

압전식 스마트 포지셔너의 구동 원리 및 연구 동향 Smart Positioner using Piezoelectric Actuator

윤소남 · 김홍희

S. N. Yun and H. H. Kim

1. 서 론

본 해설은 최근 플랜트 분야에서 관심이 집중되고 있는 공기압 기기의 일종인 스마트 포지셔너를 대상으로 하고 있다.

제목에서도 알 수 있는 바와 같이, 스마트라는 용어는 인간처럼, “액추에이터 스스로 느끼고, 판단하고, 동작한다” 라는 의미를 가지고 있으며, 본 해설에서 서술하려는 액추에이터 자체가 이러한 기능을 가지고 있음을 의미한다. 일반적으로, 30[MPa]에서 42[MPa]에 이르는 압력에서 구동되는 메인밸브를 조작하는데 사용되는 파이로트밸브의 구동전류가 4~20[mA] 정도의 낮은 전류라고 하면, 기본적으로 현재 사용되는 일반적인 액추에이터(솔레노이드, 전기모터, 서보모터)로는 불가능하다는 것을 알 수 있다. 좀 더 상세하게는 스마트 소자(압전소자, EAP 등)를 통해서만 해결할 수 있다는 것을 짐작 할 수 있다.

최근의 에너지 이슈인 클린에너지, 그린에너지를 대응할 수 있는 방안들은 물론 적게 쓰고, 효율 높게 쓰고, 더 나아가서는 저소비전력 구동이 가능한 재료를 이용하는 것이라 할 수 있다. 저소비전력 구동이 가능한 재료들은 전술한 스마트 재료들인데, 액추에이터의 또 다른 요소인 구동력과 응답성을 고려할 때, 압전 액추에이터를 이용하는 방법이 현재까지는 최선으로 알려져 있다. 일반적으로 압전 액추에이터는 솔레노이드 액추에이터와 비교할 때, 저소비전력 구동 특성이 있고, 응답이 빠르고, 온도 변화에 따른 구동력 변화가 적어 많은 분야에 적용되고 있고, 계속적으로 연구되고 있으며, 최근에는 중대형 해양플랜트 분야에도 적용되고 있는 실정이다. 그러나, 저소비전력 구동과 빠른 응답성을 위해서는 재료 조성 기술, 초박막 제작 기술 및 고속 동작을 유도할 수 있는 컨트롤러(앰프 포함) 기술이 매우 중요하다. 현재, 국내에서는 전술한 중요 기술들을 해결할 수 있는 방안들이 연구되고 있으나, 재

료 조성비율 및 최적 고/저온 조성 온도 설정에 대한 문제와 수십 마이크로 정도의 박막 기술의 한계로 인하여 어려움을 겪고 있으며, 액추에이터 구동 초기에 발생하는 순간 최대 파워 제어에 관한 문제들도 해결점으로 남아 있다. 특히, 저소비전력과 관계되는 물리적인 인자들을 도출하여, 정립하는 것도 매우 중요하다.

본 해설에서는 전술한 문제점들을 과제로 남겨두고, 스마트 포지셔너란 무엇인지, 구동원리는 어떻게 되는지, 관련 유사 포지셔너의 종류들은 어떤 것들이 있으며, 어디에 응용되고 있는지에 대한 소개를 하고자 한다.

2. 포지셔너의 종류 및 기술 동향

Fig. 1에 보이는 그림들은 중대형 육상 및 해양 플랜트들이며, 현재 일반 포지셔너 및 스마트 포지셔너가 많이 응용되고 있는 것으로 보고되고 있다. 특히, 원자력 분야 및 오일/가스 분야에 적용되고 있는 것은 매우 고무적인 현상이라 할 수 있다.



a) Water and waste water



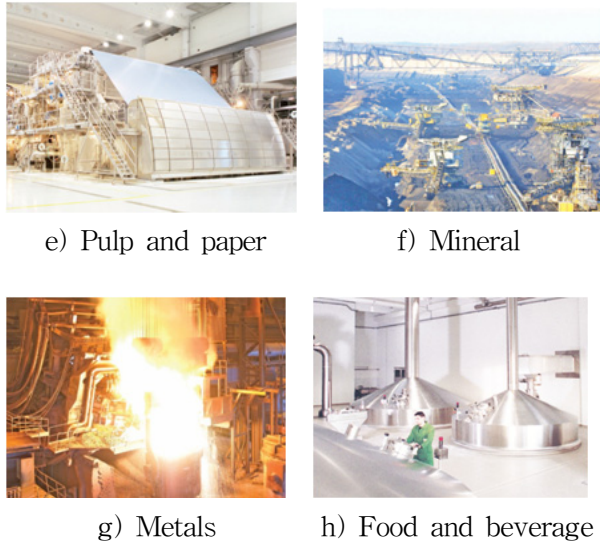
b) Power and industrial steam



c) Chemical and petrochemical



d) Oil and gas



e) Pulp and paper

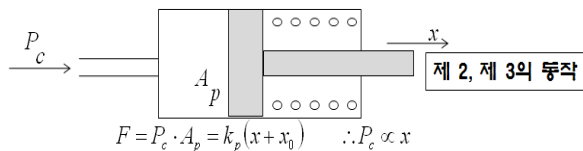
f) Mineral

g) Metals

h) Food and beverage

Fig. 1 Application field of smart positioner

스마트 포지셔너는 Fig. 2와 같이 압력을 제어하여 실린더의 위치를 조작자가 원하는 소정의 위치로 가져가는 역할을 하는 것으로, 상세하게는 변위 x 를 이용하여 최종 제어대상 밸브의 위치(유량), 압력을 제어하는 것으로 궁극적으로는 제어압력 P_c 제어용 메커니즘이 필요하게 된다. 따라서, 포지셔너라는 용어처럼 산업현장에서 사용되는 밸브들의 대부분은 광의적으로 표현하면 포지셔너의 일종이라 할 수 있다.



$$F = P_c \cdot A_p = k_p (x + x_0) \quad \therefore P_c \propto x$$

Fig. 2 Basic concept of smart positioner

Fig. 3은 단동 노즐/플래퍼 방식 포지셔너의 구동 원리는 보이는 것으로, 입력 P_i 의 변화에 따라서 출력압력 P_o 가 변하게 되고, 결국에는 출력 X_o 가 제어되게 된다.

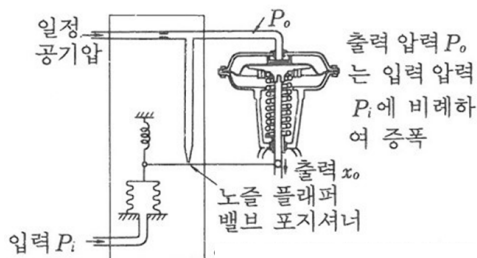


Fig. 3 Operating principal of positioner of single nozzle/flapper method

Fig. 4는 흔히 전자유압식 서보밸브라 불리는 복동 노즐/플래퍼 방식 포지셔너의 구동 원리를 보이는 것으로, 플래퍼와 노즐 사이의 압력차에 해당하는 만큼 메인 스톱의 위치가 변하는 것으로 이 방식은 매우 정교하고, 고주파수 응답특성을 가지고 있기 때문에 우주/항공분야에 많이 응용되고 있는 모델이다.

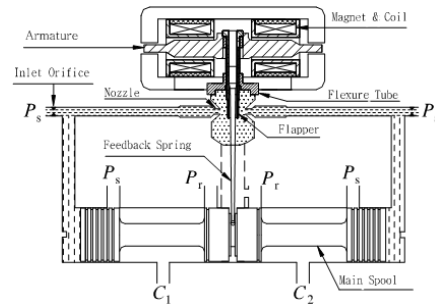


Fig. 4 Operating principal of positioner of double nozzle/flapper method

Fig. 5, 6은 파이로트 압력을 제어하는 제어 기구에 따라서 분류한 것으로, 기계식 및 전자식(솔레노이드방식 및 압전방식) 나눌 수 있다. 특히, Fig. 6은 PWM 방식으로 제어되는 매우 정교한 방법으로 많은 회사들이 이 방법을 사용하고 있다.

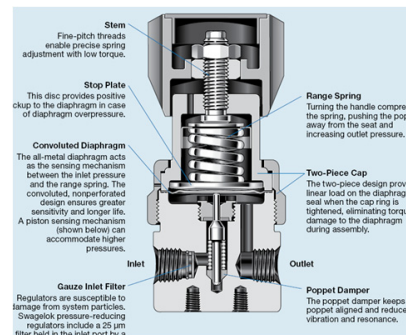


Fig. 5 Structure of mechanical positioner

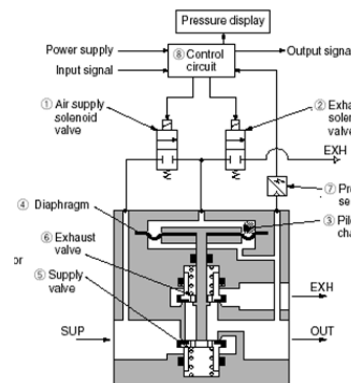


Fig. 6 Structure of electro-pneumatic positioner

Fig. 7 및 Fig. 8은 동작대상 액추에이터와 방향에 따라 구분한 것으로, 크게 단동식 및 복동식으로 나뉘어지며, 최종 제어 액추에이터의 관점에서는 스푼형식과 노즐/플래퍼형식으로 구분된다.

Fig. 9는 Fig.8에 보이는 최종 액추에이터를 통하여, 제어대상 밸브의 움직임이 어떻게 되는가를 보여주는 것이다. 그림과 같이, 포지셔너 최종 출력에 따라 구분한 것으로, 선형식 및 회전식으로 나눌 수 있다.

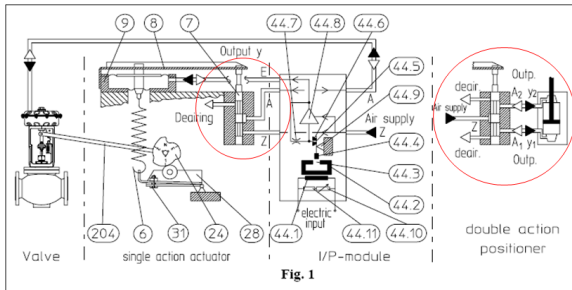


Fig. 7 Positioner with a spool actuator

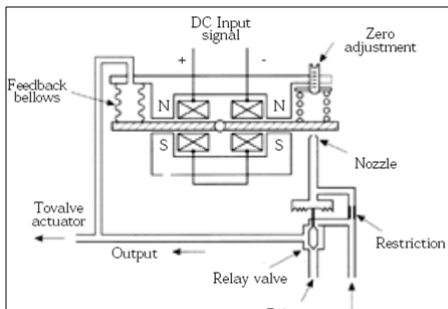


Fig. 8 Positioner with nozzle and flapper

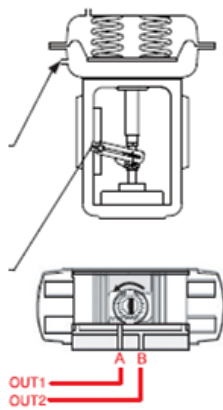
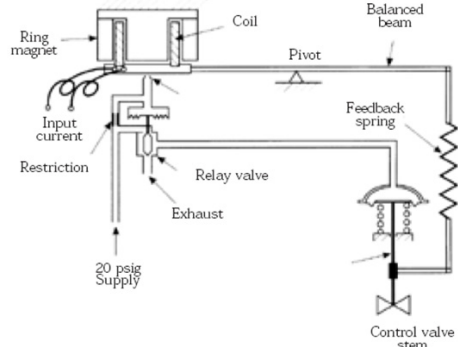


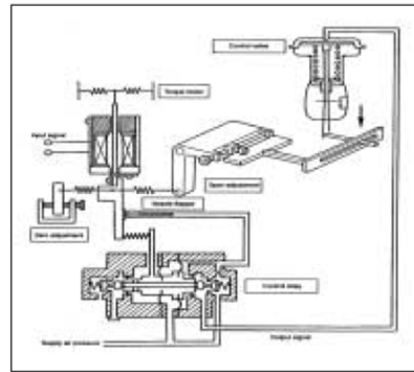
Fig. 9 Positioner structure of linear and rotary type

Fig. 10은 제어 액추에이터를 구성하는 요소에 따라 구분한 것으로, 솔레노이드 방식 포지셔너, 토크 모터 방식 포지셔너_1, 2, 압전 방식 포지셔너의 구조들을 각각 나타낸 것이다. 또한, 기본적으로 변위

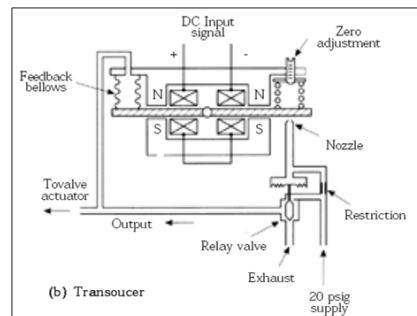
를 피드백하는 기계식 서보기구를 내장하고 있는 특징을 가지고 있다.



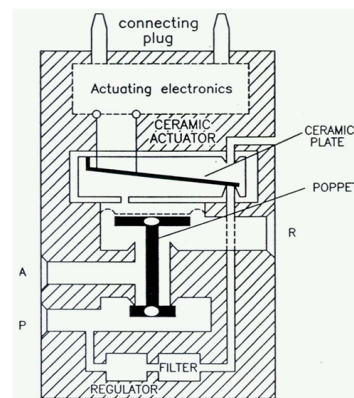
a) Positioner with a solenoid actuator



b) Positioner_1 with a torque motor



c) Positioner_2 with a torque motor

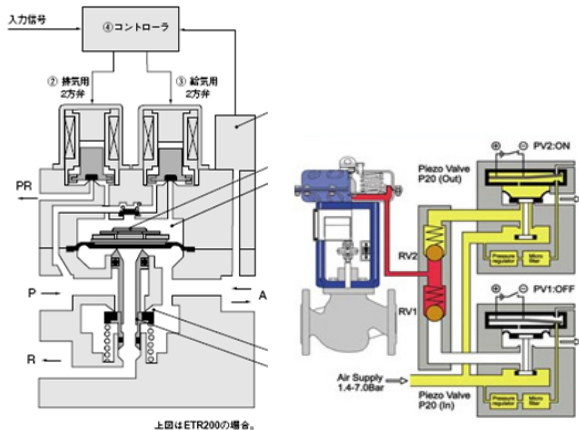


d) Positioner with a piezo actuator

Fig. 10 Positioner grouping by control actuator

Fig. 11은 파이로트 구동이 디지털 방식인 솔레노이드 액추에이터와 압전 액추에이터를 내장한 밸브의 구조도를 보이는 것으로, 저소비전력 구동 인자를 고려하지 않으면, 모두다 플랜트용으로 채용하는데 문제가 없는 모델들이다.

전술한 바와 같이, 저소비 전력 구동 차원에서는 솔레노이드 성능 향상 문제를 해결해야 하며, 현재로서는 압전 방식이 유일한 방법이라 할 수 있다.



a) solenoid method b) piezo method

Fig. 11 Digital positioners

3. 국내 기술 동향

국내에서는 공압-공압 포지셔너, 전기-공압 포지셔너, 디지털(피에조) 포지셔너, 스마트 포지셔너라는 용어로 사용되는 종류가 있는데, 문헌상으로 명확한 정의가 되어 있지 않기 때문에 구분에 대한 모호성이 있으나, 기계식인 경우는 공압-공압 포지셔너, 전기식인 경우는 전기-공압 포지셔너, 스마트 재료 액추에이터를 가지는 경우는 스마트밸브 포지셔너 혹은 디지털밸브(피에조) 포지셔너라고 칭하는 것으로 사료된다.

국내 회사인 경우는 카탈로그에 명시되어 있는 것을 기준으로, Y사인 경우는 기계식 레귤레이터 내장, 피드백 가능 및 통신 기능(HART)을 탑재한 포지셔너를 판매하는 것으로 보이나, 사용되는 밸브에 대한 정보는 확인할 방법이 없다. 또한, P회사인 경우에도 많은 모델들을 제시하고 있으나, 국산화율이 어느 정도인지에 대한 정보는 제공하고 있지 않다. 분명한 것은 만약에 가능했다면 솔레노이드 방식이 채용되고 있을 것으로 사료되고, 압전방식을 사용했다면, 100% 독일로부터 수입된 제품을 사용하고 있다는 것이다.

서론에서도 밝혔던 바와 같이, 4~20[mA]에서 구동되는 압전 액추에이터를 국내에서 만드는 것은 현실적으로 불가능하기 때문이다.

4. 해외 기술 동향

해외에서도 많은 회사들이 포지셔너를 제공하고 있으나, 압전밸브에 대한 정보는 제공하지 않고 있기 때문에 자체 개발된 제품을 사용하는지에 대한 정보는 알 길이 없다. 저자가 파악한 바로는 현재 독일의 H사에서 만들어지는 압전 액추에이터가 유일하다고 사료된다.

Fig. 12는 미국의 Dressermasoneilan에서 제공하는 포지셔너를 보이는 것이나, 역시 밸브에 대한 정보 제공이 부족하다.



a) electro-pneumatic method b) smart(digital) method

Fig. 12 Positioner of Dressermasoneilan of USA

Fig. 13은 독일의 ARCA-regler GmbH에서 제공하는 포지셔너의 회로도를 보이는 것이다. 그림에서 알 수 있는 바와 같이, 노즐/플래퍼 방식과 스프링 액추에이터를 이용하여 메인밸브의 위치를 제어하고 있다.

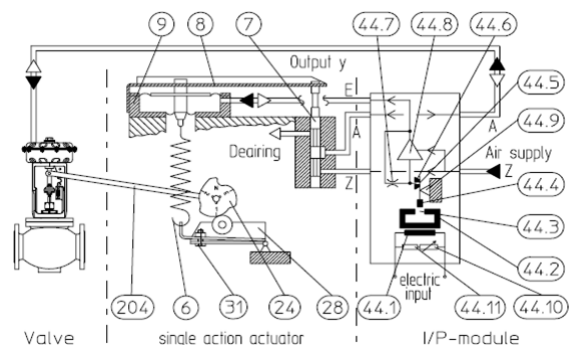


Fig. 13 Positioner circuit of ARCA-regler GmbH

Fig. 14는 미국의 Flowserve사의 해양플랜트용 밸브의 포지셔너를 나타내는 회로도이다. 이 회로도에서는 독일 H사의 압전밸브를 사용하여 파이로트

제어를 하고 있음을 알 수 있다.

저자의 조사에 의하면, 현재 전세계적으로 많은 압전밸브들이 출시되고 있으며, 스택형 및 바이모프 형으로 대별되는 밸브들이 산업계에 많이 응용되고 있는 것으로 확인되었다. 반면에 압전밸브의 장점이라 할 수 있는 저소비전력 구동이 가능하려면, 얼마나 얇은 압전막을 만들 수 있느냐 인데, 현재까지는 독일 회사의 기술을 넘어서지 못하는 것으로 사료된다.

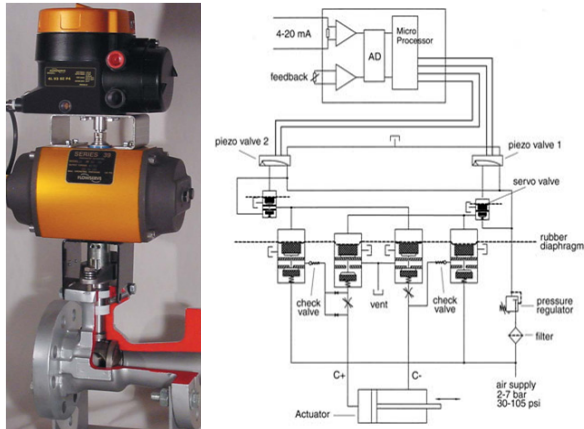


Fig. 14 Plant valve and positioner circuit of Flowserve(com)

Fig. 15는 독일 지멘스사의 해양플랜트용 밸브와 포지셔너로 압전밸브를 사용한 전체회로를 보이는 것으로, 2개의 디지털 방식 파이로트 밸브를 사용하여, PWM 형태의 제어를 통하여 파이로트부의 압력을 정밀하게 제어하고 있다. 그림에서 2개의 채널 즉, 2개의 밸브를 1 채널로 할 경우에 총 4개의 밸브를 가지고 있어, 2대의 메인밸브를 동시에 제어할 수 있는 특징이 있다.

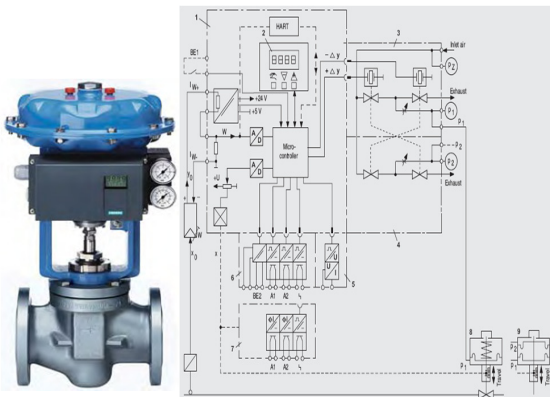


Fig. 15 Plant valve and positioner circuit of Simens(com)

Fig. 16은 중국의 Easytech에서 제공하는 밸브 시스템의 구조도를 보이는 것으로 역시 독일 H사의 압전밸브(압전식 레귤레이터)를 사용하고 있음을 알 수 있다.

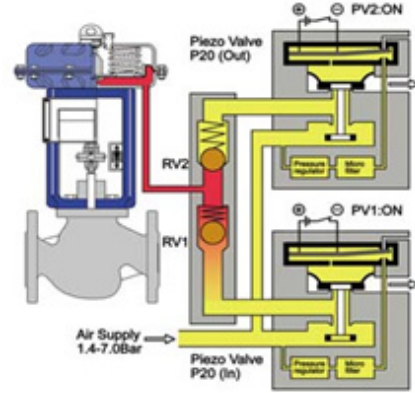


Fig. 16 Smart positioner with piezo regulator of Easytech(com)

5. 스마트 포지셔너 설계 전략

스마트 포지셔너에 있어, 기본적으로 최근에 산업계에서 요구하는 사양으로는 사용전압이 9[VDC] 이하, 사용 전류가 4~20[mA] 이하, 사용압력이 7[bar] 이하이며, 유무선 통신을 통하여, 350bar 이상의 압력을 제어하는 메인밸브를 안정적으로 제어할 수 있어야 한다. 이를 위해서는 먼저 신뢰성 설계 전략을 통하여 요구 성능에 맞는 부품 선정 및 설계가 필요하고, 고장 및 영향 분석을 통하여 포지셔너의 성능과 신뢰성을 보장할 수 있는 적절한 시험항목들이 선정되어야 한다.

또한, 저전력 구동을 위해서는 유전율이 1600 이하, 압전상수가 $200 \times 10^{-12} [C/N]$ 이상인 압전 액추에이터를 생산할 수 있는 기술이 필요하고, 두께 15[μm] 이하의 대면적 박막 기술이 필요하다.

6. 결론

이 해설에서는 일반적인 포지셔너 및 압전방식 포지셔너의 종류에서부터 구조 및 작동원리를 살펴 보았으며, 국내외 기술적인 동향 분석을 통하여 국내 기술의 수준 및 개발 가능성을 제시하였다.

유공압 분야가 일반 산업용 및 건설용에서부터 최근에는 극지 및 심해분야에 관심이 많아지고 있기 때문에, 이 분야에 사용되는 유공압 기기에 대한 기술성, 시장성 등을 조사하여 향후 국내 기술로 개

발이 가능한지를 파악할 필요가 있다. 따라서, 이 해설은 향후 국내의 기술진에 의하여 압전 액추에이터 및 포지셔너 개발이 시도되는 경우에 도움이 되었으면 하는 바람으로 작성되었으며, 더 나아가서는 저소비전력 구동이 가능한 스마트 포지셔너의 국내 모델들이 다량 출시되기를 희망한다.

참고문헌

- 1) S. N. Yun, "Research trend of smart positioner", 계장기술, Vol. 225, pp.112~118, 2012.
- 2) S. N. Yun, C. Y. Kim, W. S. S대, J. H. Park and Y. B. Ham, "Pressure regulator for piezoelectric valve", Journal of KSFC, Vol. 3, No. 2, pp.1~6, 2006.
- 3) S. N. Yun, Y. B. Ham, J. H. Park and S. S. Lee, "A study on frequency characteristics of a bender type high-speed piezoelectric pneumatic valve", Journal of KSFC, Vol. 9, No. 4, pp.14~18, 2012
- 4) www.ytc.co.kr
- 5) www.powergenex.com
- 6) www.dressermasoneilan.com
- 7) www.arca.de21.

- 8) www.braycontrols.com
- 9) www.arca.de
- 10) www.abb.com
- 11) www.flowserve.com
- 12) <http://www.automation.siemens.com>
- 13) <http://www.njetc.com>

[저자 소개]

윤소남(책임저자)

E-mail : ysn688@kimm.re.kr

Tel : 042-868-7155

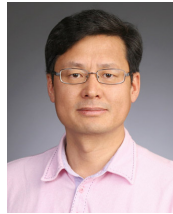
1963년 7월 29일생.

1990년 부경대학교 기계공학부

석사, 1994년 동 대학원 박사과정 졸업,

2005년 어번대 마이크로나노시스템/재료

연구실 객원연구원, 1994년~현재 한국기계연구원 책임연구원, 스마트 액추에이터, 유공압밸브 및 심해잠수정용 유압기기 개발 연구에 종사. KSFC, KSME, KSPSE, KSPE, KSAE, KSAS, JFPS 등 회원, 공학박사.



김홍희

E-mail : cuteaero@kwfi.co.kr

Tel : 031-496-5184

1978년 1월 22일생.

2002년 경상대학교 항공공학과 석사,

2002년~현재 경원산업 책임연구원, 압

전액추에이터, 압전밸브 및 압전펌프 개발 연구에 종사.

