

밀폐사이클 디젤기관의 배기가스 응축시스템에 관한 기초연구

최 보 규¹⁾, 최 재 성²⁾

A Study on the Exhaust Gas Condensing System in the Closed Cycle Diesel Engine

Bo-Kyu Choi , Jae-Sung Choi

Abstract

The need of power will be continuously increased to search and develop the undersea resources with industrial development. Some researchers have studied on closed cycle that will be used in restricted conditions such as underwater or underground areas. With limited available air, a diesel engine can be operated by recirculating a part of the exhausted gas after eliminating some exhaust gases. Studies on the closed cycle has been conducted in some developed countries but the result is seldom available. Also a large amount of research fund and high technology has been used for this cycle.

In this paper, the results of literature review on the resent studies and performance on the closed cycle are presented. To investigate the possibility of operating and basic structure of the diesel engine, the performance of the closed cycle and heat balance are theoretically predicted by using theoretical cycle based on the compositions of recirculating gas. Since CO₂ gas generated

1) 한국해양대학교 기계공학과 석사과정 열유체공학 전공

2) 한국해양대학교 기관공학과 교수

in the process of operation has to be eliminated the methods for condensing CO₂ gas in exhaust gas are investigated. A trial condenser is built and some experimental results are obtained by using the condenser.

1. 서론

과학기술의 발달과 더불어 수중이나 지중에서의 자원개발 및 탐사가 큰 관심사로 대두되게 되었다. 이를 위해서는 제한된 환경에서 독립적으로 동력을 발생시킬 수 있는 장치가 요구된다. 이와 관련하여 이러한 환경에서 이용될 수 있을 것으로 생각되는 동력원으로는 재충전전지, 원자력, 열기전 발전기, 연료전지, 밀폐사이클 열기관등을 들 수 있다. 재충전전지의 사용에 있어서는 성능규모 면에서 현단계에서는 이용 불가능한 실정이다. 원자력 랭킨사이클 또는 열기전발전기들은 선박의 운전과 비용문제를 고려할 때 민수용으로는 적합하지 않다. 그러므로 가장 유망한 시스템은 연료전지와 밀폐사이클 열기관이나 연료전지는 경제적이고 기관의 부피를 최소화 할 수 있다는 잇점을 가지고는 있으나 장시간사용에 있어서의 충전이 불가능하므로 한계가 있다.

이에 비하여 밀폐사이클 열기관은 경비와 안전성 및 신뢰성이 뛰어나며 에너지의 효과적인 활용과 선박설계면을 고려할 때 매우 큰 잠재력을 가지고 있음이 알려졌다. 이들에 대한 연구는 제2차 세계대전을 전후하여 세계 각국에서 많은 연구가 진행되어 왔으나, 이들의 시스템을 구성하기 위한 재사이클이나 밀폐사이클은 무공기 열기관으로 많은 문제점들을 내포하였다. 최근 들어 이러한 연구는 각국에서 활발히 전개되고 있지만 고도의 기술과 많은 투자 비용으로 인하여 거의 비밀리에 추진되고 있는 실정이다.

본 연구에서는 밀폐사이클기관의 문제점을 조사, 파악하고 열역학적 검토를 통하여 시스템의 구성 가능성을 이론적으로 확인하고자 하며 밀폐사이클이 최적의 효율로 운전되기 위한 가장 중요한 요소인 배기개스중의 탄산개스를 제거하는 여러가지 방법중 가장 이상적인 방법으로 알려진 냉동액화 분리방법을 채용하기로 하고 실제 특수한 열교환기를 제작하여 실험 및 고찰을 통하여 밀폐사이클의 연구에 있어 기초자료를 제시하였다.

2. 밀폐사이클 디젤기관

디젤기관의 운전에 있어서 연소에 필요한 산소의 공급은 필수적이다. 밀폐사이클에 있어서 가장 중요한 것은 배기가스중의 탄산가스를 제거하고 순환가스를 산소와 혼합시켜 기관에 공급하는 것으로써 본 연구에서는 탄산가스 냉동액화 분리방법에 의한 탄산가스 처리방법을 채택하였다. Fig. 1은 냉동액화분리방법에 의한 밀폐사이클기관의 시스템을 나타낸다.

3. 밀폐사이클 디젤기관의 사이클 해석

Fig. 2는 디젤기관과 밀폐사이클 디젤기관의 공기사이클의 P-V선도와 T-S 선도를 나타낸 것이다. 이론 사이클에 있어서 각 점의 상태는 다음과 같이 구할 수 있다. 1-2의 과정은 공기를 압축하는 단열압축과정, 2-3의 과정은 압축한 공기에 열량의 공급과 동시에 공기가 팽창되는 정압과정, 3-4의 과정은 팽창과정 이므로 따라서 이론 열효율 η_D 및 평균유�효압력 p_m 은 아래 식과 같이 나타낼 수 있다.

$$\eta_D = 1 - \left(\frac{1}{\epsilon}\right)^{\kappa-1} \cdot \frac{\rho^\kappa - 1}{\kappa(\rho - 1)}$$

$$p_m = p_1 \frac{\epsilon \{ \kappa \epsilon^{\kappa-1} (\rho - 1) - (\rho^\kappa - 1) \}}{(\kappa - 1)(\epsilon - 1)}$$

본 연구에서는 이상 사이클을 대상으로 하고 있기 때문에 온도에 의한 영향을 무시하고 혼합가스의 조성비에 의한 영향만을 고려하였다. 작동가스를 구성하는 가스의 각각의 조성비를 f_{O_2} , f_{N_2} , f_{CO_2} 라 하면 비열비 κ 는 아래 식과 같이 나타낼 수 있다.

$$\kappa = \kappa_{O_2} \cdot f_{O_2} + \kappa_{N_2} \cdot f_{N_2} + \kappa_{CO_2} \cdot f_{CO_2}$$

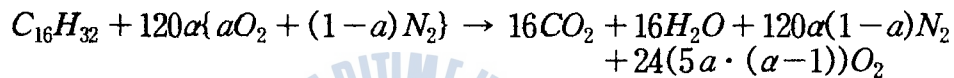
위 식들을 이용하여 순환가스를 질소가스 및 탄산가스로 하였을 경우의 산소와의 조성에 따른 물성치 계산결과를 Table 1에 나타낸다.

4. 밀폐사이클의 열평형에 따른 연소가스 발생량 계산

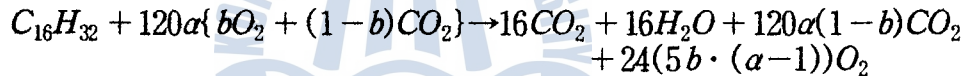
밀폐사이클 기관은 작동가스의 성분 및 조성비에 따라 열역학적 특성이 달라진다. 본 연구에서는 작동가스 성분이 산소와 질소 및 산소와 CO₂로 구성된 경우를 고려하였다.

(1) N₂ 가스를 순환시키는 경우(N₂ Cycle)

순환가스를 N₂ 가스로 할 경우 연료(C₁₆H₃₂) 1mol이 연소한다고 가정할 경우, 작동유체중 O₂ 대 N₂의 조성비를 a : (1-a)이라 하면 화학반응식은 아래 식과 같게 된다.



(2) CO₂ 가스를 순환시키는 경우 (CO₂ Cycle)



5. 실험방법 및 고찰

본 연구에 사용된 실험장치는 실험에 있어서의 충분한 효과를 얻기 위해서 설계치에 충분한 안전율을 고려하여 설계 제작하였다. 실험에 사용한 탄산가스 응축장치는 열교환기, 냉매(액화질소)탱크, 탄산가스 용기 등의 주요 구성부, 응축상태를 확인할 수 있는 투시경과 냉매개스의 양을 측정하기 위한 오리피스 유량계, 탄산개스의 적정 압력을 유지하고 냉매개스의 흡배기를 위한 저온밸브, 그리고 저온온도계, 압력계 등의 측정장치를 부착하였다. Fig. 3은 실험장치를 나타내고, Fig. 4는 실험결과를 나타낸다.

6. 결 론

본 연구에서는 밀폐사이클기관의 운전에서 요구되는 시스템의 구성에 대하여 살펴보았으며 기존의 연구중인 밀폐사이클기관에서 효과적인 배기가스 처리 방법에 대하여 검토하였다.

또한 밀폐사이클 디젤기관의 사이클 해석을 통하여 동작개스의 성분 및 조성 변화에 대한 영향을 조사하였으며, 이 결과 주동작개스의 비열비가 크고 산소개스의 조성비가 높을수록 이론적 열효율은 높게 나타났다. 또한 이때 발생하는 배기가스 발생량과 이에 의한 열평형 관계를 검토하여 시스템 구성 가능성을 확인할 수 있었으며 본 연구에서 검토한 바와같은 탄산가스 냉각기와 탄산가스 응축기를 이용한 밀폐사이클시스템을 고려할 때 이론적 열량계산결과 배기가스중의 CO₂ 개스가 응축 제거된 낮은 온도의 순환개스를 효과적으로 이용하여야만 시스템 구성이 가능함을 알 수 있었다. 그리고 배기가스 응축에 필요한 전열면적을 산출하여 실제 실험용 열교환기를 설계 제작하고 실험을 통하여 밀폐사이클에서 요구되는 탄산개스의 응축현상을 확인하였다. 실험을 통하여 CO₂ 개스의 응축속도는 CO₂ 개스의 압력이 높을수록 냉매개스의 유량이 많을수록 빨라진다는 것을 알 수 있었다.

본 연구에서는 CO₂ 개스의 응축제거 장치를 설계 제작하여 독립적으로 그 성능을 확인하였으나, 실제 배기가스중의 CO₂ 개스를 응축 제거 시키는 효과 및 성능을 확인하기 위하여 실제기관과 연결하여 실험할 필요성이 있다고 판단되며, 이후의 과제로 생각하고 있다.

참고문헌

- 1) A. Fowler, Control of Cylinder Conditions in a Closed Cycle Diesel Engine I.M.E C70/88 p. 119. (1988)

- 2) A. Fowler, The Argo-Diesel Enhanced Underwater Power Source UTC INTERVENTION '88 International Conference, BERGEN, NORWAY, April, (1988)
- 3) R.V. Thompson and A. Fowler, Development of a Depth Independent Closed Cycle Diesel Engine. Proc. Offshore Tech. Conference pp. 211-222. (1988)
- 4) 최재성, 밀폐사이클 디젤기관 한국박용기관학회 제15권 제4호 pp. 264-266. (1991)
- 5) A. Fowler, Closed-Cycle Diesel Engine for Underwater Power Trans, I.M.E.(TM) Vol. 96, Paper 47. (1984)
- 6) 이근수, 장영수, 노승탁 : 샘해에서 작동하는 폐회로 열기관의 배기가스 액화시스템 해석, 대한기계학회논문집 제17권 제4호, pp. 971-979. (1993)
- 7) 신지영, 김동섭, 노승탁 : 수평원관내에서 R22/R142b 혼합냉매의 증발과정 열 전달에 관한 연구, 대한기계학회논문집 제17권 제4호, pp. 971-979. (1993)
- 8) 민의동, 열교환기 이론과 설계(I), 도서출판 장원, pp. 40-52. (1994)
- 9) 민의동, 열교환기 이론과 설계(II), 도서출판 장원, pp. 13-90. (1994)
- 10) Standards of Tubular Exchanger Manufacturers Association, Tubular Exchanger Manufacturers Association Inc, Seventh Edition, pp. 37-38. (1988)

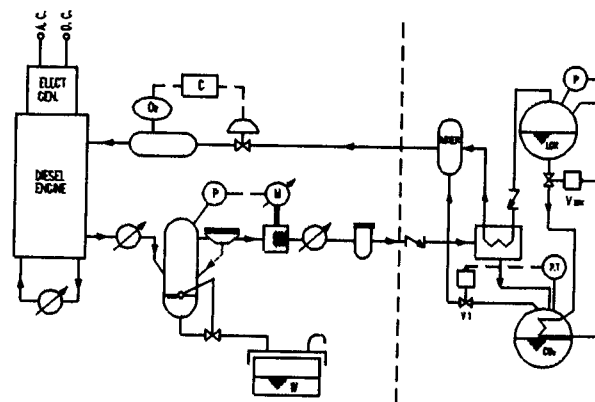


Fig. 1 Simplified Diagram of Closed Cycle Diesel Engine with Exhausts Cryogenic Liquefaction

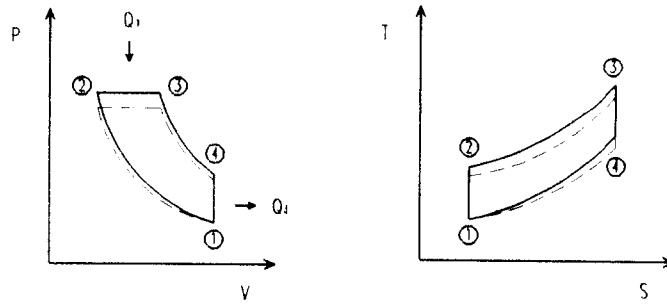


Fig. 2 P-V and T-S Diagram of Diesel Cycle, Closed Diesel Cycle

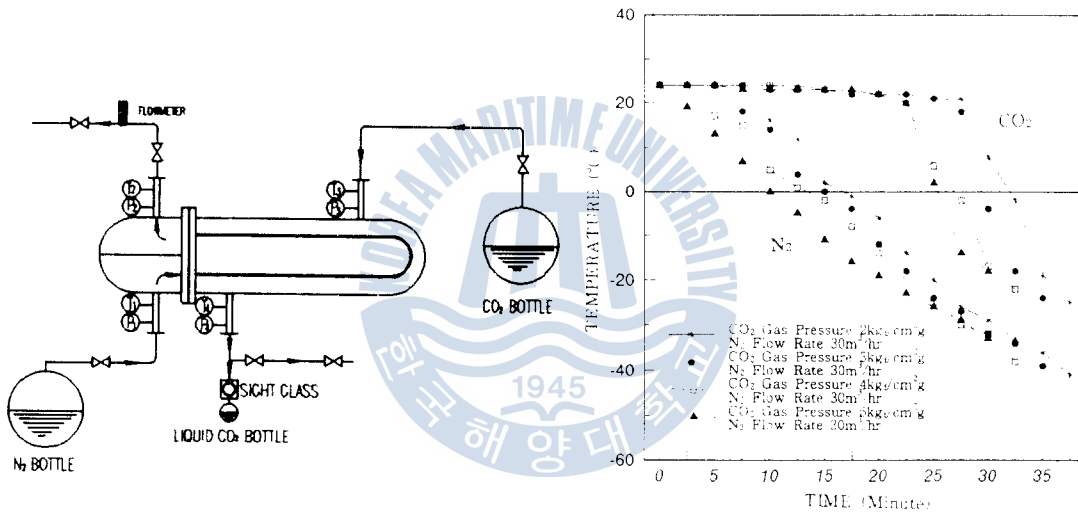


Fig. 3 Schematic Diagram of Experimental Apparatus

Fig. 4 Temperature Variation of N₂ and CO₂ Gases at Exit

Table 1 Calculation Result for Closed Diesel Cycle

Item	Recirculating Gas					
	N ₂			CO ₂		
	0.90	0.80	0.70	0.90	0.80	0.70
κ	1.3992	1.3994	1.3996	1.2966	1.3082	1.3198
η_D (%)	57.91	57.93	57.95	47.48	48.78	50.05
P_m (bar)	9.615	9.620	9.625	7.447	7.666	7.892
P_{max} (bar)	44.22	44.24	44.26	33.49	34.56	35.66
T_{max} (K)	2020	2035	2049	2009	2023	2038

※ 계산조건 $\rho = 2.5, \epsilon = 15, P_1 = 1 \text{ bar}$

