

PS와 PDMS를 이용한 가스분리막의 제조 및 디젤엔진에서의 응용

홍병표, 여광수, 변홍식
계명대학교 화학시스템공학과

Preparation of Gas Membranes based on PS and PDMS, and Their Use in Diesel Engine

Byungpyo Hong, Kwangsoo Yeo, and Hongsik Byun
Dept. of Chemical System Engineering
Keimyung University, Daegu, S. Korea

1. 서론

내연기관에 대한 사회적인 요구는 환경공해와 에너지 절약이라는 2대 요인으로 대별할 수가 있다. 1970년대의 제 1, 2차 석유 파동을 겪는 동안 저연비를 기본적인 목표로 엔진 개발이 진행되어 왔으나 최근 배기가스에 의한 지구 환경 문제가 심각해짐에 따라 저공해에 대한 요구가 한층 심화되고 있다. 이와 같은 연비저감 및 배기저감의 요구는 엔진에 과잉의 산소를 공급함으로써 이룩할 수 있다. 과잉산소 공급은 공기 중의 산소를 선별적으로 더 투과시키는 기체 분리막을 이용한 산소과급장치로써 달성할 수 있다(1-2).

따라서 본 연구에서는 polystyrene(PS)과 polydimethylsiloxane(PDMS)를 이용하여 산소분리용 분리막을 제조한 후 내연기관에 적용시켜 과급산소가 배기가스에 미치는 영향을 조사하였다. 이때 내연기관은 단기통 디젤엔진을 사용하였으며, 분리막의 모듈은 내연기관에서 요구하는 공기유량을 계산하여 hollow fiber의 형태로 제작하였다. 또한 가스분리막의 상업성을 알아보기 위하여 대형디젤엔진(배기량 11149cc)에도 장착하여 매연의 변화를 관찰하였다.

2. 실험

2.1. PDMS-PS 가스분리막 제조

PDMS를 제 1고분자로 제작하고, styrene 모노머에 함침시켜 충분히 팽윤된 후 중합시키는 sequential IPN 제조방법을 이용하였다(3). 이때 팽윤시간의 조절로써 PS의 함유량을 조절하였다.

2.2. 가스분리막의 특성조사

제조된 가스분리막은 FTIR, FT-NMR을 이용하여 PDMS의 존재유무를 확인하였으며, SEM으로 구조를 관찰하였다. 가스분리막의 permeability는 Yanaco 제작사의 Gas Permeability Analyzer (GTR-30)를 이용하여 측정하였다.

2.2. 가스분리막 모듈의 제작 및 설계

내연기관의 회전수당 필요한 공기유량과 산소과급의 정도를 계산한 후 최적의 공기유량과 산소과급농도를 결정하였다. 이와같이 결정된 공기유량과 산소과급의 정도를 토대로 필요한 가스분리막의 면적을 계산하여 산소과급장치를 설계, 제작하였다.

2.3. 분리막모듈의 내연기관 장착

분리막모듈을 내연기관에 직접 장착하여 그 효과를 분석하였다. 본 연구에서 사용된 내연기관은 단기통 디젤엔진(배기량 632cc, 최대출력 11hp, 회전수 2200rpm)이다.

2.4. 가스분리막의 상업적 활용가능성

개발된 산소과급장치의 궁극적 목표는 대형디젤엔진에서의 매연저감이다. 따라서 본 실험에서는 대형디젤엔진(버스, 카고트럭용)에서의 매연저감을 위한 최적의 산소과급농도를 측정하였다. 사용된 엔진의 사양은 배기량 11149cc, 최대출력 760Nm, 회전수 1400rpm이다. 시험은 D-3 모드의 측정점에서 산소과급을 22% - 25%까지 변화시켜 매연의 변화량을 측정하였다.

3. 결과 및 토론

3.1. 가스분리막의 제조 및 특성

가스분리막 내의 PS함량은 합침시간의 증가에 따라 증가하였으며, 최고 70wt%의 PS함량을 보여주었다(Table 1). FTIR과 FT-NMR의 분석결과, 최종 분리막에 PDMS의 존재를 확인하였으며, SEM의 구조변화(PS의 증가에 따른 응집효과)를 확인할 수 있었다. 가스분리특성은 PS의 증가에 따라 산소의 투과도가 감소하였으며, 선택도는 약간의 증가를 보여주었다. 실험결과 본 연구에 적합한 PS의 함량은 10wt%임을 알 수 있었다. 이것은 PS의 함량이 그 이상일때는 IPN의 상호보완적인 특성보다는 다량의 PS 함량에 따른 구조변화에 기인하여 투과도의 감소가 초래된다고 생각한다.

3.2. 가스분리막 모듈의 제작 및 설계

분리막 모듈을 설계하기 위하여 내연기관에서 요구되는 유량과 산소과급을 계산하였다. 그 결과는 다음과 같다. 산소과급장치의 성능이 90liter/min이라면 rpm 2000(3개)에서 필요한 공기유량이 542liter/min이며, 따라서 산소과급공기유량은 632liter/min이 되어야 한다. 이때 필요한 산소과급농도는 23wt%가 최적임을 알 수 있었다. 이러한 결과를 토대로 산소분리막의 필요면적을 계산한 결과 약 80m²가 필요하다는 것을 알았다.

3.3. 산소과급에 의한 배기가스의 변화

분리막 모듈의 내연기관 장착실험은 Fig. 1과 같다. 내연기관에 분리막모듈을 장착하였을 때 발생하는 효과를 분석한 결과 70% load에서 1400rpm과 1600rpm의 경우 산소과급이 각각 1wt% 와 2wt%이었을 때 매연은 전혀 발생되지 않았다. 90%load에서는 산소과급없이 약 26 - 30%의 매연을 발생하다가 산소과급(1 - 4 wt%)에 의하여 매연이 약 10 -13wt%로 감소하는 것을 보여주었다. 이것은 산소의 과급으로 매연을 약 60%이상 감소시킬 수 있음을 알 수 있으며, 70% load와 종합하면 산소과급으로 매연이 약 70%이상 감소한다는 것을 보여 주고 있다. 이것은 과급산소에 의한 완전연소의 증가로 인한 결과라고 생각된다.

또한 분리막모듈을 내연기관에 부착함으로써 유발되는 또다른 효과로 NOx의 증가와 HC의 감소를 들 수 있다. 특히 HC의 농도는 70%load와 90%load 모두 감소하고 있으나, NOx의 경우 약 40%의 상승을 보여주고 있다. 이것은 산소과급으로 인한 완전연소의 증가가 내연기관내의 연소온도를 증가시키며, 또한 과급된 산소는 산소라디칼이 더욱더 방출되어 질소와의 결합을 용이하게 함으로써 NOx의 증가가 유발되었다고 생각된다. 앞으로 산소과급장치의 상용화를 위해서는 NOx의 증가를 방지할 수 있는 최적의 산소과급, 또는 새로운 형태의 NOx 제거시스템을 고안하여야 한다.

3.4. 산소분리막의 상업적 활용가능성

대형디젤엔진에서의 산소과급장치활용 가능성을 분석하기 위하여 산소과급에 따른 대형디젤엔진의 매연변화량을 측정한 결과 Table 2와 같다. 산소를 약 3% 과급하면 매연은 약 80%이상 감소하는 것을 보여 주었다. 이러한 결과는 산소과급장치를 대형 디젤엔진에도 활용가능하다는 것을 보여준다.

4. 결 론

본연구에서는 산소분리막의 활용도를 좀더 다양하게 하기 위하여 현재 환경적으로 많은 문제점을 일으키고 있는 디젤엔진에 적용하여 산소과급에 따른 배기가스의 변화를 분석하였다. 연구결과 얻어진 결론은 다음과 같다.

(1) PDMS/PS 분리막이 성공적으로 합성되었으며, FTIR과 NMR의 분석에 의하여 확인되었다.

(2) 산소분리막으로 활용될 경우 PDMS/PS 분리막 내의 PS 함량이 10wt%일 때 최적의 성능을 보여주었다.

(3) 내연기관에 장착하기 위한 분리막 모듈을 설계(산소분리막의 면적: 80m², 장치의 크기: 지름 10cm x 길이 280cm), 제작하였다. 이때 분리막 모듈에 요구되는 성능은 산소과급공기유량 90liter/min, 산소과급농도 23wt%이상이었으며, 제작된 산소과급장치는 0.6MPa 이상에서 공급공기유량이 10.7m³/hr 이면 요구되는 성능을 상회하여 충분히 내연기관에 활용될 수 있음을

보여 주었다.

(4) 산소분리막 모듈을 직접 내연기관(단기통 디젤엔진)에 장착하여 실험한 결과 매연은 약 70%이상의 저감을 보여 주었으나 NO_x가 약 40%증가하였다. 산소과급에 의하여 매연저감의 효과는 있었으나 발생하는 산소라디칼과 내연기관내의 온도상승으로 인한 NO_x의 증가라는 문제점이 발생되었다.

(5) 대형디젤엔진의 경우 산소과급으로 인하여 매연은 최대 92%저감되었으며, 산소과급의 농도한계값인 28wt%에서는 약 80%이상의 매연저감을 보여 주었다. 따라서 대형디젤엔진에서도 산소분리막 모듈이 활용 가능하다는 것을 알 수 있었다.

5. 참고문헌

- (1) G.R. Rigby and H.C. Watson, "Application of Membrane gas separation to oxygen enrichment of diesel engines", J. Memb. Sci., v.87(1-2). 159-169, 1994.
- (2) Takeo Kondo(Ed.), "New Development in Gas Separation Technology", Toray Research Center inc., 1992.
- (3) E. Brown, "Membrane-based technology is set to clean up the diesel engines", Memb. Tech, v.2000, 2000.

Table 1. The composition changes of PS in IPN's with various swelling time.

Sample code	A	B	C	D	E	F	G
Swelling time(min)	≒2	3-5	5-7	≒15	25-30	≒90	>120
Composition of PS(wt%) in IPN's	10	20	30	40	50	60	70

Table 2. The effects of oxygen enrichment on the emission gas of diesel engine

산소과급	무과급	1wt% 과급	1.5wt% 과급	2.7wt% 과급	3.7wt%과급
매연저감	0%	47%	69%	81%	92%

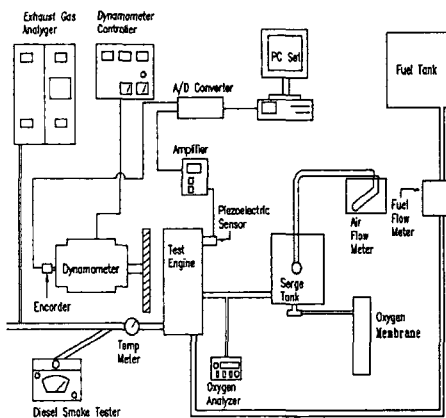


Fig.1. Schematic diagram of experimental setup

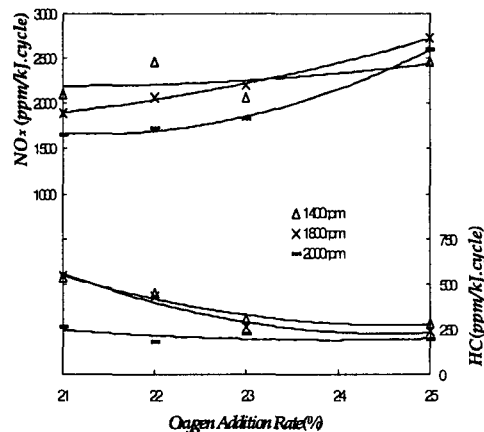


Fig. 2. NO_x and HC concentration per hearing value as a function of oxygen additional rate(90% loading).