

포트 마스크잉이 엔진의 배기에 미치는 영향

김형식^{*1)} · 박찬준²⁾ · 임인용²⁾

서울과학기술대학교 에너지환경대학원¹⁾ · 서울과학기술대학교 기계공학과²⁾

Effects of Port Masking on Emission

Hyeongsig Kim^{*1)} · Chanjun Park²⁾ · Inyong Ohm²⁾

¹⁾Graduate School of Energy & Environment, Seoul National University of Science and Technology, Seoul 139-743, Korea

²⁾Department of Mechanical Engineering, Seoul National University of Science and Technology, Seoul 139-743, Korea

(Received 9 March 2010 / Accepted 17 October 2010)

Abstract : To secure basic data for intake port design, effects of a port masking on the part load performance were investigated in a 4 valve SI engine. For this purpose, 9 kinds of masking, which have different shapes and masking ratio, are applied to the engine intake system. The characteristics of the performance were estimated through mixture response test at various engine load and speed. The results show that NOx emission, one of indexes for stratification, increases considerably in spite of retarded spark timing due to the stratification which is caused by unequal flow distribution between the two intake ports. The mechanism of stratification by masking is different from axial stratification and the fuel entering through masked port plays a very important role in this stratification process. In conclusion, the port masking method could be easily applied to engine intake system and be very effective for inducing the stratified charging without the change of port design.

Key words : Lean misfire limit(희박연소한계), Port masking(포트 마스크잉), Stratification(성층화), Swirl(와류), Emission(배기)

Nomenclature

A/F : Air-Fuel Ratio

BMEP : Brake Mean Effective Pressure

1. 서론

엔진의 안정성 또는 희박 연소 엔진에서 가장 중요한 성능 변수는 희박 연소 한계이다. 이를 구현하기 위해 와류 방식, 텀블 방식 그리고 가솔린 직접 분사 방식 등이 제안되어 왔다.¹⁾ 이러한 분사방식들은 각 방식 고유의 장점을 가지고 있다. 포트 분사의 경우, 포트 스로틀링을 포함한 비대칭 포트를 사용

하여 희박 연소한계의 증대 및 연소 안정성 측면에서 그 효과가 입증²⁾되었으나 와류 포트의 최적화, 양산성, 그리고 스로틀링 기구의 장착성 등에 문제가 되고 있다.³⁾ 또한 와류 포트와 스로틀링 기구에 의한 유량 저하로 심각한 출력의 저하를 초래하기도 한다.³⁻⁶⁾ 표준 사양과 희박 연소 사양이 소재와 가공을 공유할 수 없는 문제 등과 가솔린 직접 분사의 경우 다량의 NOx 발생, 소재 및 가공을 포함한 생산 편차에 대한 예민함, 과도한 추가 비용 발생 등이 문제가 되어 왔다. 마스크잉은 기본적으로 헤드 소재에 대한 변경 없이 매니폴드에만 마스크잉 판을 삽입하고 이 마스크잉 판의 개폐로 유동 방향과 연료 유입 방향을 조절하여 높은 희박 가연 한계를 얻을 수 있는 방식이다. 이 경우 마스크잉을 적용한 경우 포트에 대

*Corresponding author, E-mail: butilove0519@snut.ac.kr

한 설계변경이 필요 없으므로 생산, 가공의 일원화를 이룰 수 있고 상대적으로 나선 포트 등에 의한 유량 감소가 없으므로 출력 저하를 최소화 할 수 있다는 장점이 있다. 또한 나선형 포트에서는 포트 형상의 최적화를 위해서 변경하고자 하는 포트 형상에 따라 최소한 모델을 제작하여 유동 평가 실험을 하거나 또는 실제 효과의 검증을 위해서는 헤드 소재를 생산, 가공하여 실험하여야 하는 반면, 마스킹은 삽입한 마스킹 판의 교환으로 엔진 대상 실험을 할 수 있는 형상 변경이 가능하기 때문에 상대적으로 적은 비용과 시간으로 최적화를 할 수 있다는 장점이 있다. 따라서 본 연구에서는 엔진의 연소 안정성 및 희박연소 한계 확장을 위해서 마스킹 기구를 사용하여 그 효과를 입증하고자 한다.

2. 실험엔진 및 장치

본 연구에 사용된 엔진은 상용 엔진을 연구용 단기통 엔진으로 제작한 것이다. 실험 엔진에 대한 자세한 제원은 Table 1에 나타내었다.

Table 1 Specifications of experimental engine

Engine type	DOHC
NO. of cylinder	1
Stroke	4
Bore × Stroke (mm)	86 × 86
Compression ratio	10.5
Valve timing	IVO/IVC/EVO/EVC/ 9/47/34/10

2.1 포트마스킹 기구

포트 마스킹의 형상에 따른 효과를 파악하기 위하여 흡기 다기관(intake manifold)과 헤드 사이에 마스킹 기구를 삽입하여 그 효과를 조사하였다. 마스킹 판은 스테인리스 스틸(Stainless Steel)판을 가공하여, 대각선(Diagonal), 측면(Side), 사각형(Square)의 3종류로 제작하였다. 마스킹 판은 흡기포트의 일부를 막아 신기의 유동이 흡기 포트의 한쪽으로 치우치게 하여, 스윙(Swirl)의 효과를 얻기 위해 각각의 마스킹 판을 포트 마스킹 기구에 부착하여 실험을 진행하였다. Fig. 1은 본 실험에 사용한 마스킹의 형상을 도시하였다.

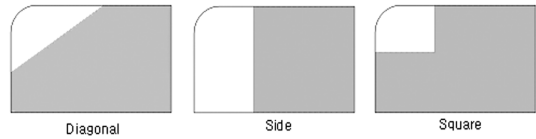


Fig. 1 Schematics of masking plates

2.2 실험장치

실험장치는 단기통엔진, 포트 마스킹 기구, 연료 유량계, 스로틀 컨트롤러, 배기가스 분석기, 공연비 측정기, 각종 센서 및 제어시스템으로 구성되어 있다. 실험장치는 Fig. 2에 나타내었다. 기관의 토크와 출력은 동력계(AVL Puma Engine Test System)를 사용하여 측정하였다. 연료 소비율은 중량식 연료 유량계(AVL 733S Dynamic Fuel Meter)를 사용하여 측정하였고, 배기가스 및 공연비 측정을 위하여 배기가스 분석기(Horiba Motor Exhaust Gas Analyzer MEXA-8120D)를 사용하였다.

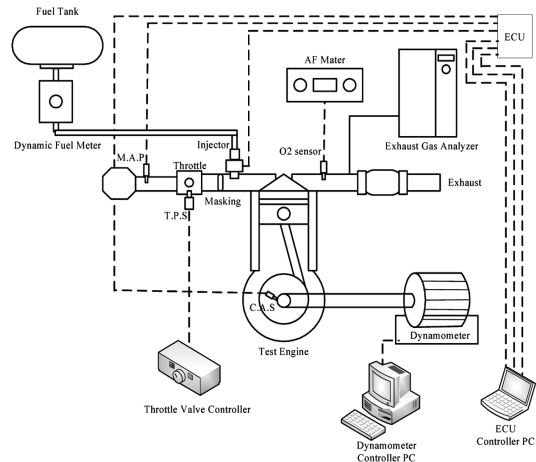


Fig. 2 Schematic diagram of experimental apparatus

2.3 실험조건

혼합비 반응특성 실험의 주요 실험조건은 Table 2에 나타내었다. 통상적으로 혼합기 반응특성 실험의 희박연소한계의 결정은 가스 분석기에서 측정되는 미연탄화수소(Unburned HC)의 변동과 토크의 변화를 기준으로 판단하는데, 본 연구에서는 HC 값의 스파이크 현상 및 토크 변동 폭 중 먼저 관찰되는 것을 기준으로 판단하였다.

Table 2 Mixture response experimental conditions

Engine speed (RPM)	1500, 1600, 2000, 2500
BMEP (bar)	1.5, 2.0, 2.4, 4.0
Spark timing	MBT

3. 결과 및 분석

Fig. 3은 1500 RPM/ 1.5 bar BMEP에서 마스크킹의 개방된 면적과 형상에 따른 질소산화물의 배출특성을 나타냈다. 마스크킹 기구를 장착하여 공연비 반응 특성 실험을 실시한 결과 두드러지는 특징은 3종류의 마스크킹 형상을 적용한 경우 모두 마스크킹을 적용하지 않은 경우와 비교해서 희박연소한계가 증가하였다는 것이다. 희박연소한계의 증가는 마스크킹을 적용하지 않은 경우 A/F 20.0 근방이었고, 대각선

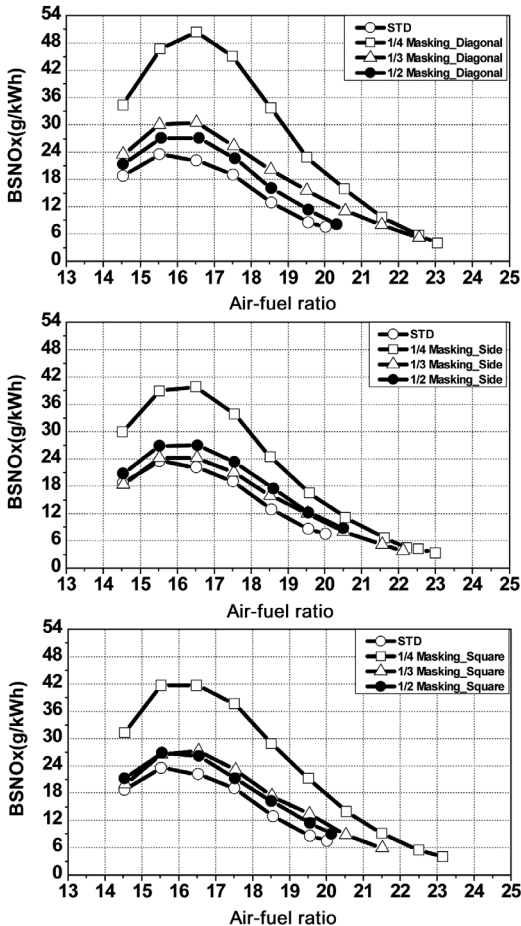


Fig. 3 NOx as a function of Air-fuel ratio (1500 RPM / 1.5 bar BMEP)

(Diagonal), 측면(Side), 사각(Square) 마스크킹을 적용한 경우 1/4면적만 개방한 경우에는 희박연소한계가 A/F 23까지 증가하였다. 1/2, 1/3 면적만 개방한 경우에도 마스크킹을 적용하지 않은 경우와 비교해 희박연소한계는 소폭 증가하였다. 형상에 따라서는 대각선 마스크킹을 적용한 경우에 희박연소한계가 가장 많이 확장되었다.

질소산화물(BSNOx)의 배출량은 마스크킹을 적용한 3가지 경우 모두 마스크킹을 적용하지 않은 경우보다 증가하였다. 특히 1/4 면적만 개방한 경우는 마스크킹을 장착하지 않은 경우와 비교해 2배 이상의 질소산화물이 배출되었으며, 1/3과 1/2은 소폭 증가하였다. 형상에 따른 질소산화물의 배출특성은 대각선 마스크킹을 적용한 경우가 측면, 사각형과 비교하여 질소산화물의 배출량이 가장 많았다.

Fig. 4와 Fig. 5는 1600 RPM / 2.4 bar BMEP와 2000 RPM / 2.0 bar BMEP에서 마스크킹의 개방된 면적과 형상에 따른 질소산화물의 배출특성을 나타냈다. Fig. 4에 제시된 바와 같이 1/4 마스크킹을 장착한 경우 희박연소한계는 A/F 23근방까지 증가하였다. 질소산화물의 배출은 1/2과 1/3 마스크킹을 장착한 경우 마스크킹을 장착하지 않은 경우와 비교해서 소폭 증가하였으며, 1/4 마스크킹을 장착한 경우는 대폭 증가하였다. Fig. 5에서도 마스크킹을 장착한 경우 희박연소한계가 확장되었고, 질소산화물의 배출량도 증가하였다. 희박 연소한계는 대각선 마스크킹을 적용한 경우가 가장 많이 확장되었다.

Fig. 6과 Fig. 7은 2000 RPM / 4.0 bar BMEP와 2500 RPM / 4.0 bar BMEP에서 마스크킹의 개방된 면적과 형상에 따른 질소산화물 배출량을 나타냈다. 1/2과 1/3 마스크킹을 장착한 경우 희박연소한계는 20.5에서 22.5로 확장되었고, 1/4 마스크킹을 장착한 경우는 A/F 23-24까지 확장되었다. 1/4 마스크킹을 장착한 경우가 희박연소한계 확장에 가장 효과적이었다. 또한 형상에 따른 경우도 앞의 경우와 마찬가지로 대각선 형상의 마스크킹을 적용한 경우가 희박연소한계 확장에 가장 효과적이었다.

1/2, 1/3 마스크킹의 경우 저속/ 저부하에서는 희박연소 한계 확장 효과가 거의 없었다. 질소산화물은 1/2, 1/3은 소폭 증가하였지만, 1/4 마스크킹을 장착한 경우에는 대폭 증가하였다.

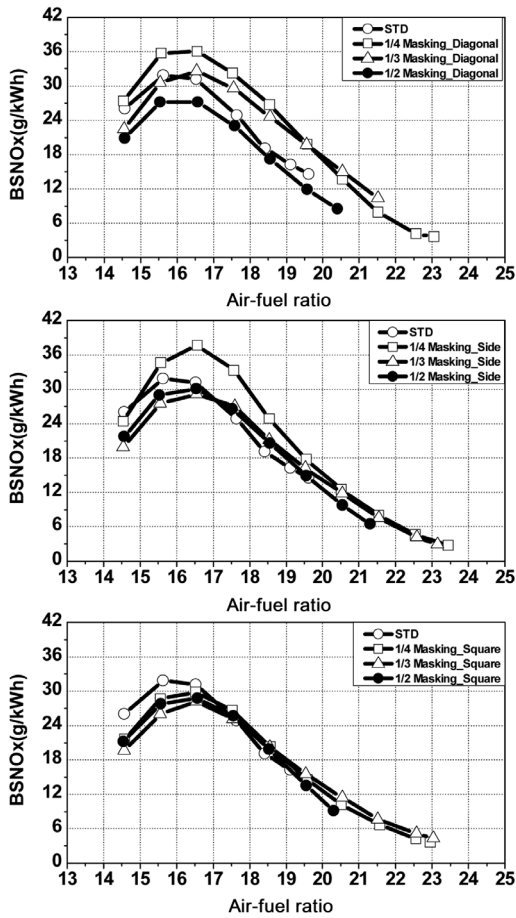


Fig. 4 NOx as a function of Air-fuel ratio (1600 RPM / 2.4 bar BMEP)

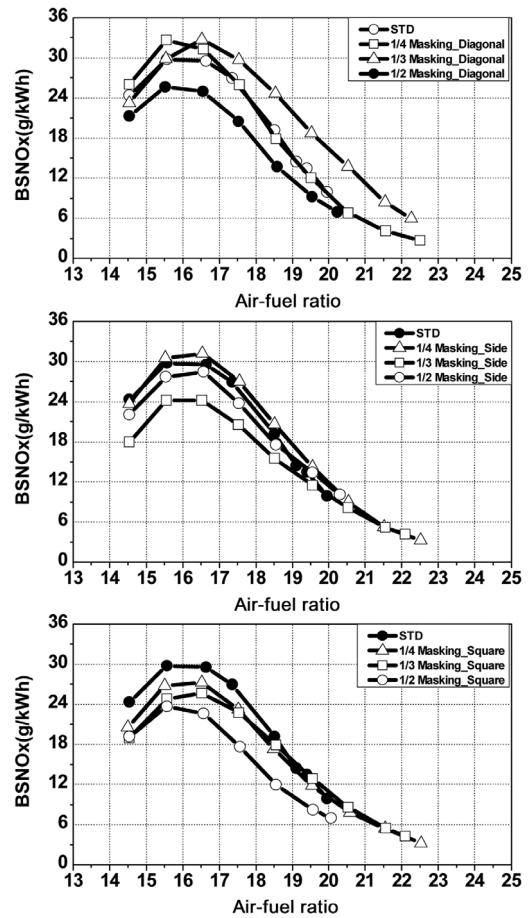


Fig. 5 NOx as a function of Air-fuel ratio (2000 RPM / 2.0 bar BMEP)

질소산화물은 온도가 높을수록 그리고 질소 산화물의 생성에 필요한 산소 농도가 높을수록 증가한다. 실린더 내에서 연소된 고온의 기연 가스가 피스톤의 상승에 의한 압축으로 추가적인 온도 상승이 발생하고, 점화 플러그 주변이 가장 먼저 연소되므로 압축에 의한 온도 상승효과도 크기 때문에, 엔진의 연소실 내에서 온도가 가장 높은 곳은 점화 플러그 주변이다.

한편 가솔린 엔진에서 공연비에 따라 산소 농도가 높을수록 질소 산화물의 생성량은 증가하지만 엔진에서는 산소 농도가 지나치게 높을 경우 온도가 저하되어 오히려 질소 산화물의 생성량은 감소한다. 온도와 산소 농도에 의한 효과가 서로 상쇄되어 엔진에서는 공연비 16~17 근방에서 질소산화물

의 발생이 최고가 된다. 결과적으로 점화플러그 주변의 온도와 공연비가 엔진에서 발생하는 질소산화물의 양을 결정짓는 중요한 파라미터이다. 실린더 내로 흡입되는 혼합기의 축상 성층화에 의해 점화 초기 플러그 주변의 연소 가스의 온도가 증가하였고 또한 공연비도 질소산화물 발생에 적합한 조건이 생성되어 질소산화물의 생성량이 증가하였다.

Fig. 8은 2000 RPM / 4.0 bar BMEP에서 마스킹의 개방 면적과 형상에 따른 미연탄화수소(BSHC)의 배출량을 나타냈다. 미연탄화수소의 배출량은 형상과 개방 면적에 관계없이 마스킹을 장착하지 않은 경우와 동일한 수준이거나 소폭 감소하였다.

Fig. 9는 2000 RPM / 4.0 bar BMEP에서 마스킹의 개방된 면적과 형상에 따른 점화시기 변화특성을

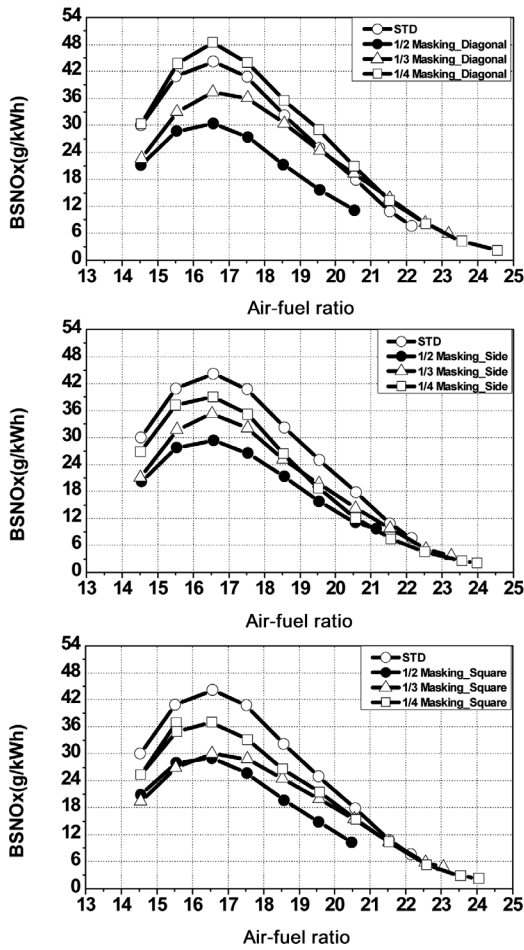


Fig. 6 NOx as a function of Air-fuel ratio (2000 RPM / 4.0 bar BMEP)

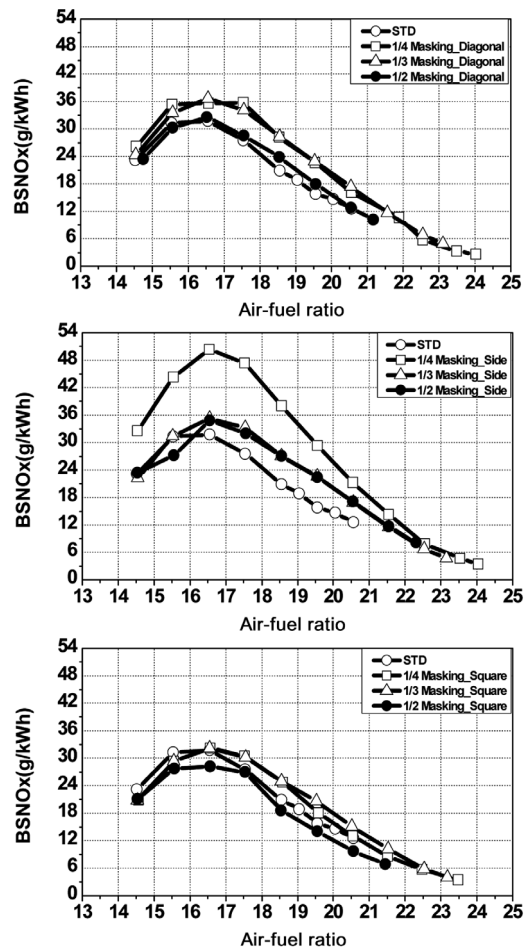


Fig. 7 NOx as a function of Air-fuel ratio (2500 RPM / 4.0 bar BMEP)

나타냈다. 점화시기의 변화는 개방면적에 따라 마스크를 장착하지 않은 경우와 비교해 3~15° 지각되었다.

4. 결론

본 실험에서는 통상의 포트에 마스크 판을 삽입하여 엔진의 부분부하 성능을 파악하기 위하여 혼합비 반응특성 실험을 수행한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 포트 마스크를 적용한 결과 엔진의 희박연소한계가 마스크 기구를 장착하지 않은 경우 20근방에서 마스크 기구를 장착한 후 23~24 근방까지 증가하였다. 이는 혼합기가 성층 분포를 이루어

초기 연소 특성이 개선되고 연소 안정성이 증가하였기 때문으로 판단된다.

- 2) 포트 마스크를 적용한 경우 질소산화물의 배출은 포트 마스크의 개방된 면적의 영향을 받는 것으로 파악되었다. 1/2, 1/3은 소폭 증가하지만 1/4은 대폭 증가하였다.
- 3) 적용한 3가지 모양의 포트 마스크 형상 중에서 같은 면적을 개방하였을 경우에는 대각선(Diagonal) 형상의 마스크를 장착한 경우에 질소산화물의 배출량이 가장 많았다. 이는 실린더 내로 흡입되는 혼합기의 성층화에 의해 점화 초기 플러그 주변의 연소가스 온도가 증가하였기 때문이다.
- 4) 희박연소한계와 NOx의 증가 결과로 판단하였을

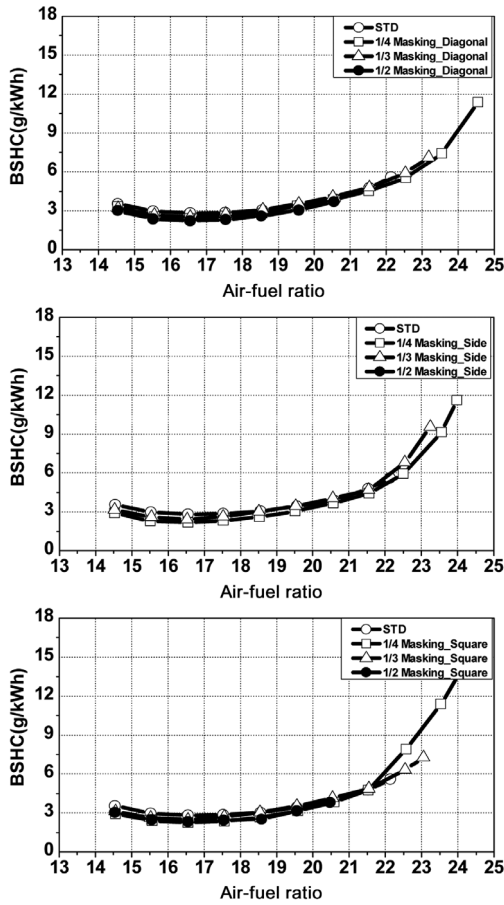


Fig. 8 HC as a function of Air-fuel ratio (2000 RPM / 4.0 bar BMEP)

때 대각선(Diagonal) 형상의 마스크가 실린더 내 혼합기의 성층화에 가장 효과적이다.

- 5) 미연탄화수소는 마스크를 적용하여도, 적용하지 않은 경우와 비슷한 수준이었다.

후 기

본 연구는 미래형 자동차 사업단의 연구비 지원으로 수행되었으며, 이에 감사의 뜻을 표합니다.

References

- 1) G. T. Kalghatgi, "Spark Ignition, Early Flame Development and Cyclic Variation in IC Engines," SAE 870163, 1987.

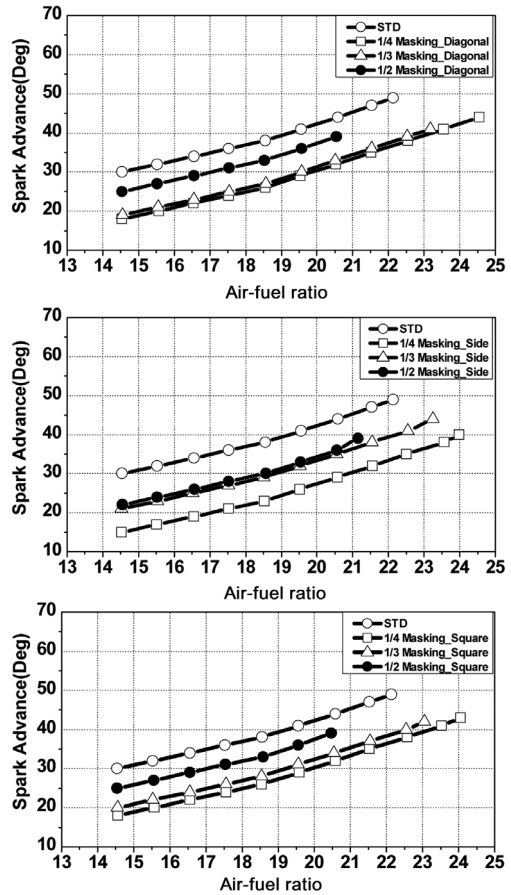


Fig. 9 S/A as a function of Air-fuel ratio (2000 RPM / 4.0 bar BMEP)

- 2) A. A. Quader, "The Axially-Stratified-Charge Engine," SAE 820131, 1982.
- 3) K. Horie, "The Development of a High Fuel Economy and High Performance Four Valve Lean Burn Engine," SAE 920455, 1992.
- 4) W. G. Lee and I. Y. Ohm, "Effects of Port Masking on Part Load Performance: Part I - Lean Misfire Limit," Transactions of KSAE, Vol.9, No.5, pp.17-22, 2001.
- 5) W. G. Lee and I. Y. Ohm, "Effects of Port Masking on Part Load Performance: Part II - Emission and Fuel Economy," Transactions of KSAE, Vol.9, No.5, pp.23-29, 2001.
- 6) I. Y. Ohm, Advanced Internal Combustion Engines, A-Jin Publishing Company, 2006.