라, 내수성은 증가한다. 90 % 메탄올 혼합물은 10 % 혼합물에서 0.25 %와 비교하여 체적당 8.25 %의 내수성을 가진다. 90 % MPHA 혼합물은 대기온도에서 90 % 메탄올 혼합물과 비교하였을 때는 약 50 %의 높은 내수성을 가진다.

물이 포함된 메탄올과 가솔린의 용해성은 자동차용 연료로써 이들 혼합물의 사용을 시도하는데 어려운 문제점 중의 하나가 될 수 있다. 현재 사용되는 연료 분배시스템, 정제장치, 파이프라인, 터미널 탱크 등은 연료의 이송시에 생길 수 있는 물을 완전히 제거하도록 설계되어 있지 않기 때문에 저장탱크에서 응축수에 의해서 추가적인 오염이 일어날 수 있다. 그러나, Indolene-MPHA 혼합물은 Indolene-Methanol 혼합물보다 내수성을 증가시키므로, 남아있는 연료 분배와 이송 시스템에서 별다른 수정 없이 사용이 가능할 것이다.

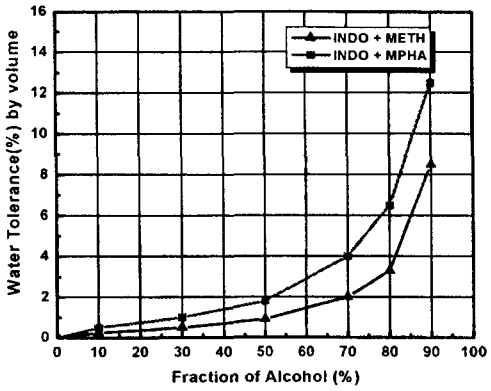

Fig. 3 Water tolerance of Indolene-Alcohol blends

2.3 인화점

연료의 인화점은 화염이 순간적 점화에 따라서 상승하는 증기의 가장 낮은 온도이다. 이것은 연료의 화염성과 운반 가능성, 안전 규정을 평가하는데 이용된다. Methanol과 MPHA 연료의 인화점은 Densky - Marfens 그리고 ASTM D93 방법을 사용하여 측정한 것이다. 여기서, 순수한 Methanol의 인화점은 10 ℃이고 MPHA는 9.4 ℃이다. 인화점은 이들 연료사이에서 변하지 않으므로 Indolene - Methanol과 Indolene - MPHA 혼합물의 인화점은 비슷할 것이다.

2.4 API 중량과 비중량

API 중량은 15.5 ℃에서 측정된 API 단위의 크기에 의하여 정의한 것이다. Indolene-Methanol과 Indolene-MPHA 혼합물의 API 중량은 Fisher brand Petroleum Hydrometer를 사용하

여 측정되었다. Fig.4는 Indolene - Methanol과 Indolene - MPHA 혼합물의 API 중량을 나타내고 있다. 일반적으로 알콜 혼합비율의 증가함에 따라서 API 중량은 감소한다. 그러므로 Indolene - Methanol의 API 중량은 Indolene - MPHA 혼합물보다 약간 높다.

물의 비중량은 밀도에 따라서 연료의 밀도를 나눔으로서 정해진다. 식(2)에서와 같이 비중은 API 중량과 연관이 있다.

$$\text{Degree API} = (141.5/\text{비중}) - 131.5 \qquad (2)$$

Fig.5는 Indolene-Methanol과 MPHA 혼합물의 비중을 나타낸 것이다. 알콜 혼합비율의 증가에 따라서 비중량이 약간씩 점진적인 증가를 보이고 있다. 일반적으로 Indolene-MPHA 혼합물은 Indolene-Methanol 혼합물보다 비중량이 조금 높다.

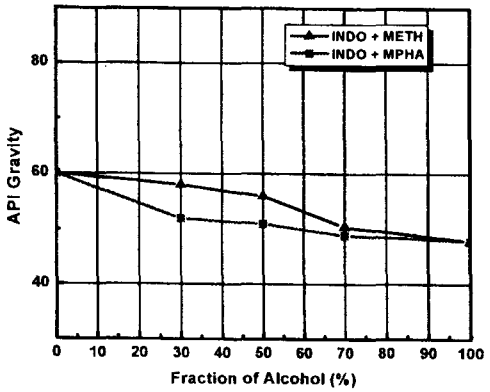

Fig. 4 API gravity of Indolene-Alcohol blends

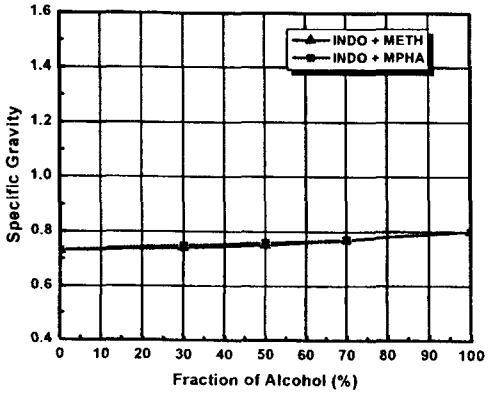

Fig. 5 Specific gravity of Indolene-Alcohol blends

2.5 Stoichiometry

당량비와 연소는 연료의 H/C 비와 연관이 있다. 일반적으로 Indolene에 대한 H/C는 1.86이고, 메탄올에서 0.25, MPHA에서 3.269이다.

마찬가지로, 공연비도 연료의 H/C비율에 의존하고 있다. Indolene의 공연비는 14.56, 순수 메탄올에서 6.43, MPHA에서 7.4468이다.

Fig.6은 알콜 혼합비율의 함수로서 공연비의 변화량을 표시한것이다. 알콜 혼합비율이 증가함에 따라 공연비는 감소한다. Indolene-MPHA 혼합물의 공연비는 Indolene-Methanol 혼합물보다 높다.

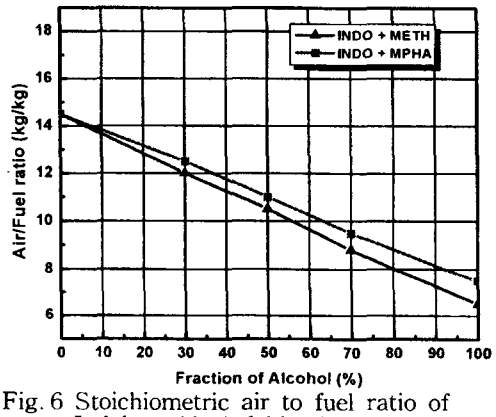

Fig. 6 Stoichiometric air to fuel ratio of Indolene-Alcohol blends

위의 물성치를 기초로 하여 Indolene-MPHA 혼합물을 Indolene-Methanol 혼합물과 비교하여 보면, Indolene-MPHA 혼합물 사용의 주요 잇점은 내수성이 더 높다는 것이며, 또한 높은 혼합물 수준에서 50%의 증류특성이 있으며, 높은 발열량 값과 대체적으로 가격대가 저렴하다는 것이다.

이런 결과들로부터 Indolene-MPHA 혼합물은 Indolene, Methanol 연료와 마찬가지로 엔진 디자인의 어떤 변경도 없이 사용할 수 있을 것이다.

3. 실험 장치 및 방법

3.1 실험장치

성능 측정에 사용된 엔진은 다양한 압축비에서 실험이 가능한 단기통 CFR 스파크점화 엔진이다. 이 엔진은 Eddy-current type의 동력계에 연결하여 실험을 수행하였으며, Fig.7에 실험에 사용된 동력계 및 측정장비를 나타내었다.

공기흡입시스템은 공기 보조탱크, 공기필터, Laminar flow-meter, 공기가열기로 구성되어 있다. 흡입공기의 온도는 일정하게 20±1℃로 유지시키며, 연료시스템은 연료펌프, 연료 콘트롤러, 연료필터, 연료분사펌프로 구성하였다.

연료는 흡기밸브에서 약 152.4 mm 정도 떨어진 흡기매니폴드를 통하여 6.9 bar로 분사시켰으며, 청정 Indolene과 산업용 알콜을 엔진에 사용하였다.

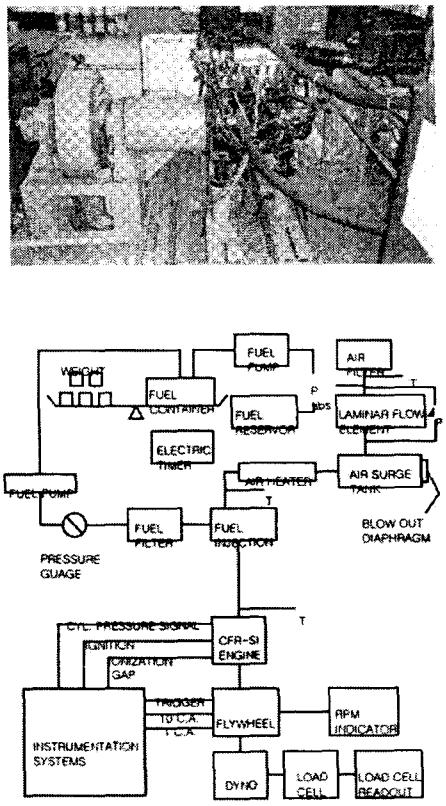

Fig. 7 Layout of test rig

3.2 실험방법

실험조건은 Table 1과 같다. 이 실험은 Indolene을 압축비 5에서 노킹 한계 압축비(KLCR)까지 변화시켜 각각의 압축비로부터 1000 rpm에서 MBT 점화 시기 측정을 하였다. 이와같은 방법으로 연료량, 공기량, 배기온도, 토크, 엔진오일온도 등도 측정하였다. 그리고 나서 메탄올 농도를 30 %, 50 %, 70 %, 100 %로 증가시키고, 각각의 혼합물에 대하여 압축비에 따른 MBT 점화 시기를 측정하였다. 마찬가지로 Indolene-MPHA 혼합물에 대해서도 반복 실험을 하였다. 그 후에 제동 출력, 제동 연료 소비율, 제동 열효율 같은 성능 인자들을 계산하였다. Table 2는 실험에 사용된 엔진의 운전 조건을 나타내고 있다.

Table 1 Experimental test matrix

Compression Ratio (CR)	5 : 1
	6 : 1
	7 : 1
	KLCR (Knocking limit compression ratio)
Indolene-Alcohol Blend	Indolene + 30 % Methanol
	Indolene + 50 % Methanol
	Indolene + 70 % Methanol
	100 % Methanol
	Indolene + 30 % MPHA
	Indolene + 50 % MPHA
	Indolene + 70 % MPHA
	100 % MPHA

Table 2 A summary of general operating condition

Spark timing	MBT
Intake air temperature	20 ± 1 ℃
Equivalence ratio (λ)	1 ± 0.02
Engine speed	1000 rpm
Intake air pressure	W. O. T

4. 엔진 성능

4.1 MBT 점화 시기에 관한 알콜 효과

Fig.8~Fig.11은 다양한 압축비에서 MBT 점

화시기에 대한 메탄올과 MPHA 혼합비율의 효과를 나타내고 있다. 어떤 고정 압축비에서 알콜 혼합비율이 증가하면 MBT 점화 시기는 늦어지는 부분도 있고 상사점을 향하여 움직이는 결과도 가져온다. 이것은 청정 Indolene에 비해 Indolene-Alcohol의 혼합물이 빠른 점화속도를 보여주고 있음을 알 수 있다. 또한, 각각의 압축비에서 Indolene-MPHA 혼합물의 MBT 점화 시기는 Indolene-Methanol 혼합물보다 빠르다. 따라서 MBT 점화 시기는 엔진운전 조건 중 하나인 온도, 압력, 연소속도와 같은 열역학적 성질에 의하여 조정이 가능함을 알 수 있다. 이것은 같은 흡입공기 온도에서 압축과정 동안 혼합연료의 온도는 연료의 잠열과 관계가 있지만, MPHA는 메탄올보다 낮은 잠열과 낮은 연소속도를 갖는다.[10] 점화시기의 비교는 Indolene-MPHA 혼합물이 보다 빠른 점화 시기를 가지게 됨을 알 수 있다.

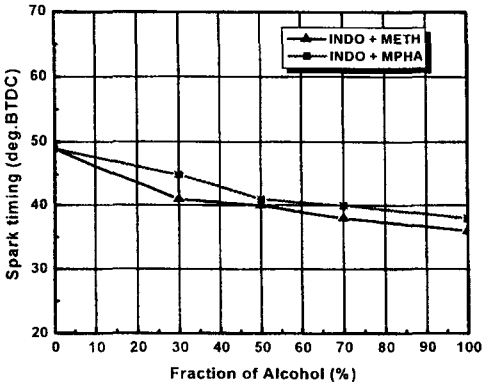

Fig. 8 MBT spark timing at CR = 5 : 1

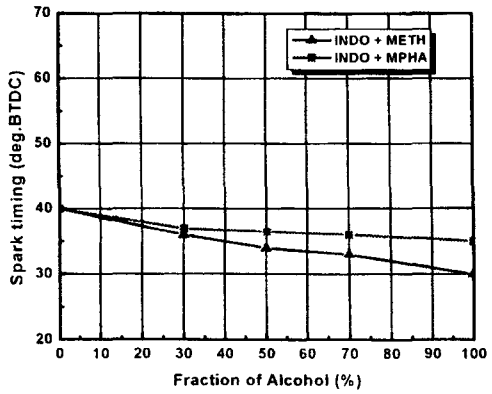

Fig. 9 MBT spark timing at CR = 6 : 1

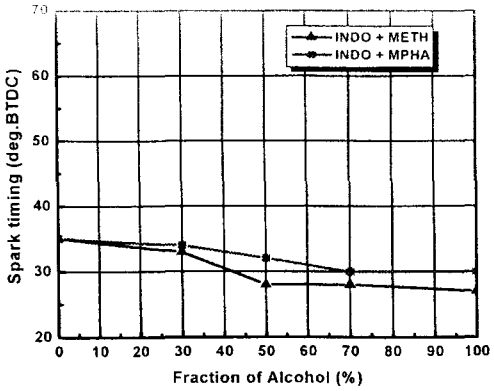

Fig. 10 MBT spark timing at CR = 7 : 1

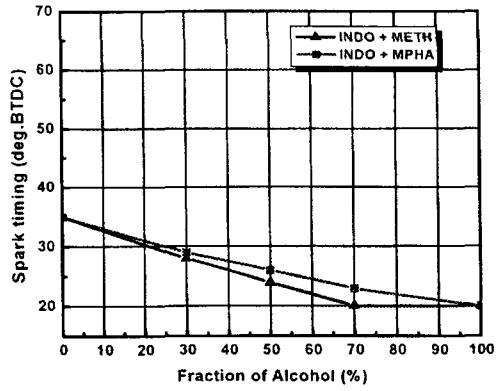

Fig. 11 MBT spark timing at CR = KLCR

4.2 노킹 한계 압축비 (KLCR)에 대한 알콜 효과

Table 3은 혼합물에서 MPHA 혼합비율과 메탄올 혼합비율에 따른 노킹 한계 압축비를 나타내고 있다. 메탄올 혼합비율을 0 ~ 40 %까지 증가시킬 경우 노킹 한계 압축비는 7 : 1에서 10 : 1까지 증가한다. 그러나 메탄올 혼합비율을 더욱 증가시키더라도 노킹 한계 압축비는 더 이상 크게 증가하지 않는다. 그러므로, MPHA 혼합비율과 같이 노킹 한계 압축비의 변화는 메탄올과 유사하다. 특히 30 %의 혼합비율을 가지는 Indolene-MPHA의 노킹 한계 압축비는 Indolene-Methanol의 노킹 한계 압축비보다 높다. 따라서 Indolene-MPHA와 같은 노킹 한계 압축비의 크기는 얻을 수 없으며, 또한 혼합물에서 얻을 수 있는 최대 노킹 한계 압축비는 10 : 1 정도이다. 여기에서 압축비가 가솔린 연료보다 낮은 이유는 자연발화 온도가

가솔린 연료보다 높기 때문이다.

Table 3 Knock limited compression ratio

Indolene-alcohol blend	Knock limited compression ratio
Indolene + 30 % Methanol	8.5
Indolene + 50 % Methanol	10
Indolene + 70 % Methanol	10
100 % Methanol	10
Indolene + 30 % MPHA	8.87
Indolene + 50 % MPHA	10
Indolene + 70 % MPHA	-
100 % MPHA	-

4.3 제동력에 관한 알콜 효과

Fig.12에서 Fig.15는 알콜 혼합비율에 의하여 제동출력을 나타낸 것이다. 일반적으로 알콜 혼합비율이 증가할 경우에 제동출력도 증가하며, 또한 각각의 압축비 및 알콜 혼합비율에서의 제동출력은 Indolene-MPHA 혼합물과 같은 경향을 가지고 있음을 확인할 수 있다.

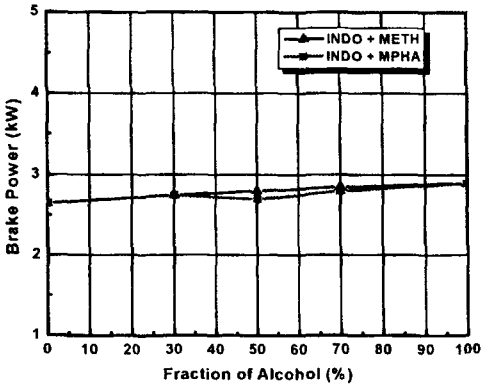

Fig. 12 Brake power at CR = 5 : 1

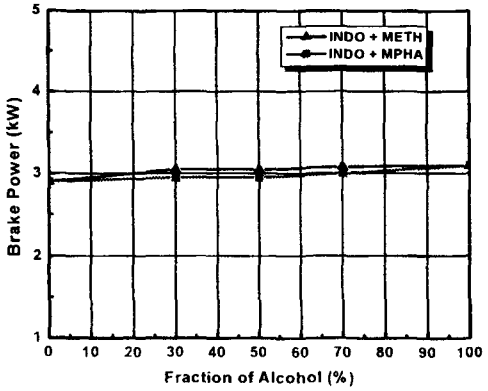

Fig. 13 Brake power at CR = 6 : 1

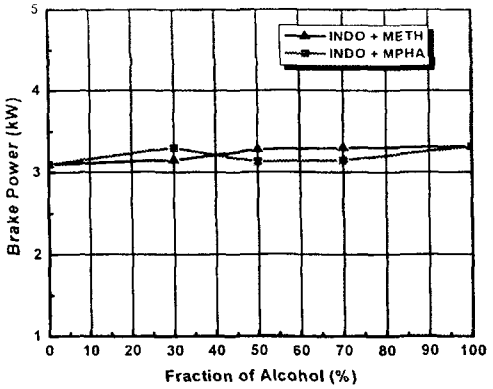

Fig. 14 Brake power at CR = 7 : 1

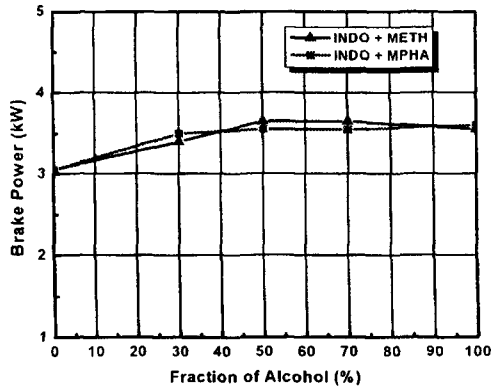

Fig. 15 Brake power at CR = KLCR

4. 결 론

내연기관의 불꽃 점화 기관에서 Indolene-MPHA 혼합 연료와 Indolene-Methanol 혼합 연료의 연료 특성과 혼합비율에 따른 엔진 성능을 규명하기 위하여 실험한 결과, 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

(1) Indolene에 대한 Methanol과 MPHA의 첨가물은 증류특성, 발열량 값, 내수성과 화학양론 등에 중대한 영향을 미치고 있음을 확인할 수 있습니다. 단열 봄베 열량계에 의하여 측정한 Indolene-MPHA 혼합물의 발열량은 모든 혼합물 수준에서 Indolene-Methanol 혼합물의 발열량보다 높게 나타나고 있고, Indolene-MPHA 혼합물의 내수성은 모든 혼합물 수준에서 Indolene- Methanol 혼합물보다 높다.

(2) Indolene-Methanol의 API 중량은 Indolene -MPHA 혼합물보다 더 높으며 비중은 더 낮게

되고, Indolene-MPHA의 공연비는 Indolene-Methanol 혼합물보다 높다.

(3) MBT 점화 시기는 Indolene에 Methanol 및 MPHA의 혼합비율이 증가함에 따라 감소한고, 또한 Indolene-Methanol 혼합물은 Indolene-MPHA 혼합물과 비교할 경우 늦은 MBT 점화 시기를 가져오게 되는데, 이것은 MPHA가 Methanol보다 낮은 잠열과 낮은 연소속도 때문이며, MBT 점화 시기는 연료의 잠열과 연소속도에 따라서 관계가 있음을 알 수 있다.

(4) Indolene에 Methanol이나 MPHA를 첨가함으로써 노킹한계 압축비가 7:1에서 10:1 까지 증가함을 확인할 수 있다. 그러나, 혼합물의 혼합비율을 증가시켜도 노킹한계 압축비는 10:1을 벗어나지 못함으로, 최대의 노킹한계 압축비는 10:1임을 알수있다.

(5) Indolene에 Methanol 및 MPHA 혼합 비율이 증가함에 따라서 제동출력이 증가함을 알 수 있다. 그러나 Indolene-MPHA 혼합물과 Indolene-Methanol 혼합물을 비교하여보면 같은 제동출력을 보이고 있다.

참 고 문 헌

1) T. B. Reed and R. M. Lerner, "Methanol : A versatile fuel for immediate use," Science, 182, No. 4119, 1977

2) W. Bernhardt, "Future fuels and mixture preparation methods for spark ignition engine," prog. energy comb. Sci., 3, pp 139-150, 1977

3) J. E. Kirwan, N. D. Brinkman, "Fuel methanol composition effects on cold starting", SAE Paper No. 912416, 1991

4) T. Jonathan, K. K. Kenneth, "Methanol Supply Issues for Alternative Fuels Demonstration Programs", SAE Paper No. 952771, 1995

5) J. B. Heywood, "Automotive engines and fuels: A review of future options," prog. energy comb., Sci., 7, pp 155-184, 1981

6) R. H. Thring, "Alternative fuels for spark ignition engines," SAE Paper No. 831685, 1983

7) V. Battista, D. P. Gardiner, M. F. Bardon, "Review of the Cold Starting Performance of Methanol and High Methanol Blends in Spark Ignition Engines : Neat Methanol", SAE Paper No. 902154, 1990

8) F. Justin, L. Frank, W. Bryan, "Hydrogen for Cold Starting and Catalyst Heating in a Methanol Vehicle." SAE Paper No. 951956, 1995

9) Chemical and process technology enclyclopedia, Douglas, M. considine, editor-in-chief, Mcgraw-Hill Book Company, 1990

10) K. S. Patel, "The fuel properties and performance of indolene-MPHA blends in a CFR spark ignition engine," progress report submitted to the Illinois department of energy and Natural Resources, January 1987