

## 자동차 대체연료로서의 Indolene-MPHA의 적용에 관한 연구(I) - Indolene-MPHA 연료의 물성치 특성 -

이민호\* · 오윤권\*\* · 차경옥\*\*\*

\*명지대학원 기계공학과, \*\*조선대학교 기계공학부, \*\*\*명지대학교 기계공학과

E-mail : lice92@hotmail, YGOH@mail.chosun.ac.kr, chako@mju.ac.kr

### A Study on the Application of Indolene - MPHA for Automotive Engine (I)

Min-Ho Lee\*, Yool-Kwon Oh\*\* and Kyung-Ok Cha\*\*\*

\*Department of Mechanical Engineering, Myongji Graduate School

\*\*Department of Mechanical Engineering, Chosun University

\*\*\*Department of Mechanical Engineering, Myongji University

#### 요 약

본 논문은 Indolene-Methanol Plus Higher Alcohols(MPHA)의 연료 특성에 관한 연구로서, 연료의 물성치를 측정하여 조사하였다. 특히 연료의 물성치 중에서 증류특성, 발열량, 인화점, 비중 및 내수성 등을 조사하여 나타내었다. 이때 알콜의 농도는 청정 Indolene의 용적에 따라서 0 에서부터 100%까지 변화하였다. 연료 물성치 측정에서 Indolene-MPHA 혼합물들이 일반적으로 Indolene-Methanol 혼합물과 비교해서 높은 내수성, 유사한 비중과 인화점, 서로 다른 증류특성을 가지고 있음을 알 수 있다. 여기에서 혼합물 물성치 중 상당수는 실제 값과 비교하여 성분들의 중량비를 사용하여 계산하였다.

**Abstract**— A study of the property of Indolene-Methanol Plus High Alcohols (MPHA) has been completed. The study invested the measurement of fuel properties. The fuel properties investigated are distillation characteristics, heating value, flash point, specific gravity and water tolerance. 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.

#### 1. 서 론

현재 산유 국가들을 제외한 산업화 국가들은 자국내의 석유저장의 부족과 엄격한 환경규제로 인하여 자동차 연료와 마찬가지로 완전 연소가 가능한 메탄올의 사용에 대하여 관심을 크게 기울이고 있다<sup>[1][4]</sup>.

따라서 메탄올은 석탄 및 농축산의 부산물을 비롯하여 대도시 생활 및 환경 쓰레기들로부터 생산이 가능하며<sup>[5][8]</sup>, 또한, 화학적 합성으로서도 생산이 될 수 있다. 이렇게 생산된 메탄올연료는 순수한 메탄올이 아니고, 오히려 메탄올과 고농도 알콜의 혼합물 특성을 가지고 있다.

저농도 메탄올의 생산과정에서 얻어지고 있는 메탄올

은 전통적인 증류방법에 의해서만 이루어지고 있는데, 이와는 다르게 알콜 성분들은 증류탑의 하부에서 추출되는 고농도 알콜이다<sup>[9]</sup>.

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, 작업조건 과정 및 원료 재료의 특성 등에 따르고 있다<sup>[10]</sup>.

알콜 혼합물은 체적당 75%의 메탄올, 5%의 에탄올, 7.5%의 1-프로판과 12.5%의 2-메틸 -1-프로판을 포함하고 있으며, 메탄올 분석과정(non-selective catalyst 사용)에서 얻어진 대표적인 부산물이다<sup>[11]</sup>.

Indolene-Methanol 혼합물과 Indolene-MPHA 혼합물의 서로 다른 성분들 때문에 물성치에 대한 특성을 여러 가지 작업조건 등에 의해 실험을 할 필요가 있게 된다.

이러한 이유로 Indolene-Methanol 혼합물과 Indolene-MPHA 혼합물의 물성치 특성을 규명하는 것이 본 연구의 목적이다. 먼저, 연료의 증류특성, 발열량, 인화점, 비중 및 내수성 등이 어떠한 형태의 특성을 가지고 있는지를 실험하고, 비교·분석하고자 하였다.

## 2. Indolene-MPHA 연료의 특성

일반적으로 한정된 몇몇 물질만이 스파크 점화 및 압축점화 엔진의 연료에 이용되고 있지만 많은 물질들이 터빈 연료뿐만 아니라, 보통 양측 모두에 적용될 수 있다. 이러한 대체 연료의 가치를 평가하는데 있어서 이들 연료의 물성치 자료들이 자동차 엔진에 대하여 적용될 수 있는지, 또는 얼마만큼 가능한지에 대하여 검토를 할 필요가 있다.

이와 같은 물질들을 파악하기 위하여 그 물질에 관한 여러가지 많은 물성치의 비교가 이루어져야 한다.

더불어 물성치에는 밀도, 비중, 절대점성, 표면장력, 증류 온도, 인화점, 발열량값 등이 있다. 특히, 스파크 점화 엔진의 작동에 커다란 효과를 미치는 것은 연료 물성치들이며 증류특성, 인화점, 발열량값 및 성분 등이 있다.

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

### 2-1. 증류의 특성

Table 1은 알콜 연료에 대한 증류온도를 나타내고 있다. 동일한 혼합물 수준에서 Indolene, Indolene-Methanol

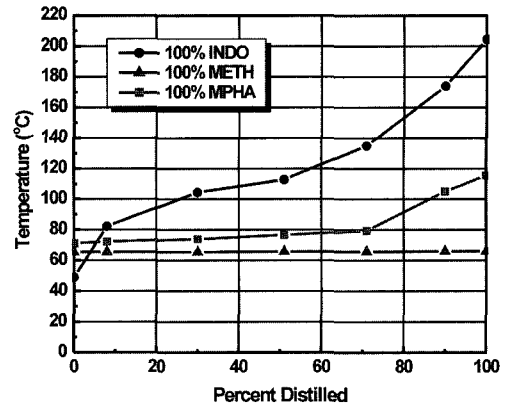


Fig. 1. Distillation properties of pure fuels.

그리고 Indolene-MPHA에 대한 증류는 Fig. 1에서 Fig. 5까지 나타내고 있다. 이들 각각의 연료에 대한 증류특성 으로부터 실질적인 변화를 명확히 살펴볼 수 있다.

Fig. 1은 순수 Indolene, Methanol 및 MPHA의 증류 곡선이다. 따라서 Indolene은 다양한 화학 탄화수소의 혼합물 때문에 광범위한 비등점을 보이고 있다. 또한 Methanol은 단일성분 연료이므로 일정한 비등점 온도에서 기화된다. 따라서 증류곡선을 제시할 수가 없다. MPHA는 알콜의 혼합물이며 Indolene과 비슷한 증류곡선을 이루고 있다. 이것은 메탄올이 연료 체적의 75%를 차지하고 있고, 나머지 25%는 다른 알콜로 이루어져 있기 때문이다. 따라서 증류곡선은 약 75%가 증발된 시기동안 수직선을 이루며, 온도에 따라서 계속적으로 변화한다. 이때 증류곡선의 형상은 MPHA의 성분에 의해 변화할 것이다. 예를들어 여분의 메탄올 혹은 다

Table 1. Distillation temperature (°C).

Fuel	IBP	5	10	20	30	40	50	60	70	80	90	95	E.P.	% REC	%RES.+REC.	% LOSS
Methanol	146	148	148	148	148	148	149	149	149	149	149	149	150	99.5	99.5	0.5
10I+90m	140	146	147	148	149	149	149	150	150	150	150	152	344	98.5	99	1.0
20I+80m	128	134	142	147	148	149	149	150	150	151	152	153	352	98	98.5	1.5
40I+60m	116	132	138	142	145	146	148	149	150	151	152	342	378	98.5	99.5	0.5
60I+40m	116	124	132	137	140	144	146	147	148	264	324	354	380	97	98	2.0
80I+20m	119	130	134	137	142	148	186	224	252	292	332	342	380	98	99	1.0
Indolene	116	166	184	201	210	222	236	252	274	312	343	362	398	98	99.5	0.5
10I+90MPHA	143	150	151	154	155	156	156	158	162	169	201	222	280	98.5	99	1.0
20I+80MPHA	134	144	148	152	154	156	158	160	166	194	250	348	375	98	99	1.0
40I+60MPHA	118	137	142	147	150	153	156	160	165	177	216	236	364	98	99	1.0
60I+40MPHA	116	130	134	142	147	150	154	161	191	240	328	354	382	98	99	1.0
80I+20MPHA	113	128	134	140	147	160	204	234	258	302	340	368	400	97.5	98.5	1.5
MPHA	152	154	154	155	156	157	158	160	164	172	200	220	240	99.5	100	0.0

른 고농도 알콜을 Indolene과 혼합하기 전에 MPHA에 첨가하면 Indolene-MPHA의 증류특성은 여기에서 보여진 것과는 다르게 나타날 것이다.

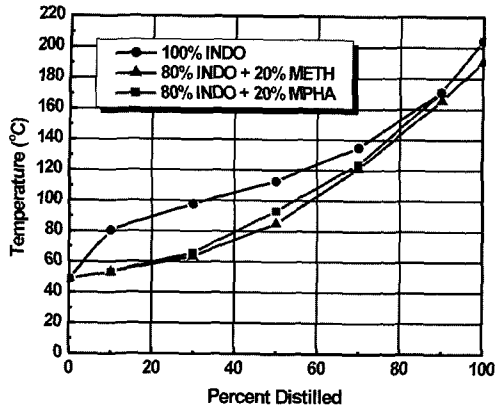


Fig. 2. Distillation properties of 20% Alcohol blends.

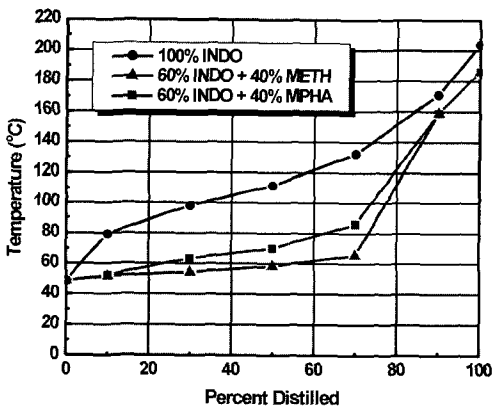


Fig. 3. Distillation properties of 40% Alcohol blends.

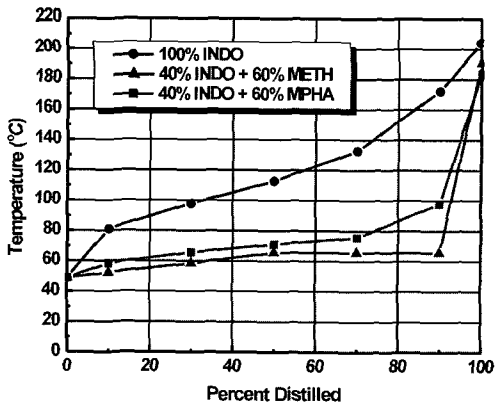


Fig. 4. Distillation properties of 60% Alcohol blends.

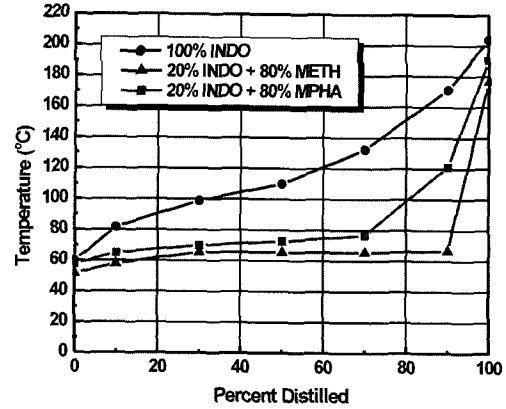


Fig. 5. Distillation properties of 80% Alcohol blends.

Fig. 2~Fig. 5는 Indolene, Indolene-Methanol 그리고 Indolene-MPHA 연료들의 증류특성을 나타낸 것이다. 이들 전체 증류곡선은 알콜 혼합비율에 따라 영향을 받는다. 65.6°C 이하에서 미미하게 일어나고 있는 메탄올에 의한 일정한 비등영역은 모든 그림에서 선명하게 보이고 있다. 전반적인 혼합물의 수준에서 Indolene-MPHA 혼합물은 Indolene-Methanol 혼합물과 비교할 경우 Indolene에 가깝다. 증류가 계속 진행되어도 곡선을 따르는 몇몇의 점들 즉, 초기 비등점은 최대 10%, 최소 50%이며, 최종 비등점은 최대 50%, 최소 90%인 연료의 특성을 필요로 한다. 휘발성 등급은 제한된 범위에서 온도가 50°C로부터 70°C 까지 최대 10%이고 온도가 76.7°C에서는 최소 50%, 온도가 110°C에서 121.1°C까지는 최대 50%, 185°C에서 190°C까지는 최고 90% 변화한다. 그리고 최종점은 225°C에 의존하고 있다.

최소 50% 이하부터는 약 20에서 25까지 일정한 비등온도 이상이며 증류의 규격 부분에 있어서 Indolene-Methanol 혼합물에 대한 이용이 어렵다. 그러나, Fig. 2 처럼 20%의 알콜 혼합물이 규격 한도 내에 있다. Fig. 3에서 40%의 알콜 혼합물은 규격 한도를 초과하고 있다. 그렇지만 MPHA를 사용하기 위해서는 혼합 수준을 70%까지 명확히 접근시키는 것이 가능해야 한다.

증류곡선의 레벨과 형태는 가솔린 엔진의 성능에 어떠한 영향을 미칠것으로 예상되고 있다.

일반적으로 연료의 냉각시동에 대한 도시특성은 70°C의 응고온도에서 증발되는 비율로 나타내는 것을 의미하고 있다.

때때로 연료의 냉각시동에 대한 도시특성은 0~20%가 증발한다. 연료의 0~20%의 높은 휘발성이 냉각시동을 가능하게 하지만 높은 온도에서 베이퍼록(vapor-lock) 현상을 일으키는 원인이 되기도 한다.

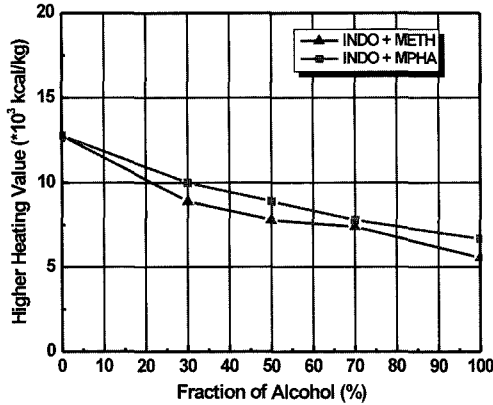


Fig. 6. Measured higher heating values Indolene-Alcohol blends.

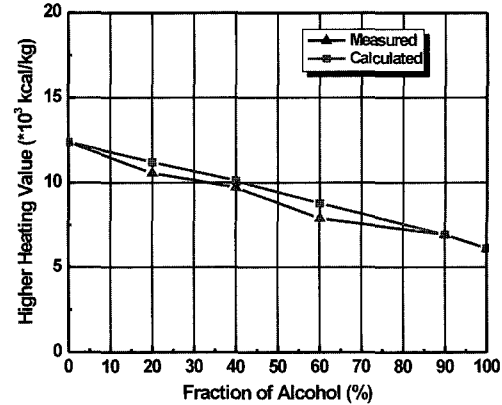


Fig. 7. Measured and calculated higher heating values Indolene-MPHA blends.

2-2. 에너지 밀도

연료 경제성은 엔진에서 보통 제동연료 소비율(BSFC)의 형태로 표현된다. 제동연료 소비율은 화학적 에너지 효율을 유용한 기계적 일로의 전환을 나타내는 변수이다. 이러한 제동연료 소비율에 영향을 미치는 다른 열역학의 파라미터는 에너지-질량 밀도의 함수이다. 연료의 에너지 밀도나 발열량은 완전 연소에 의한 결과와 관계되는 에너지량을 측정하는 것이다. 고위 발열량 값은 단일 볼메 열량계로 측정하였으며, Indolene과 Indolene-Methanol, Indolene-MPHA 혼합물의 발열량도 같은 방법으로 측정하였다.

Fig. 6은 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 더욱 높다.

에너지-체적 밀도(kcal/kg)는 전적으로 에너지-질량 밀도와 비중의 곱에 비례한다. MPHA의 비중은 메탄올의 비중과 유사하며, Indolene-MPHA 혼합물의 에너지-체적 밀도는 Indolene-Methanol 혼합물보다 더욱 높다.

혼합물들의 발열량 값은 일반적으로 순수한 성분 물성치로부터 식(1)에 의해 얻어지게 된다. Fig. 7은 혼합물의 순수한 성분으로부터 식(1)과 측정치를 사용해 제시된 Indolene-Methanol과 Indolene-MPHA에 대한 혼합물의 고위 발열량을 나타내고 있다.

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

여기서, HVM = 혼합물의 발열량  
 MI = Indolene의 질량비  
 HVI = Indolene의 발열량

MA = 알콜의 질량비  
 HVA = 알콜의 발열량

위의 결과를 통하여 Indolene-MPHA 혼합물에서 측정치와 예상치는 잘 일치하고 있음을 알 수 있다. 그러나 10% Indolene-Methanol 혼합물에 대해 제시된 값은 측정치보다 20% 더 높게 나타나게 된다.

2-3. 내수성

Fig. 8은 Indolene-Alcohol 혼합물의 내수성을 나타내고 있다. 물이 포함된 가솔린 내에서 알콜의 용해성 즉 분당 용해량은 실내 온도에 제한을 받는다. 소량의 물이 Indolene-Alcohol의 혼합물에 첨가했을 경우 수소는 물과 알콜 분자와 결합하며, 혼합물은 두 가지 상으로

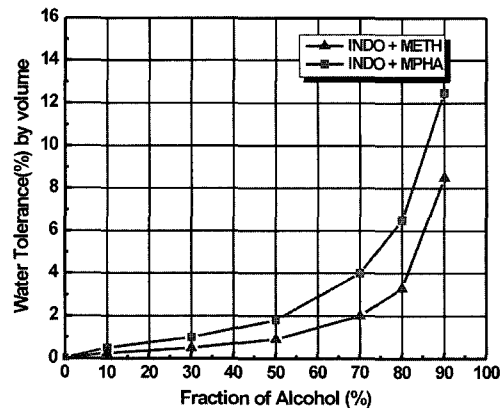


Fig. 8. Water tolerance of Indolene-Alcohol blends.

나누어진다. 파라핀 탄화수소는 위의 상에서 지배적인 반면, 낮은 상일 때는 주로 알콜과 물로 이루어져있다. 내수성은 낮은 온도에서 감소가 더욱 확실하며 실온에서 알콜 농도가 증가함에 따라서 내수성은 증가한다. 90% 메탄올 혼합물은 10% 혼합물에서 0.25%와 비교하여 체적당 8.25%의 내수성을 가진다. 반면 90% MPHA 혼합물은 대기온도에서 90% 메탄올 혼합물과 비교하여 약 50% 더 높은 내수성을 가진다.

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

2.4. 인화점

인화점은 화염이 그 표면을 통과하는 것처럼 순간적으로 점화하여 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 측정되었다. 순수한 Methanol의 인화점은 10°C이고 MPHA는 9.4°C이다. 인화점은 두 순수한 연료사이에서 변하지 않기 때문에 Indolene-Methanol과 Indolene-MPHA 혼합물의 인화점은 비슷할 것이다.

2.5. API 중량과 비중량

API 중량은 15.5°C에서 측정된 API 단위의 임의의 크

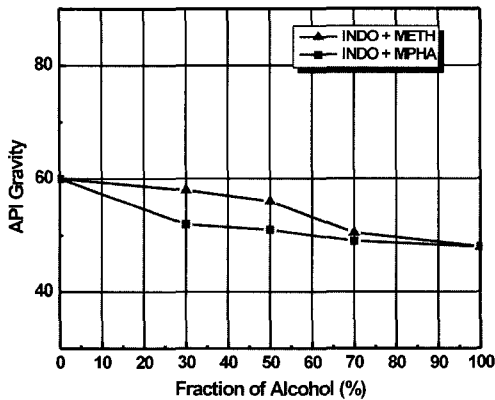


Fig. 9. API gravity of Indolene-Alcohol blends.

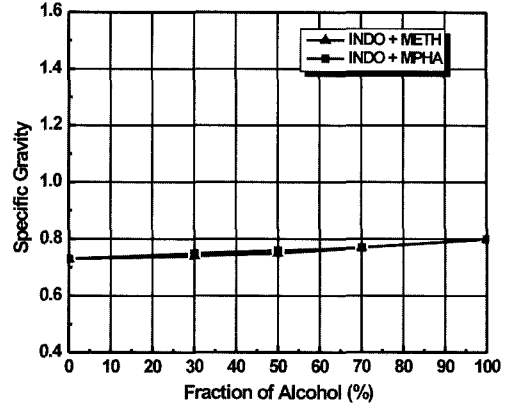


Fig. 10. Specific gravity of Indolene-Alcohol blends.

기에 의하여 정의한 것이다. Indolene-Methanol과 Indolene-MPHA 혼합물의 API 중량은 Fisher brand Petroleum Hydrometer를 사용하여 측정되었다. Fig. 9는 Indolene-Methanol과 Indolene-MPHA 혼합물의 API 중량을 나타내고 있다. 일반적으로 알콜 혼합비율이 증가함에 따라서 API 중량은 감소한다. 그러므로 Indolene-Methanol의 API 중량은 Indolene-MPHA 혼합물보다 약간 높다. 비중량은 물의 밀도에 따라서 연료의 밀도를 나눔으로서 정해진다. 식(2)에서와 같이 비중은 API 중량과 연관이 있다.

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

Fig. 10은 Indolene-Methanol과 MPHA 혼합물의 비중을 나타내고 있다. 알콜 혼합비율의 증가에 따라서 비중량은 조금 증가한다. 일반적으로 Indolene-MPHA 혼합물은 Indolene-Methanol 혼합물보다 비중량이 조금 높다.

2-6. 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/C 비율에 의존하고 있다. Indolene의 공연비는 14.56, 순수 메탄올에서 6.43, MPHA에서 7.4468이다.

Fig. 11은 알콜 혼합비율의 함수로서 공연비의 변화량을 나타낸다. 알콜 혼합비율이 증가함에 따라 공연비는 감소한다. Indolene-MPHA 혼합물의 공연비는 Indolene-Methanol 혼합물보다 높다.

위의 물성치를 기초로 하여 Indolene-MPHA 혼합물을 Indolene-Methanol 혼합물과 비교하여 보면, Indolene-

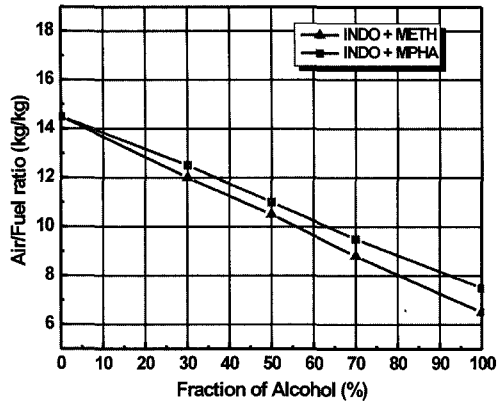


Fig. 11. Stoichiometric air to fuel ratio of Indolene-Alcohol blends.

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. 결 론

Indolene-MPHA 혼합물과 Indolene-Methanol 혼합물의 연료 특성은 실험을 통하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

Indolene에 대한 Methanol과 MPHA의 첨가물은 증류 특성, 발열량 값, 내수성과 화학양론에 중대한 영향을 미친다.

1) Methanol이나 MPHA를 20% 이상 포함하고 있는 혼합물은 증류곡선에서 최소 50%에 도달하지 못하였다. 그러나 MPHA 성분변화와 Indolene 혼합으로 Indolene-MPHA 혼합물은 최소 증류 표준의 50%에 도달할 수가 있다.

2) 단일 볼베 열량계에 의하여 측정된 Indolene-MPHA 혼합물의 발열량은 모든 혼합물 수준에서 Indolene-Methanol 혼합물의 발열량보다 높다. Indolene-MPHA 혼합물의 내수성은 모든 혼합물 수준에서 Indolene-Methanol 혼합물보다 높다.

3) Indolene-Methanol의 API 중량은 Indolene-MPHA 혼합물보다 더 높으며 비중은 더 낮다.

4) Indolene-MPHA의 공연비는 Indolene-Methanol 혼합물보다 높다.

### 참고문헌

1. Reed, T.B. and Lerner, R.M.: "Methanol : A versatile fuel for immediate use", Science, 182, No. 4119 (1977).
2. Bernhardt, W.: "Future fuels and mixture preparation methods for spark ignition engine", prog. energy comb. Sci., 3, pp 139-150 (1977).
3. Kirwan, J.E. and Brinkman, N.D.: "Fuel methanol composition effects on cold starting", SAE Paper No. 912416 (1991).
4. Jonathan, T. and Kenneth, K.K.: "Methanol Supply Issues for Alternative fuels Demonstration Programs", SAE Paper No. 952771.
5. Heywood, J.B.: "Automotive engines and fuels: A review of future options", prog. energy comb., Sci., 7, pp 155-184 (1981).
6. Thring, R.H.: "Alternative fuels for spark ignition engines", SAE Paper No. 831685.
7. Battista, V., Gardiner, D.P. and Bardon, M.F.: "Review of the cold starting performance of methanol and high methanol blends in spark ignition engines : neat methanol", SAE Paper No. 902154.
8. Justin, F., Frank, L. and Bryan, W.: "Hydrogen for cold starting and catalyst heating in a methanol vehicle", SAE Paper No. 951956.
9. Chemical and process technology encyclopedia, Douglas, M. considine, editor-in-chief, Mcgraw-Hill Book Company (1990).
10. Lee, G.H. and Staninoha, L.L.: "Coal liquids : Manufacture and properties - A review", Interim report, AFLRL No. 162, U.S. Army fuels and lubricants Research Laboratory, Southwest Institute, San Antonio, Texas (1982).
11. Beker Industries Corp., "Waiver application under section 211(f)(4) of the clean air act to blend crude methanol in gasoline", submitted to the environmental protection agency, October 12 (1979).