

## 세라믹 밸브 인서트의 최근 개발 동향

### Current Design Methodology for Ceramic Valve Seat Insert

이 수 완, 이 명 호\*  
S. W. Lee, M. H. Rhee



이 수 완  
• 1954년 2월생  
• 선문대학교 재료공학과



이 명 호  
• 1956년 7월생  
• 자동차부품연구원

#### 1. 서 론

대도시에 운행 중인 버스와 자동차에 의한 매연으로 공해가 날로 심각하여 국제 규정 허용량보다 압도적으로 많은 양이 배출되고 있다. 또한 교통의 정체 현상으로 더욱 심각한 현상이 일어나고 있다. 또한 지하 자원의 한계로 저질의 연료를 사용하여 더욱 이러한 공해를 촉진시키고 있다. 이러한 매연에 의한 공해 주 성분은 연료의 불완전 연소에 기인한다. 특히 diesel engine muffler에서 풀어 내는 unburn hydrocarbon, NOx, 그리고 일산화탄소 등이며 이외% 방향족의 인체에 해로운 유기 화합물 등이다. 이러한 환경 문제는

시민의 건강을 해롭게하며, 또한 alps산맥을 통과하는 trailer fleet에 의해서 생태계마저 변하고 있다고 보고된 바 있다. 일본의 NGK 및 미국이 Corning 회사에서 unburn hydrocarbon을 제거하기 위한 diesel truck에 다공성 honey comb ceramic filter을 개발하여 시판하고 있으며, 국내 기업 연구소에서도 개발이 되고 있다.

그러나 원천적으로 이러한 공해 방지를 위한 계획은 자동차의 연료를 natural gas로 대체하면 natural gas의 주 성분인 methane gas의 완전 연소로 단지 물과 이산화탄소만 생성하므로 연료상 경제적이고 공해방지가 가능하다. 따라서 선진 제국은 오래 동안 natural gas engine을 개발하여 대도시의 commuter bus 및 cogenerator에 장착되어 왔다. 국내의 자동차 기업에서 LNG engine개발이 성공 되었다고 보고 된지 2년이 되었지만 아직 시판되고 있지는 않고 있다.

Natural gas을 연료로 사용하면, 가장 주된 문제는 valve와 valve seat insert의 마모 현상이다. gasoline 및 diesel engine에 비하여 마모가 현저해진다. 그림 1에 자동차 엔진의 연료에 따른 valve seat insert 마모에 대한 비교치를 나타내고 있다. 유연휘발유의 경우가 가장 낮고, 유연휘발유는 유연휘발유에 비해 약 2배의 마모양이며, propane 및 natural gas의 연료는 약 10배의 마모가 일어난다. 일반적으로 valve lash adjustment는 매

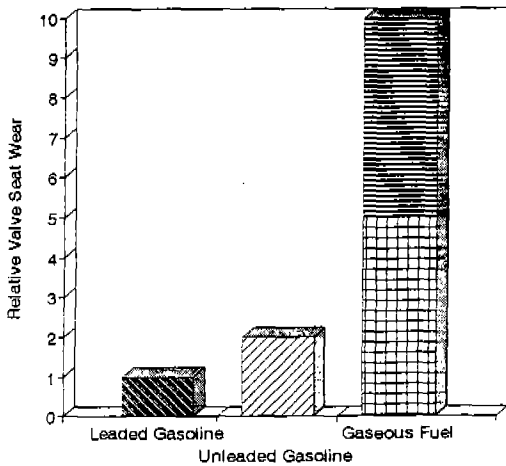


Fig. 1 Seat wear comparison in different fuel system.

750 시간이 요구되고, cylinder head overall은 때 5,000 시간이 요구되며, engine overall은 20,000에서 25,000시간까지 이다.

## 2. engine용 ceramic 재료의 특성

구조 ceramic은 밀도가 낮고, 고온에서 오래 견디며, 경도가 높아 내마모성이 높으며, 내식성이 강한 장점이 있다. 반면에 열전도도가 낮고, 취성이 강하여 신뢰도와 내구성이 문제가 되어 왔다. 장래에 개발될 adiabatic engine 및 low heat rejection engine은 고온에서 작동되므로 PSZ과 같이 열충격에 약한 재료는 사용할수가 없고, SiAlON 또는 질화규소를 사용하면 engine의 성능을 향상 시키고 연료를 더욱 효율적으로 사용할 수 있다.

valve는 고강도의 안전된 품질보정이 요구되므로 reliability와 durability가 문제가 된다. ceramic valve는 금속 valve보다 약 60% 정도 경량화를 초래한다. 이에 따른 부수적인 효과가 있다. ① valve spring의 하중을 줄일 수 있으므로 연료를 절약하는 효과를 기한다. ② valve train 마모를 감소한다. ③ 열효율이 상승하여 연료가 절약된다. ④ 고온 연소 조건이 가능하여 배기가스의 오염을

감소 ⑤ ferrous alloy에 비해 생산단가가 상승된다.

특히 고압, 고온, 그리고 부식성이 강한 배기가스 분위기인 diesel engine의 연소실동에 ceramic을 사용할때 다음과 같은 특성이 요구된다.

- ① 우수한 단열성, ② 높은 열팽창계수, ③ 고온 강도, ④ 내마모성과 내부식성, ⑤ 낮은 마찰계수, ⑥ 높은 Hertzian stress, ⑦ 우수한 피로 강도, ⑧ 저렴한 가격 및 경량화, ⑨ 공차가 적고 끝마무리 가공이 적을 수록, ⑩ 낮은 밀도, ⑪ 우수한 creep, ⑫ 우수한 열충격, ⑬ 고인성등이다.

최근 ceramic engine개발 동향은 독일 Hoechst 세라믹회사가와 Daimler Benz에서 15그램의 질화규소의 valve가공비가 200달러에서 5달러 미만으로 떨어 뜨렸다. 이때 사용한 방법은 One stroke방법이다. UBE사의 질화규소 분말 가격이 Kg당 80달러이며, Herman Chess Starck사의 분말 가격은 60달러이고 현재 가격이 가장 낮은 분말은 Dow-Chemical사에서 직접 질화방법으로 제조된 질화규소 분말 가격이 Kg당 20달러이다. 만일 분말 원료의 가격이 2달러로 낮출수 있으면 가격면에서 금속의 valve와 경쟁할 수 있다.

최근 ATTAP계획의 Allison의 AGT5가 파손이 있어 Gas Turbine계획은 당분간 지연 될 것으로 믿어진다. Isusu회사의 현재 low heat rejection insulated engine계획의 현황은 다음과 같다.

- ① Natural Gas Cogenerator, 1993-1998, NIT, Japan Gas Research, Isusu ② Methanol Engine, 1992-1995, MIT, Isusu, ③ Low heat Rejection engine, 1993-1994, GAST, and Isusu, ④ Adiabatic engine, 1993-1985, Japan Defence Agency and Isusu 등이다. 총 연구비는 약 120 Million\$이다.

특히 천연 가스 자동차의 주요 목표는 다음과 같다.

- (1) reciprocating rotary engine에 직접 natural gas를 분사시켰을 때 diesel engine보다 효율이 떨어지지 않은 성능을 갖는 기술을 개발한다.
- (2) 엔진성능을 향상과 배기가스 방출을 줄이도록 신뢰도와 내구성을 증진시키기 위한 엔진부품 및 기술 개발이 필요하다.

- (3) 자동차의 정기 정비는 4,000 시간마다 그리고 엔진의 수명은 20,000시간이 되도록 계획한다.
- (4) NOx를 엄격한 배기 기준치 이하로 낮춘다.

### 3. Valve and valve seat insert 재료

natural gas engine용 valve seat insert재료는 일반적으로 다음 3가지의 재료로 사용되어 왔다. 첫째 Ni계열의 Stellite의 superalloy가 사용되며 그 기계적 성질 및 화학 성분 및 Pleuco등의 제품이 있다. 셋째 새로운 재료로 Chrome carbide, Tungsten Carbide, Ni3Al, Cermic등이다. Stellite 합금재료는 현재 자동차 엔진에 현재 사용되고 있고, 분말야금에 의한 금속은 기업에서 실험적으로 사용되고 있다. Ni3Al은 신소재이며, 질화 규소와 같은 ceramic은 새로운 기술이 요구되는 최첨단의 재료로 각광을 받고있어 그 연구가 절실히 필요하다.

비교시험재료는 stellite-1을 사용했다. 이재료를 valve head에 plasma thermal barrier flasma coating을 한 재료는 표 1과 표 2에 물리적 성질과 화학 성분을 비교하여 나타내었다. 사용된 engine은 Cummins 엔진회사의 GTA-855와

GTA-855B였다. 사용된 engine의 규격은 표 3에 주어졌다. 그리고 engine작동 조건은 표 4에 나타내었다.

그림 2는 마모 부피를 측정한 값으로 valve seat inseter는 거의 마모가 일어나지 않았고, 오직 valve만이 마모 부피를 측정할 수 있었다. valve와 valve seat insert을 조합한 여러 경우의 결과를 그림 2에 잘 나타내고 있다. 최적의 조합은 Tribolloy-800의 valve와 질화규소의 valve seat insert이다. 이 결과는 Kamo와 Badgley가 발표한 결과와 잘 일치하고 있다. intake valve에서는 건조한 기체 연료에 의해 valve와 valve seat insert가 직접 접촉을 하여 마모가 용이하나, 액체연료가 사용되는 경우 액체연료에 함유된 표면활성제에 의해서 이러한 직접접촉 현상은 방지된다. 반면에 exhaust valve에서는 hydrocarbon이 피막을 형성하여 방석작용을 하여 접촉 응력이 제거되어 마모가 현저히 감소된다. 고온 고압의 Diesel engine에서는 강한 부식성을 갖는 gas phase에 의해 부식이 일어 날수 있다. 동시에 stress corrosion 현상도 일어날 수 있다. 만일 질화규소 valve와 valve seat insert를 조합하여 사용하면, 접촉 응력이 높아, 응력이 집중하는, valve stem이나 valve face edge가 깨어지기 쉽다. 이러한 현상은 We-

Table 1 Physical proprtities of steelite-1, stellite-6, and tribolloy 800 wear resistant hardfacing alloys

alloy	modulus (x106 MPa)	poisson's	Thermal Expan. Coeff. (106m/m/k)	Th. Cond (W/m/K)	Hardness
Stellite-1	2.32	0.25	12.3	—	52
Stellite-6	2.1	0.27	17.4	13.6	40
Tribolloy 800	2.43	—	13.1	14.3	55

Table 2 Norminal composition of stellite 1, stellite-6, and tribolloy 800 alloys

alloy	Cr	C	Si	Mn	Mg	Fe	Ni	Co	W
Stellite-1	30	25	1	1	1	3	3	45.5	12.5
Stellite-6	28	1.1	1	1	1	3	3	57.4	4
Tribolloy-800	17.5	0.08	3.4	—	28.5	3	3	47.5	—
Eatonite-2	29.0	2.4	1.0	0.5		8.0	34	10.7	15.0

Table 3 Engine specification for natural gas engine

General engine data

Model	GTA-855	GTA-855B
Type	4 cycle, inline, 6 cyl, SI	same
Bore×Stroke-in(mm)	5.5×6(140×152)	same
Displacement-Cu. in(liter)	855(14.01)	same
Compression ratio	10 : 1	same
Aspiration	turbocharged-aftercooled	same
Speed	1800-1860	same
Volumetric Efficiency	140%	-
Max. Continuous Rated HP	300	330
Intermittent Rated HP	-	375

Test condition

Engine load cycle	11 hours rated continuous¼330HP¾
Engine speed	Max. Continuous¼1800rpm¾
Test duration	1000hours

Table 4 Typical desired material properties for a natural gas engine

Temperature limit, oC	>1800
Fracture toughness, MN/M3/2	> 8.0
Flextural strength, MPa	> 800
Thermal conductivity, cal/CM_Sec_oC	> 0.01
Thermal Shock Resistance, T oC	> 500
Coefficient of Expansion ×10-6/oC	> 10
Weibull Modulus	> 18
Time, Exposure, Hours	>1000

ber에 의해 발표된 바 있다.

6. 결 론

- 1) natural gas engine에서 intake valve와 valve seat insert가 exhaust valve와 valve seat insert 보다 마모가 심하다.
- 2) ceramic valve seat insert을 금속재료를 사용하는 것이 보다 더욱 효과적이다. 즉 적어도

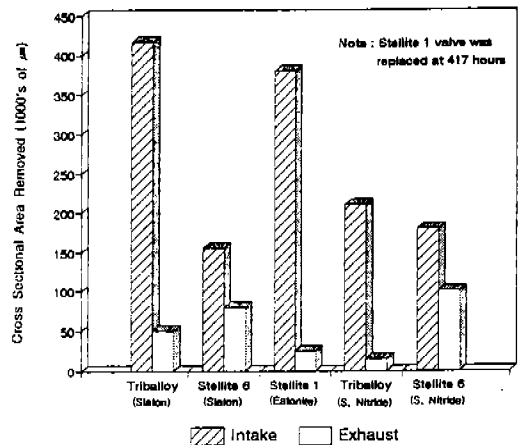


Fig.2 Comparison of wear volume of different valves/seat couples.

3배 정도 마모가 적게 일어난다.

- 3) Ceramic valve와 ceramic valve seat insert로 결합한 경우 valve face 또는 stem부위에서 응력이 집중되어 파손도니다. 따라서 현재의 ceramic valve design methodology로는 ceramic valve은 좋은 결과를 얻을 수 없다.

4) 가정 효과적인 결합은 Tribolloy 800의 hardfacing 합금의 valve와 질화규소의 valve seat insert이다.

### 참 고 문 헌

1. Schreiner, M, et al, "Ceramic Valve Train Materials Investigationm for Advanced Industrial Natural Gas Engine", SAE paper 870418.
2. Gas Research Institute 1992-1996 Research & Development Plan.
3. Lacey, P.L, et al, "Wear Mechanisms of Valves and Valve Seat Inserts in a Gas-Fired Reciprocating Engine", NISTIR 90-4264, June 1990.
4. Asnani, M and Kuonen, F.L., "Ceramic Valve and Seat Insert Performance in a Diesel Engine", SAE paper 850358.
5. Kamo, R. and Bryzik, W, "Cummins/Tacom Advanced Adiabatic Engine", SAE, paper 840428.
6. Kamo, R, Woods, M.E., and Geary, W.C., "Cearamics for Adiabatic Diesel Engine", CIMTECH 4th, St. Vincent, Italy, June 1979.
7. Kawamura, H., "Thermos Construction Made of Si3N4 in the Heat Insulated Engine", "Silicon Nitride 93", Stuttgart, Germany October, 1993.
8. Weber, K.E., "Advanced LHR Diesel Technology Development-Hardware and Testing Status", in Proceedings of the Twenty-Sixth Automotive Technology Development Contracts Coordination Meeting", p-219, pp.61-75, 1989.