⊙ 研究論文

외측 회전자형 심구형 유도전동기의 특성

김 현 수* · 안 병 원** · 김 성 환***

The characteristics of deep slot outside rotor type IM

H-S Kim* · B-Y Ahn** · S-H Kim***

Key words : Squirrel cage induction motor(농형 유도전동기), Axial flow fan(축류팬), Deep slot IM(심구형 유도전동기), Outside rotor IM(외측 회전자형 유도전동기), Dynamometer(동력계)

Abstract

This paper presents a developed deep slot squirrel cage induction motor for the fan. Nearly all of the induction motors consist of two parts, rotor and stator, and the position of rotor is generally inside of stator. However, the rotor of the developed induction motor is located outside of stator.

It is believed that the outside rotor type induction motor is suitable for the fan due to its large inertia, that is, it is considered that the change of air flow rate resulting from input power or load fluctuation is reduced. It is considered that the results of this paper can be used for the development of the outside rotor type induction motor.

Ⅰ. 서 론

근래에 들어서 산업용 및 공조용 팬의 사용이 급증하고 있다. 산업용은 각종 기계의 냉각용, 먼지 및 기름방울 포집용, 건조용 등으로, 공기조화용은 냉난방, 공기청정기 등 실내공조 시설의 공기순환용으로 이용한다. 산업용 팬의 경우 고속화, 대용량화 등으로 인하여 발생소음이 커지고 있는 반면 작업자들의 정숙한 작업환경에 대한 요구는 점점 더 증대하고 있다. 공조용기기의 경우 쾌적한 실내 온도, 청정한 공기를 공급하기 위한 기능뿐만 아니라 소음을 최소화한 조용한 운전이 요구되어진다. 이러한 이유로 팬의 소음방지대책은 필수적인 요소로 대두되고 있다.

한편 팬에 사용되는 유도전동기는 산업현장에서 많이 사용되는 품목으로 품목별 전력 소비율이 가장 큰 제품이다. 따라서 유도전동기의 효율 향상은 국가 전체의 전력소비량의 감소로 직결되는 중요한 문제이다. 이 효율의 향상을 위해 많은 연구와 노력이 기울여지고 있다.

* 한국해양대학교 대학원 박사과정
** 목포해양대학교 기관공학부
*** 한국해양대학교 선박전자기계공학부

지금까지는 주로 산업용 및 공조용 축류팬으로 유도전동기를 사용하여 왔으나, 이러한 일벌 전동기를 사용함으로써 팬의 전동기 부분이 돌출 되어 송풍량을 제한한다든지 곡관을 설치해야하는 문제점을 가지게 된다. 또한 유도전동기의 설계 시에는 전동기의 효율과 내구성 그리고 소형경량화가 중요한 요소로 지적되어 왔다.

따라서 동력원인 전동기의 위치는 축류팬의 성능에 큰 영향을 주는 요소이므로 축류팬용으로 사용될 특수한 유도전동기의 개발이 필요한 상황이다.

기존의 외측 고정자에 의한 내측 회전자 구동방식의 팬과 새로운 방식의 내측 고정자에 의한 외측 회전자 구동방식의 팬의 비교분석을 통해서 주로 축류형 팬 소음 발생원인, 전동기의 효율, 내구성, 경량 소형화에 관해서 연구를 진행하고자 한다. 현재 사용되고 있는 전동기는 회전자가 축으로 연결되어 팬을 돌리는 회전력을 공급하지만 본 논문에서 제안하고자 하는 방식은 고정자를 내측 축으로 하여 고정하고 외측 회전자에 날개를 부착하는 방식이다. 이 방식은 관이나 덕트내에 팬을 설치할 수 있으므로 관이나 덕트를 구부릴 필요가 없고 비등에 의한 방수 문제를 해결할 수 있는 장점이 있다.

따라서, 본 논문에서는 산업용 및 공기조화용 축류형 팬의 동력원으로 사용될 새로운 외측 회전자형 유도전동기 개발과 관련된 기술적인 토대를 마련하고자 한다.

2. 설계된 3상 유도전동기의 구조

설계된 축류팬용 3상 유도전동기의 전체적인 촌법은 Fig. 1과 같다.

3상 유도 전동기에서는 3상 권선에 의해 회전자계를 만든다. 보통, 전원에 접속되는 3상 권선은 고정된 철심 속에 감겨진다. 이 고정 부분을 고정자(stator)라 하는데 본 논문에서는 일반 유도전동기의 회전자를 고정자로 사용하여 바깥부분이 회전하도록 하였다. Fig. 2는 설계된 유도전동기의 고정자 및 회전자 단면을 나타낸다. 고정자는 철심 속의 자속이 시간과 함께 변하므로 두께 0.5mm의 규소강판을 겹쳐 쌓아서 고정자 철심을 만들었다.

회전자 철심도 규소강판을 겹쳐 쌓아서 만든다.

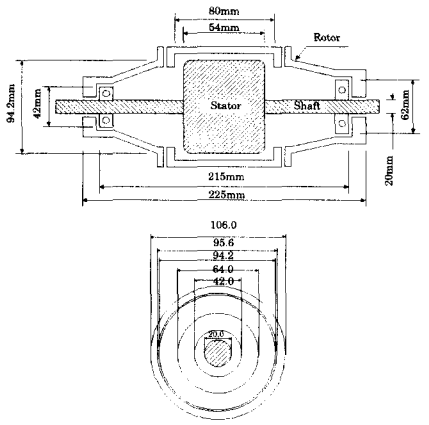


Fig. 1 Dimension of developed IM for axial flow fan

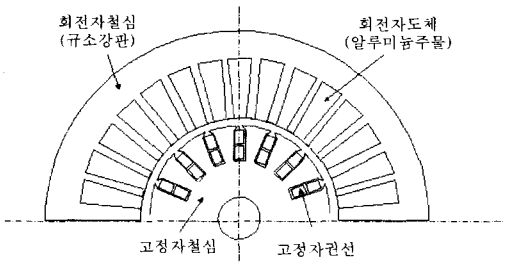


Fig. 2 The structure of deep slot type IM

슬롯속에 알루미늄도체를 다이캐스트해서 양단을 원형의 단락환(end ring)으로 단락한 농형 회전자로 설계하였다. 슬롯 속의 도체는 기동시의 높은 토크특성을 얻기 위하여 깊이가 큰 심구형 농형 회전자(deep slot squirrel-cage rotor)로 설계하여 2중농형 특성을 갖도록 하였다.

2-1 심구형 농형 유도전동기

심구형 농형회전자의 슬롯 모양은 Fig. 3(a)에 나타내는 바와 같이 슬롯 속의 폭에 비해서 깊이가 깊게 되어 있으며 심구형의 효과를 크게 하기 위해서 Fig. 3(a)와 같이 고정자 쪽 도체를 좁게 하였다. Fig. 3(b)는 2차권선(회전자)의 등가회로로써 저항과 코일로 나타낼 수 있다.

도체에 전류가 흘렀을 때의 누설자속은 Fig. 4와 같게 되어 도체의 하부 쪽일수록 많은 누설자속과 쇄교하므로 하부 쪽의 누설 리액턴스가 크다.

기동 시에는 회전자와 회전자계간에 상대속도가 크기 때문에 회전자 주파수가 높다. 따라서 Fig. 3(b)의 2차권선의 등가회로에서 X_L보다는 저항성분 쪽의 상부도체에 많은 전류가 흐르고, 코일성분이 많은 하부에는 적게 흐르게 된다. 운전 중에는 회전자계와 회전자의 속도차가 거의 나지 않으므로 회전자의 주파수가 낮아 상부 코일이 굵은 쪽의 저항이 적기 때문에 굵은 쪽으로 흐른다.[1),2)]

직사각형 슬롯의 경우, Fig. 5에 나타내는 바와 같이 슬롯의 폭을 b[m], 도체의 폭을 a[m], 도체의 높이를 h_1[m], 도체의 저항률을 $\rho[\Omega/m]$, 슬롯속의 도체, 절연물 등의 투자율을 $\mu[H/m]$, 철심의 투자율을 무한대, $\omega = 2\pi sf$ 및

$$\alpha = \sqrt{\frac{2\pi\mu\omega\alpha}{b\rho}} = 2\pi\sqrt{\frac{\mu fsa}{b\rho}}$$

$$\nu = (1+j)\alpha$$

라 놓으면 도체속의 전류밀도 σ_h는 도체 밑면부($h=0$)의 전류밀도 σ_o또는 정상부($h=h_1$)의 전류밀도 σ_1을 기준으로 취해 다음 식으로 나타낼 수 있다.[3)]

$$\sigma_h = \sigma_0 \cosh\nu\,[A/m^2] \qquad (1)$$

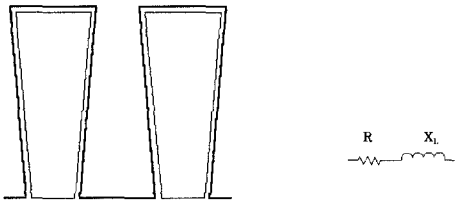
$$= \frac{\sigma_1}{\cosh h_1\nu}\cosh\nu h\,[A/m^2]$$

$sf=0$일 때의 직류저항을 r_0, 이 때의 직류 인덕턴스를 L_0라 하고 sf에 있어서의 교류 실효 저항을 r_s, 교류실효 인덕턴스 L_s라 하면 저항비 및 인덕턴스비는 아래식들이 되며 저항, 인덕턴스의 주파수에 의한 변화를 나타낸다.[4)]

$$K_r = \frac{r_s}{r_0}\alpha h_1 \frac{\sinh 2\alpha h_1 + \sin 2\alpha h_1}{\cosh 2\alpha h_1 - \cos 2\alpha h_1} \qquad (2)$$

$$K_L = \frac{L_s}{L_0}\frac{3}{2\alpha h_1}\cdot\frac{\sinh 2\alpha h_1 + \sin 2\alpha h_1}{\cosh 2\alpha h_1 - \cos 2\alpha h_1} \qquad (3)$$

심구형 농형 유도 전동기의 토크T, 1차전류 I_1의 슬립에 대한 특성은 2중농형의 특성과 거의 같게 나타난다.



(a) Shape of Slot (b) Equivalent Circuit

Fig. 3 The winding of deep slop squirrel cage rotor

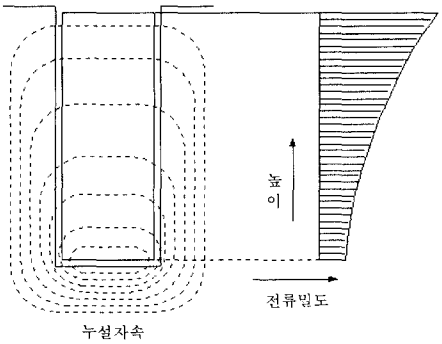


Fig. 4 Leakage flux at deep slot type winding

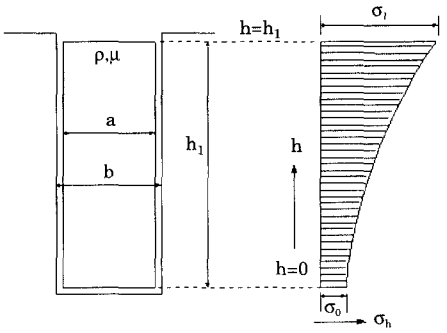


Fig. 5 Current density at deep slot type winding

2-2 재료실험

Table 1은 분광분석기에 의해서 분석된 규소강의 성분함량이다. 철이 약 93%, 규소가 약 3.5%, 탄소가 약 1.5% 정도로 주를 이루고 있다.

규소 함량이 증가하면 자성은 향상하지만 가공성이 나빠지므로 실제 규소강판에는 규소 약 5% 이하가 쓰이며 3% 부근이 가장 많다.

Table 1. Chemical Compositions of Stator

Unit : [%]

재 료	함 량	재 료	함 량
Fe	92.860	Cu	0.810
Si	3.520	P	0.330
C	1.540	Ni	0.250
Mn	0.410	Mo	0.160
Cr	0.095	기타	0.025

2-3 제안된 축류팬용 유도전동기

Fig. 6은 제안된 유도전동기의 고정자축을 보이고 있다. 고정자는 일반 전동기의 회전자에 해당하는 형상으로 성층철심을 적층하고 이곳에 슬롯을 내어 권선을 감았다.

Fig. 7은 회전자로 일반전동기의 고정자에 해당하는 모양을 가지며 여기에서는 사각의 슬롯을 만들어 심구형으로 하여 알루미늄을 다이캐스팅 하였고 팬의 익(날개)를 설치하여 직접 회전하게 할 수 있도록 설계되어 있다.

Fig. 8은 외측에 팬의 날개를 달아 완전한 한 세트의 팬의 형태를 갖추고 있다. Fig. 9는 팬을 덕트내에 설치하여 제안된 전동기의 성능분석을 하기 위한 실험장치세트를 보여주고 있다.

Fig. 6 Constructed stator of IM for axial flow fan

Fig. 7 Constructed rotor of IM for axial flow fan

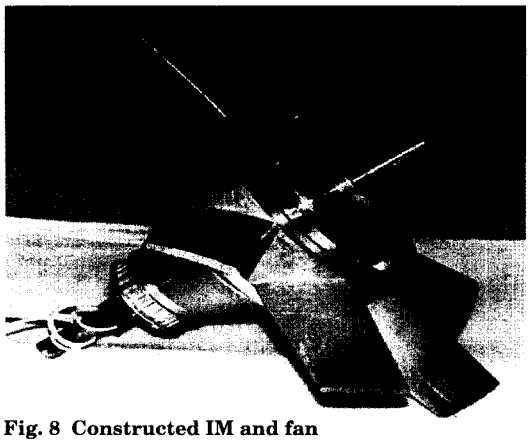


Fig. 8 Constructed IM and fan

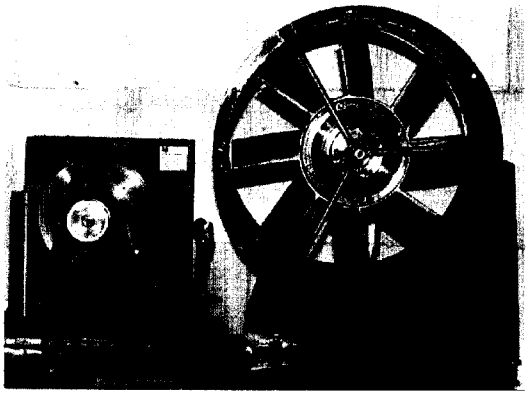


Fig. 9 Experimental apparatus for functional analysis

3. 전동기 성능시험

3-1 전압변동에 따른 운전특성

Fig. 10, 11은 전압이 변함에 따라 달라지는 전동기의 전력, 회전수 그리고 전류특성을 나타낸 것이다. Fig. 10은 전압이 210V 정격전압에 도달할 때까지의 부하 시와 무부하 시에 회전수변동특성과 전력의 변화추이를 나타낸 그래프이고, Fig. 11은 부하와 무부하 시에 전압이 정격에 도달할 때까지의 전류특성을 나타내고 있다.

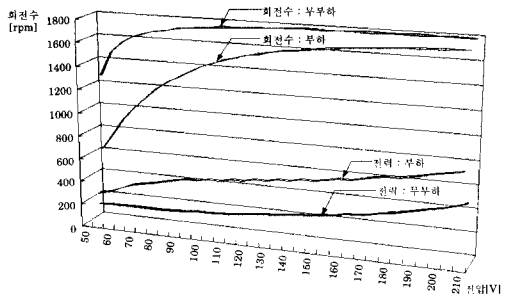


Fig. 10 Power and rpm characteristics at load/no load

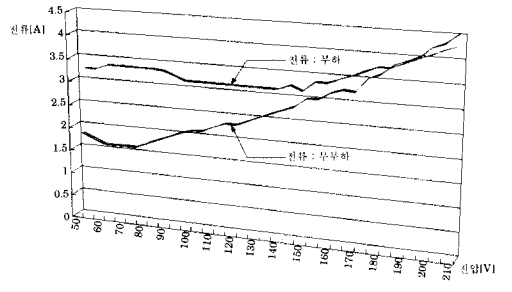


Fig. 11 Characteristics of current at load /no load

3-2 성능시험

Fig. 12는 개발된 전동기의 성능분석을 하기 위한 실험장치의 전체 시스템 구성을 보여준다.

3상 전원이 Power Analyzer를 통하여 유도전동기에 인가되면, Power Analyzer에서 전압, 주파수, 전류 등의 데이터를 PC로 전송하며, 유도전동기는 동력계(Dynamometer)와 연결되며, 획득된 데이터는 Dynamometer Controller를 통하여 PC에 전송된다.

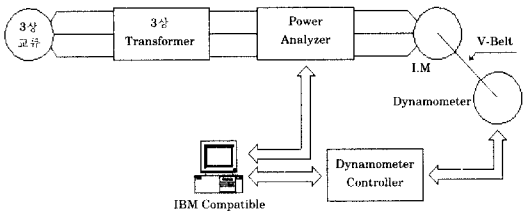


Fig. 12. Block Diagram of overall System

Fig. 13~19는 본 연구에서 개발된 축류팬용 농형유도전동기의 특성을 Fig. 12의 성능실험장치를 이용하여 측정한 것이다.

즉, 전동기를 정격 회전수로 운전 중에 부하토크를 가하여 속도가 "0"으로 될 때까지의 특성을 나타낸 그래프이다. 왼쪽의 횡축을 3상 220V를 인가하여 실험한 결과이고, 오른쪽의 횡축은 120V를 인가하여 얻은 실험결과이다.

Fig. 13은 120V와 220V로 각각 운전을 하다가 정격속도에서 회전자 축에 브레이크를 걸어 회전수가 감소함에 따라서 변화하는 전류특성을 보여주고 있다. 처음에는 관성력이 큼으로써 전류변화가 거의 없다가 서서히 증가해감을 알 수 있다. 위쪽 그래프가 220V, 아래쪽이 120V때의 특성이다. 이론상 그래프는 점선과 같이 되어야 하나 회전 rotor의 마찰손실과 여자전류에 의해서 동기속도 부근에서 "0"으로 되지 않고 일정한 값으로 유지되는 것으로 생각된다.

Fig. 14는 전동기 토크시험 시 전압의 변화를 살펴본 그래프이다. 120V/220V 일정전압을 걸었다가 브레이크가 걸리면서 전원장치의 내부저항에 의해서 전압강하를 일으키는데 220V일 때 더 많은 전압강하가 일어나는 것은 토크를 내기 위해 더 많은 전류가 소모됨에 의한 것으로, 진동적인 특성을 나타내는 것은 시험 시 동력의 전달이 고무 벨트에 의하여 이루어 졌기 때문인 것으로 판단된다.

Fig. 15는 120V/220V 정격 회전수로 운전을 하다가 브레이크 동작에 의한 전력의 변화를 나타낸 것으로 전류특성과 비슷함을 알 수 있다.

Fig. 16은 전동기 토크시험 시 역률을 나타낸 것으로 약 0.55정도임을 알 수 있으며 PWM (Pulse Width Modulation)인버터 운전을 행한다면 역률을 높일 수 있을 것으로 생각된다.

Fig. 17은 효율을 나타낸 그래프로 최고효율이 약 0.78정도로 나타났으며 실험장치의 고무벨트 특성 때문에 처음 시작부분과 최고치 부분에서 약간의 오차가 있으리라 사료된다.

Fig. 18은 전동기 토크시험 시 토크의 변동 특성을 나타내고 있다. 저속역 즉 구속력으로 인한 슬립의 증가 시에 특히 큰 토크특성을 나타내는 심구형 전동기의 특성을 잘 보여주고 있다.

Fig. 19는 전동기 토크시험 시 출력의 특성을 나타내고 있다.

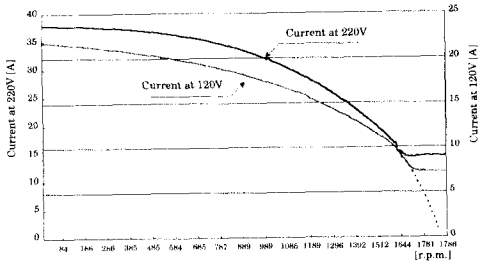


Fig. 13 Characteristics of current

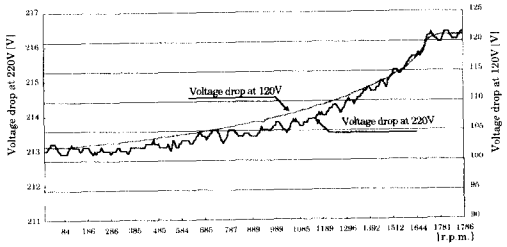


Fig. 14 Characteristics of voltage

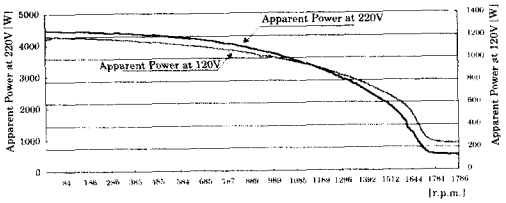


Fig. 15 Characteristics of power

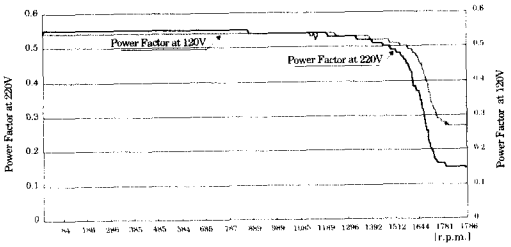


Fig. 16 Characteristics of power factor

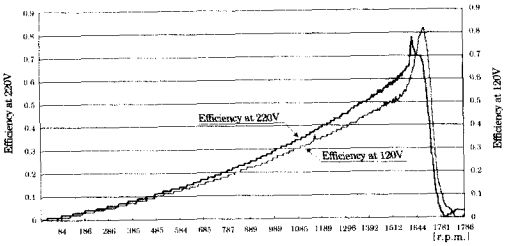


Fig. 17 Efficiency of constructed IM

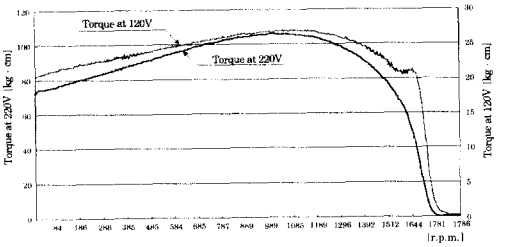


Fig. 18 Characteristics of torque

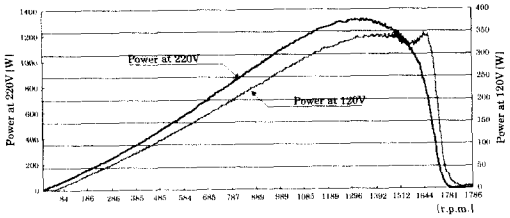


Fig. 19 Characteristics of output

4. 결 론

현재 대부분의 축류팬용 유도전동기는 바깥부분을 고정자로, 안쪽부분을 회전자로 사용하고 있다. 그러나 본 연구에서는 이 둘의 역할을 바꾸어 안쪽부분이 고정자가 되고 바깥쪽부분을 회전자로 하여 회전자의 외측에 팬의 날개를 부착할 수 있도록 하였다. 전체적으로 소형경량화 함으로써 팬의 설치나 소음, 방수문제 등에 유리한 전동기를 개발하고 그 특성을 분석하였다.

1. 회전자 도체는 규소강판(silicon steel plate)을 겹쳐 쌓아서 만든 원통형이며 내부에 회전자가 들어갈 수 있도록 원형으로 비어 있으며, 내측에서 외측부분 방향으로 심구형을 만들고 이 속에 알루

미늄 도체를 다이캐스팅 하였다. 회전자에 사용되는 규소강판은 규소함유량이 3.5%, 두께가 0.5[mm]의 것을 사용하였다.

2. 안쪽부분의 고정자도 규소강판을 겹쳐 쌓아서 만들었으며 여기에 홈을 파고 1차 전류가 흐를 수 있도록 하였다.

3. 기동토크는 220V에서는 82Kg?cm를 낼 수 있었으며 고속 시는 2차 저항이 작은 농형으로 운전되는 특성을 갖고 있다.

4. 역률은 약 0.55 정도이며, 효율은 0.78 정도의 특성을 나타내었다.

참 고 문 헌

[1] 고두석, 안병원, "전기공학", 효성출판사, p.187~227, 1998.

[2] 金起俊, "現代電氣機器", 성안당, p.197~247, 1994.

[3] 竹內壽太郎, 磯部直吉, "新版 電氣器機設計學", オーム社, p.201~206, 1996.

[4] Paul C. Krause, "Analysis of electric machinery", p.164~209, 1986,

저 자 소 개

김현수(金炫秀)
1970년 11월생. 1993년 한국해양대학교 기관공학과졸업. 1999 목포해양대학교 대학원 졸업(석사). 2002년 한국해양대학교 대학원 졸업예정(박사).

안병원(安秉元)
1963년 4월 10일생. 1986 한국해양대학교 기관공학과졸업. 1991 한국해양대학교 대학원 졸업(석사). 1996 한국해양대학교 대학원 졸업(박사). 1996~현재 목포해양대학교 조교수.

김성환(金成煥)
1954년 11월생. 1979년 한국해양대학교 기관학과 졸업, 1990년 부경대학교 대학원 졸업(석사). 1998년 부산대학교 대학원 졸업(박사). 현재 한국해양대학교 선박전자기계공학부 교수.