

# 볼밸브용 볼의 로봇 육성용접시스템에서 포지셔너의 설계 및 구조강도해석에 관한 연구

이종환<sup>1</sup>, 노태정<sup>\*</sup>

<sup>1</sup>동명대학교 메카트로닉스공학과

## A study on design and structural strength analysis of positioner in robot overlay welding system of ball for ball-valve

Jong-Hwan Lee<sup>1</sup>, Tae-Jung Lho<sup>\*</sup>

<sup>1</sup>Dept. of Mechatronics Eng., Tongmyong University

**요약** 볼밸브용 볼의 로봇 육성용접시스템에서 포지셔너의 설계 및 구조강도 해석에 관한 연구를 하였다. 포지셔너의 일부 분인 터닝 유닛을 모델링하였고, 보로 가정하여 해석을 진행하였다. 볼의 무게가 9,000kgf 일 때 터닝 유닛에 가해지는 응력이 366.85MPa로 나왔다. 이 값은 재료의 항복강도보다 높은 값이다. 앞의 결과를 토대로 터닝 유닛을 수정하여 모델링을 하였다. 수정된 모델링으로 해석한 결과, 응력의 값은 296.11MPa로 확인되었다. 이 값은 재료의 항복강도보다 낮은 수치이며, 볼의 무게를 버티는 것을 알 수 있었다.

**Abstract** A study on design and structural strength analysis of a positioner in robot overlay welding system of a ball for ball-valves. Turning-unit of positioner modeled, analysis was conducted by assuming the beam. Turning-unit is applied to the stress, it was shown by 366.85MPa when weight of the ball is 9,000kgf. This value is higher than the yield strength of the material. Based on the results of previous, it was modeled the turning-unit by modifying. Results of analysis by a modified modeling, The value of stress was confirmed to 296.11MPa. This value is a value lower than the yield strength of the material, it was found to support the weight of the ball.

**Key Words** : Deformation analysis, Stress analysis, Positioner design, Ball for ball-valves

### 1. 서론

볼밸브(ball valve)는 주로 고압에서 기밀이 요구되는 배관라인에 많이 사용하고 있으며, 다른 밸브와는 달리 전개(full open) 상태에서도 유량손실이 전혀 없으며, 특히 압력이 높은 오일, 가스라인이나 해양플랜트의 최하단부 원유배관라인 등에 많이 사용된다. 볼은 볼밸브에서 가장 핵심적인 부품으로, 사용되는 재료는 보통 밸브 본체의 재료와 동일하며, 볼의 기계가공은 정밀한 진원도와 높은 표면조도가 요구되며, 볼의 진원도(직경의 최

대 치수와 최소치수의 차)는 약 0.03mm 이내로 가공되어야 한다.

볼의 종류로는 속이 꽉 채워진 공에 유체가 흐르는 구멍을 뚫어 놓은 모양인 일체형을 사용한다. 이에 해양/석유화학 플랜트, 발전설비 등의 장치 산업분야에서는 내마모, 내식성, 내열성이 요구는 초내열 합금(Ni-base alloy)이 기본적인 구조재료로 많이 사용되고 있다. 그 중에서도 Inconel 625 소재는 섭씨 980℃ 에서도 질기고 강한 성질이 있으며, 특히 산화, 부식에 잘 견디는 특성이 강하다. 때문에 원자력, 화학 및 플랜트 시설용 배관, 밸브 설

본 논문은 2013년도 중소기업청의 중소기업기술혁신개발사업의 지원을 받아 수행된 연구임.

\*Corresponding Author : Tae-Jung Lho (Tongmyong Univ.)

Tel: +82-51-629-1533 email: [tjlho@tu.ac.kr](mailto:tjlho@tu.ac.kr)

Received October 13, 2015

Revised January 6, 2015

Accepted March 12, 2015

Published March 31, 2015

비에 많이 사용된다. 해양/석유화학 플랜트, 발전설비 등의 장치 산업에서 금속 부식과 마모는 기계부품의 수명과 작동상태를 결정하는 중요한 요소로서 큰 문제이다. 부식성이 강한 성분들에 장시간 노출된 금속재료들은 부식과 마모로 치명적인 수명단축 초래한다.

자동화 장비를 이용할 경우 작업 능률과 경제성이 뛰어나며 경계면의 용융, 응고로 인해 소지금속과 용접층 계면의 결합력이 우수한 두꺼운 피막 형성이 가능하며, 높은 부식 특성이 요구되는 분야에 적용되는 기존의 불밸브는 100% 고내식 재료를 사용하여 적용해왔다.

J. S. Lee 등은 새로운 밸브의 응력과 변형량 해석을 하여 생산성을 향상되었음을 확인하였으며[1], B. H. Choi 등은 Lanczos 알고리즘을 적용한 고유치 해석과 재료 비탄성-기하비선형을 고려한 비선형 해석을 하였다[2]. 그리고 S. H. Ha 등은 산업용 불밸브의 구조특성 평가에서 불과 시트의 안정성을 평가하였고 밸브의 개폐시 발생하는 토크에 대해 연구하였으며[3], S. S. Shin 등은 굴삭기 버킷 회전부의 응력해석으로 해석 부품 전체를 주어진 안전율에서 사용이 가능함을 확인하였다[4]. 그리고 H. S. Cho 등은 고장력 강판으로 된 자동차 시트 리크라이너 하우징에 대한 구조해석을 연구하였고[5], M. S. Oh 등은 자동차 록업 클러치의 댄퍼스토퍼에 대한 구조 해석을 연구하였다[6].

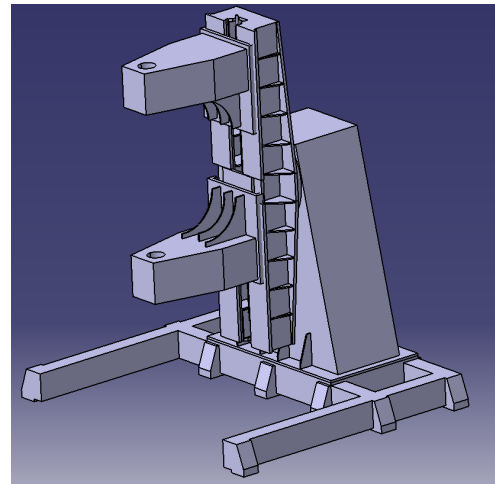
이번 연구는 포지셔너(positioner)에서 불밸브용 불이 육성용접이 진행될 때에 불을 지탱하는 터닝 유닛(turning unit)의 구조강도해석을 중심으로 진행하였으며, 불의 무게를  $9,000kg_f$ 으로 변경하여 해석한 결과를 확인하고 터닝유닛이 불의 무게가  $9,000kg_f$ 일 때 안전하게 지탱할 수 있도록 설계를 수정하였다. 그리고 수정한 모델링으로 구조강도해석을 진행하였다.

## 2. Formulation

불밸브용 불의 포지셔너 구성은 크게 본체(body base), 척(chuck), 터닝 유닛으로 되어있다. 육성용접로봇이 불밸브용 불의 공정을 하는 방법은 포지셔너가 불을 고정 한 후 궤적을 조금씩 바꿔 회전하면서 로봇은 회전하는 부분을 부위별로 육성용접을 실시한다. 육성용접 할 불의 내경이 수직 정면으로 향하도록 척을 회전하여 초기 위치를 설정하고, 이후 척은 초기위치에서 고정된다. 이 때 용접 로봇은 용접 토치를 불 내면과 간격을 유지한 채

초기위치를 잡는다. 불을 장착한 터닝 유닛 전체가 회전축을 중심으로 1회전하는 동안 용접로봇은 용접토치를 불 내경의 길이방향으로 비드 폭만큼 위빙하면서 육성용접이 진행되도록 한다. 따라서 불 내면을 따라 나선형으로 회전하면서 계속 반복하여 육성용접 한다. 척이 불을 장착하고 있는 터닝 유닛 전체를 수직으로 세워 불 평면부가 위로 위치하도록 하고, 상부의 척을 풀어서 로봇이 불 평면부를 용접할 수 있도록 공간을 만든다. 로봇은 불 평면부를 장착하고 있는 하부 척을 회전하면서 동시에 반경방향으로 용접 토치를 비드폭 만큼 육성용접을 진행하면서 나선형으로 불 평면부를 위빙(weaving)하여 육성용접하고, 또한 하부 척을 고정시켜두고 로봇을 통하여 위빙으로 육성용접 한다. 앞의 작업내용을 보면 불밸브용 불의 공정작업 중에서 제일 중요시 되는 부분이 포지셔너의 척이 수직으로 위치하여 작업을 할 때이다. 이 작업이 진행될 때에는 척에 있는 두 개의 터닝 유닛 중에 한 부분으로만 불밸브용 불을 지탱하여야 하며, 실제로 불밸브용 불의 무게를  $5,000kg_f$ 으로 용접작업이 진행된다고 한다. 이번 해석은 불밸브용 불의 무게를  $9,000kg_f$ 으로 하였을 때 터닝 유닛의 응력을 확인하기 위해 진행을 하였다.

[Fig. 1]은 포지셔너를 모델링 작업을 한 결과이다. 이번 연구는 포지셔너에서 불밸브용 불이 육성용접이 진행될 때에 불을 지탱하는 터닝 유닛을 중심으로 진행되었다.



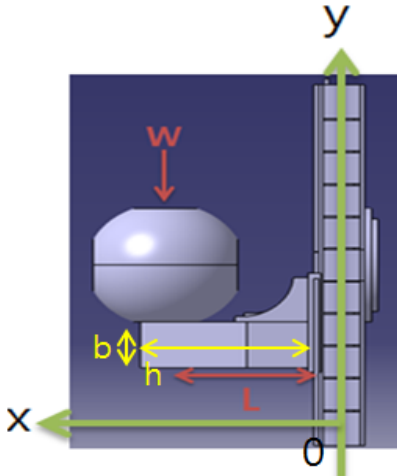
[Fig. 1] Modeling of positioner

[Fig. 2]는 포지셔너의 척와 터닝 유닛을 나타낸 것이며, 불밸브용 불의 무게를 집중하중으로 주었다. 해석하

는 과정에서 구조를 보로 가정하였을 때 응력 $\sigma$ 에 관한 식은 (1)과 같다.

$$\sigma = \frac{6WL}{bh^2} \quad (1)$$

여기서 M은 모멘트, W는 볼밸브용 볼의 무게, L은 터닝 유닛의 끝에서 볼의 중심까지의 거리, b는 터닝 유닛의 두께, h는 터닝 유닛의 길이이다.



[Fig. 2] Analysis model

### 3. 볼의 무게에 따른 구조해석

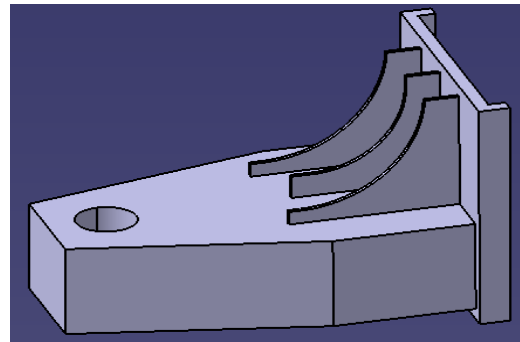
모델링은 CATIA V5R21을 이용하였고, 해석은 Ansys Workbench 14.5를 이용하여 진행하였다. 모델링 작업은 실제 사용하고 있는 포지셔너를 도면으로 설계하였다. 물성치로는 실제 포지셔너의 재질인 SAPH440(Steel)로 설정하였다. 그리고 터닝 유닛과 척이 고정되는 부분은 'Fixed Support'를 적용하였다. 볼의 무게만 설정하여 진행하였다. 이번 해석에서는 실제 포지셔너의 전체를 해석하지 않고 터닝 유닛이 볼의 무게를 변경할 시에 터닝 유닛이 받는 응력을 알기위해 해석을 진행한다.

[Table 1]은 해석에 사용한 재료의 물성치이다.

[Table 1] Material property of SAPH440

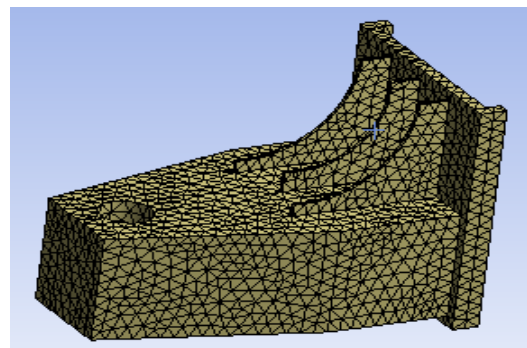
property(unit)	value
modulus of elasticity(MPa)	206.8
poisson's ratio	0.29
maximum yield strength(MPa)	305

[Fig. 3]은 터닝 유닛을 설계프로그램을 통해 모델링 작업한 결과이다. 모델링 한 그림을 보면 볼을 지탱하는 부분과 척에 고정되는 부분 사이에 3개의 브라켓(bracket)이 수직으로 고정되어있다. 이 세 개의 브라켓은 터닝 유닛이 볼을 지탱할 때 무게를 버티기 위해 고정을 한 것이다. 터닝 유닛의 끝에서 볼의 중심까지의 거리(L)는 1,075mm, 터닝 유닛의 두께(b)는 300mm, 터닝 유닛의 길이(h)는 1,265mm이다.



[Fig. 3] Modeling of turning unit

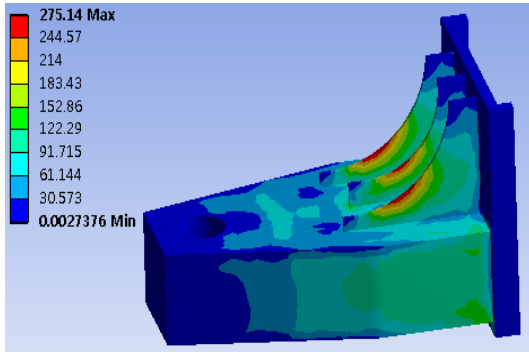
[Fig. 4]는 터닝 유닛을 메시 작업을 한 결과이다. 노드(node)의 수는 376,388개이고, 요소(elements)의 수는 211,963개이다.



[Fig. 4] Mesh generation

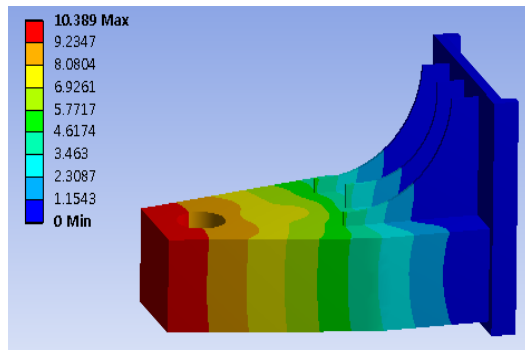
[Fig. 5]는 볼밸브용 볼의 무게가 5,000kgf일 때의 터닝 유닛이 받는 응력의 결과이다. 그림으로 보면 세 개의 고정되어 있는 브라켓이 응력을 가장 많이 받는 것을 알 수 있다. 다른 부분을 보면 터닝 유닛이 척에 고정되는 부분에서 볼이 고정되는 부분까지 응력이 분포되어있다. 볼밸브용 볼의 무게가 5,000kgf일 때 터닝 유닛이 받는 최대 응력은 275.14MPa로 나왔으며, 이 값은 재료의 물성

치의 항복강도의 수치보다 낮으므로 탄성변형이 일어나는 것을 확인할 수 있다.



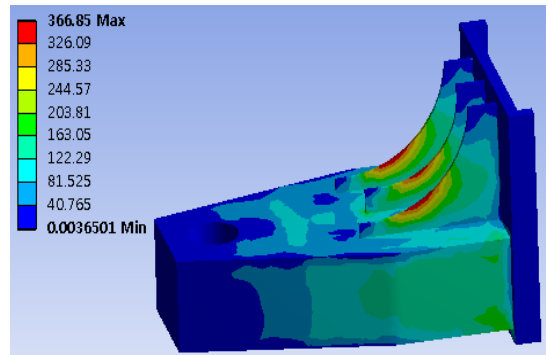
[Fig. 5] Stress distribution result under ball weight of 5,000kg<sub>f</sub>

[Fig. 6]은 볼의 무게가 5,000kg<sub>f</sub>일 때의 터닝 유닛에서 일어나는 변형에 관한 결과이다. 가장 변형이 많이 일어나는 곳은 볼의 무게를 직접적으로 지탱하는 터닝 유닛의 끝부분으로 나타났다. 이 변형은 탄성변형으로 물체에 일어나는 최대 변형량은 10.38mm인 것을 확인할 수 있다.



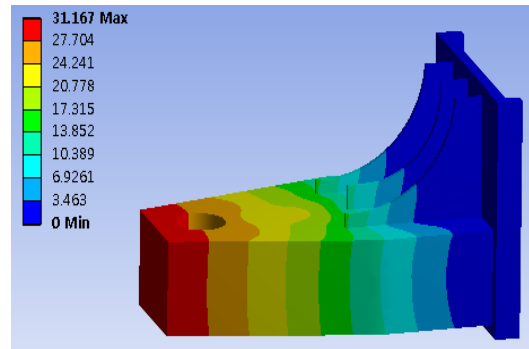
[Fig. 6] Deformation analysis result under ball weight of 5,000kg<sub>f</sub>

[Fig. 7]은 볼밸브용 볼의 무게를 9,000kg<sub>f</sub>으로 설정하였을 때의 결과 값이다. 9,000kg<sub>f</sub>일 때 터닝 유닛에 가해지는 최대 응력은 366.85MPa로 나왔다. 이 값은 앞의 물성치 표를 고려하면 재료의 항복강도 수치보다 높은 것을 확인할 수 있으며, 터닝 유닛이 볼의 무게를 9,000kg<sub>f</sub>하였을 때 버티지 못하는 것을 알 수 있다.



[Fig. 7] Stress distribution result under ball weight of 9,000kg<sub>f</sub>

[Fig. 8]은 볼의 무게가 9000kg<sub>f</sub>일 때의 터닝 유닛에서 일어나는 변형에 관한 결과이다. 볼의 무게가 9000kg<sub>f</sub>일 때는 터닝 유닛이 볼의 무게를 버티지 못하며, 최대 변형량은 31.16mm인 것을 확인할 수 있다.



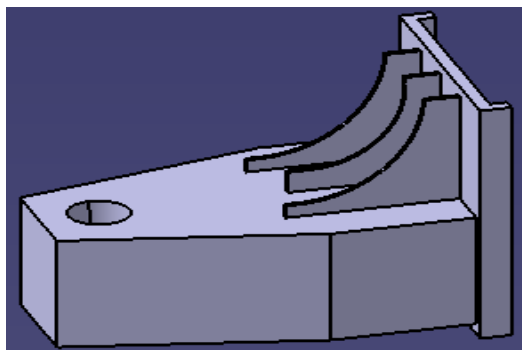
[Fig. 8] Deformation analysis result under ball weight of 9,000kg<sub>f</sub>

[Table 2]는 앞의 모델에 대하여 응력과 변형량을 해석한 결과이다. 이 결과를 토대로 재료의 강도를 고려하면 볼의 무게를 9,000kg<sub>f</sub>으로 용접 작업을 진행하였을 때의 응력이 재료 물성치의 항복강도보다 높으므로 볼밸브용 볼의 무게가 9,000kg<sub>f</sub>일 때에는 터닝 유닛이 볼밸브용 볼의 무게를 버티지 못하는 것을 확인할 수 있다. 이 결과를 토대로 볼의 무게가 9,000kg<sub>f</sub>일 때에도 터닝 유닛이 볼을 버틸 수 있도록 터닝 유닛의 설계를 수정하였다.

[Table 2] Analysis results of stress and deformation

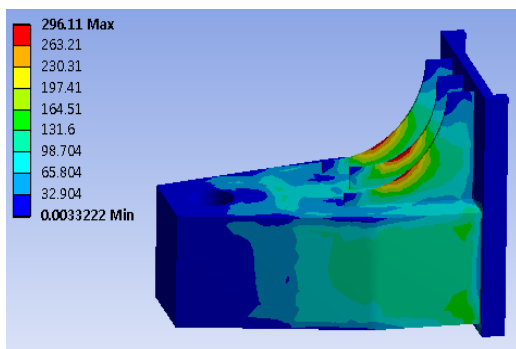
weight of ball ( $kg_f$ )	Maximum stress (MPa)	Maximum deformation(mm)
5000	275.14	10.38
9000	366.85	31.16

[Fig. 9]는 터닝 유닛 모델링을 수정하여 작업한 그림이다. 터닝 유닛의 끝에서 볼의 중심까지의 거리와 터닝 유닛의 길이는 그대로 하였으며, 터닝 유닛의 두께를 300mm에서 408mm로 수정하였다. 해석은 물성치와 조건을 이전과 같이 적용하여 진행하였으며, 볼의 무게 9,000 $kg_f$ 일 때에 구조강도해석만 진행하였다.



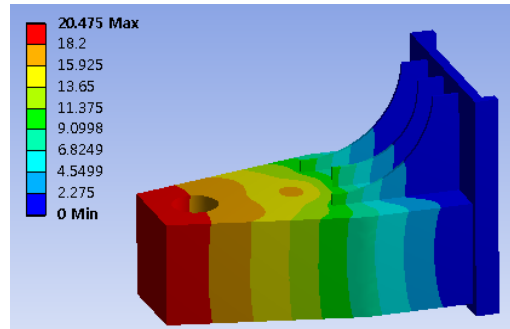
[Fig. 9] Modified modeling of turning unit

[Fig. 10]은 수정한 터닝 유닛의 모델링을 가지고 볼의 무게가 9,000 $kg_f$ 일 때에 일어나는 응력해석을 나타낸다. 최대 응력은 296.11MPa인 것을 확인할 수 있으며, 이 값은 재료의 물성치 값에서 항복강도의 수치보다 낮으므로 탄성변형이 일어나는 것을 알 수 있다. 수정한 터닝 유닛은 볼의 무게를 버틸 수 있는 것을 확인할 수 있다.



[Fig. 10] Deformation analysis result under ball weight of 9,000 $kg_f$ (Modified modeling)

[Fig. 11]은 수정한 터닝 유닛의 모델링을 가지고 볼의 무게가 9,000 $kg_f$ 일 때에 일어나는 변형량을 나타낸다. 최대 변형량은 20.475mm인 것을 확인할 수 있다.



[Fig. 11] Deformation analysis result under ball weight of 9,000 $kg_f$ (Modified modeling)

### 3. 결론

볼밸브용 볼의 로봇 육성용접시스템에서 포지셔너의 설계 및 구조강도 해석에 관한 연구에 관한 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 기본 터닝 유닛에 가해지는 응력이 볼의 무게가 9,000 $kg_f$ 일 때 366.85MPa로 나왔다. 이 값은 재료의 항복강도보다 높은 값이며 볼의 무게를 버티지 못하는 것을 알 수 있었다.
2. 기본 터닝 유닛이 9,000 $kg_f$  볼의 무게를 버티지 못하는 것을 토대로 터닝 유닛을 수정하여 모델링을 하였으며, 수정한 모델링으로 구조강도 해석을 한 결과, 296.11MPa로 나왔다. 이 값은 재료의 항복강도보다 적은 값이며, 볼의 무게를 버티는 것을 확인할 수 있었다.
3. 해석결과 내용을 참고하면 볼의 무게가 늘어날 경우 터닝 유닛의 두께를 수정하면 터닝유닛이 받는 최대 응력이 줄어드는 것을 확인할 수 있었다.

### References

[1] J. S. Lee, N. R. Kwon, J. M. So, M. W. Kim, B. O. Oh, G. C. Noh and H. J. Kim, "Structural Analysis of New Model Hydraulic Valve Meter", Proc. of 2012 KAIS Spring Conference, pp. 765~768. 2012.

- [2] B. H. Choi and S. Y. Choi, "Analytical method of flexural ductility of press-braked steel plate members", Proc. 2012 of KAIS Spring Conference. pp. 631~633. 2012.
- [3] S. H. Ha, D. W. Lee, A. W. Zia and J. I. Song, "Evaluation of Structural Characteristic Analysis on Industrial Ball Valve", Proceedings of 2013 KSME Spring Conference. pp. 311~314. 2013
- [4] S. S. Shin, J. H. Noh and J. H. Park, "Stress analysis of bucket rotating part of the compact excavator", J. of the Korean Society of Marine Engineering. Vol. 37, No.2, pp. 178~182. 2013.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.5916/jkosme.2013.37.2.178>
- [5] H. S. Cho, K. S. Kim, D. S. Choi, Y. C. Kim, S. H. Park, B. S. Oh, J. U. Cho, J. H. Kook, "Structural Analysis on Automobile Seat Recliner Housing with High Tension Steel Plate", J. of KAIS, Vol. 14, No. 8, pp. 3644-3649, 2013.
- [6] M. S. Oh, S. H. Nam and B. G. Lee, "Structure Analysis for Damper of Look-up Clutch", J. of KAIS, Vol. 15, No. 4, pp. 1865-1870, 2014.

**이 종 환(Jong-Hwan Lee)**

[준회원]



- 2013년 2월 : 동명대학교 메카트로닉스공학과(공학학사)
- 2013년 3월 ~ 현재 : 동명대학교 기계시스템공학과 (석사과정)

<관심분야>

Mechatronics, 열해석, 구조해석 등

**노 태 정(Tae-Jung Lho)**

[정회원]



- 1984년 2월 : 부산대 기계설계학과 (공학학사)
- 1986년 2월 : KAIST 생산공학과 (공학석사)
- 1992년 2월 : KAIST 정밀기계공학과 (공학박사)
- 1986년 2월 ~ 1999년 2월 : 삼성중공업 기전연구소(수석연구원)
- 1999년 3월 ~ 현재 : 동명대학교 메카트로닉스공학과 교수

<관심분야>

Mechatronics, Robotics, 기계 제어, 자동화 등