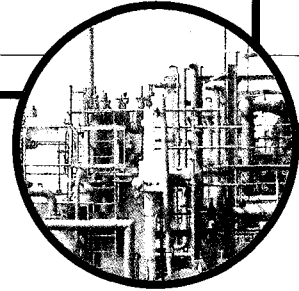


저압축 고폽창 기관의 기술과 개발동향

Trends in Technical & Development of Miller Cycle for Gasoline Engine



글 / 鄭 燦 文

(Chung, Chan Moon)
차량기술사,
여주대학교 자동차공학과 교수.
E-mail: cmchung@yeojoo.ac.kr

The Otto Cycle of conventional gasoline engine has no difference between compression ratio and expansion ratio, because of the same length of 4 strokes : intake, compression, expansion, exhaust.

On the other hand, miller cycle engine achieves both low-compression ratio and high-compression ratio by shortening the length of compression stroke among 4 strokes.

Therefore miller cycle engine is essential for lessening knocking and improving heat efficiency.

This paper is designed to describe not only principle and the development trend of miller cycle engine but also the control system and the technical characteristics of it.

1. 서론

종래 가솔린 기관의 Otto Cycle은 흡입, 압축, 팽창, 배기의 4행정 길이가 같아서 압축비와 팽창비는 동일 하였다.

이에 비해 저압축 고폽창비 기관은 4행정중 압축 행정을 짧게하여 낮은 압축비와 높은 팽창비를 실현 할 수 있다. 일반적으로 기관의 Torque는 흡입 공기량에 비례하기 때문에 배기량을 크게 하거나 보다 많은 공기를 연소실내에 공급하여야 높은 Torque를 낼 수 있다. 전자의 경우는 후자의 경우보다 기관자체의 에너지 소모 비율이 높기 때문에 연비가 나쁘게 된다.

따라서 배기량이 적은 기관의 실린더에 보다 많은 공기를 공급하면 높은 Torque에 의한 충분한 동력확보와 낮은 연비를 양립시킬수가 있는 것이다. 그리고 소비기량 기관으로 고폽출력을 내기 위해서는 Turbo Charger등의 과급기를 사용하여 강제 과급하는 방법이 필요하나 저속 저부하시의 Turbo Lag에 의한 발진 가속성이 나빠진다.

또한, Otto Cycle 기관에 강제과급을 할 경우 압축후의 공기가 고온이 되어 Knocking이 발생하기 쉽게 되기 때문에 압축비를 낮춰야 하며 여기서

팽창비까지 낮게 할 경우 팽창에서 발생하는 열에너지가 기계적 에너지로 충분히 전환되지 못하고 대기에 방출되어 에너지 이용 효율이 떨어진다.

따라서 Knocking을 없애고 열효율을 높이기 위해서는 저압축 고폽창비 기관이 필수적인 것이다.

고팽창 기관은 흡입밸브의 닫힘시기를 하사점 전 또는 후에 닫히도록 하여 고폽창비를 유지하면서 압축비를 낮게하여 Knocking을 방지하고 에너지 효율을 높게한다. 이때 흡입 공기량을 충분히 확보하기 위해 특수 과급기를 활용하여 과급영역을 저속과 고속영역에 이르기까지 광범위하게 사용할 수 있도록 하면 Natural Aspiration기관에 비해 큰 출력 증가를 얻을 수 있는 것이다.

현재, 고폽창 기관을 가장 활발히 연구하고 있는 일본 MAZDA사의 Miller Cycle기관은 흡기밸브의 Closing Timing을 고정식(Retard)으로 하여 유효압축비를 낮추고 축류식 과급기(LYSHOLM)를 사용하여 과급하여 2.0L기관으로 3.0L급의 Torque와 연비를 동시에 실현 할 수 있는 고폽창 기관을 개발하여 실차에 적용 하기도 하였다.

본 보고서에서는 저압축 고폽창기관의 원리와 개

발동향, 그리고 저압축 고폽창기관의 원리 및 제어 시스템과 기술적인 특징에 대해서 기술코자 한다.

2. 저압축 고폽창 기관의 개발동향

저압축 고폽창 기관은 1885년 James Atkinson (1846~1914)에 의해 개발된 Atkinson Cycle의 Differential기관이 그 효시라 볼 수 있다.

Atkinson기관은 크랭크축 1회전에 피스톤이 2 왕복을 할 수 있도록 크랭크축에 다단계 링크 기구를 사용하였고 팽창과정을 크게 하여 열효율을 약 8%까지 향상 시킬 수가 있었다.

그러나 링크 기구의 복잡, 고장의 발생에 따른 신뢰성과 경제성의 부족 그리고 고속 회전 불가등으로 실용화가 어려웠으나 압축비 5에 열효율 22.8%라는 1900년대 초에 개발된 기관으로는 열효율이 가장 높은 기관으로 기록되고 있다.

이후 1947년 미국의 RH. Miller씨는 기존의 Otto Cycle이 흡입연료의 에너지중 30~40%를 압축 행정에서 소모되어 열효율이 낮은점을 감안하여 압축비를 팽창비보다 적게하는 이른바 「Miller Cycle」을 개발하여 ASME에 발표하면서 새로운 저압축 고폽창 Cycle 개념을 도입하게 된다.

Miller Cycle을 실현시키기 위한 방법으로는 흡입밸브를 일찍 닫는 「Early Closing timing」과 늦게닫는 「Late Closing timing」 방식이 있으며 양방식 모두 팽창비 즉 기하학적 압축비에 의해 열효율이 크게 좌우되며 유효 압축비의 영향은 적어진다. 따라서 기관의 Knocking을 피하면서 흡입 공기 질량을 늘리기 위해 보다 높은 흡기관 입력을 위한 과급이 필요하므로 응답성이 좋은 과급기의 개발이 무엇보다 큰 문제라 할 수 있다.

지금까지 개발된 과급기중에는 LYSHOLM식, ROOTS식, WANKEL식, WANKEL ROOTS식, VANE식, SPIRAL식이 있으나 가장 효율이 좋은 과급기로는 내부 압축 방식인 LYSHOLM을 들 수 있다. 최근에는 저압축 고폽창 기관의 실용화를 위한 가장 큰 과제가 높은 압력에서 사용이 가능하고 응답성이 좋은 과급기의 개발에 있다는

점을 중시하여 일본 MAZDA에서는 ALF. LYSHOLM씨가 1925년 최초 발명하여 1950년대에 생산되었던 Lysholm Compressor를 활용하여 Miller Cycle을 개발, 실차인 EUNOS 800(KJ-JEM 2.3, KL-ZE 2.5)EUNOS 500(KF-ZE 2.0)에 적용하여 주목을 받고 있다.

또한 저압축 고폽창의 실현을 위해 1985년 이후 Alfa Romeo, Nissan, BENZ, BMW등에서는 흡입Cam변위를 이용한 2-Step 가변 Valve Timing방식을 개발하여 실차에 적용하는 등 활발한 연구를 하고있다.

그리고 최근 HONDA에서는 HVT(Hydraulic Variable-Valve Train)기관을 개발하여 저속, 저부하시에 저압축 고폽창 효과를 볼 수 있도록 했다.

HVT시스템은 지금까지의 출력제어를 Throttle Valve로 하던 것을 Vave Timing과 Lift를 조절하는 nonthrottle기관으로서 흡기 행정중에 흡기 Valve를 일찍 닫으므로 Miller Cycle효과를 얻고 Pumping Loss도 저감되는 기관이다.

또한 최근 국내 Maker에서도 VVTC(Variabre Valve Timing Controller)시스템의 가변 Valve Timing방식을 개발하고 있으나 저압축 고폽창시에 필요한 과급기 적용상의 문제가 대두되고 있는 실정이다. 따라서 MAZDA의 Miller Cycle기관이 업계의 주목을 받고 있는 이유는 기관운전 전 영역에서 과급효과가 좋고 응답성이 뛰어난 LYSHOLM 과급기의 개발에 있다고 볼 수 있다.

특히, 미국의 과학자인 「Popular Science」가 그해에 주목되는 과학 및 기술 중에서 「'93 Best of what's News」에서 Miller Cycle이 자동차 기술 부문의 최우수상을 수상한 바 있어 관심을 끌고 있다.

3. 저압축 고폽창 기관의 주요기술

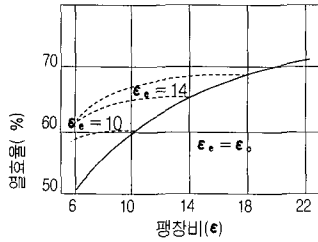
3.1 기관의 압축 및 팽창과 열효율

기관에 있어서 압축비는 도시 열효율과 Friction에 의해 결정되며 최적 압축비는 약 10정도이다.

그러나 실제로 압축비는 Knocking에 영향을

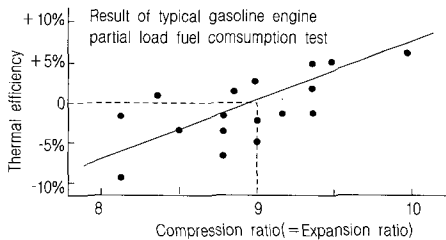
주므로 Knocking으로 인한 압축비 제한을 극복하기 위해 팽창비를 향상시킴으로써 열효율을 높으려는 발상이다.

팽창비와 열효율의 관계는 <그림 1>과 같다.



<그림 1> 팽창비에 따른 열효율

일반적으로 기관의 기계적 손실은 배기량에 비해 하므로 과급으로 1.5배의 Torque를 발휘하는 60~70%의 배기량 기관을 사용하면 연비가 약 10~15% 향상된다는 이론적인 계산이 나온다. 그러나 실제 과급기관은 Knocking 발생을 억제하기 위해 압축비를 낮추기 때문에 연비는 향상되지 않는다.

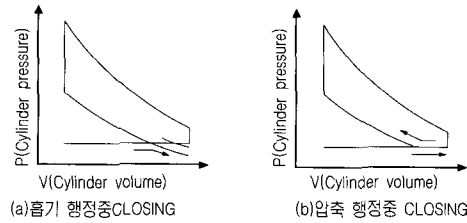


<그림 2> 압축비에 따른 열효율

<그림 2>에서의와 같은 압축비와 열효율의 실험치와 같이 가솔린 기관의 Partial Load가 걸릴때 압축비를 낮추면 팽창비도 떨어져 그 효율은 저하된다. 예를 들어 압축비를 10에서 8로 낮추면 그 효율은 낮아져 소배기량의 효과는 저하되는 것이다.

3.2 MILLER CYCLE의 원리

Miller Cycle은 흡기 밸브의 Closing Timing으로 실현할 수 있으며 <그림 3>과 같이 흡기 밸브를 흡입 행정중에 닫는 방법, 즉 가변 Miller 방식과 압축 행정중에 닫는 고정 Miller 방식의 2가지로 나눌 수 있다.



<그림 3> 3Miller Cycle의 실현 수단

<표 1>은 저압축 고폭창 원리를 이용한 고정식과 가변식 Valve Timing 제어 방법과 Maker를 나타낸 것이다.

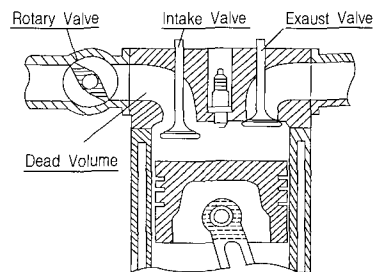
<표 1> Valve Timing 방식에 따른 개발현황

Valve Timing	방 법		개발 Maker
	흡기 CAM변위	Rotary밸브	
고정식	○		MAZDA Miller방식
		○	-
가변식	○		KIA, Honda
	○	○	BENZ, Nissan, BMW
		○	K-Miller방식

Miller Cycle은 Otto Cycle보다 흡입행정이 짧으므로 효율이 좋은 과급기로 과급하지 않으면 Power를 향상시킬 수 없다. 또한 과급에 의해 상승되는 흡입공기의 온도를 낮추는 것도 필수적이므로 Intercooler를 사용하여 냉각된 공기를 과급기로 충분히 과급하므로써 출력을 향상시키게 된다.

3.2.1 가변 MILLER CYCLE기관

가변 Miller 방식은 Rotary Valve를 사용하여 흡입행정중에 흡입 Valve를 Closing하여 저압축 고폭창을 유도하는 방식으로 일본에서는 "K-Miller System"이라고도 불리운다.

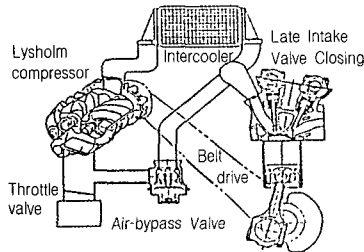


<그림 4> 가변 MILLER Cycle기관의 예
가변 Miller 방식은 단열팽창에 의한 연소실내

온도의 저하로 Nox저감 및 Knocking을 억제하며 Throttle Loss가 줄어들어 연비가 좋아지는 장점이 있는 반면, 고회전 영역에서 흡입공기량의 감소로 Boost압이 너무 높게 되고 Rotary Valve Control이 복잡한 단점을 갖고 있다. 가변 Miller Cycle기관의 구조는 <그림 4>와 같다.

3.2.2 고정 Miller CYCLE 기관

<그림 5>와 같은 고정 Miller 방식은 흡기밸브를 압축행정 중에 Closing하여 저압축 고폽창을 유도하는 방식으로 MAZDA Miller System이 이 방식에 해당된다.



<그림 5> 고정 MILLER Cycle기관의 예

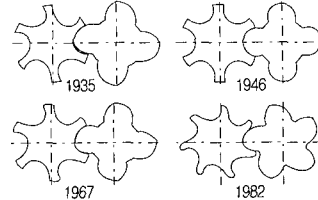
고정 Miller방식은 고회전 영역에서 흡기량 감소가 적고 중·저속에서 유효 압축비 감소에 의한 Knocking 방지효과가 커서 전 운전 영역에서 효율을 높일 수 있으며 단열팽창에 의한 연소실내 온도의 저하로 Nox가 줄어드는 장점을 가지고 있으나 Throttle Loss가 상대적으로 크고 Partial Load시에 효과가 적다는 단점을 갖고 있다.

3.3 LYSHOLM COMPRESSOR

3.3.1 개발 배경 및 역사

Miller cycle기관을 활용하기 위해서는 저속에서부터 고압력 고효율의 과급이 가능해야 하고 또한 응답성도 양호해야 하며 소형 Compact화로 탑재성도 양호한 과급기가 필요하다. 1925년 ALF. Lysholm씨가 발명한 이 Com-pressor는 실질적으로 1950년대에 생산하였으며 초기에는 압력비 7 이상의 Gas Turbin Compressor로 사용되다가 추후 일반 가솔린용으로 사용될 때는 압력비가 1.5 정도였으며, Miller Cycle기관에 적용되면서 3.0 압력비의 Compressor를 개발하여 사용하였다.

Lysholm Compressor 내부의 Rotor는 그 효율을 높이기 위해 <그림 6>과 같이 개선되어 왔다.

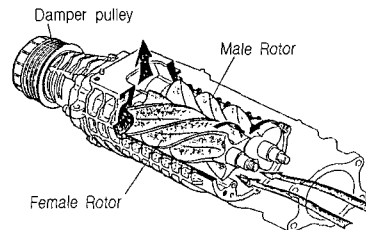


<그림 6> Lysholm Compressor 변천과정

3.3.2 LYSHOLM COMPRESSOR의 구조

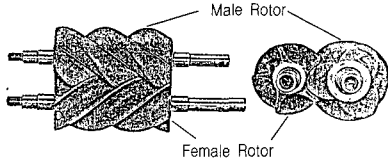
L.C(Lysholm Compressor)의 체적 효율은 Rotor와 Rotor, Rotor와 Casing 간의 Clearance가 작을수록 높으나 접촉이 발생하면 파손되므로 공기 및 온도에 의한 열변형 축진동 등을 고려하여 적당한 Clearance가 Compressor의 중요한 변수인 것이다. MAZDA에서는 「石川島播磨重工業」과 공동으로 Lysholm Compressor를 개발하여 Super Charger라는 용어대신 Lysholm이라는 용어를 사용하였다.

Lysholm Compressor는 <그림 7>과 같이 Aluminum Case 속에 한쌍의 암수 Rotor가 있고 이들의 회전에 의해 Compressor 내부에서 공기를 압축하고 그 압축공기를 연소실에 압송하게 하는 구조로 되어 있다.



<그림 7> Lysholm Compressor의 구조

Rotor의 특성은 가능한 많은 공기를 처리하기 위해 <그림 8>에서 표시한 것 처럼 숫 Rotor가 차지하는 Volume을 최소한으로 하여 날개수는 3매, 암 Rotor는 숫 Rotor의 물림 강성을 고려하여 5매로 했다. 또한 Rotor의 Clearance는 운전 요소인 공기, 온도의 변화, 축진동 등을 고려하여 각종 Mode별 Bench상에서 계측 Data를 기준으로 최적 Clearance가 되도록 설계한다.



〈그림 8〉 Lysholm Copressor의 Rotor구조

3.4 가변 MILLER CYCLE 기관의 개발동향

3.4.1 가변 MILLER CYCLE의 개발동향

가변 MILLER CYCLE기관은 앞서 언급한 바와 같이 흡기 CAM의 변위를 이용한 연속 가변식은 HONDA와 KIA에서 개발 또는 개발중에 있으며 흡기 CAM변위를 2단계로만 제어하는 2-STEP 가변 방식은 Nissan BENZE, BMW등에서 1988년부터 개발하여 사용하고 있다.

또한 최근에 일본의 「Hiroshi-kanesaka」라는 사람이 개발한 Rotary Valve를 이용한 가변식 2-STEP Rotary 방식인 이른바 「K-Miller Cycle」을 실용화 하고 있으며 Nisan에서도 개발 중에 있다. 다음 〈표 2〉는 가변식 Miller Cycle의 개발 및 적용 현황을 나타낸 것이다.

〈표 2〉 Maker별 가변 Miller Cycle 적용 현황

	Alpa Romeo	Nissan	Mercedes Benz	Porsche	BMW	KIA
Function Principle	Helical Splines Oil/Spring	Helical Splines Oil/Spring	Helical Splines Oil/Oil	adjust chain Oil/spring	Helical splines Oil/oil	Helical splines Oil/spring
Concept strategy	IP 2-step	IP 2-step	IP 2-step	IP 2-step	IP 2-step	IP 연속식
Phasing angle	32°CA	20°CA	34°CA 6cy 20°CA 6cy	14°CA	25°CA	20~30°CA
Solenoid concept	2/2-Way switches bypass	2/2-Way switches bypass	4/2-Way switches bypass	3/2-Way switches bypass	4/2-Way switches bypass	4/2-Way switches bypass
Engine type	S4	V6	S4/6 V8/12	S4	S6	S4
Units per engine	1	2	1	1	1	1
Start of production	1985	1988	1990	1991	1992	1998

3.5 K-MILLER CYCLE기관

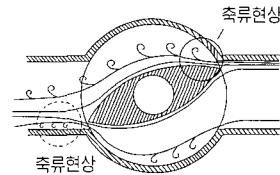
K-Miller Cycle은 일본의 HIROSHI KANE-SAKA가 최근 개발중인 Rotary Vave를 활용하는 저압축 고폽창 기관으로써 KANESAKA의

첫 글자인 K를 붙여 가칭 K-Miller Cycle이라 부른다. K-Miller Cycle은 '90년대 초부터 「KANESAKA TECHNICAL INSTITUE」와 TOKYO UNIVERSITY 합동으로 개발에 들어가 실용화에 주력을 하고 있는 최신 Miller Cycle중의 하나이다.

3.5.1 K-Miller Cycle의 작동원리

K-Miller Cycle 은 〈그림 9〉와 같이 흡기 통로에 Rotary Valve를 Cam축과 같은 속도로 설치하며 작동 시기를 조절하여 흡배기량을 제어하여 Miller Cycle을 실현하는 것이다.

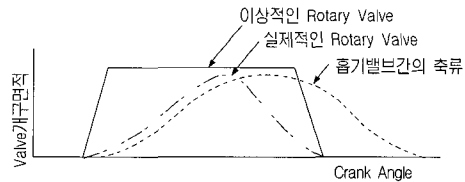
Rotary Valve효과에 영향을 미치는 인자는 「Dead Volume」이며 개폐 Timing에 따라 성능, 연비 등에 큰 영향을 미치고 있으나 아직까지는 연구단계이다.



〈그림 9〉 Rotary Vave의 구조와 축류현상

3.5.2 k-Miller Cycle의 문제점

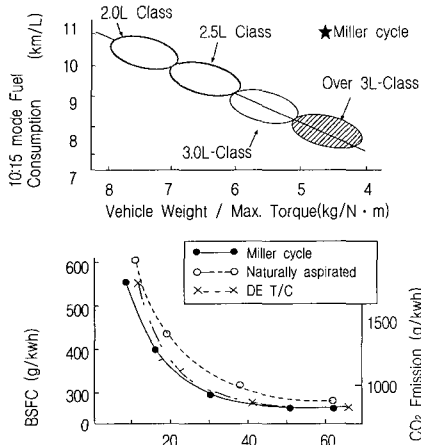
〈그림 10〉과 같이 Rotary Valve가 개폐할 때 축류현상이 발생되어 개구 면적이 적어지는 단점을 갖고 있다. 이를 방지하기 위해 최적의 Rotary Valve와 Engine Valve의 개폐 Timing 제어 및 축류현상 방지를 위한 Intake System의 개선 등을 연구하고 있다.



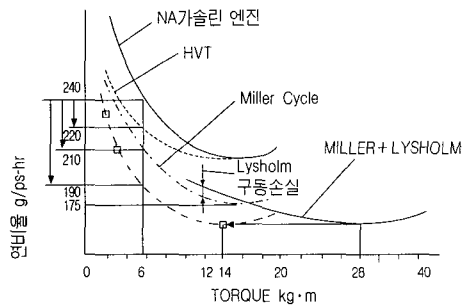
〈그림 10〉 Rotary Valve의 개구면적

3.6 저압축 고폽창 기관의 연비 및 성능 비교

MAZDA에서 개발한 Miller Cycle은 〈그림 11〉과 같이 2.0L급 엔진으로 3.0L급의 성능을 낼 수 있고 Co2 Eission역시 많은 효과를 볼 수 있



(그림 11) Miller Cycle의 면비, Torque, CO₂ 비교표



(그림 12) 저압축 고폽창 기관의 Torque와 연비율

어 추후 많은 차량에 Miller Cycle 엔진을 적용할 전망이다.

또한 <그림 12>에서 보는 바와 같이 최근 저압축 고폽창 기관을 개발한 Miller, MAZDA Miller, HONDA HVT와 기존의 Natural Aspiration 엔진과의 Torque 및 연비율을 볼 때 Miller+Lysholm 시스템이 우세함을 알 수 있다.

4. 결론

지금까지 소개한 저압축 고폽창 기관은 1880년대 부터 오랜 연구와 개발이 계속되어 오면서 기존의 가솔린 기관에 비해 고 Torque를 실현 할 수 있었다.

그러나 아직까지도 저압축 고폽창 기관의 실용화에 가장 큰 걸림돌은 높은 압력에서 사용이 가능하고 저속에서 고속까지의 과급 영역에서도 과급

효율이 뛰어난 과급기의 개발이라고 할 수 있겠다.

실용화된 MAZDA Miller Cycle은 연비와 Torque면에서 2.0L 급 엔진으로 3.0L 급의 효과를 내는 특수 과급기인 Lysholm Compressor를 개발하여 소형 고성능화는 물론 완전 연소를 유도하여 CO등의 배출가스 저감에도 혁신적인 효과를 거둘 수 있는 저압축 고폽창 Miller Cycle의 실용화에 성공할 수 있는 것도 특수 과급기의 개발이라 볼 수 있다.

향후 저압축 고폽창 기관의 개발 및 응용기술을 저연비 초회박 엔진에 적용하거나 배출가스에 의한 환경 보호 측면, 디젤기관에 적용하여 저연비 고 Torque를 실현 해야겠고 특히, 저소음 저 Cost, 고효율의 특수 과급기의 개발과 저압축 고폽창 실용화에 더욱 많은 연구와 관심을 가져야 할 것이다.

(원고 접수일 2001. 3. 15)

참고 문헌

1. C. Lyle Cummins, Jr : "Internal Fire," Society of Automotive Engineers, INC. Warrendale PA, 1989.
2. M. Azechi & H. Kaneka. : "The Development of New Throttle Valve Actuation System for Natural Gas Engine." SAE paper 920454, 1992.
3. Ryo shimizu, masaki Pujii, Takasi Suzuki, Masao inoue, Susumu ninai : "Miller Cycle Engine Management System." JSAE 9305814, 1993.
4. kohei Ichimaru, Hiroshi Sakai, Hiroshi Kanesaka, Desmond E. Winterbone. : "A High Expasion Ratio Gasoline Engine with Intake Control Rotary Valve Installation," JSAE 9302079, 1993.
5. Hidetsugu Matsubara, Tsuyoshi Goto, Miedo Kurata, Yuichi Iguchi, Shigeru Tagude : "Development of the High Performance Lysholm Compressor for Automotive Use." JSAE 9302060, 1993
6. Tsuyoshi Goto, Koichi Hatamura, Shinobu Taikizawa, Nobuhiro Hayama, Hiroshi Abe : "Development of V-6 Miller Cycle Gasoline Engine." JSAE 940198, 1994.
7. Kouichi Hatamura, Tsuyosi Goto, Mashashiro Choshi, Hiroshi Shimizu, Hiroshi Abe : "Development of Miller Cycle Gasoline Engine." JSAE 9302088, 1993.
8. 兼坂弘 : "兼坂弘 の 毒設評論", Motor Fan 1993, 7 ~1994, 3