

엔진 가변 밸브 기구 이해 및 개발동향

Understanding of Engine Variable Valve Train Technology and Trend



글 | 金 度 完
(Kim Do Wan)

- 차량기술사
- 콘티넨탈 오토모티브 시스템 (주) 엔진 시스템 사업부 과장

E-mail :dowan.kim@continental-corporation.com

To cope with recent high gas prices and global warming phenomenon, the latest gasoline engine technologies are focusing on direction injection, downsizing by turbo charging, variable compression ratio, controlled auto ignition to enhance fuel efficiency and satisfy emission regulations. The variable valve train technology will be a basement for these innovative technologies in internal combustion engines and is supposed to play a key role to improve low thermal efficiency and pumping loss in gasoline engine caused by low compression ratio and throttled operation respectively.

1. 서론

전 세계적으로 고유가시대가 지속되고 지구온난화에 대응하기 위해 저연비, 저공해 자동차에 대한 요구를 만족시키기 위한 기술개발에 초점이 모아지고 있는 가운데 최근 가솔린 엔진 기술은 연비, 배출가스를 개선하고 출력을 향상시키기 위해 직분사 기술, 터보차저를 이용한 다운사이징, 가변 압축비(VCR)엔진, 예혼합압축착화(CAI)등이 활발히 연구되고 있다. 그리고 이러한 시스템에 엔진의 운전영역에 따라 밸브의 개폐시기, 기간 및 리프트 등을 자유롭게 조절하는 가변밸브기구(VVx) 적용은 필수적이라 할 수 있으며, 가변 밸브 기구 기술은 가솔린엔진의 낮은 압축비로 인한 열효율저하, Throttling에 의한 부분부하에서의 펌핑손실의 개선에 가장 중요한 요소라고 할 수 있다.

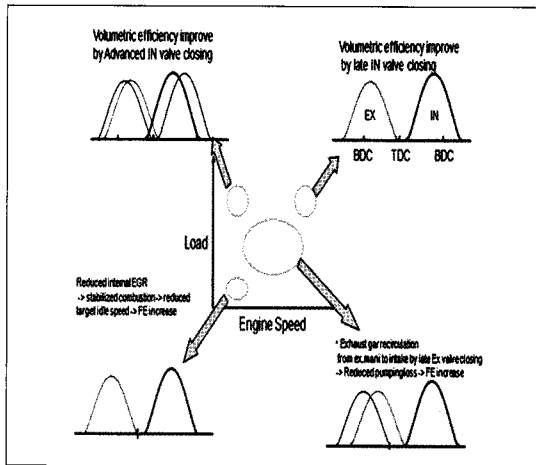
2. 엔진 밸브 기구 개요

엔진의 흡기/배기밸브는 크랭크 샤프트에 연결된 캠샤프트에 장착된 캠의 회전에 의하여 개폐되어 공기(혼합기)의 흡입및 배출이 이루어진다. 이와 같이 크랭크 샤프트의 회전에 맞춰 밸브를 움직이게 하는 기계적 구성요소를 통합하여 “밸브 구동장치 (valve train)”라고 한다.

3. 가변 밸브 기구의 종류 및 목표

대표적인 가변 밸브 기구는 가변 밸브 타이밍 (VVT)과 가변 밸브 리프트(VVL) 기구를 들 수 있다.

가) 가변 밸브 타이밍 기구 - VVT (Variable Valve Timing) 기존엔진의 밸브 장치는 단순한 기계식으로 밸브오버랩(흡배기 밸브가 동시에 열려있는 구간)이 존재 하였다. 밸브오버랩이 대부분 10도 정도이나 엔진 운전영역별로 체적효율증대/토크/연비개선을 위해 흡배기밸브 개폐시기를 조절할 수 있는 시스템이다



〈그림 1〉 엔진 운전영역에 따른 밸브타이밍 제어 전략

① Single VVT

흡기밸브 위상제어로 엔진 운전영역별 밸브 개폐시기 조절 가능한 시스템이다.

② Dual VVT

흡기밸브 / 배기밸브 위상제어로 엔진 운전영역별 밸브 개폐시기 조절 가능한 시스템이다.

Dual VVT는 연비 효과 측면에서 최적의 선택

이라고 할 수는 없지만 원가 대비 효과는 가장 좋다고 할 수 있다. 저속에서 토크 증대에 의한 저속 운전영역 확대에 의한 연비 향상 및 내부 EGR에 의한 배출가스 저감 효과를 기대할 수 있으며, 흡기밸브 닫힘 제어 보다 배기밸브 닫힘 제어가 내부 EGR에 효과가 크며 배기가스의 잔류증가로 일은 좀 더 유효하게 사용되며 연소가스의 온도는 내려가서 HC와 NOx의 저감도 이루어진다. 흡기밸브의 지각에 의한 압축압력 감소를 유도하여서 노크 특성 또한 좋아 졌으며 (유효압축비 저하) 더불어 배기의 제어를 통해 좀 더 광범위한 점화시기 제어를 함께 행한다.

③ eVVT (전동식 VVT)

가변밸브타이밍 기구의 최근의 추세는 기존 솔레노이드 밸브에 의한 유압제어 기구 대신에 넓은 제어범위와 빠른 응답성, 오일온도 및 압력에 무관한 제어, 양방향 정밀제어 등의 장점을 가지고 있는 전동식 제어기구 (Clutch type, DC motor, BLDC motor type)의 채용이다. 이는 아래와 같은 차세대엔진의 구현에 필수적인 요소이다.

- 저압축 고폽창 사이클(Atkinson cycle, miller cycle) 엔진구현

현재의 유압식 Dual VVT 시스템에서도 이러한 사이클운전이 부분적인 영역에서 이루어지고 있으며 하이브리드 엔진의 경우 저압축 고폽창 사이클을 구현하는데 있어서 결정적인 역할을 하고 있다. 팽창비가 유효압축비 보다 높고 열효율이 높아지는 이점이 있다. 터보 다운사이징의 개념과 더불어 계속하여 적용이 확대되고 있는 추세이다.

- 예혼합 압축착화(Controlled Auto Ignition) 엔진구현

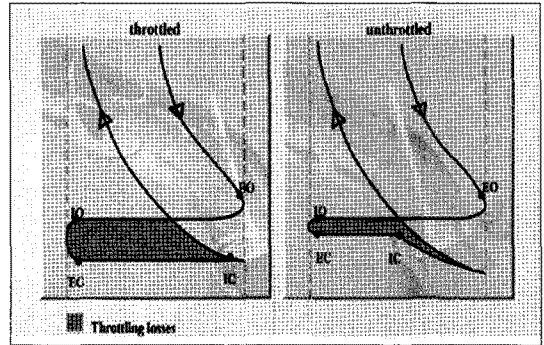
가솔린 예혼합 착화의 경우 기존 스파크점화/ 압축점화 엔진에 비하여 실제로 착화가 일어나는 시점을 알아내어 연소를 제어하는데 큰 어려움이 있는데, 특히 고부하 영역의 노킹이 발생 때문에 부하에 따라 압축비를 변경하는 기술에 가변 밸브 타이밍 기구가 적절하게 사용될 수 있다. 실제 압축비는 예혼합 압축착화연소에 맞춰 약간 높은 압축비로 설정하고 고부하에서는 흡기밸브를 늦게 닫아 유효압축비를 저하시켜 운전하게 된다. 또한 고압축비라고 해도 착화성이 낮은 가솔린 연료를 착화시킬 방법으로 배기밸브 일찍 닫고 간격을 두고 흡기밸브를 여는 네거티브 오버랩으로 잔류가스를 증가시켜 실린더 내 가스온도를 상승시키는 방법이 사용되고 있다. 즉 가변밸브 타이밍 기술을 이용하면 압축비의 변경뿐만 아니라 부하에 따른 네거티브 오버랩에 의한 압축말기의 온도제어가 가능해진다.

〈표 1〉 유압식 VVT 와 전동식 VVT 의 장단점 비교

	전동식 VVT	유압식 VVT
장점	<ul style="list-style-type: none"> ○ 작동영역 > 90° crk ○ 작동 속도 빠름 (>450° CS/s) ○ 추가적인 오일 유로 필요없음 ○ 엔진 회전 없이도 작동 가능함 (사동시 배출가스제어에 유리) 	<ul style="list-style-type: none"> ○ 저비용 (<40 유로 / 액추에이터) ○ 대량 양산 적용됨 ○ 고장시 기본위치 설정 가능함
단점	<ul style="list-style-type: none"> ○ 전기에너지 소모량 큼 ○ 고장시 기본위치 설정 불리함 ○ 고비용 (> 100 euro/ 액추에이터) 	<ul style="list-style-type: none"> ○ 오일온도/압력에 의존함 ○ 작동영역 < 90° crk ○ 추가 오일펌프 필요할 수 있음(옵션)/펌프 용량증대 검토 필요함 ○ 추가적인 오일 유로 필요함

나) 가변 밸브 리프트 기구 - VVL(Variable Valve Lift)

기존 가솔린엔진의 경우 부하 조절이 스로틀 개도량으로 이루어지며 이에 따라 발생하는 부압으로 인해 펌핑손실이 발생한다. 가변 밸브 리프트



〈그림2〉 BMW valvetronic 기구의 PV 선도

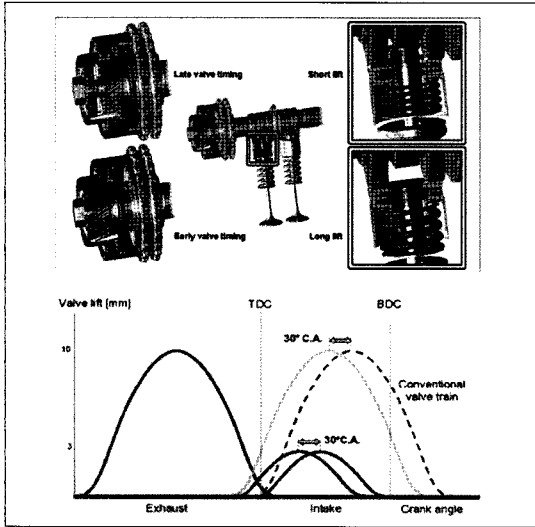
는(VVL: Variable Valve Lift) 밸브 리프트를 2 단 또는 3단 가변 하여, 연속 가변 밸브 리프트(CVVL: Continuously Variable Valve Lift)는 무단, 즉 연속적으로 밸브리프트를 가변 하여, 리프트 변화에 따른 충격을 최소화하면서 엔진의 성능과 연비를 동시에 향상시킬 수 있는 기술이다. 흡기 펌핑로스 저감 및 흡기 유속 강화를 통한 양호한 혼합기 형성하여 중저속 저부하, 아이들 연비개선하며, 흡기밸브리프트 양에 따른 흡입공기량 제어 및 제어부가 실린더와 가까워 흡기응답시 지연 단축함으로써 발전성능향상(고응답성), 중저속 유효일 증대를 통한 제동토크 및 제동출력향상을 목표로 하고 있다.

① Switched VVL

유압식/전동식제어의 형태가 있으며, 기존의 High Lift 이외에 아이들 및 중저속 영역에서 Low Lift 밸브로 작동한다. 이 기구는 저속영역

과 고속영역에 각각 적합한 밸브 곡선(lift curve)을 가지고 변환되어 아이들 및 저속영역에서(Low lift) 펌핑손실 감소 및 유동강화로 인한 연소효율 증대로 연비 및 출력향상을 도모한다.

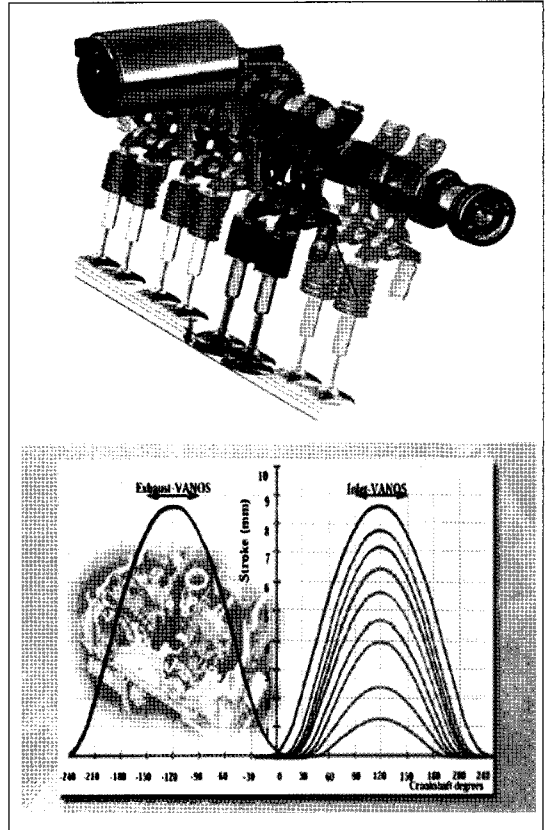
따라서 저속저부하 영역의 펌핑 손실 및 기계적 마찰 손실의 저감과 전부하 영역에서의 체적 효율 증가 등의 엔진성능 향상 및 연비 효과를 기대할 수 있다.



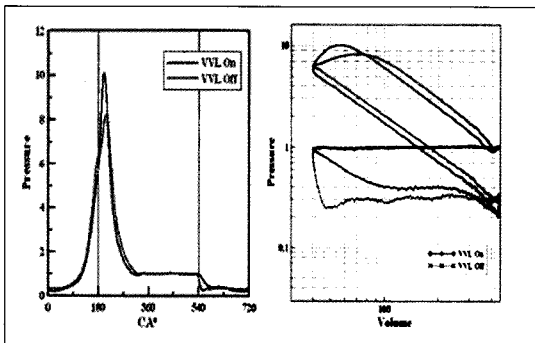
〈그림 3〉 Porsche 2 step VVL 기구와 CAM profile

② 연속 가변 밸브 리프트(CVVL)

연속 가변 밸브 리프트 제어는 연속적으로 밸브의 양정을 변화시켜 엔진의 부하를 조절하는 기술을 말한다. 연속 가변 밸브 리프트 제어를 통하여 부하 조절을 밸브 열림량으로 조절하면서 밸브 전단을 항상 대기압 상태로 유지할 수 있다.



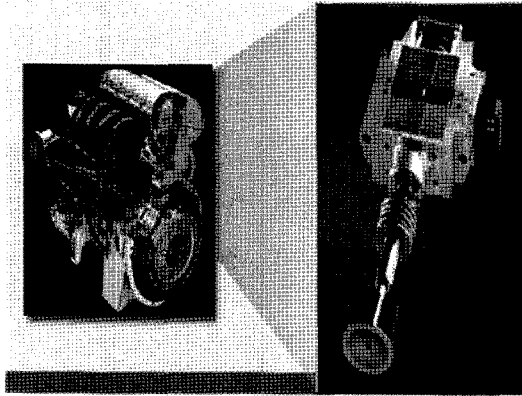
〈그림 5〉 BMW valvetronic 기구와 CAM profile



〈그림 4〉 VVL 작동에 따른 Pθ 선도와 PV 선도(무부하시)

③ 전자식 밸브리프트 기구(EVT)

CVVL 보다 더욱더 가변 자유도 및 신뢰도가 높은 전자기구(electro-magnetic mechanism)를 이용한 전자 밸브타이밍 시스템의 연구를 활발히 진행하고 있다.



〈그림 6〉 BMW 전자식 밸브 리프트 제어기구

4. 결론 및 향후전망

내연기관의 경우 석유자원고갈, 지구온난화로 인한 CO2 저감노력 및 하이브리드, 전기자동차, 연료전지 등 친환경 차량들과 경쟁하기 위해서 엔진효율향상에 전력을 다하고 있다. 자동차 시장의 향후 전망에 대하여 각 조사기관마다 다르게 예측하고 있으나 앞으로 20~30년 동안에도 내연기관은 획기적인 기술혁신으로 가솔린엔진 열효율-약40%이상, 디젤엔진 열효율-약50%이상을 기대하고 있으며 자동차 시장의 주도적인 역할을 계속 할 것이다. 가변 밸브 제어 기술관련 최근의 추세는 앞에 설명한 기구를 동시에 적극적으로 채용하는 것이다. 시장의 새로운 자동차 기술선도를 하는 제조사에서는 이미 VVT 및 VVL을 동시에 채용하여 수년 전부터 양산하고 있으며, 국내 메이커들 또한 현재 양산준비에 박차를 가하고 있다. 가변 밸브 기구 기술은 내연기관의 효율을 개선하는데 매우 적극적이며 효율적인 방법이므로 이 분야에 대한 연구 및 적용이 계속적으로 이루어 질것으로 예상된다.

References

- [1] R. Flierl and M. Kluting "The Third Generation of Valvetrains ? New Fully Variable Valvetrains for Throttle-Free Load Control" SAE Paper
- [2] Dr. Ing. h.c. F. Porsche AG, Weissach/Germany " VarioCam Plus - A Highlight of the Porsche 911 Turbo Engine Claus Brustle and Dietmar Schwarzenthal" SAE Paper
- [3] KP Hak, WT Kim, CW Lee ,HI Kim, DH Han "Development of Continuously Variable Valve Lift (CVVL) Engine" KSAE09-S0012
- [4] KB Kim, HS Wi, JI Park, JH Lee " The Effect of Continuously Variable Valve Lift Control On Fuel Economy of FTP-75 in a Gasoline Engine Vehicle" KSAE09-A0039
- [5]"Development Trend of Green Cars", KSAE, 2011
- [6]"Automotive Technology and Outlook",KSAE, 2010
- [7] Continental Automotive Systems internal technical presentation material.

(원고접수일 2011년 5월 31일(화))