

밀러사이클 적용 스파크점화기관의 후기 흡기밸브 닫힘각 변화에 따른 연소성능 연구

정진호* · 강선제* · 김진수* · 정석철* · 이진욱**

A Study on Combustion Characteristics of Spark-Ignited Engine with Different Late Intake Valve Closing for Miller Cycle

J. H. Chung, S. J. Kang, J. S. Kim, S. C. Jeong and J. W. Lee

Key Words: Miller cycle(밀러 사이클), Variable valve timing(가변밸브 개폐시기), Late intake valve closing(후기 흡기 밸브 닫힘), Cam profile(캠 형상)

Abstract

In order to research engine characteristics of spark-ignited engine with intake valve closing timing change for Miller cycle, two cam for LIVC(Late Intake Valve Closing) were designed and fabricated an prototype valvetrain. And intake valve closing timing were adjusted to build low compressing and high expansion cycle for HEV. In experimental study, it were investigated with different engine speed, spark timing and air-fuel ratio to compare base cam and LIVC cam type. It was found that the volumetry efficiency and effective work of compression process were decreased in case of LIVC cam. When compared with the existing results, the maximum pressure in the cylinder was reduced about 12~13 bar and the volumetric efficiency was reduced about 16%.

용어설명

WOT : 전 스톱틀 상태
BTDC : 상사점 전
IMEP : 도시평균유효압력

1. 서 론

1.1 연구 배경

세계적으로 점점 강화되는 및 유해배출가스 규제와

석유의 높은 가격으로 인해 가솔린 엔진과 디젤 엔진의 효율을 향상시키는 연구가 많이 이루어지고 있다. 가솔린 엔진의 경우에는 다운사이징, 가솔린 직접분사, 희박연소, 급속연소, 배기가스재순환 그리고 가변밸브타이밍 등의 분야에서 많은 연구가 이루어지고 있다^(1,2).

특히 단기간 내에 실현가능하다고 판단되는 기술 중 이미 상용화 되어 적용되고 있으며 빠르게 확산되고 있는 기술은 하이브리드 자동차 관련기술이며, 국내 자동차회사에서도 하이브리드 차량을 출시하는 등 연구개발에 박차를 가하고 있다.

주 동력원인 엔진의 경우, 밸브타이밍에 변화를 주어 압축비보다 팽창비를 크게 하는 앳킨슨 순사이클(Atkinson cycle) 혹은 밀러사이클(Miller cycle)을 대부분의 HEV엔진에 적용하고 있다.

Figure 1은 일반적인 밀러사이클의 P-V선도를 나타낸 것이다. 이에 대한 효율 극대화를 위해서는 밸브타이밍의 변화로 압축과정을 줄임으로써 유효압축비를 감소시

Received: 8 Jul 2015, Received in revised form: 16 Sep 2015,
Accepted: 17 Sep 2015)

*충실대학교 대학원 기계공학과
**교신저자, 충실대학교 기계공학과
E-mail: immanuel@ssu.ac.kr
TEL : 02-820-0929

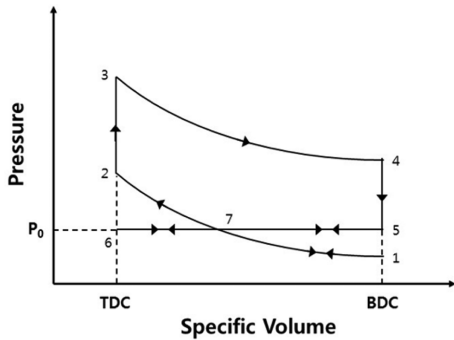


Fig. 1 P-V Diagram of Miller cycle

키고 상대적으로 팽창비를 크게 해야 한다^(3,4).

1.2 연구 목적 및 내용

본 연구에서는 국내 상용 하이브리드 차량의 엔진 제원을 분석한 결과⁽⁷⁾, LIVC(late intake valve closing)방식이 상용 하이브리드 차량에 적용되어 사용되고 있으므로, LIVC에 대한 보다 정량적 연소성능을 분석하고자 연구를 수행하였다.

흡기밸브 닫힘각을 진각 또는 지각시킬 경우 흡기공기량이 감소하면서 체적효율은 감소하지만, 유효압축비가 낮아지고 펌핑손실이 감소하여 저압축-고팽창 기관을 실현하여 연료소비율을 3.5%~10%정도 향상시킬 수 있다는 기존의 연구 보고가 있다^(4,5,6).

이를 위해 하이브리드용 엔진으로 많이 사용되고 있는 Miller 사이클을 단기통 엔진에 적용하여 흡기밸브 닫힘각 변화에 따른 엔진의 성능변화를 실험을 통해 분석하는 것이다.

2. 실험장치 및 방법

2.1 엔진성능 실험 장치

본 연구의 엔진성능 실험을 위해 사용된 장치의 전체 개략도는 Fig. 2에 나타내었다. 실험장치는 크게 분류하면 실험기관, 흡·배기, 장치, 전기동력계, 연료공급장치, 냉각장치, 연소해석장치, 연료분사 제어장치로 구성된다. 실험장치는 각 부분의 압력과 온도를 실시간으로 측정할수 있도록 하였다.

본 연구에서 사용된 기관은 수평형 단기통 수냉식 능공용 4행정사이클 직접분사 방식 디젤기관(대동엔진, ND-80)이다. 기관에 스파크 점화장치를 설치하고 흡기

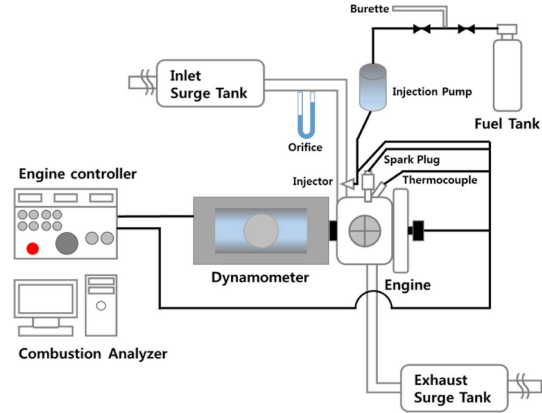


Fig. 2 Schematic diagram of engine test set up

포트에 연료분사장치를 추가 설치하여 SI 가솔린기관으로 개조하였다. 가솔린기관의 압축비에 알맞게 개조하기 위하여 가스켓을 이용하여 압축비를 낮추었다.

단기통 엔진은 별도의 가변밸브 기구의 설치 없이 Miller 사이클을 구현하기 위하여 캠샤프트를 흡기밸브 닫힘각이 지각되도록 CNC 가공하여 교체하는 방식을 선택하였다. 흡기밸브 닫힘각 조건을 변경하기 위해서는 엔진을 분해하여 교체해야하는 불편함은 있으나, 복잡한 매커니즘이 필요한 별도의 가변밸브 기구 없이 간단하게 적용할수 있다는 장점이 있다.

엔진 성능실험은 동일한 운전조건에서 점화시기, 공기연료비에 변화를 주어 기존 흡기밸브 닫힘각과 지각된 닫힘각에 대한 실험을 각각 진행하고 비교 분석하였다.

Table 1 Specifications of experiment engine

Number of cylinder	1	
Bore × Stroke	92 × 95 mm	
Connecting rod	170 mm	
Displacement volume	631 cm ³	
Valve type	SOHC 2 Valve	
Combustion chamber type	Reentrant bowl-in-piston	
Compression ratio	9.5 : 1	
Intake Valve	IVO	BTDC 18.5°
	IVC	ABDC 51.5°
Exhaust Valve	EVO	BBDC 51.5°
	EVC	ATDC 18.5°

기관의 제원은 아래 Table 1에 나타난 바와 같다. 실린더의 보어는 92 mm, 행정은 95 mm이며, 행정체적은 631 cm³이다. 압축비는 가스켓을 추가로 설치하였을 때, 9.5:1로 하였다. 연료의 분사시기는 석사 300°으로 일정하게 유지하였으며, 점화시기는 BTDC32°, 26°, 20°, 14°, 8°, 2°로 6°간격으로 지각시키면서 실험을 진행하였다.

기관으로부터 발생하는 진동과 소음이 크기 때문에 기관의 마모와 동력계의 수명을 보호하기 위하여 진동 감소용 방진기구를 갖춘 테스트 베드를 이용하였다. 기관의 크랭크축과 동력계의 축은 고무커플링으로 연결하여 축 진동을 최소화하였다.

흡기장치는 흡입공기 유도관 및 흡입 서지탱크로 구성된다. Fig. 3은 흡입공기량 측정을 위해 설치된 흡기 유도관이다. 흡기 유도관에는 오리피스 유량계($\phi=15$ mm)를 통해 전후의 압력차로서 흡입공기량을 측정하였다. 서지탱크는 맥동 현상을 최소화하기 위하여 행정체적의 385배 이상인 243L로 제작하였다. 배기장치 또한 흡기장치와 동일한 목적으로 243L의 체적으로 설치하였다.

기관 제어장치는 분사시기 및 분사기간을 제어하는 장치, 점화시기를 제어하는 장치와 동력계 하중을 제어하는 장치들로 구성된다. Fig. 4는 연료공급장치와 기관

제어장치를 나타낸다. 연료공급장치는 12V 분사펌프와 솔레노이드 분사기로 구성되었다. 연료펌프와 솔레노이드 분사기는 상용자동차에 사용되는 저압용을 사용하였으며, 연료는 흡기관에 분사시켰다.

분사되는 연료의 양을 제어하기 위해 로타리 엔코더를 설치하여 크랭크 각도신호를 기준으로 연료 분사량을 제어하였다. 분사량은 분사 시작 크랭크 각도로부터 0.1 ms 간격으로 설정된 기간동안 연료가 분사되도록 하였다.

냉각장치는 냉각수를 중력식으로 공급할 수 있도록 탱크를 설치하였고, 조절밸브를 사용하여 출구온도를 75±5°C로 일정하게 유지하였다.

연소실내의 압력 측정은 Piezo-electric 압력센서를 이용하였다. 압력센서의 출력신호는 매우 작은 값이므로 연소해석기가 인식 할수 있도록 전압을 증폭시킬 수 있도록 Kistler사의 증폭기(Charge amplifier, Kistler Co. Type-5011)를 사용하였다. 연소해석장치는 ONOSOKI사의 CB-366 Combustion analyzer를 사용하였다. 환용기전의 CAS(Combustion Analyzer System)프로그램을 사용하여 100사이클의 평균값데이터를 수집하였다⁽⁸⁾.

크랭크 각에 따른 연소실 체적의 변화는 엔진연소실, 피스톤, 크랭크축 및 커넥팅로드가 Fig. 5와 같이 배열되어 있을 때, 다음의 수식을 이용하여 계산하였다.

$$V(\theta) = V_c + \frac{V_c}{2}(r_c - 1) \{G + 1 - \cos\theta - \sqrt{G^2 - \sin^2\theta}\}$$

2.2 흡기밸브 닫힘각 실험 장치

본 연구의 핵심인 기관의 흡기밸브 닫힘각을 변경하기 위하여 캠샤프트의 흡기밸브 캠을 CNC가공해 흡기밸브의 닫힘각이 지각되도록 제작하였다. Fig. 6에 정상 캠샤프트와 닫힘각이 지각되



Fig. 3 Tank-pipe system to measure intake flow



Fig. 4 Fuel supply system and engine control unit

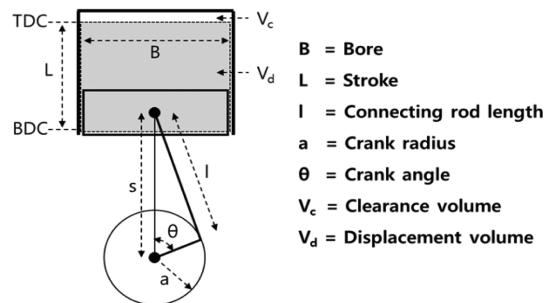
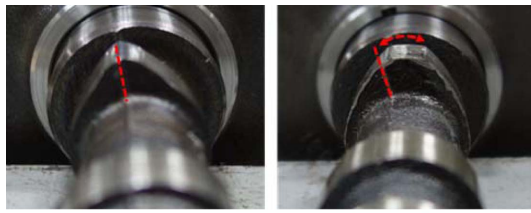


Fig. 5 Structure of engine combustion chamber, piston, crank shaft and connecting rod



(a) Base cam (b) LIVC cam

Fig. 6 Shape of two cam shaft

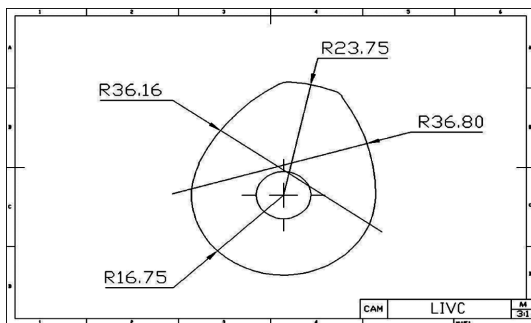


Fig. 7 Design drawing of cam profile

도록 제작된 캠샤프트를 나타낸 것이다. 국산 상용하 이브리드 차량의 가변밸브시스템을 분석하여 흡기밸브의 최대 변화량인 CAD50°를 적용하여 흡기밸브 단힘각이 지각되도록 설계도면을 작성한 후, CNC가공을 통해 캠샤프트를 가공하였다. Fig. 7은 흡기밸브 구동용 캠 프로파일 설계도면을 나타낸 것이다⁽⁷⁾.

3. 실험 결과 및 고찰

3.1 흡기밸브 단힘각에 따른 체적효율 특성

본 연구에서는 흡기밸브 단힘각 변화에 따른 체적효율의 변화를 살펴보기 위하여 기관의 다른 조건들은 동일하게 고정한 상태에서 흡기밸브 단힘각의 변화를 주어 흡입공기량 및 체적효율을 비교하였다⁽⁴⁾.

흡입공기량의 측정은 흡기유도관에 설치되어 있는 오리피스 유량계의 수두의 높이차를 측정하고 ISO5167의 간이계산식을 이용하여 흡입공기량 및 체적효율 계산하였다. 간이계산식을 통해 얻은 결과는 Table 2과 같이 정리하였다.

$$Q_m = C_d E \varepsilon \frac{\pi}{4} 2 \sqrt{\Delta P} \rho_1$$

C_d : 유출계수

Table 2 Change in the intake air amount along the intake valve shape

	Engine speed	Water height level	Intake air (cc/rev)	Volumetric efficiency η
Base Motoring	800 rpm	47 mm	587.9	93.2%
	1000 rpm	71 mm	578.1	91.6%
	1200 rpm	104 mm	583.0	92.4%
Base	800 rpm	37 mm	521.6	82.7%
	1000 rpm	57 mm	517.9	82.1%
	1200 rpm	83 mm	520.8	82.5%
LIVC (+50)	800 rpm	31 mm	477.5	75.7%
	1000 rpm	44 mm	455.1	72.1%
	1200 rpm	66 mm	464.4	73.6%
LIVC (+50)	800 rpm	25 mm	428.8	68.0%
	1000 rpm	37 mm	417.3	66.1%
	1200 rpm	53 mm	416.2	66.0%

E : 근접속도계수

ε : 압축성 유체의 팽창계수

ΔP : 오리피스 전후차압

ρ_1 : 유체밀도

간이계산식 $\rightarrow Q_m = 0.00751 E d^2 \sqrt{\Delta P \rho_1}$

흡입공기량 및 체적효율은 흡기밸브 단힘각을 조절하지 않았을 경우에는 약 520 cc 가량으로 실린더 전체 체적인 631 cc의 82.5% 정도로 나타났으나, 단힘각을 CAD50° 가량 지각시킨 경우에는 약 420 cc로 전체 체적의 66.5% 정도로 기존대비 16% 가량 체적효율이 떨어지는 것으로 나타났다. 이는 흡기밸브가 BDC 이후에도 상당기간 동안 열려 있음으로 인하여 실린더내로 유입되었던 공기가 역류하여 흡기밸브를 통해 다시 빠져나갔기 때문으로 판단된다.

추후 예정인 해석을 통한 연구에서는 Cold flow로 해석할 계획이어서, 이를 고려한 해석결과와 실험결과를 동일조건에서의 비교하기 위해 Motoring 조건에서의 실험을 본 연구에서 추가적으로 진행하였다. Motoring 조건에서도 기관 작동시와 유사하게 Base에 비해 LIVC를 적용하였을 때, 약 92%에서 약 72%정도로 20% 가량 체적효율이 감소하였다. 이는 기관 작동시와 동일하게 LIVC가 적용됨에 따라 BDC 이후에도 상당기간 흡기밸브가 열려있음으로 인하여 실린더내 공기가 역류하였기

때문으로 판단된다.

Motoring과 기관 작동시의 체적효율을 비교해 보면 Base의 경우에는 약 10%가량, LIVC를 적용하였을 경우에는 약 6% 가량으로 기관 작동시 체적효율이 Motoring시의 보다 작게 나타났다. 이는 흡기밸브의 열림 초기는 배기과정의 말기 행정으로 피스톤은 TDC 근처가 되기 때문에 실린더 내부는 압력이 높은 상태이고 이에 따라 흡기포트를 통해 역류하는 현상이 발생하는데, Motoring시의 내부 압력보다 기관 작동시의 내부 압력이 상대적으로 높기 때문에 역류하는 공기의 양이 많아 체적효율이 떨어지는 것으로 판단된다.

3.2 점화시기에 따른 엔진성능 특성

본 연구에서는 흡기밸브 닫힘각을 조절하지 않은 Base와 흡기밸브 닫힘각을 기존대비 CAD5°를 지각시킨 LIVC에 대한 엔진의 성능 특성의 차이를 비교·분석하였다. 점화시기의 변화에 따른 P-θ, Heat release-θ, IMEP를 800 rpm, 1000 rpm, 1200 rpm 으로 3가지 작동 조건에 대하여 측정하고 분석하였다. 엔진부하는 WOT, 분사기간은 15.7 ms로 고정한 뒤 점화시기를 BTDC32°, 26°, 20°, 14°, 8°, 2°로 6°씩 지각되도록 변경하며 엔진의 성능 특성을 연구하였다.

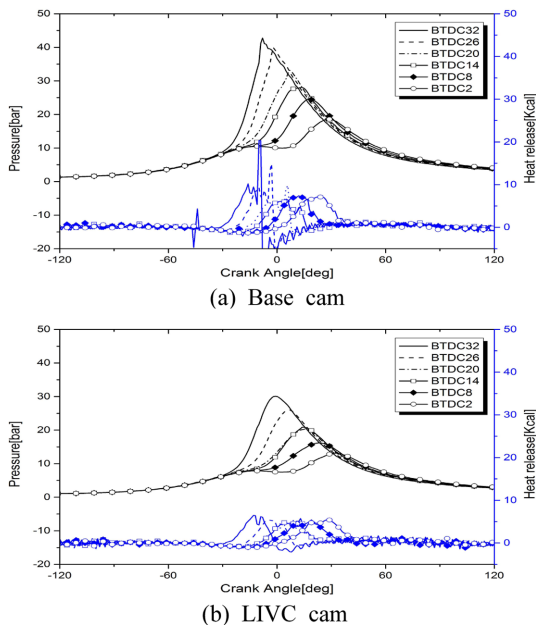


Fig. 8 Variation of combustion pressure and heat release rate in accordance with the ignition timing (800 rpm, WOT, Injection period 15.7 ms)

분사시기 BTDC60°, 분사기간 15.7 ms(이론공연비)이고 WOT일 때 점화시기에 따른 P-θ와 Heat release-θ

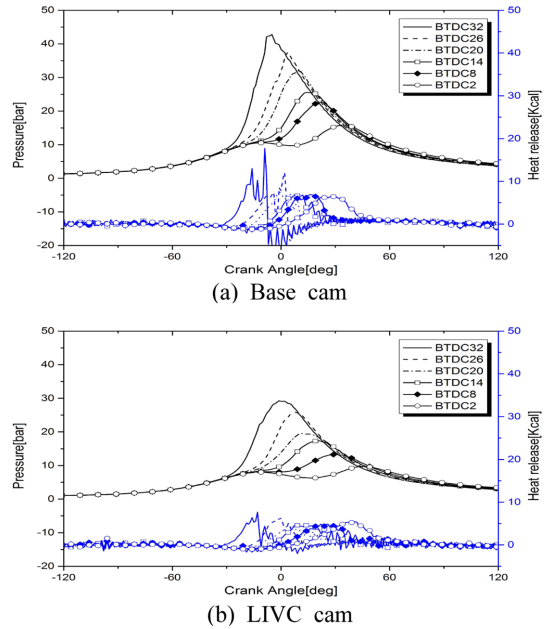


Fig. 9 Variation of combustion pressure and heat release rate in accordance with the ignition timing (1000 rpm, WOT, Injection period 15.7 ms)

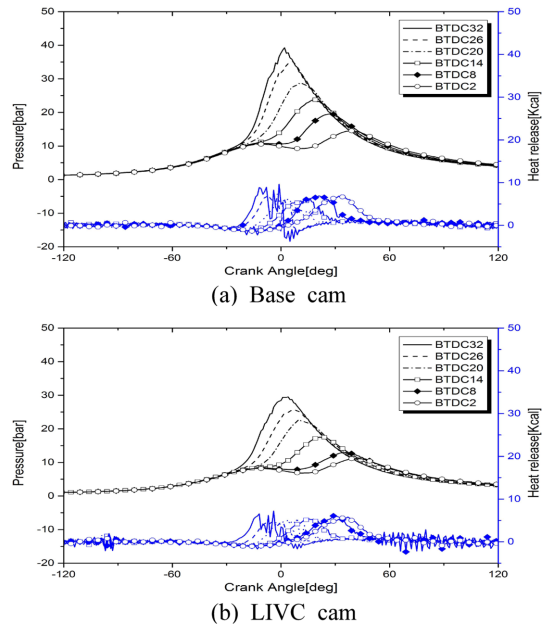


Fig. 10 Variation of combustion pressure and heat release rate in accordance with the ignition timing (1200 rpm, WOT, Injection period 15.7 ms)

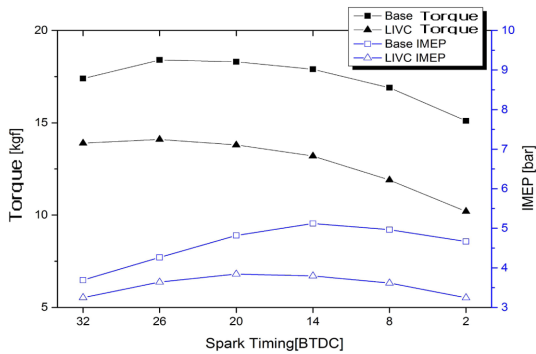


Fig. 11 IMEP and Torque changes in accordance with the ignition timing

선도를 Fig. 8과 9 그리고 10에 나타내었다. Base와 LIVC 모두 점화시기를 지각시킴에 따라 실린더내 최고 압력이 낮아지고 Heat release 선도가 지각되는 것으로 나타났다. 이러한 경향은 기관 회전수 800 rpm, 1000 rpm, 1200 rpm 세가지 작동영역에서 유사하게 나타났다.

흡기밸브 닫힘각을 지각시킨 LIVC의 경우에는 Base 대비 실린더내 최고압력 및 Heat release가 약 20~25% 가량 모든 점화시기에서 낮아지는 것을 알 수 있다. 이는 흡기밸브 닫힘각이 지각됨에 따라 체적효율 및 유효 압축비가 낮아졌기 때문으로 판단된다.

Figure 11은 Base와 LIVC의 기관회전수 1000 rpm, WOT, 분사시간 15.7 ms일때의 점화시기 변경에 따른 동력계하중과 IMEP를 나타낸 것이다. 동력계하중의 변화를 살펴보면 Base대비 LIVC에서 전체적으로 낮게 나타나는 것을 확인할 수 있다. 이는 LIVC 적용에 따라 체적효율 및 유효압축비가 낮아졌기 때문으로 판단된다. Base와 LIVC 두 가지 경우 모두 점화시기 BTDC26°에서 최대 동력계하중을 나타내었다. 그 이후 점화시기가 지각됨에 따라 동력계하중이 급격히 감소하는 양상이 나타났는데, 이는 Base와 LIVC 모두 유사하게 나타났다. 반면, IMEP의 전체적인 변화를 살펴보면 점화시기를 지각시킴에 따라 증가하다가 감소하는 경향을 확인할 수 있다. Base에서의 최대 IMEP는 점화시기 BTDC14°에서 나타났으며 LIVC에서는 BTDC20°로 Base 대비 진각되어 나타나는 것을 확인할 수 있다.

이와 같은 결과는 Fig. 12와 같이 Heat release 선도의 변화에서도 알 수 있는데, 유효 압축비가 낮아져 실린더 내부의 압력 및 온도가 낮아지고 흡기밸브 닫힘각이 지각됨에 따라 예혼합에 필요한 시간이 짧아져 Heat release 선도가 LIVC를 적용하였을 때 지각되어 나타나

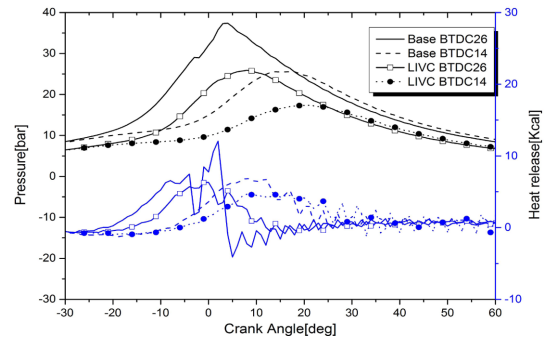


Fig. 12 Changes in the combustion pressure and heat release rate of the Base and LIVC

는 것으로 판단된다.

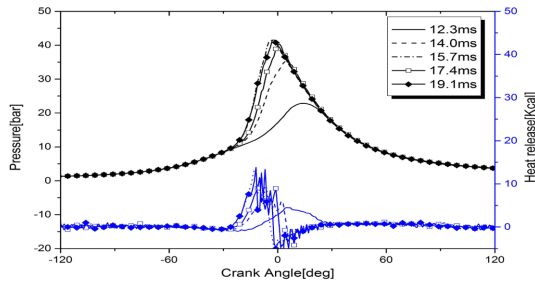
3.3 공기연료비에 따른 엔진성능 특성

본 연구에서 사용된 단기통 엔진은 흡기포트에 연료 분사 장치를 설치한 포트분사 방식의 엔진이다. 적용된 LIVC는 기존 흡기밸브 닫힘각에서 약 CAD50° 가량 지각되도록 구성되었다. 즉, 흡기밸브는 BDC를 상당기간 지난 후에 닫히게 되므로 실린더내의 혼합기의 역류가 예상된다. 이러한 이유로 LIVC 실험에서의 공연비는 정교한 측정이 어렵지만, 분사시기 및 점화시기 등 나머지 작동조건을 고정한 상태에서 연료의 분사시간만을 12.3, 14.0, 15.7(이론공연비, Base), 17.4, 19.1 ms으로 조절하여 엔진의 성능 특성을 연구하였다.

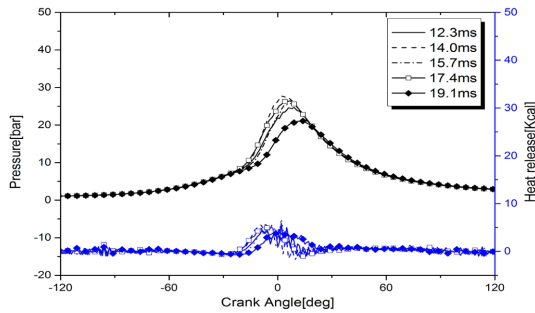
기관회전수 1000 rpm, 분사시기 BTDC60°, 점화시기 BTDC26° 이고 WOT일 때 연료분사시간에 따른 P-θ 선도를 Fig. 13에 나타낸 것이다. 전체적인 실린더내부 압력변화를 살펴보면, 점화시기 변경 실험에서와 유사하게 Base대비 LIVC를 적용하였을 때, 실린더내 최고 압력 및 Heat release가 감소한 것을 확인할 수 있다. 앞선 실험과 유사하게 유효압축비 및 체적효율이 감소하면서 실린더내의 최고압력이 낮아진 것으로 판단된다.

실험결과 흡입공기의 온도는 Base의 경우에는 실험실 온도와 거의 유사한 수준으로 유지되었으나, LIVC의 경우에는 실험실 온도대비 약 7~10°C정도 높게 측정되었다. 이것은 실린더 내로 유입되었던 공기가 실린더 주변의 열을 흡수한 후 혼합기가 역류하기 때문에 흡입공기의 온도가 높아진 것으로 판단된다.

Figure 14은 Base와 LIVC의 기관회전수 1000 rpm, WOT, 점화시기 BTDC26° 일때의 연료분사시간에 따른 동력계하중과 IMEP를 나타낸 것이다.



(a) Base cam



(b) LIVC cam

Fig. 13 Changes in the combustion pressure and heat release rate in accordance with the fuel injection period (1000 rpm, WOT, SA BTDC26°)

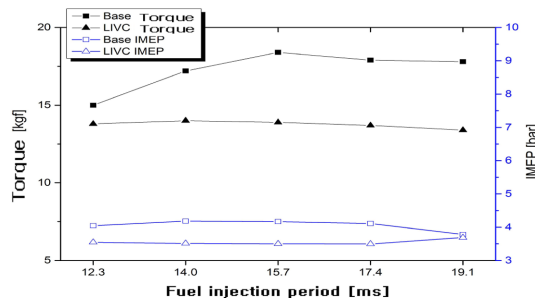


Fig. 14 IMEP and Torque changes in accordance with the fuel injection period

각 분사기간에 따른 동력계하중의 변화를 살펴보면 Base의 경우에는 12.3 ms의 희박한 연소영역에서 동력 계하중이 급격하게 낮아지는 것을 알 수 있다. 이에 반해 LIVC의 경우에는 공기연료비가 희박해짐에 따라 동력계하중이 낮아지지 않고 소폭 상승하는 것을 확인할 수 있다. LIVC적용에 따라 실린더내로 유입된 혼합기가 충분히 예혼합되기 이전에 역류가 일어남에 따라 이론공연비보다 연료비가 높은 농후한 상태가 된다. 분사 기간을 짧게 하여 혼합기를 상대적으로 희박하게 설정

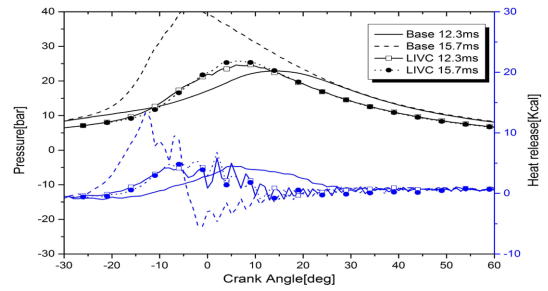


Fig. 15 Comparisons of the combustion pressure and heat release rate of the Base and LIVC

Table 3 Summary of results

Variation of volumetric efficiency WOT, M.B.T, Fuel injection period 15.7 ms				
	Base		LIVC	
Engine speed	Intake air (cc/rev)	Volumetric efficiency	Intake air (cc/rev)	Volumetric efficiency
800 rpm	521.6	82.7%	428.8	68.0%
100 rpm	517.9	82.1%	417.3	66.1%
1200 rpm	520.8	82.5%	416.2	66.0%
Variation of ignition timing 1000 rpm, WOT, Fuel injection period 15.7 ms				
	Base		LIVC	
Ignition timing	Torque (kgf)	IMEP (bar)	Torque (kgf)	IMEP (bar)
BTDC32	17.4	3.68	13.9	3.24
BTDC26	18.4	4.26	14.1	3.64
BTDC20	18.3	4.81	13.8	3.84
BTDC14	17.9	5.12	13.2	3.79
BTDC8	16.9	4.96	11.9	3.61
BTDC2	15.1	4.66	10.2	3.24
Variation of air-fuel ratio 1000 rpm WOT, M.B.T				
	Base		LIVC	
Fuel injection period	Torque (kgf)	IMEP (bar)	Torque (kgf)	IMEP (bar)
12.3 ms	15.0	4.04	13.8	3.54
14.0 ms	17.2	4.18	14.0	3.51
15.7 ms	18.4	4.16	13.9	3.50
17.4 ms	17.7	4.11	13.7	3.49
19.4 ms	17.8	3.78	13.4	3.68

하였을때, 공기연료비가 상대적으로 이론공연비와 가깝게 형성되었기 때문에 판단된다.

본 연구에서 사용한 실험장비는 흡기포트에서 연료를 분사하는 방식이기 때문에 LIVC를 적용하였을 때, 실린더내의 공기가 역류하면서 유입되었던 연료 역시 일부 역류하기 때문에 연료효율은 현재 시스템에서 연료효율을 측정할 시 Base대비 낮을 것으로 예상된다. 이러한 문제를 해결하기 위해서는 흡기밸브가 닫힌 후에 실린더 내로 직접 연료를 분사할 수 있는 직접분사 방식의 엔진에 대한 분석이 필요할 것으로 판단된다.

이상 Base 및 LIVC 적용에 따른 체적효율의 변화 및 점화시기, 공기연료비 변화에 따른 실험결과를 요약하여 Table 3에 나타내었다.

4. 결 론

본 연구는 하이브리드 차량에 이용되고 있는 밀러사이클을 LIVC용 캠샤프트 시제작을 통해 구현하고, 이를 통한 흡기밸브 닫힘각 변경에 따른 연소성능에 관한 것이다. 이를 위해 기관의 점화시기 및 공기연료비를 변경하며 실린더내의 압력변화, IMEP 및 Torque의 변화를 비교·분석하였다. 본 연구를 수행한 결과, 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

(1) 흡기밸브 닫힘각을 CAD50° 지각시켜 밀러사이클을 구현하여 기존 결과와 비교했을 때, 실린더내 최고 압력은 약 12~13 bar, 체적효율은 약 16% 가량 감소하였다.

(2) 점화시기를 변경하였을 때 최대 Torque가 나타나는 M.B.T지점은 BTDC26°로 Base 및 LIVC 두 조건에서 동일하게 나타났으나, 최대 IMEP 지점은 Base는 BTDC20° LIVC는 BTDC14°로 기존대비 진각되어 나타났다.

(3) 공기연료비를 변경하였을 때 Base의 경우에는 농후해지거나 희박해짐에 따라 Torque 및 실린더내 압력이 감소하였으나, 동일한 조건의 분사압력과 분사시간으로 LIVC에 적용하였을 때에는 상대적으로 희박한 영역에서 Torque 및 실린더내 압력이 소폭 높게 나타났다.

(4) LIVC적용시 실린더내의 공기가 예혼합되기 이전에 역류가 일어남에 따라 동일한 분사압력과 분사시간을 적용하여도 Base보다 실린더내의 혼합기가 농후하게 형성된다. 이러한 현상을 피하기 위해서는 흡기밸브가 완전히 닫힌 이후에 연료를 실린더 내로 분사할 수 있는 직접분사 방식의 적용이 필요할 것으로 판단된다.

후 기

본 연구는 2015년도 정부(산업통상자원부)의 재원으로 산업핵심기술개발사업 지원을 받아 수행된 것이며, 이에 깊은 감사를 드립니다.

참고문헌

- (1) Yunlong Li and Yiqiang Pei, Jing Qin, Shaozhe Zhang, Yu Shang, Le Yang and Xuesong Wu, "Exhaust Gas Recirculation, Late Intake Valve Closure and High Compression Ratio for Fuel Economy Improvement in a MPI Gasoline Engine", SAE Technical Paper 2014-01-1197, 2014.
- (2) Cheolwoong Park, Jinwoo Oh and Hongsuk Kim, "A Study on the Lean Combustion Characteristics with Variation of Combustion Parameter in a Gasoline Direct Injection Engine", Transactions of KSAE, Vol. 20, No. 4, 2012, pp. 39-45.
- (3) Sangmyeong Kim, Gisu Sung and Jinwook Lee, "Analysis of In-cylinder Flow in a Miller Cycle Engine with Variable IVC for HEV", Journal of ILASS-Korea, Vol. 19, No. 1, 2014, pp. 25-32.
- (4) C. M. Chung, J. T. Lee and J. W. Cho, "Trends in Technical & Development of Miller Cycle for Gasoline Engine", Transactions of KSAE, Vol. 17, No. 1, 1995, pp. 6-19.
- (5) Yu Wan and Aimin Du, "Reducing Part Load Pumping Loss and Improving Thermal Efficiency through High Compression Ratio Over-Expanded Cycle", SAE Technical Paper 2013-01-1744, 2013.
- (6) James Taylor and Neil Fraser, Rene Dingelstady and Hermann Hoffmann, "Benefits of Late Inlet Valve Timing Strategies Afforded Through the Use of Intake Cam In Cam Applied to a Gasoline Turbocharged Downsized Engine", SAE Technical Paper 2011-01-0360, 2011.
- (7) Hyundai Motor, "2012 YF Sonata Hybrid Maintenance Instructions", Golden bell, 2011, pp. 5-8.
- (8) H. S. Kim, "Performance and Emission Characteristics of a Controlled Auto-Ignition Gasoline Engine according to Variation", Soongsil University Graduate school, 2003, pp. 12-21.