

Two Head Vacuum Pump를 이용한 차량용 산소 발생기 개발

(Development of Oxygen Generator for Vehicle with Two Head Vacuum Pump)

주남규* · 백규열 · 차진석 · 이준배 · 김남호

(Nam-Kyu Joo · Gyu-Youl Baek · Jin-Souk Cha · Jun-Bae Lee · Nam-Ho Kim)

요 약

차량이라는 특수한 장소에 적용되는 산소 발생 장치는 소형/경량화 및 소음, 충격, 발열에 대한 문제점을 무시할 수 없다. 이러한 문제점을 해결할 방법으로 BLDC를 이용하여 모터의 발열을 줄이고 합성 제올라이트 NaX형을 사용한 베드로 소형에서도 고농도의 산소를 발생시킬 수 있게 하였다. 또한, 합성 제올라이트 NaX형의 특성으로 인한 질소의 강제 탈착을 진공펌프 한대로 사용하기 위하여 Two Head 진공펌프 Pump Type을 개발하여 소비 전력을 줄이고 소형/경량화 및 저소음, 충격/발열 문제를 해결할 수 있었다.

Abstract

An oxygen generator, which is applied to a particular space such as automobile, must consider compactness and lightweight as well as problems caused by noise, vibration and heat dissipation.

For these matters, a BLDC motor was adopted to reduce heat while a bed using synthetic zeolite NaX made it possible to generate high-density oxygen with relatively small size. Moreover, owing to the characteristic of synthetic zeolite NaX, a two-head vacuum pump was designed to desorb nitrogen without additional pump unit. Thus all the problems stated above are solved with reduced power consumption.

Key Words : SVC, PSCAD/EMTDC, Voltage Drop, Unbalanced Voltages, Railroad

1. 서 론

산소의 농도는 인체의 건강과 직결되어 있다. 산소의 농도가 낮아질 경우 호흡 곤란을 느끼게 되고 심하면 사망에 이를 수 있으나 그에 반하여 고농도의 산소일 경우 초기에는 운동 능력이 향상되어 피로 회복 효과가 크나 농도가 일정 수준 이상 올라가

면 장시간 흡입 시 산소 중독에 이르게 된다.

특히 차량과 같은 폐쇄된 공간의 경우 이산화탄소의 증가에 비례하여 산소의 공급이 이루어지지 않아 산소의 원활한 공급을 위해서는 외부로부터 공급이 불가피 하다. 그러나 서울의 경우 대기 오염도 및 소음도가 높고 출, 퇴근 시 자동차 효율을 높이는 MTB 농도 또한 인체에 해로울 정도인 49.9[μg]이 검출되고 발암 물질인 벤젠 또한 115[μg]까지 검출되고 있어 1300만대에 이르는 자동차 운전자의 보다 안전하고 쾌적함을 느낄 수 있도록 차량 내부에서 산소의 공급으로 휴식 시 산소 부족에 의한 질식사

* 주저자 : 강원대학교 전기공학과 석사
Tel : 033-653-2015, Fax : 031-737-9298
E-mail : jnk74@never.com
접수일자 : 2003년 12월 22일
1차심사 : 2003년 12월 26일
심사완료 : 2004년 3월 19일

를 막고, 보다 안전한 차량 운행을 위해 차량 내부 산소 농도 유지의 필요성이 대두되었다.

국내에서 생산되는 차량용 산소 발생기의 경우 단상 유도전동기를 사용한 압축기를 사용함으로써 소음, 성능 및 전력 손실이 크고 인버터의 사용으로 인한 비용 부담이 증가된다. 이런 문제점을 해결하고 차량내부 한정된 공간에서의 설치 면적의 최소화를 위한 방편으로 BLDC 전동기를 이용하여 진공펌프로 사용함으로써 소음 및 손실을 줄이고, 90% 이상의 높은 산소 농도를 가질 수 있는 NaX형의 합성 제올라이트를 사용하였고 그에 따르는 질소 탈착 문제를 해결하기 위하여 기존의 방법인 One Head Type의 진공펌프에서 Two Head Type으로의 전환으로 공간 사용의 최적화를 꾀하였다[3].

본 논문에서는 합성 제올라이트 NaX형을 사용한 VSA방법의 차량용 산소 발생기에 Two Head Type의 진공펌프를 사용하였고, 차량용 산소 발생기에 있어서 중요한 요소인 소음, 열 및 소비 전력에 대한 BLDC 진공펌프의 신뢰도에 대해 실험 하였다.

2. 산소 발생기

2.1 산소 발생기의 종류

산소 발생기의 종류로 PSA법, 멤브레인법, 평막법 등이 있다.

멤브레인 법은 막에 대한 선택적인 가스 투과 원리를 이용한 것으로 장치가 간소하고 가공이 용이하나 고압 Compressor의 사용이 불가피하여 그에 따르는 소음 문제와 막의 결로 현상으로 인한 내부 세균 번식의 문제점이 있고, 평막 법은 분자가 막에 녹는 속도의 차이를 이용하여 기체를 분리하는 방법으로 질소에 비해 산소의 용해도가 높은 것을 이용한 것이다. 이 방법의 경우 소형/경량화는 가능하나 산소의 농도가 28~32%로 저 농도이다[6].

PSA방법은 제올라이트에 산소와 질소의 선택적인 흡착력을 이용하여 산소를 발생하는 방법으로 고농도의 산소를 발생시킬 수 있으나 다수의 베드 사용이 필요하다.

본 연구에서 개발한 차량용 산소 발생기의 구성으로 BLDC를 이용한 진공펌프를 사용하여 기존의 단

상 유도 전동기에서 생겨났던 소음, 수명, 열 손실의 문제를 개선하였고, 기존의 PSA 방식의 모듈은 저압 진공펌프의 사용 및 높은 산소 농도에 대한 장점을 가지고 있었으나, 베드 내 제올라이트에서 자연 탈착한 질소가 외부의 흡입 없이 배출되었기 때문에 베드의 재생 시간이 필요하여 다수의 베드가 필요하였고 이를 보완한 합성제올라이트 NaX형의 베드를 사용하여 적은양의 베드로도 고농도의 산소를 배출할 수 있게 하였다.

그러나 제올라이트 NaX형의 경우 질소의 흡착성이 강하여 강제 탈착이 불가피 하기 때문에 Two Head를 사용하여 산소의 흡입과 솔레노이드 밸브의 사용으로 일정 시간에 질소의 강제 탈착 및 배출을 유도하였다.

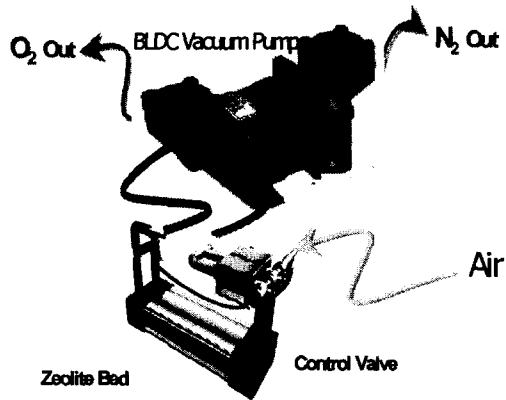


그림 1. 차량용 산소 발생기의 전체적인 구조
Fig. 1. A Picture of Oxygen Generator for Vehicle

2.2. Vacuum Pump의 설계

2.2.1 공기 압축기의 분류

출력에 의한 분류: 0.2~14[kW]의 것을 소형, 15~75[kW]의 것을 중형, 75[kW]를 초과하는 것을 대형으로 분류한다.

토출 압력에 의한 분류: 7~8[kg/cm²]의 것을 저압, 10~15[kg/cm²]의 것을 중압, 15[kg/cm²]이상의 것을 고압으로 분류한다.

(1) 산소 발생기용 진공펌프

차량용 산소 발생기용 진공 펌프로 사용될 방법은 구조가 간단하고 중,소형 마력의 기종에 유리한 피

스본 방식을 사용하였다.

전동기의 회전운동을 Cam으로 직선운동으로 바꾸어서 피스톤을 상하 운동 하게하여 정,역 밸브를 열고 닫으면서, 공기의 압력과 량을 조절하여 이동시키는 것이다[4].

차량용 산소 발생기에서는 BLDC 모터의 사용으로 장시간 사용 시에도 모터 온도 상승은 33도에서 머물러 있으므로 냉각 팬의 사용이 불필요하기 때문에 산소 및 질소의 흡입 및 배출을 진공펌프 하나를 사용하여 하기 때문에 소형 경량화 하였다. 원운동의 모터에서 수직 운동으로의 변환으로 원운동의 모터에서 수직 운동으로의 변환으로 오는 모터 베어링의 스트레스에 의한 소음문제가 대두되어 복렬의 베어링을 채택함으로써 베어링 스트레스를 감소시켜 소음 문제를 해결하였다.

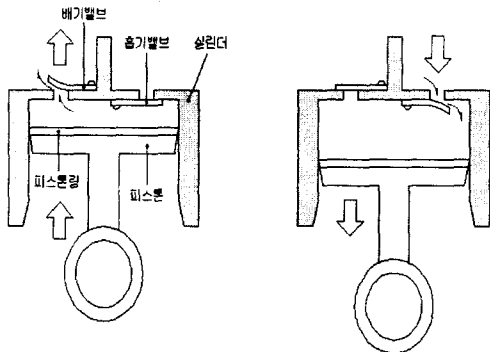


그림 2. 피스톤의 구조
Fig. 2. A Diagram of Compressor Head Structure

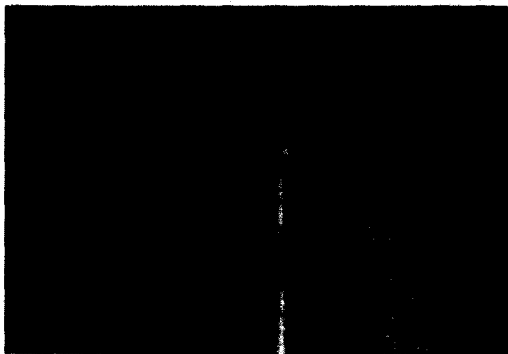


그림 3. 복렬의 베어링
Fig. 3. A Picture of Shaft with Parallel Bearing



그림 4. two head BLDE 진공 펌프
Fig. 4. Two Head BLDC Vacuum Pump

(2) 솔레노이드 밸브 제어 회로

기존의 방법에서 2개의 베드를 사용하고 베드내에 흡착된 질소를 강제 탈착하기 위한 진공펌프의 구동에 의한 베드 선택을 위하여 솔레노이드 밸브를 통한 제어가 불가피하다. 최적의 산소 농도를 얻기 위한 베드 사용 시간은 5초이기 때문에 솔레노이드 밸브 제어 회로는 5초를 기점으로 베드의 이용 시간을 설정하였다.

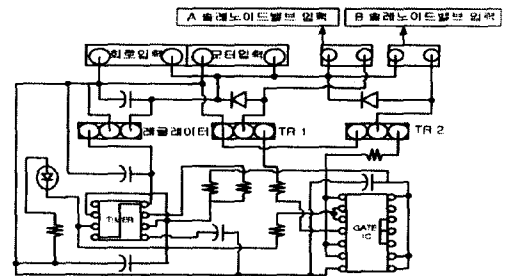


그림 5. 솔레노이드 제어 회로
Fig. 5. A Control Circuit for Solenoid Valve

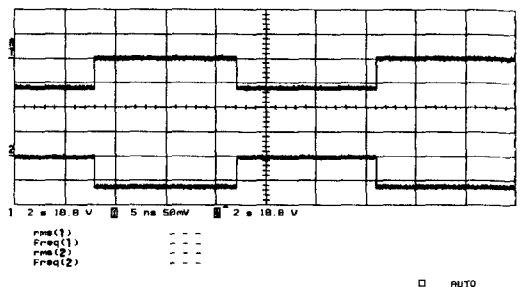


그림 6. 솔레노이드 제어 회로 파형
Fig. 6. A Operating Waveform of Solenoid Valve

3. 실험 및 고찰

3.1 온도 특성 실험

모터의 온도는 폐쇄 된 공간에서 중요한 요인으로 작용 할 수밖에 없다.

그러므로 때문에 모터의 온도 특성 시험은 차량용 산소 발생기용 모터로 적합 여부를 결정 짓는 중요한 문제이다.

이 실험은 같은 장소에서 동시에 운전을 시키고 온도 특성을 측정 하였다.

단상 유도 전동기는 공극 자속에 다수의 고조파가 포함되어 있어 고조파에 의한 모터가 가열됨을 알 수 있었다.

단상 유도 전동기의 2시간이후 78도에서 안정화 되어 차량에서 장시간 사용 시 위험함을 알 수 있었고, BLDC 전동기의 경우 36.5도에서 안정화 되어 폐쇄된 공간에서도 전동기의 온도에 의한 부작용을 방지할 수 있음을 알 수 있다.

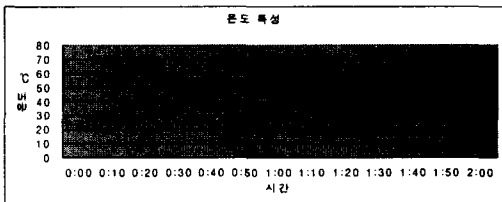


그림 7. 온도 특성 그래프
Fig. 7. A Graph of temperature for BLDC & a Single Phase Induction Motor

3.2 소음 측정 실험

음향 파워는 단위 시간에 음원으로부터 방출되는 전체 에너지를 뜻하고, 이 음원의 에너지를 임의의 기준값에 대한 다른 값의 상용 대비수로 decibel로 사용한다.

음향 파워레벨은

$$PWL = 10 \log 10 \frac{W}{W_0} [dB] \quad (1)$$

W 는 소음원에 의한 소리의 세기

W0는 소리의 세기에 대한 기준값이며 그 기준값은 (1*10⁻¹²) 이다[5].

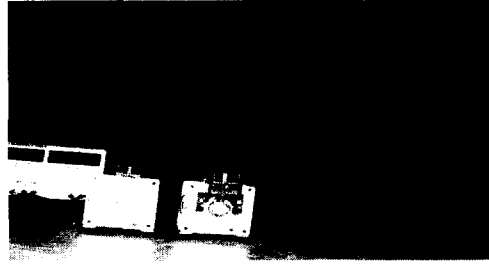


그림 8. 실험 장비
Fig. 8. A Picture of Noise Measuring Device

처음 측정한 값은 단상 유도 전동기와 BLDC 전동기와의 초기 소음 측정 시험 이였고 여기서 단상 유도 전동기의 소음은 46[dB]로 BLDC 전동기의 소음인 40[dB]에 비하여 현저히 높음을 알 수 있다.

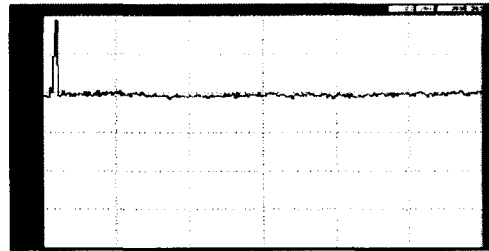


그림 9. BLDC 전동기 소음
Fig. 9. An Initial Noise of BLDC Motor

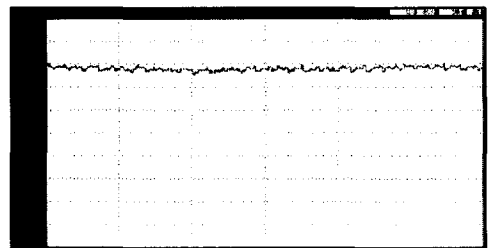


그림 10. 단상 유도 전동기 소음
Fig. 10. An Initial Noise of Single Phase Induction Motor

단상 유도 전동기의 경우 전류와 전압의 위상차에 의한 파형으로 소음이 BLDC Motor보다 커짐을 알 수 있다.

그러므로 차량용 산소 발생기를 위한 진공펌프로 단상 유도 전동기에 비해 온도 특성 및 소음 특성이

Two Head Vacuum Pump를 이용한 차량용 산소 발생기 개발

우수한 BLDC 전동기의 사용이 적합함을 알 수 있어 Vacuum Pump용 모터로 BLDC 사용하였고 냉각팬이 불필요함으로 샤프트 양측을 모두 이용하여 전동기의 이용률을 높일 뿐만 아니라 최소의 면적으로 차량에 장착 할 수 있도록 Two Head Type의 진공펌프를 사용하였다.

그림 11,12는 Two Head Type의 BLDC 진공펌프와 One Head를 사용한 BLDC 진공펌프와의 초기 소음 측정 시험이다.

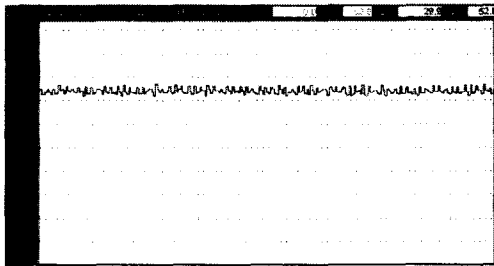


그림 11. One Head BLDC 진공펌프 초기 소음
Fig. 11. An Initial Noise of One Head BLDC Vacuum Pump

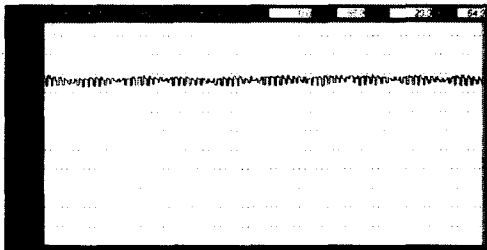


그림 12. Two Head BLDC 진공펌프 초기 소음
Fig. 12. An Initial Noise of Two Head BLDC Vacuum Pump

그림 11,12의 소음 파형에서 One Head BLDC 진공펌프의 초기 소음이 Two Head BLDC 진공펌프에 비해 2[dB]이상 작음을 알 수 있으나 합성 제올라이트의 강제 탈착을 위한 진공펌프의 사용을 생각한다면 공식 1에서 알 수 있듯이 Two Head BLDC 진공펌프가 비용 및 소형화뿐만 아니라 소음에서도 1[dB]의 이득이 있음을 알 수 있다.

초기 소음뿐만 아니라 진공펌프 신뢰도를 위하여 100동안 연속 동작 실험에서도 Two Head BLDC를

사용한 Vacuum Pump의 경우 초기 소음이 One Head BLDC를 사용한 Vacuum Pump 보다 높았으나 캠의 상하 수직 부하에 의한 편 부하 충격이 One Head에 비해 완화가 되어 소음 변동이 적음을 알 수 있었고 온도 또한 36.5도로 진공펌프의 연속 운전에도 처음과 같은 출력을 낼 수 있어 효율 면에서 우수함을 알 수 있었다.

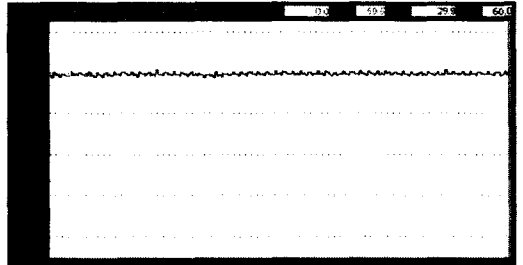


그림 13. 100일동안 연속 동작후 One Head BLDC 진공펌프의 소음
Fig. 13. An Aging Noise of 100 Days of One Head BLDC Vacuum Pump

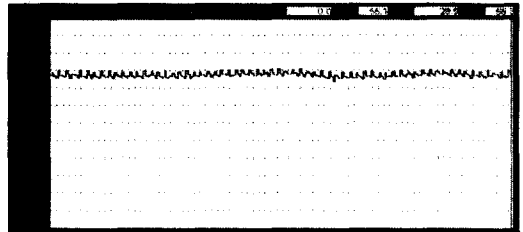


그림 14. 100일동안 연속 동작후 Two Head BLDC 진공펌프의 소음
Fig. 14. An Aging Noise of 100 Days of Two Head BLDC Vacuum Pump

3.3 소비전력

본 논문에서 사용하는 산소 발생장치의 구조는 그림 15와 같다.

입력 전류를 비교해 보면 One Head 진공펌프의 경우 1.104[A] 이고 Two Head 진공펌프는 1.64[A]이나 그림 15에서 알 수 있듯이 One Head 진공펌프가 병렬로 2대가 사용되어야 하므로 합산 입력 전류는 2.208[A]로 높은 입력 전류가 필요하고 산소 농도는 56.8%로 동일하며 베드 용량에 따른 풍량 또한 20[l]로 동일하다.

그러므로 소비전력 측면에서도 Two Head 진공 펌프의 효율이 우수함을 알 수가 있었다.

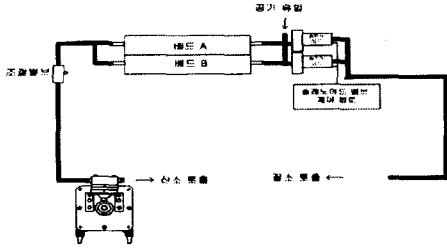


그림 15. RVSA 방식 모식도
Fig. 15. A Diagram of Oxygen Generator Structure of Developed RVSA Method

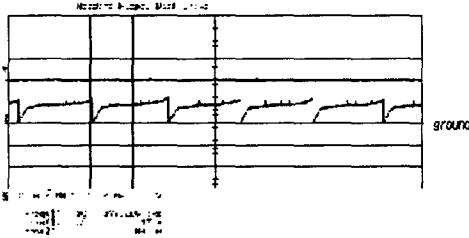


그림 16. two head Vacuum Pump 입력전류
Fig. 16. input current of One head Vacuum Pump

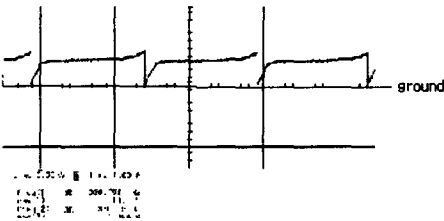


그림 17. one Head 진공펌프 입력전류
Fig. 17. input current of One head Vacuum Pump

3. 결 론

BLDC 전동기를 사용한 Two Head 진공펌프 Type의 차량용 산소발생장치를 개발함으로써 기존의 단상 유도전동기 부 One Head Type의 문제점으로 대두되었던 소음면면을 비교하여 보았을때 46[dB]이었던 단상 유도 전동기에 비해 BLDC Motor의 경우 40[dB]로

현저히 저하 되었음을 알 수 있었고 One Head Type의 BLDC Motor의 입력 전류인 1.104 비해 Two Head Type의 BLDC Motor의 입력 전류는 1.64[A]로 높았으나 본 산소 발생기의 특성은 강제 질소 탈착을 위한 진공펌프의 사용에 의한 합산 입력 전류 2.208[A]에 비하여 현저히 낮아 그 효율성면에서 뛰어난을 알 수 있었을 뿐만 아니라 온도 특성 개선 및 소비 전력 저감은 물론 소형, 경량화를 이룰 수 있었다.

References

- (1) JACEK F. CIERAS "PERMANENT MAGNET MOTOR TECHNOLOGY" pp. 227-276.
- (2) P.C SEN "PRINCIPLES OF ELECTRIC MACHINES AND POWER ELECTRONICS" pp. 337-387.
- (3) 안진수, 서중석, 이용래, 전관식, 박현수 "제올라이트(A, 13X, Y MORDENITE, CHABAZITE)의 이온 교환 특성 연구"공업화학 제 5권 1994 pp. 949-956.
- (4) 박봉진 저 "공기압의 실제" 세진사 pp. 26-42.
- (5) 차일환, 옥정권 공저 "소음진동공학" 문운당 pp. 15-25.
- (6) 김종남 주국택, 김종득, 조순행 "PSA법에 의한 공기 분리" 화학 공업과 기술 1994, 제 12권 4호PP 27-31.

◇저자소개◇

주남규 (朱南奎)

1974년 9월 30일생. 2002년 강릉대 제어계측공학과 졸. 2004년 2월 강원대 전기공학과 석사 졸업예정.

백규열 (白圭烈)

1970년 4월 18일생 1994년 강원대 전기공학과 졸, 1996년 8월 강원대 전기공학과 대학원 석사 졸. 2003년 8월 강원대 전기공학과 박사과정 수료.

차진석 (車珍錫)

1963년 6월 2일생, 1985년 성균관대 전기공학과 졸. 현 (주) GI-Tech 책임연구원.

이준배 (李準培)

1966년 10월 13일생, 1989년 서울대 공학사, 1996년 KAIST 기계공학 석,박사 졸업. 전 LG전자기술원 선임연구원, 전 서일대학 자동차공학과 겸임교수, 현 (주)JeJ 대표이사.

김남호 (金南豪)

1952년 5월 12일생, 1974년 서울대 전기공학과 졸. 1997년 서울대 전기공학과 석사. 1993년 서울대 전기공학과 박사. 1977-82 한국전기연구소 선임연구원, 현재 강원대학교 전기전자정보통신공학부 교수.