

## 포트 마스크에 따른 엔진 부분부하 성능 특성

김형식<sup>\*1)</sup> · 김인욱<sup>1)</sup> · 박찬준<sup>2)</sup> · 엄인용<sup>2)</sup>

서울과학기술대학교 에너지환경대학원<sup>1)</sup> · 서울과학기술대학교 기계공학과<sup>2)</sup>

### Part Load Performance Characteristics according to Port Masking

Hyeongsig Kim<sup>\*1)</sup> · Inok Kim<sup>1)</sup> · Chanjun Park<sup>2)</sup> · Inyong Ohm<sup>2)</sup>

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

<sup>2)</sup>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 expand lean misfire limit and improve combustion stability, the effects of port masking were estimated to secure basic data for applying the mechanism to SI engine instead of asymmetrical port and port throttling devises. For this purpose, various shapes and ratios of masking plates were mounted between port and manifold. The masking effects were evaluated by mixture response test under various load and speed conditions. The results showed that lean misfire limits were expended and fast combustion was observed for all masking shapes and ratios, especially, the effect of diagonal 1/4 masking was remarkable. In conclusion, the port masking method could be easily applied to engine without redesign of port for improving part load performance.

**Key words** : Lean misfire limit(희박연소한계), Port masking(포트 마스크), Stratification(성층화), Swirl(와류), Brake specific fuel consumption(제동연료소비율)

### 1. 서 론

SI 엔진에서 흡입 유동의 제어로 강화된 실린더 내 유동이나 연료 분포의 변화를 유도하여 연소를 개선하고 이를 통해 궁극적으로 엔진의 연비를 개선하고자 하는 많은 시도가 이루어져 왔다.<sup>1-4)</sup> 이때 엔진의 안정성과 연비의 측면에서 가장 중요한 지표는 희박연소한계이다. 희박연소한계가 높을수록 엔진의 안정성은 증대하고, 이를 이용하여 연비 개선 등을 위한 다양한 기술의 적용이 가능하기 때문이다. 희박연소한계는 점화플러그 근처에 공연비가 농후한 성층화 분포일 경우 높으며 안정된 운전이 가능하다는 것이 실험적으로 알려져 있다.<sup>2-4)</sup>

높은 희박연소한계를 구현하기 위해 여러 방법들 중 축상 성층화 방식은 두 개의 흡입 포트 중 하나를

나선형으로 제작하고 MTV(Manifold Throttling Valve) 나 SCV(Swirl Control Valve)를 이용하여 축상 성층화가 요구될 때 장착된 밸브를 이용하여 나선형 포트만 사용한다. 나선형 포트에 의해 유도된 강한 와류와 연료 분사 시기의 조합에 의해 성층화 상태가 달라지고, 최적의 조합인 경우 엔진 조건에 따라 24-27 정도의 높은 희박연소 한계의 구현이 가능하다.<sup>2-5)</sup>

와류를 이용한 축상 성층화는 매우 높은 희박연소한계를 구현한다는 점에서는 매우 성공적이지만, 나선형 포트 채택에 따라 포트의 유량 저하가 심각하고(15% 이상) 스로틀 기구의 의해 추가적인 유량 저하(5% 이상)가 발생한다. 또한 적절한 와류 값을 유도하기 위해 나선형 포트의 설계 최적화가 요구되며, 별도의 소재 생산 과정을 거쳐야 한다.

포트 마스크는 기본적으로 헤드 소재에 대한 변경 없이 매니폴드에만 MTV와 유사한 마스크 판을

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

삽입하고 이 마스크 판의 개폐로 유동 방향과 연료 유입 방향을 조절하여 높은 희박 가연 한계를 얻을 수 있는 방식이다. 포트 마스크를 적용한 경우 포트에 대한 설계 변경이 필요 없으므로 헤드 소재의 생산, 가공의 일원화를 이룰 수 있고, 형상 및 비율의 변경도 간단하여 성능 최적화에 유리하다. 또한 나선 포트 등에 의한 유량 감소가 상대적으로 적어(5% 이하) 출력 저하를 최소화 할 수 있다는 장점도 있다.<sup>6-11)</sup>

본 연구의 이전 연구에서는 개폐 기능이 없는 단순한 마스크 판만 제작하고, 이를 3밸브 엔진의 포트와 매니폴드 사이에 장착하여 한 부분부하 조건에서만(2400 RPM, 2.5bar BMEP) 마스크의 유효성을 검증하였다.<sup>6,7)</sup> 본 연구에서는 작동 가능한 마스크 기구를 제작하고, 이를 인젝터 간섭을 고려하여 실제 장착 가능한 위치에 장착한 후 5가지 부분부하 조건에서 형상, 비율의 최적값을 추적하였다.

## 2. 실험장치 및 방법

### 2.1 실험장치

Fig. 1에 엔진 성능 실험을 위한 실험 장치의 개략도를 나타내었다. 주요 실험 장치로는 단기통 동력계(AVL Puma Engine Test System), 포트 마스크기구, 연료유량계, 스로틀 컨트롤러, 배기가스 분석기

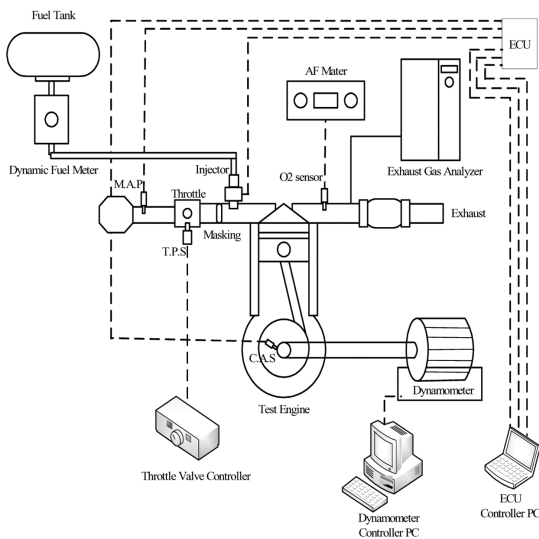


Fig. 1 Schematic diagram of experimental apparatus

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



Fig. 2 Schematics of masking plates

(Horiba Motor Exhaust Gas Analyzer MEXA-8120D), 공연비 측정기(A/F meter)가 있다. 대상 엔진은 상용 엔진을 연구용 단기통 엔진으로 제작하여 실험하였으며 그 주요 제원은 Table 1에 나타내었다.

별도로 제작한 포트 마스크 기구는 흡기 대기관(intake manifold)과 엔진 헤드 사이에 장착하였다. 마스크 판의 종류는 형상에 따른 성능 변화를 파악하기 위하여 대각선(Diagonal), 측면(Side), 사각형(Square)의 3종류로 제작하였으며, 개방된 부분의 면적에 따른 성능 변화를 파악하기 위하여 3종류의 형상에 흡기 포트의 입구 단면적을 기준으로 1/2, 1/3, 1/4을 개방하는 형상을 제작하였다. Fig. 2에 마스크의 형상을 도시하였다.

### 2.2 실험조건

혼합비 반응특성 실험의 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(±3%) 중 먼저 관찰되는 것을 기준으로 판단하였다.

Table 2 Mixture response experimental conditions

Engine speed (rpm)	Load (BMEP)
1500	1.5
1600	2.4
2000	2.0/4.0
2500	4.0

### 3. 결과 및 고찰

#### 3.1 희박연소한계와 연료소비율

Fig. 3은 1500 rpm / 1.5 bar BMEP 조건에서 포트 마스크의 개방된 면적이 일정할 경우 마스크의 형상의 변화에 따른 제동연료소비율을 혼합비(공연비)의 변화에 따라 도시하였고 주요 성능 비교 값을 Table 3에 정리하였다.

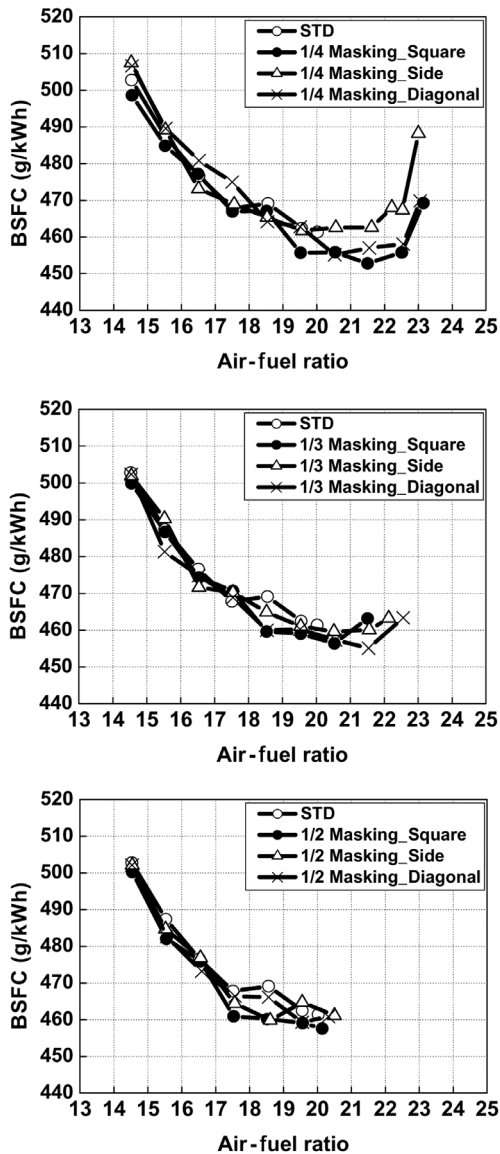


Fig. 3 Fuel consumption as a function of Air-fuel ratio (1500 rpm / 1.5 bar BMEP)

Table 3 Effects of masking on LML and BSFC at 1500 rpm 1.5 bar BMEP

Ratio	Shape	LML		BSFC(g/kWh)		
			△	Sto.	LML-2 (%)	Min. (%)
0	-	20.0	-	503	469 (6.8)	463 (8.0)
1/4	Square	23.0	3.0	499	453 (9.2)	453 (9.2)
	Side	23.0	3.0	508	468 (7.9)	462 (9.1)
	Diagonal	23.0	3.0	507	457 (9.9)	455 (10.3)
1/3	Square	21.5	1.5	500	459 (8.2)	459 (8.2)
	Side	22.0	2.0	502	460 (8.4)	460 (8.4)
	Diagonal	22.5	2.5	502	457 (9.0)	455 (9.4)
1/2	Square	20	0	500	460 (8.0)	459 (8.2)
	Side	20.5	0.5	502	460 (8.4)	460 (8.4)
	Diagonal	20.5	0.5	502	466 (7.2)	460 (8.4)

표와 그림에서 알 수 있듯이 희박연소 한계는 마스크를 적용하지 않은 경우 A/F 20 근방에서, 마스크의 개방 면적 1/4일 경우에는 A/F 23, 1/3은 A/F 22.5, 1/2은 A/F 20.5까지 증가하여 마스크 개방 면적이 적을수록 희박연소한계가 증가하는 경향을 보여 주고 있다.

차량에서 운전 가능한 공연비는 운전 중 과도 현상을 고려하여 희박연소한계보다 통상 2정도 낮은 공연비를 최대한계로 설정한다. 이론공연비 부근과 운전 가능 공연비에서 연료소비율을 비교해 보면, 마스크를 장착하지 않은 경우 503g/kWh에서 469 g/kWh(A/F=20)로 약 6.8% 개선된 것에 비해 개방 면적 1/4의 경우는 507g/kWh에서 457g/kWh(A/F = 21.5)로 약 9.9% 개선되었다. 개방 면적 1/3인 경우는 502g/kWh 에서 457g/kWh(A/F=20.5)로 약 9.0% 개선 되었으며, 1/2인 경우는 502g/kWh에서 460 g/kWh(A/F=19.5)로 약 8.4% 개선되었다.

마스크의 형상에 대한 결과는 대각(Diagonal) 형상에서 희박연소의 한계의 증가와 연료소비율 개선 폭이 가장 우수하였다.

Fig. 4는 1600 rpm / 2.4 bar BMEP 조건에서 포트 마스크의 개방된 면적이 일정할 경우 마스크의 형상의 변화에 따른 제동연료소비율을 혼합비(공연비)의 변화에 따라 도시하였고 주요 성능 비교 값을 Table 4에 정리하였다.

희박연소 한계는 마스크를 적용하지 않은 경우 A/F 19.5 근방에서, 마스크의 개방 면적 1/4일 경우에는 A/F 23.5, 1/3은 약 A/F 23, 1/2은 A/F 21.5까지

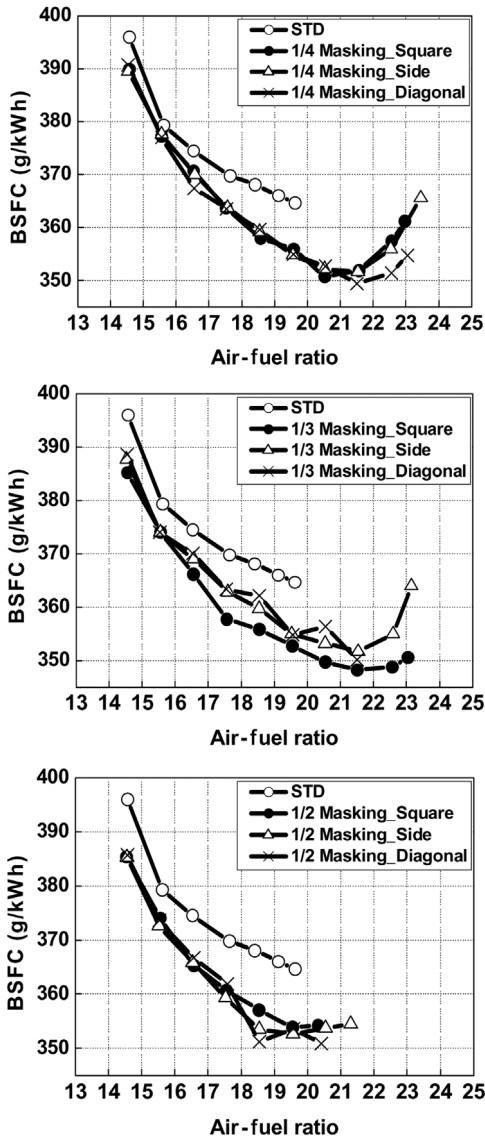


Fig. 4 Fuel consumption as a function of Air-fuel ratio (1600 rpm / 2.4 bar BMEP)

Table 4 Effects of masking on LML and BSFC at 1600 rpm 2.4 bar BMEP

Ratio	Shape	LML		BSFC(g/kWh)		
			△	Sto.	LML-2 (%)	Min. (%)
0	-	19.5	-	396	370 (6.6)	365 (7.8)
1/4	Square	23.0	3.5	390	352 (9.7)	351 (10.0)
	Side	23.5	4.0	389	352 (9.5)	352 (9.5)
	Diagonal	23.0	3.5	390	350 (10.3)	350 (10.3)
1/3	Square	23.0	3.5	374	348 (7.0)	348 (7.0)
	Side	23.0	3.5	374	351 (6.1)	351 (6.1)
	Diagonal	21.5	2.0	388	354 (8.8)	350 (9.8)
1/2	Square	20.5	1.0	385	357 (7.3)	354 (8.1)
	Side	21.5	2.0	385	353 (8.3)	353 (8.3)
	Diagonal	20.5	1.0	385	355 (7.8)	353 (8.3)

증가하여 마스크 개방 면적이 적을수록 희박연소 한계 증가하는 경향을 볼 수 있다.

이론공연비 부근과 운전 가능 공연비에서 연료소비율을 비교해 보면, 마스크를 장착하지 않은 경우 396g/kWh에서 370g/kWh(A/F=17.5)로 약 6.6% 개선된 것에 비해 개방 면적 1/4의 경우는 390g/kWh에서 350g/kWh(A/F=21.5)로 약 10.3% 개선되었다.

개방 면적 1/3인 경우는 374g/kWh에서 348g/kWh(A/F=21.5)로 약 7.0% 개선되었으며, 1/2인 경우는 385g/kWh에서 353g/kWh(A/F=19.5)로 약 8.3% 개선되었다.

마스크의 형상에 대한 결과는 측면 형상이 희박연소의 한계의 증가와 연료소비율 개선 폭이 가장 우수하였다.

Fig. 5는 2000 rpm / 2.0 bar BMEP 조건에서 제동연료소비율을 혼합비(공연비)의 변화에 따라 도시하였고 주요 성능 비교 값을 Table 5에 정리하였다. 희박연소 한계는 마스크를 적용하지 않은 경우 A/F 20 근방에서, 마스크의 개방 면적 1/4일 경우에는 A/F 22.5, 1/3은 약 A/F 22 근방까지 증가 하였다. 개

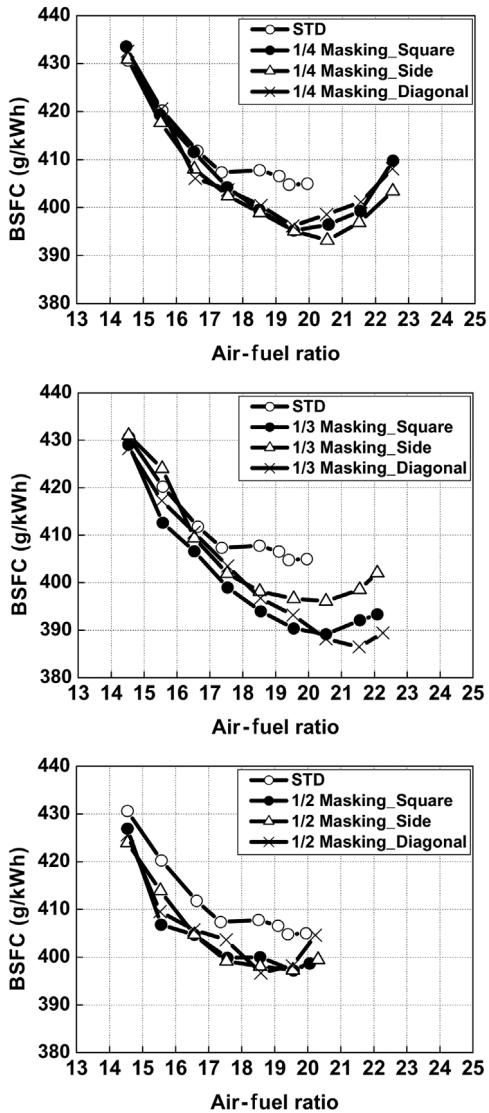


Fig. 5 Fuel consumption as a function of Air-fuel ratio (2000 rpm / 2.0 bar BMEP)

방면적 1/2은 약 A/F 20 정도로 마스킹을 장착하지 않은 경우와 동일 수준이었다.

이론공연비 부근과 운전 가능 공연비에서 연료소비를 비교해 보면, 마스킹을 장착하지 않은 경우 431g/kWh에서 407g/kWh(A/F=18.5)로 약 5.6% 개선된 것에 비해 개방 면적 1/4의 경우는 434g/kWh에서 396g/kWh(A/F=20.5)로 약 8.8% 개선되었으며, 1/3인 경우는 428g/kWh에서 388g/kWh(A/F=20.5)로 약 9.3% 개선되었다. 개방면적 1/2인 경우는

Table 5 Effects of masking on LML and BSFC at 2000 rpm 2.0 bar BMEP

Ratio	Shape	LML		BSFC(g/kWh)		
			△	Sto.	LML-2 (%)	Min. (%)
0	-	20	-	431	407 (5.6)	405 (6.0)
1/4	Square	22.5	2.5	434	396 (8.8)	395 (19.0)
	Side	22.5	2.5	418	393 (6.0)	393 (6.0)
	Diagonal	22.5	2.5	433	398 (8.1)	396 (8.5)
1/3	Square	22	2.0	429	389 (9.3)	389 (9.3)
	Side	22	2.0	431	396 (8.1)	396 (8.1)
	Diagonal	22	2.0	428	388 (9.3)	386 (9.8)
1/2	Square	20	-	427	399 (6.6)	397 (7.0)
	Side	20	-	424	398 (6.1)	398 (6.1)
	Diagonal	20	-	426	397 (6.8)	396 (7.0)

426g/kWh에서 397g/kWh(A/F=18.5)로 약 6.8% 개선되었다.

마스킹의 형상에 대한 결과는 대각 형상과 사각 (Square) 형상이 희박연소의 한계의 증가와 연료소비를 개선 폭이 우수하였다.

Fig. 6은 2000 rpm / 4.0 bar BMEP 조건에서 제동 연료소비를 혼합비(공연비)의 변화에 따라 도시하였고 주요 성능 비교 값을 Table 6에 정리하였다.

희박연소 한계는 마스킹을 적용하지 않은 경우 A/F 22 근방에서, 마스킹의 개방 면적 1/4일 경우에는 A/F 24.5, 1/3은 약 A/F 23 근방까지 증가하였다. 개방면적 1/2은 약 A/F 21 근방으로 마스킹을 적용하지 않은 경우에 비하여 감소하였다.

이론공연비 부근과 운전 가능 공연비에서 연료소비를 비교해 보면, 마스킹을 장착하지 않은 경우 312g/kWh에서 280g/kWh(A/F=20.5)로 약 10.3% 개선된 것에 비해 개방 면적 1/4의 경우는 313g/kWh에서 280g/kWh(A/F=22.5)로 약 10.5% 개선되었으며, 1/3인 경우는 313g/kWh에서 279g/kWh(A/F=21.5)로 약 10.9% 개선되었다. 개방면적 1/2인

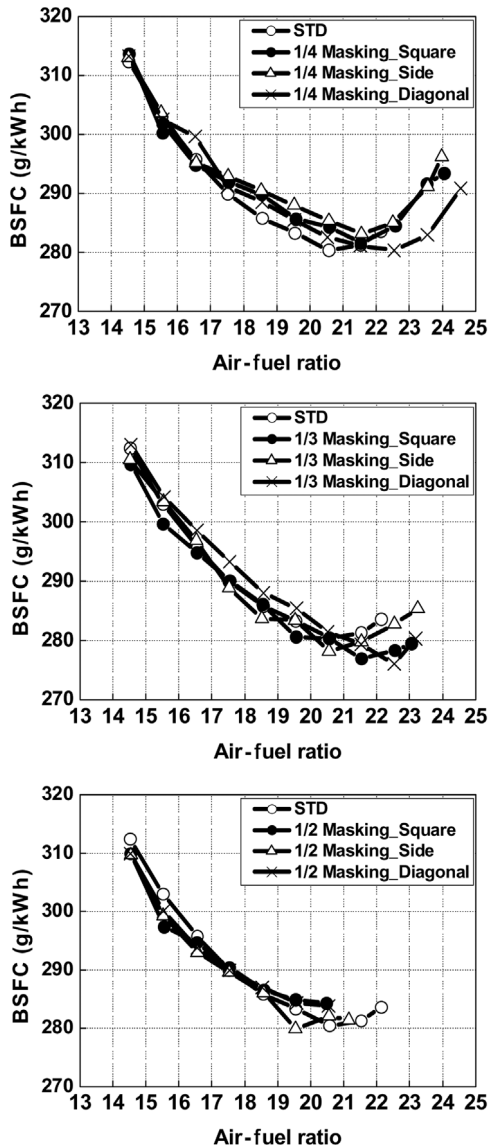


Fig. 6 Fuel consumption as a function of Air-fuel ratio (2000 rpm / 4.0 bar BMEP)

경우는 310g/kWh에서 286g/kWh(A/F=18.5)로 약 7.7% 개선되어 마스크를 적용하지 않은 경우에 비해 개선 폭이 감소하였다.

마스크의 개방면적 1/2인 경우에는 마스크를 적용하지 않은 경우에 비해 3종류의 형상 모두 희박연소 한계가 감소하였고, 운전 가능 공연비에서의 제동 연료소비율의 개선 폭도 감소하였다. 이 결과는 마스크가 포트의 흡입유동의 흐름에 저항으로 작용

Table 6 Effects of masking on LML and BSFC at 2000 rpm 4.0 bar BMEP

Ratio	Shape	LML		BSFC(g/kWh)		
			△	Sto.	LML-2 (%)	Min. (%)
0	-	22	-	312	280 (10.3)	280 (10.3)
1/4	Square	24	2.0	313	284 (9.3)	281 (10.2)
	Side	24	2.0	313	285 (8.9)	283 (9.6)
	Diagonal	24.5	2.5	313	280 (10.5)	280 (10.5)
1/3	Square	23	1.0	310	277 (10.6)	277 (10.6)
	Side	23	1.0	310	280 (9.7)	278 (10.3)
	Diagonal	23	1.0	313	279 (10.9)	278 (11.2)
1/2	Square	20.5	-1.5	310	286 (7.7)	284 (8.4)
	Side	21	-1.0	310	281 (9.4)	281 (9.4)
	Diagonal	20.5	-1.5	310	286 (7.7)	283 (8.7)

한 것으로 판단된다.

마스크의 형상에 대한 결과는 대각 형상이 희박연소의 한계의 증가와 연료소비율 개선 폭이 우수하였다.

Fig. 7은 2500 rpm / 4.0 bar BMEP 조건에서 제동 연료소비율을 혼합비(공연비)의 변화에 따라 도시하였고 주요 성능 비교 값을 Table 7에 정리하였다.

희박연소 한계는 마스크를 적용하지 않은 경우 A/F 20.5 근방에서, 마스크의 개방면적 1/4일 경우에는 A/F 24근방까지 증가하였다. 개방면적 1/3은 약 A/F 23 근방, 1/2은 약 A/F 22 근방까지 증가하였다.

이론공연비 부근과 운전 가능 공연비에서 연료소비율을 비교해 보면, 마스크를 장착하지 않은 경우 315g/kWh에서 290g/kWh(A/F=18.5)로 약 8.2% 개선된 것에 비해 개방 면적 1/4의 경우는 316g/kWh에서 287g/kWh(A/F=22.5)로 약 9.2% 개선되었다. 개방면적 1/3인 경우는 317g/kWh에서 283g/kWh(A/F=21.5)로 약 10.7% 개선되었으며 1/2인 경우는 317g/kWh에서 287g/kWh(A/F=20.5)로 약 10.7% 개선되었다.

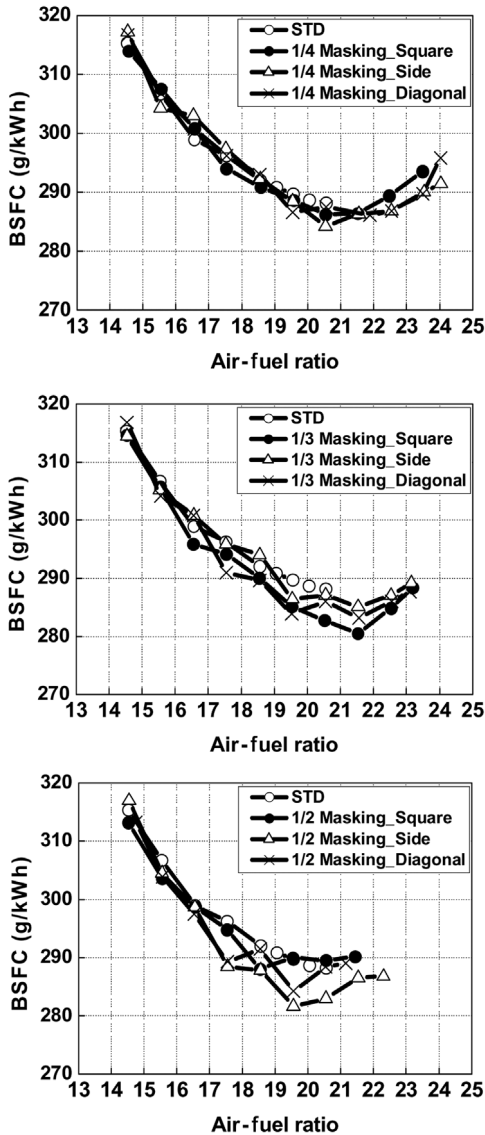


Fig. 7 Fuel consumption as a function of Air-fuel ratio (2500 rpm / 4.0 bar BMEP)

마스킹의 형상에 대한 결과는 사각 형상이 희박연소의 한계의 증가와 연료소비를 개선 폭이 우수하였다.

#### 4. 결론

엔진의 안정성 확보 및 희박연소 한계의 확장을 위해 통상의 포트에 여러 가지 형상의 마스킹 (masking) 기구를 적용하여 엔진의 희박연소 한계

Table 7 Effects of masking on LML and BSFC at 2500 rpm 4.0 bar BMEP

Ratio	Shape	LML		BSFC(g/kWh)		
			△	Sto.	LML-2 (%)	Min. (%)
0	-	20	-	431	407 (5.6)	405 (6.0)
1/4	Square	22.5	2.5	434	396 (8.8)	395 (19.0)
	Side	22.5	2.5	418	393 (6.0)	393 (6.0)
	Diagonal	22.5	2.5	433	398 (8.1)	396 (8.5)
1/3	Square	22	2.0	429	389 (9.3)	389 (9.3)
	Side	22	2.0	431	396 (8.1)	396 (8.1)
	Diagonal	22	2.0	428	388 (9.3)	386 (9.8)
1/2	Square	20	-	427	399 (6.6)	397 (7.0)
	Side	20	-	424	398 (6.1)	398 (6.1)
	Diagonal	20	-	426	397 (6.8)	396 (7.0)

및 연비에 미치는 영향을 파악 위하여 혼합비 반응 특성 실험결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- 1) 포트 마스킹은 기존의 비대칭 포트와 포트 스로틀링을 결합한 방식과 달리 통상적인 엔진에 설계 변경을 최소화하면서 간단히 적용할 수 있고 그 효과도 비대칭 포트와 비슷한 수준이다.
- 2) 포트 마스킹을 적용함으로써 엔진의 희박연소 한계가 약 3~4 정도 증가하여, 마스킹을 장착하지 않은 경우의 희박연소 한계 A/F 20근방에서 희박연소 한계 A/F 23~24 근방까지 증가하였다. 이는 실린더 내로 흡입되는 혼합기가 성층 분포를 이루어 초기 연소 특성이 개선되고 연소 안정성이 증가하였기 때문으로 판단된다.
- 3) 포트 마스킹을 적용한 경우 이론 공연비에서의 연비는 적용하지 않은 경우와 비슷하지만, 최소 연비는 희박 연소 한계가 증가하여 이론공연비 대비 6~7%에서 9~11%로 증가하였다.
- 4) 포트 마스킹을 적용한 경우 차량의 운전가능공연비에서의 제동연료소비율의 개선 폭이 증가하였다.

- 5) 2000 rpm / 4.0 bar BMEP 조건에서 마스킹의 개방 면적 1/2일 경우 마스킹을 적용하지 않은 경우보다 희박연소 한계가 감소하고 최소 연비가 증가하였는데 이는 마스킹의 개방 면적이 증가하면서 실린더 내로 흡입되는 유동의 방향을 유도하지 못하고 오히려 흡입 유동의 저항으로 작용한 것으로 판단된다.
- 6) 포트 마스킹을 적용하게 되면 대량 EGR 실현 가능하며 이를 통해 연비를 개선할 수 있다.

## 후 기

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

## References

- 1) A. A. Quader, "The Axially-Stratified-Charge Engine," SAE Paper 820131, 1982.
- 2) I.-Y. Ohm, H.-S. Ahn, W.-J. Lee, W.-T. Kim, S.-S. Park and D.-U. Lee "Development of HMC Axially Stratified Lean Combustion Engine," SAE Transaction, Vol.103, No.3, pp.1298-1311, 1994.
- 3) I. Y. Ohm, K. S. Jeong and I. S. Jeung, "Effects of Injection Timing on the Lean Misfire Limit in an SI Engine," SAE Transaction, Vol.106, No.3, pp.42-55, 1998.
- 4) I. Y. Ohm and Y. S. Cho, "Mechanism of Axial Stratification and Its Effect in an SI Engine," SAE Technical Paper 2000-01-2843, 2000.
- 5) K. Horie, "The Development of a High Fuel Economy and High Performance Four Valve Lean Burn Engine," SAE Paper 920455, 1992.
- 6) W. G. Lee and I. Y. Ohm, "Effects of Port Masking on Part Load Performance: Part I- Lean Misfire Limit," Transactions of the Korean Society of Automotive Engineers, Vol.9, No.5, pp.17-22, 2001.
- 7) 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.
- 8) I. Y. Ohm, Advanced Internal Combustion Engines, A-Jin Publishing Company, Seoul, 2006.
- 9) H. S. Kim, S. T. Kwon, J. W. Lee, C. J. Park and I. Y. Ohm, "Effects of Port Masking on Lean Misfire Limit and Fuel Economy," KSAE 30th Anniversary Conference 2008 Proceedings, Vol.1, pp.43-48, 2008.
- 10) I. Y. Ohm and C. J. Park, "Effect of Inlet Valve Angle on In-cylinder Swirl Generation Characteristics(I)," Transactions of KSAE, Vol.16, No.6, pp.148-156, 2008.
- 11) I. Y. Ohm and C. J. Park, "Effect of Inlet Valve Angle on In-cylinder Swirl Generation Characteristics(II)," Transactions of KSAE, Vol.17, No.2, pp.42-48, 2009.