

# 메탄올(M85) 엔진의 냉시동성 개선을 위한 실험적 연구

## Experimental Study on the Improvement of Cold Startability of Methanol (M85) Fueled Engine

이 시 훈\*, 신 영 기\*, 황 상 순\*  
S. H. Lee Y. K. Shin S. S. Haoung

### ABSTRACT

Recently, air pollution and energy security problems have necessiated the developmet of alternative fuel vehicles. As an alternative fuel vehicle FFV(Flexible Fuel Vehicle) which can be operated by any mixture between gasoline and M85(methanol 85% and gasoline 15% by vol. percent) has been drawing great attention. But poor cold startability of high methanol-content fuel which is characteristic of lower fuel volatility and higher latent heat of vaporization than gasoline is one of the major problems to be solved for the development of FFV. In this paper, important factors influencing cold startability of general S.I. engines are described. And, some cost-effective and practical methods were investigated in view of the optimization of fueling parameters and ignition system for M85 fuel. The test results showed good startability up to -22~-23°C.

### 1. 서 론

종래 가솔린의 대체 연료로서 검토되어 오던 메탄올 연료는 최근 나날이 심각해지는 공해문제를 개선하기 위한 저공해 연료로서 다시 주목받고 있다. 그러나 메탄올 연료를 자동차에 도입하기 위해서는 장시간에 걸친 생산시설 투자와 연료 보급망 확충이 선행되어야 하므로 각국의 자동차 회사는 메탄올 전용 차량 생산 이전 단계로서, 가솔린과 메탄올의 임의 혼합 비율에서도 운전이 가능한 FFV(Flexible Fuel Vehicle) 개발을 위하여 노력하고 있다.<sup>1-3)</sup>

연료 가변에 따른 제반 문제를 동시에 충족시켜야 하는 FFV 개발은 메탄올 전용 차량 개발에 비해 보다 높은 기술적 수준을 요구하게 된다. 순수 메탄올의 경우 가솔린에 비해 높은 기화잠열과 낮은 증기압 특성으로 인하여 영하의 온도에서는 거의 시동이 불가능할 뿐 아니라,<sup>4)</sup> 화염이 눈에 보이지 않고 연료 탱크내에서 가연혼합기를 형성하는 등 안전문제를 야기하므로,<sup>5)</sup> FFV 혼합 연료의 상한을 M 85(체적비로서 메탄올 85%, 가솔린 15%)로 규정함으로써 위의 문제를 해결하려 하고 있다.

그러나 냉시동에 있어서는 M 85 연료 역시,

\*현대자동차 마북리 연구소

특별한 보조장치가 없는 한 시동 가능 최저 온도가  $-20^{\circ}\text{C}$  이내로서 가솔린에 비해 매우 열악함을 알 수 있다. 따라서 각 자동차 회사는 1) 연료 첨가제 혼입법<sup>6)</sup>, 2) 이종(異種) 연료에 의한 보조 시동법<sup>7)</sup>, 3) 연료 및 혼합기 예열법<sup>8)</sup> 등을 통하여 그 한계를 극복하고자 노력해 왔지만 시동성능 개선의 효과보다 경제적, 실용적, 비효율성 때문에 그 적용 가능성은 매우 희박한 것으로 판단된다.

따라서 본 논문은 실용화의 측면에서, 엔진 제어의 기본 조건인 연료분사량과 점화조건을 M85 연료의 냉시동에 최적화 함으로서 시동성능을 개선하고, 관련 인자의 영향을 파악하여 FFV 개발에 기여함을 목적으로 한다.

## 2. 실험 개요

### 2.1 S. I. 엔진의 일반적인 냉시동 제어

그림 1은 광기록계를 이용하여 S. I. 엔진의 일반적인 시동상태를 측정 한 것으로서, 이것을 통하여 엔진 시동성을 평가하게 되며 사용되는 각 용어의 정의는 다음과 같다.

#### • 초폭시간(First combustion time)

엔진의 크랭킹(cranking)시 가연혼합기의 연소액 의한 최초의 폭발을 초폭이라 하며 ECU(Electronic Control Unit)의 일차코일

입력 전압(Ignition coil input voltage) 펄스(pulse) 폭의 감소로 판별한다. 스타터(starter)의 구동 시점으로부터 초폭이 일어난 시점까지를 초폭시간이라 한다.

#### • 완폭시간(Normal combustion time)

엔진이 스타터의 도움없이 자력으로 회전 가능하게 된 경우를 완폭이라 하며 배터리 전압의 회복 여부로 판별한다. 이때 완폭시간은 스타터 구동 시점으로부터 배터리 전압 회복 시점까지로 정의되며 엔진의 냉시동 성능의 평가 기준이 된다.

#### • 애프터 스타트 스톨(After start stall)

완폭 발생후 공연비의 희박 혹은 농후에 의하여 엔진이 꺼지는 현상을 의미한다.

그림 2는 엔진 시동 상태에 따른 엔진 회전수 변화 및 ECU의 연료분사량 제어 특성을 나타내고 있는데 크게 크랭킹 구간, 연료감량 구간, 애프터 스타트 구간으로 구분할 수 있으며 각 구간에서의 제어 특성은 다음과 같다.

#### • 크랭킹 구간(Cranking stage)

스타터 구동 시점으로부터 초폭에 의한 엔진 회전수 상승이 일정값(N1)을 초과하는 시점까지를 의미한다.

#### • 연료감량 구간(Fueling decay stage)

엔진의 불완전한 초폭을 완폭으로 유도하는 구간이며 연료량은 계속되는 폭발로 인한 엔

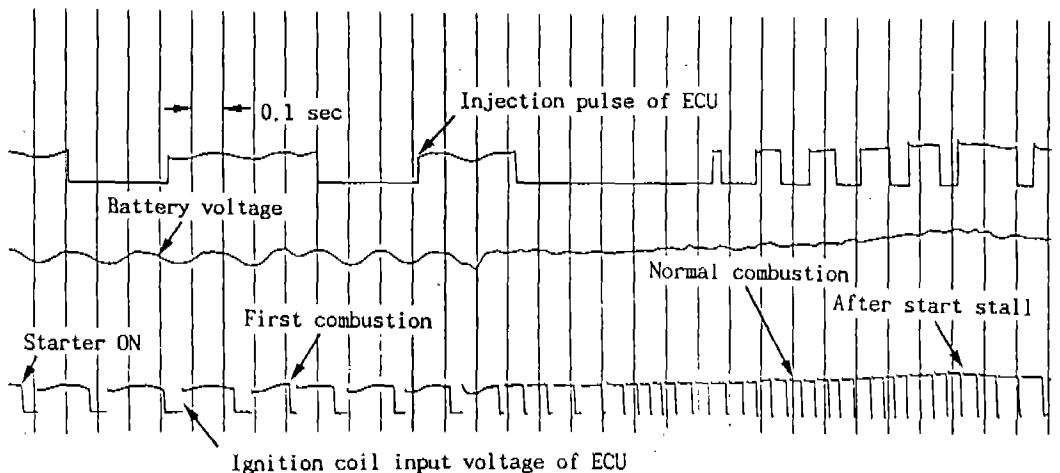


Fig. 1 Photocorder signal of engine start phase

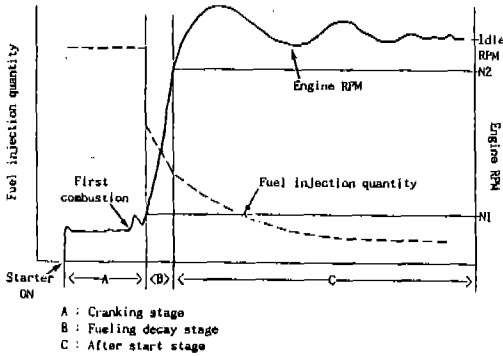


Fig. 2 Fuel Injection quantity and engine rpm variation of start phase

진 회전수 상승에 따라 급격히 감량되어야 한다.

• 애프터 스타트 구간 (After start stage)

완쪽에 의하여 엔진 회전수가 일정값 (N2) 을 초과하면 엔진은 애프터 스타트 구간으로 진입하며 흡기관등에 묻어 있는 불필요한 연료 액막을 제거하기 위해 엔진은 일정 시간동안 공전 (idling) 회전수 이상으로 운전된다.

2.2 냉시동성능에 영향을 미치는 인자

M85 연료를 사용한 엔진의 냉시동 성능에 영향을 미치는 인자는 크게 연료의 레이드 증기압, 냉시동시의 연료증량 및 점화진각, 점화플러그, 크랭킹 속도등으로 생각할 수 있으며 각 인자들의 영향을 다음과 같이 나타낼 수 있다.

1) 연료의 레이드 증기압 (R. V. P. : Reid Vapor Pressure)

가솔린에 비해 기화특성이 열악한 M85 냉시동의 경우 점화플러그 주변에 가연혼합기를 형성시키기 위해서는 연료의 적정 레이드 증기압을 결정하는 것이 선행되어야 한다. 일반적으로 M85의 레이드 증기압이 증가할수록 냉시동성능은 현저히 향상되며 그 상한치는 대략 90 kPa 정도로 알려져 있다.<sup>9)</sup> 따라서 FORD社의 경우 레이드 증기압이 79~89 kPa 인 "NORTH AMERICAN WINTER M85" (85% 메탄올, 13% 겨울용 (winter grade) 가솔린, 2% 부탄) 를 사용하였으

며, 일본의 경우도 "JAPANESE WINTER SEASON M85"의 레이드 증기압을 80kPa 로 정하고 있다.

그러나 M85의 지나친 레이드 증기압의 증가는 엔진의 연료관내 증기폐색 (vapor lock) 에 의한 고온 재시동성 문제를 유발하고, 중발 배출가스 (evaporative emission) 량을 증가시키므로 적정치에서 제어되어야 한다.

본 실험에 사용된 M85는 순수 메탄올과 겨울용 가솔린 (레이드 증기압 98 kPa) 을 체적비 85/15로 혼합한 것으로서 최종 레이드 증기압은 약 74 kPa로 측정되었다. 이는 미국 및 일본에서 사용되는 겨울용 M85의 레이드 증기압에 비해 다소 낮은 수준이다.

2) 연료의 증량

저온시 연료의 불충분한 기화는 점화플러그 주변의 가연혼합기 형성을 어렵게 하므로 냉시동시 분사되어야 할 연료의 양은 상온시동시에 비하여 증량되어야 한다.

그러나 M85의 경우 그림 3에서와 같이 순수 메탄올의 비점이 약 65℃이므로 그 이하의 온도에서는 15% 가솔린의 일부 기화된 성분이 전체 냉시동성능에 크게 영향을 미치는 것으로 알려져 있다. 또한 표 1에 나타난 GM社의 연구 결과는 -29℃에서 이른연료/공기비의 혼합기를 형성하기 위하여 성분이 서로 다른 가솔린이 혼합된 두가지 M85 연료의 연료증량을 나타내고 있다.<sup>10)</sup> 이 표에서 알 수 있듯이 M85 연료의 냉시동시 연료증량은 현저히 증가하게 된다. 그러나 지나친 연료의 증량은 필연적으로 점화플러그 wetting 및 배기배출물 수준의 악화를 초래하므로 시동이 가능한 범위내에서 최소화하는 것이 바람직하다.

최소한의 연료 증량으로 가연혼합기를 형성하기 위해서, 연료 기화에 효과적인 몇 가지 방법들이 제안되고 있다. 그 예로서 인젝터 분사노즐 부위의 형상은 연료의 분무 형상 및 액적의 크기를 지배하는 중요한 요소가 된다. 따라서 본 실험에서는 일반적인 핀틀 (pinle) 형 인젝터에 비해, 미립화에 효과적인 다공형

(multi-hole) 인젝터를 흡기 포트(port)에 장착하여 실험하였다. 기타의 방안으로는 가능한 혼합기 유로의 상부에서 연료를 분사하여 흡기관 벽면에 두터운 연료 액막을 형성함으로써, 기화에 필요한 시간을 확보하고 기화 표면적을 넓히는 것이 효과적으로 알려져 있다. 냉시동과 관련하여 기화기 방식의 엔진 혹은 흡기 서지 탱크(surge tank)에 보조시동 인젝터(cold start injector)를 장착한 엔진이 우수한 시동 결과를 보여 주는 것도 이러한 관점에서 설명될 수 있다.<sup>9)</sup>

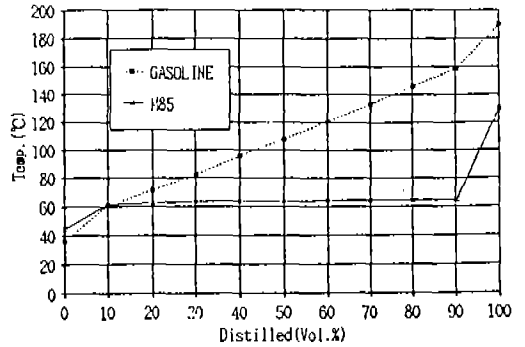


Fig. 3 Distillation curves of M 85 and gasoline

Table 1 Properties of M 85 fuels

Test Fuel	M 85(HVG)	M 85(C4-C6)
Additive	high volatility gasoline	1% C <sub>4</sub> H <sub>10</sub> 14% C <sub>5</sub> -C <sub>6</sub> *
RVP of additive (kPa)	97	110
RVP of final fuel (kPa)	72	90
Stoichiometric fuel/air mass ratio	0.13	0.13
Equilibrium model predictions for stoichiometric vapor at -29°C		
Fuel/air mass ratio required	4.0	1.0
Fuel/air equivalence ratio	30.8	7.7
Mass % fuel vaporized	1.7	6.7
Mass % methanol in vapors	7.4	7.4

\* Equal-mass mixture of isopentane, n-pentane, 2,3-dimethylbutane, and n-hexane

3) 점화진각

점화진각의 제어는 M85 엔진의 냉시동에 있어서 매우 중요한 역할을 한다. 일반적으로 점화진각의 지연은 연료의 기화에 필요한 시간을 확보한다는 면에서 유리하지만 점화플러그 wetting 이나 구동력 손실을 동반하게 되므로 냉각수 온도와 대상 엔진에 따른 최적의 점화진각이 존재하게 된다.

본 실험에서는 지금까지의 실험결과를 토대로 정해진 BTDC 15° CA를 그대로 사용하였는데<sup>8)</sup> Höchsmann 과 Nakajima의 실험(대략 BTDC 10° CA를 추천<sup>9)</sup>)에 비추어 보아 타당한 값이라고 판단된다.

4) 점화플러그

M 85의 냉시동에 요구되는 점화플러그의 특성은 과도한 연료 분사에 의한 전극 wetting 을 방지하면서 동시에 불충분한 기화에 의하여 형성된 희박 혼합기를 연소시키기 위하여 강한 점화력을 갖추어야 한다.

그림 4는 점화플러그의 전형적인 wetting 양상을 보여 주는데<sup>10)</sup> 그때의 일차코일 전압(Primary voltage of ignition coil)의 파형이 그림 5에 나타나 있으며 이로부터 전극 wetting 이 점화에너지의 약화를 초래함을 알 수 있다.

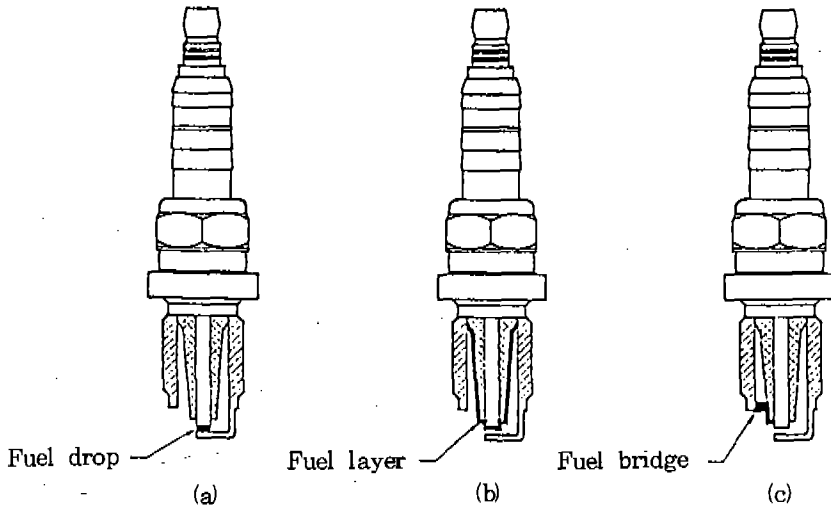


Fig.4 Typical wetting patterns of spark plug

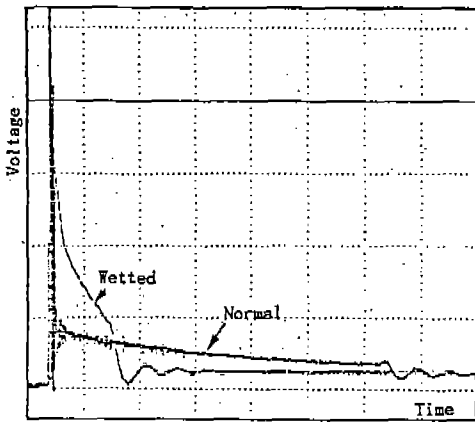


Fig.5 Primary voltage patterns of ignition coil

Table 2 Spark plug specifications

Spark plug	Gap size
RC 9 YC - 0.8	0.8 mm
RC 9 YC - 1.0	1.0 mm
RC 9 YC - 1.3	1.3 mm
BKR 6 E - 0.8 (V-grooved)	0.8 mm
BKR 6 E - 1.0 (V-grooved)	1.0 mm

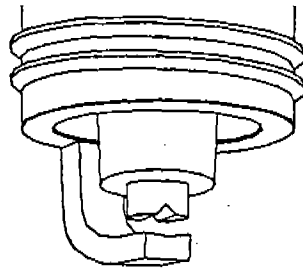
이때 점화플러그 간극의 확장은 그림 4-a)와 같은 wetting 방식에 매우 효과적이면서 동시에 강한 점화불꽃을 발생하게 한다. 그러나 지나친 간극의 확장은 전극 소손에 의한 내구성 악화를 초래할 가능성이 있다.

본 실험에서 사용한 점화플러그의 제원은 표 2와 같으며, 이중 V-grooved 점화플러그는 그림 6에서 보는 바와 같이 화염핵(flame kernel)의 소멸 면적(quenching area)이 작아, 일반 점화플러그에 비해 동일 간극에서 강한 점화 성능을 갖는 것으로 알려져 있다.<sup>11)</sup>

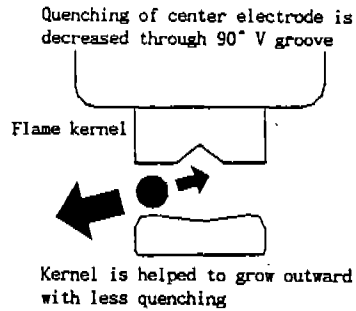
5) 크랭킹 (cranking) 속도

일반적으로 크랭킹 속도의 증가는 압축 온도를 증가시킴으로서 연료 기화에 효과적이지만, 연료가 기화하는데 필요한 시간을 감소시킴으로서 오히려 시동 성능의 악화를 초래할 수도 있다.

또한 크랭킹 속도에 의한 시동시간의 단축은 연료의 조성과 매우 밀접한 관련이 있다는 연구결과가 있을 뿐 아니라<sup>9)</sup> 대용량의 배터리와 스타터를 요구하므로 경제적 타당성도 함께 고려되어야 한다. 본 실험에서는 일반적으로 널리 사용되는 정격 전압전압 12V 배터리(480 A, 60 Ah)를 사용하였다.



a) Configuration



b) Flame kernel characteristic

Fig. 6 Feature of V-grooved spark plug

### 3. 실험장치

#### 3.1 실험 엔진 제원

실험 엔진의 제원은 표 3에 나타나 있다.

Table 3 Test engine specifications

Engine	HYUNDAI $\alpha$ -N/A
Type	L-4
Displacement (cc)	1495
Bore $\times$ Stroke (mm)	75.5 $\times$ 83.5
Fuel supply system	M. P. I.
Compression ratio	10 : 1
Valves per cylinder	3 (SOHC)
Intake valve timing	BTDC 14/ ABDC 42
Exhaust valve timing	BBDC 52/ ATDC 8
Engine oil	10W 30 ( $-23^{\circ}\text{C}$ 이상) 5W 30 ( $-24^{\circ}\text{C}$ 이하)

#### 3.2 실험장치 구성

실험장치는 그림 7에서와 같이 엔진 회전수, 일차코일 전압, 배터리 전압등을 측정할 수 있는 측정기기들과, 엔진 및 연료공급계통을 냉각할 수 있는 항온실(cold chamber)로 구성되어 있다.

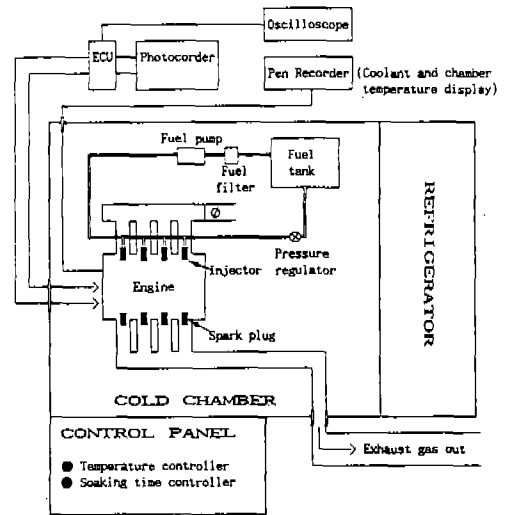


Fig. 7 Schematic diagram of experimental system

### 4. 실험방법

#### 4.1 엔진 냉각 조건 (engine cold soaking condition)

항온실에 엔진과 연료 탱크를 장착하여 각 부위를 설정한 온도로 냉각한다. 이때 ECU는 저온과 습기로 인한 오작동의 염려가 있으므로 항온실 외부에서 엔진과 연결한다. 본 실험에서는 항온실의 온도 뿐만 아니라 엔진 냉각수 온도도 함께 측정하여 냉각의 신뢰도

를 높였다. 상온에서 원하는 설정온도(-15℃ ~ -25℃)에 도달하는 시간은 대략 7~9시간이었으며 이때를 기준으로 실험을 진행한다.

#### 4.2 배터리 충전

배터리는 항상 80% 이상 충전된 상태에서 사용하였으며 그때의 전해액 비중은 온도에 상관없이 1.26~1.30, 무부하 전압전압은 상온시 14~15V, 냉각시 12.5~13.0V였다.

#### 4.3 엔진 워밍업 (warm-up)

위의 조건하에서 시동 시험을 한 엔진은 시동 성공 여부에 상관없이 충분히 워밍업하여 포트내에 형성된 연료 액막을 제거하고 오일 팬(oil pan)으로 유입된 메탄올 성분을 기화시켜 오일의 열화를 방지한다. 이때 기화된 메탄올 성분은 브로우-바이 라인(blow-by line)에 의하여 공연비를 농후하게 하므로 이 공연비가 서서히 이론 공연비 근처의 값으로 회복될 때까지 엔진을 구동하여야 한다.

#### 4.4 시동성의 평가

완복 발생 시간이 10초를 초과하거나, 완복후 애프터 스타터 스톱이 발생하였을 때 즉각적인 재시동이 가능하지 않으면 시동 실패로 간주하였다. 일반적으로 엔진의 시동성은 각 자동차 회사에서 나름대로 기준치를 만들어 평가하고 있다.

### 5. 실험 결과

#### 5.1 연료 분사량 최적 제어 실험

본 실험의 목적은 점화플러그 변경 실험에 앞서, 설정된 냉각수 온도에 따라 연료 분사량을 최적화 하는데 있다. 이때 점화플러그 wetting 을 방지하기 위하여 간극이 가장 넓은 RC 9YC-1.3 점화플러그를 사용하며, 배터리를 상온조건(cold soaking 하지 않은 상태)에서 연결하여 저온시 내부 저항 증가에 따른 전압 저하 효과를 배제하기로 한다.

본 실험에 사용된 스타터의 용량은 0.9 kW 이다.

항온실 및 냉각수는 -15℃에서 실험을 시작하여 온도를 2~3℃ 간격으로 내리면서 실험을 진행하였다. 기존의 가솔린 엔진 ECU의 경우(그림 2 참조) Cranking stage에서 일정시간이 지나도 초폭이 발생하지 않을 때 미리 지정된 사이클(cycle) 횟수에 따라 자동적으로 Fueling decay stage로 천이시켜 점화플러그 wetting 을 방지하는 기능이 있다. 그러나 가솔린에 비해 상대적으로 시동 시간이 긴 M 85의 경우, 이러한 기능이 오히려 적절한 연료공급을 차단하는 요인으로 작용하게 되므로 이 기능을 제거하여 더욱 원활한 냉시동성을 얻을 수 있었다.

Cranking stage의 연료분사량은 타 stage의 연료분사량에 비해 전체 냉시동을 좌우하는 가장 중요한 요인이었다. 따라서 가연혼합기 형성과 점화플러그 wetting 방지라는 상반된 조건을 충족하면서 연료분사량을 적절히 증량하여, 상온 조건의 배터리를 사용할 경우 -26℃까지 시동을 안정적으로 성공시킬 수 있었다. 이때 온도에 따른 연료 증량을 가솔린과 비교하여 그림 8에 나타내었다. 그림 8에서 온도가 저하됨에 따른 M 85의 연료 증량은 가솔린에 비해 현저히 증가되는데 이는 전술한 M 85와 가솔린의 기화 특성 차이에 기인하며 표 1의 G.M의 모델링 결과와도 유사한 결과를 보여주고 있다.

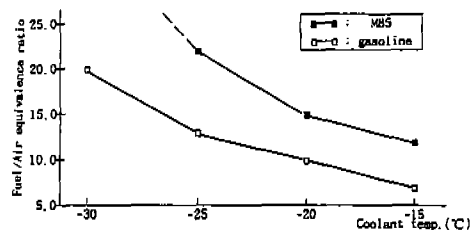


Fig. 8 Fuel enrichment factor vs. coolant temperature

5. 2 점화플러그 변경 실험

본 실험은 5.1항에서 결정된 연료분사량과 0.9kW 스타터를 사용하고, 배터리를 실제 냉시동 조건과 일치시키기 위하여 엔진과 함께 냉각한 후 전술한 5종의 점화플러그에 대하여 시동 성능을 평가하였다.

- 21℃까지는 RC9YC-0.8와 BKR6E-0.8(V-grooved)을 제외하고는 모두 원활한 시동이 가능하였다. 이는 간극이 작은 점화플러그가 wetting에 치명적임을 보여주는 것으로서 초폭 이후 회전수가 상승할 때 점화플러그의 wetting으로 인한 엔진 스톱을 2~3회 반복하면서 더 이상의 시동이 불가능하거나 시동시간 10초를 초과하게 되었다.

- 22~23℃에서 위 5종의 점화플러그의 시동 결과가 그림 9에 나타나 있다. 간극이 0.8mm인 점화플러그에서는 초폭조차 발생하지 않는 경우가 관찰되며, 간극이 확장될수록 시동성 개선이 이루어짐을 알 수 있다. 이것은 점화플러그의 간극 확장이나 전극 형상의 변경을 통하여 얻어진 강한 점화력에 기인한 것이며 2.2, 4)항에 그 원리를 설명하였다. 이때 점화플러그의 내구성 측면에서 RC9YC-1.3에 비해 BKR6E-1.0(V-grooved) 점화플러그가 M85 냉시동에 적합하다고 판단된다.

- 24℃ 이하에서는 연료 기화의 조건이 악화되어 시동시간이 더욱 증가하게 되고, 그결과 점화플러그 wetting으로 인하여 완폭이 발생하지 않거나 빈번한 엔진 스톱에 의하여 시동이 불가능하였다.

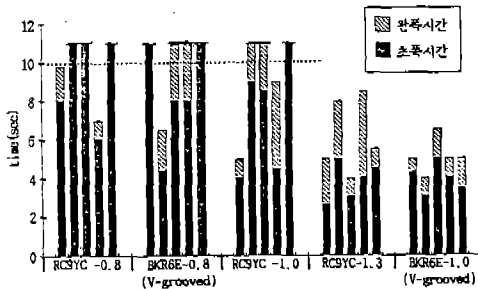


Fig. 9 Cold startability vs. spark-plug variation

5. 3 크랭킹 속도 변경 실험

본 실험은 -22~-23℃에서, 크랭킹 속도를 스타터 변경 및 배터리 냉각 여부에 의하여 변화시켰을 때 시동성능에 미치는 영향을 파악하기 위하여 수행되었다. 이때 RC9YC-1.3 점화플러그를 사용하여 wetting에 의한 시동성 저하를 최대한 방지한다.

크랭킹 속도에 대한 완폭시간이 그림 10에 나타나 있다. 그림 10에 의하면 엔진의 시동시간은 크랭킹 속도가 증가함에 따라 단축되어짐을 알 수 있는데 이는 실린더내의 압축 온도 상승에 의한 혼합기 기화 촉진에 기인한 것으로 판단된다.<sup>9)</sup>

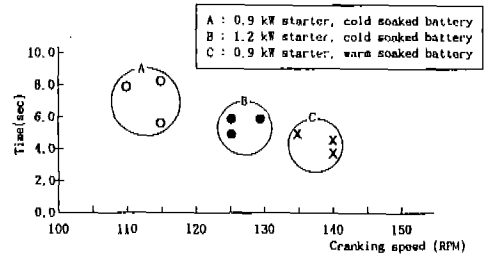


Fig.10 Starting time variation vs. cranking speed

6. 결 론

보조 시동장치 혹은 혼합기 예열장치를 장착하지 않고, 온도에 따라 최적화된 연료 분사량과 점화진각 및 wetting 방지에 효과적인 점화플러그를 사용하여 M85 냉시동 시험을 한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) M85의 냉시동시 온도 저하에 따른 연료 분사량의 적절한 증량 제어가 매우 중요하며, 증량비는 증기압이 낮은 M85 연료 특성상 가솔린에 비해 현저히 증가된 값을 가진다.

2) 점화플러그의 간극 확장은 wetting 방지와 높은 점화에너지 적용에 따른 회박 혼합기 점화 효율 향상의 측면에서 M85 냉시동에 매우 효과적임을 확인하였고 본 실험에서는 BKR6E-1.0(V-grooved) 점화플러그를 장착하여 냉각수 온도 -22~-23℃에서 약



5 ~ 6 초 내에 시동이 가능하였다.

3) 크랭킹 속도 증가에 따른 압축 온도 상승은 시동시간 단축에 효과적이다.

4)  $-24^{\circ}\text{C}$  이하의 M 85 냉시동성능의 개선을 위해서는 연료 레이드 증기압의 적절한 증가와 보조시동 인젝터의 장착이 제안되어진다.

### 참 고 문 헌

1. Kunihiko Sugihara, et al., "Research and Development of Flexible Fuel Vehicles at Nissan", SAE Paper No. 902159, 1990.
2. Muneyoshi Namba and Takaneo Yokoyama, et al., "Development of Mitsubishi Methanol Fuel Vehicle", SAE Paper No. 901861, 1991.
3. Shin Y., Hwang S. and Lee H., "A Feasibility Study for a Flexible Fuel Vehicle", IX. International Symposium on Alcohol Fuels, 1991.
4. D.P. Gardiner, M.F.Bardon., V.K.Rao, V.Battista, "Review of the Cold Starting Performance of Methanol and High Methanol Blends in Spark Ignition Engines : Neat Methanol", SAE Paper No. 902154, 1990.
5. 조경국, 김희철의 3인, "메탄올을 연료로 하는 자동차의 성능에 관한 연구", 서울대학교 부속 생산기술연구소, 1987.
6. N.Iwai, Y.K.Kim, "A Study on Cold Startability and Mixture Formation of High-Percentage Methanol Blends", SAE Paper No. 88 0044, 1988.
7. G.Yee, B. Woodward, R. Yuille, "Conversion of 1984 Buick Turbo Regal to Use Methanol (M-85) as a Motor Fuel", SAE Paper No. 861592, 1986.
8. 신영기, 황상순, "메탄올 엔진의 냉시동성에 관한 연구", 한국 자동차공학회 학술강연 초록집, pp.21-28, 1990.
9. D.P.Gardiner, M.F.Bardon, V.K.Rao, V.Battista, "Review of the Cold Starting Performance of Methanol and High Methanol Blends in Spark Ignition Engines : High Methanol Blends", SAE Paper No. 902181, 1990.
10. C.J.Dasch, N.D.Brinkman, D.H.Hopper, "Cold Starts Using M-85 (85% Methanol) : Coping with Low Fuel Volatility and Spark Plug Wetting", SAE Paper No. 910865, 1991.
11. NGK Spark Plug Co., "Technical Review on NGK Spark Plug", 1990.