

사이클론을 활용한 경량,저소음 진공집진 스탠딩 그라인더의 성능개선에 관한 연구

노태정^{1*}

¹동명대학교 메카트로닉스공학과

A Study on Performance Improvement of Light and Low-Noise Standing Grinder with Vacuum Dust Collection Using a Cyclone Separator

Tae-Jung Lho^{1*}

¹Dept. of Mechatronics Engineering, Tongmyong University

요 약 진공집진 스탠딩 그라인더는 그라인딩을 하면서 동시에 발생하는 분진을 집진하는 것으로서, 산업현장에서 도장하기 전에 도장 표면이나 용접 후 비드 부위를 깨끗하게 하기 위하여 필요하다. 최근에 스탠딩 그라인더는 연마 및 분진집진 용량이 커졌으나 반면에 발생소음이 적고 콤팩트하고 포터블화하는 추세이다. 이러한 연마와 집진 성능이 증가함에 따라서 소음과 중량이 중요한 문제로 야기된다. 이러한 문제를 해결하기 위하여 효율적인 사이클론을 *Ansys-CFX*에 의하여 해석하여 설계하고 실험을 거쳐서 개발되었으며, 그 결과, 그라인더부의 중량은 5.9kg로서 작업자가 충분히 들고 작업을 할 수 있으며, 개발 제품의 소음은 69.9dB(A)로서 좋은 결과를 얻었다.

Abstract A standing grinder with a vacuum dust collection, which works grinding a surface and collecting dust occurred simultaneously, is needed to clean the surface before painting, or to remove a weld bead burr in the industrial field. In recent it trends to be compact and potable with high grinding and dust collection power, and low noise. As increasing these grinding and dust collection power, the noise and weight of standing grinder occurs an important problem. To solve these problem, an efficient cyclone separator was designed and developed by *Ansys-CFX* analysis and experiments. A weight of the developed grinder part was 5.9kg, which can be easily handled on standing by workers. and a noise level of the developed prototype was measured 69.9 dB(A).

Key Words : Standing grinder with vacuum dust collection, Cyclone separator, Noise level test, *Ansys-CFX* analysis, Grinding fad, Dust filtering test, Acoustic absorbent

1. 서론

일반적으로 벽체나 수직 구조물 등 높은 곳의 표면에 도장 작업과 같은 작업을 효과적으로 수행하기 위하여 사전에 표면의 연마(grinding) 작업이 필요한데, 이러한 표면 연마작업에는 발판 또는 사다리차와 같은 장비를 사용하여 표면에 부착된 이물을 제거하거나 용접 부위를 깨끗하게 닦아 부식부위를 제거하는 작업으로서 작업

자가 손에 들고 직접 연마작업을 수행하는 핸드 그라인더(hand grinder)를 사용한다.

그러나 핸드 그라인더는 소형이기 때문에 강력한 연마를 필요로 하는 피연마면의 경우 그라인더의 구동 용량이 낮아 원하는 연마품질을 얻을 수 없었다. 이를 해결하기 위해서 용량이 큰 모터를 사용하게 되면 중량이 증가해서 작업자가 들 수 없게 된다.

또 바닥을 연마하는 연마기의 경우도 작업자가 허리를

본 논문은 중소기업청의 2010년도 산학공동기술개발사업 연구비 지원으로 수행되었음.

*교신저자 : 노태정(tjlho@tu.ac.kr)

접수일 11년 08월 16일

수정일 (1차 11년 09월 29일, 2차 11년 10월 20일)

게재확정일 11년 11월 10일

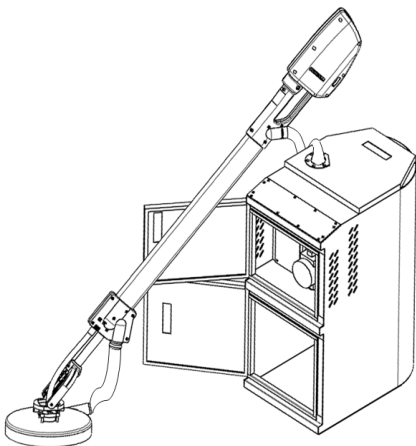
구부리거나 무릎을 꿇은 상태에서 작업을 수행하기도 하기 때문에 매우 불편할 뿐 아니라 연마기 자체의 중량이 커서 이동하면서 연마작업을 하기에는 작업의 피로가 컸다. 그리고 연마작업 시 발생하는 분진이 사방으로 날려 공기 중의 먼지 농도가 높아지게 되어 작업자의 호흡기 등의 건강에도 직접적인 악영향을 주게 된다.

이에 대하여 개발하고자 하는 진공집진 스탠딩 그라인더는 포터블(portable)로서 이동이 자유로우며 작업자가 일어 선 상태에서 가벼운 그라인더부를 손으로 잡고 바닥뿐 아니라 벽체, 천장과 같이 높은 곳의 표면을 깨끗하게 연마하는 동시에 이 때 발생하는 분진을 집진하여 작업환경을 개선하여 작업자의 건강 및 환경보호에 도움이 되도록 개발한다.

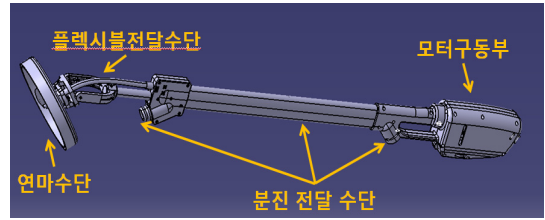
연구적 배경으로서, 허광수[1]는 사이클론 집진기의 벽면 구배에 따른 압력손실과 집진효율에 대하여 수치해석을 수행하였으며, 이재근[2]은 배기필터 종류별로 진공청소기의 분진제거 성능평가에 대한 연구를 진행하였으며, 정재은[3]은 전달경로 해석을 통한 진공청소기의 출력소음의 저감 방안에 대하여 연구하였고, 김정훈[4]과 정지원[5]은 흡음제 종류에 따라 진공청소기의 흡음성능 특성을 분석하고 연구하였다.

2. 전체 시스템 구성

본 연구에서 개발하고자 하는 포터블 진공집진 스탠딩 그라인더의 개념설계는 그림 1과 같으며, 크게 그라인더부(grinder), 집진부(collector), 제어부(controller)로 구성된다.

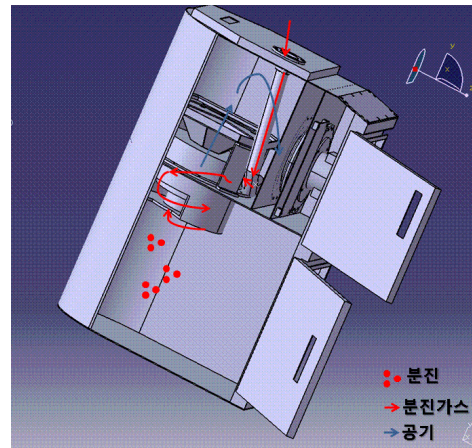


[그림 1] 진공집진 스탠딩 그라인더 개념설계
[Fig. 1] Concept Design of Standing Grinder with Vacuum Collection



[그림 2] 그라인더부 구성 요소
[Fig. 2] Components of Grinder Part

그림 2와 같이 그라인더부는 직접 연마가 이루어지는 연마장치, 구동모터의 동력을 연마장치까지 전달해 주는 플렉시블전달장치, 연마장치에서 흡입된 분진(dust)을 본체의 집진실까지 전달해주는 분진전달장치, 연마휠에 구동력을 제공하는 모터구동부로 구성되며, 추가적으로 구동부 ON/OFF 스위치와 출력조절저항이 그라인더 핸드파트에 설치되어 작업자가 연마작업 중에 스위치를 편리하게 조작하고 구동출력을 조절할 수 있도록 구성하였다.



[그림 3] 집진부 구성 요소
[Fig. 3] Components of Dust Collector

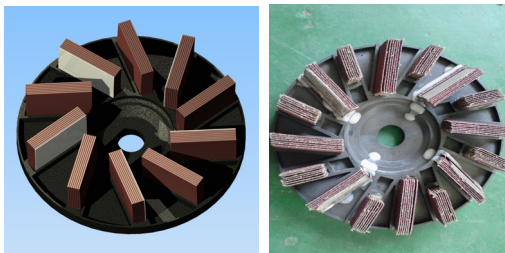
그림 3과 같이, 집진부는 사이클론 분리기(cyclone separator), 분진 집진실, 미세분진 필터, 집진기로 구성되며, 이는 바닥에 바퀴형태의 캐스터가 구비되어 원하는 방향으로 이동 가능한 대차 형상을 가진다.

연마장치에서 흡입된 분진과 공기는 집진호스를 통하여 집진부의 상단부에 위치한 집진관을 통해 사이클론을 거쳐 흡입모터로 들어가는데 분진은 집진기로 떨어지고 공기는 외부로 배출된다.

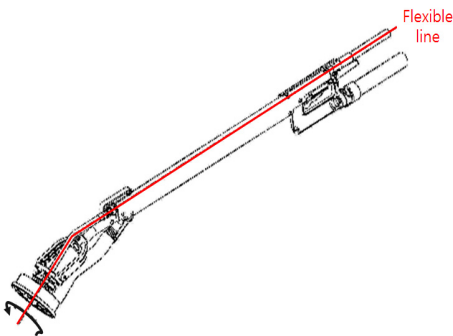
3. 그라인더부 개발

연마장치는 연마휠, 연마패드, 휠커버로 구성하였으며, 연마휠은 원형디스크 형상을 하고 있으며 플렉시블축부의 케이블축에 결합되어 회전한다. 연마휠 상측에는 일정 거리 이격되어 휠커버와 결합되는데, 휠커버는 원형 용기 형상으로 연마휠과 연마패드를 감싸도록 설치되며 연마 패드에 의해 발생하는 분진이 외측으로 비산되는 것을 차단한다. 방사상으로 배치되어 있는 연마패드들로 인하여 회전을 하면서 흡입팬과 같은 기능을 하게 되어 발생하는 분진을 흩어지지 않고 자체적으로 모아 줄 수 있도록 도와준다.

연마휠에는 연마 대상에 밀착되어 연마를 수행하는 그림 4와 같은 연마패드가 부착되는데, 연마패드는 복수개가 한 조를 이루고 이러한 그룹 다수개가 연마휠 상에 방사상으로 장착되어 패드다발을 이루는데, 패드다발에는 다이아몬드 분말을 재료로 표면에 연마돌물이 형성되어 있는 탄성플레이트가 함께 끼워져 연마면과 접촉하며, 패드다발을 지지하여 연마력과 함께 연마를 실시한 후에도 패드다발이 원위치로 복귀하려는 탄성력을 향상시켜주고 있다.



[그림 4] 각종 연마패드 형상
[Fig. 4] Various Kinds of Grinding Fad Shapes



[그림 5] 플렉시블 연결 장치
[Fig. 5] Flexible Connection Device

그림 5와 같이 플렉시블 전달장치는 구동모터의 구동력을 연마장치의 연마휠에 전달하여 연마휠을 고속으로 회전시키는 기능을 한다. 스탠딩 그라인더에서 플렉시블 전달장치가 연마장치의 위치에 따라 휘어질 수 있는 플렉시블한 축으로 구성되어 있는데, 작업자가 선 상태로 손으로 휴대하면서 바닥, 벽 또는 천장 연마작업을 용이하게 할 수 있도록 설계하였다.

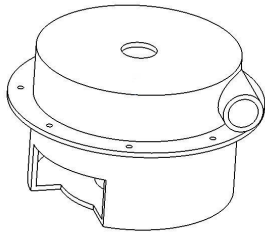
플렉시블축은 연마휠에 직접 결합되고 유연한 재질로 이루어져 있는 케이블축과 이를 보호하기 위해 외부를 감싸는 원통 형상의 튜브로 구성되며, 튜브와 케이블 사이에는 고강압출용 스프링이 존재하여서 케이블의 고속 회전운동으로 인해 발생하는 마찰열을 줄여줄 수 있도록 설계하였다. 하드축은 마찰에 의한 마모 및 열의 발생을 감소시키기 위해 자체적으로 윤활유 역할을 하는 무급유형 쿠션베어링을 장착하여 작업도중 윤활유를 뿌려줘야 하는 번거로움을 없앴다.

진공집진 스탠딩 그라인더의 핸드부의 길이는 1,300mm로 제작하여 높은 벽면도 연마 가능하게 설계하였다. 구동모터를 작업자의 손잡이 쪽에 부착하여 무게의 중심이 작업자의 몸에 올 수 있도록 설계하여 그라인더 핸드부의 무게를 작업자의 몸으로 분산시키고 작업자가 별로 힘을 들이지 않고 벽면 작업을 할 수 있게 하였으며, 개발된 그라인더부의 무게는 연마패드 장착시 5.9kg으로서 기존의 8.3kg에 비하여 경량화 하였다.

휠커버와 휠축이 상하 좌우 45°씩 회전할 수 있도록 힌지에 짐벌 부재를 설치하고 플렉시블 와이어를 통해 각도가 달라져도 동력 전달이 가능할 수 있도록 설계하여 다각도에서 벽면을 연마할 수 있게 하였다.

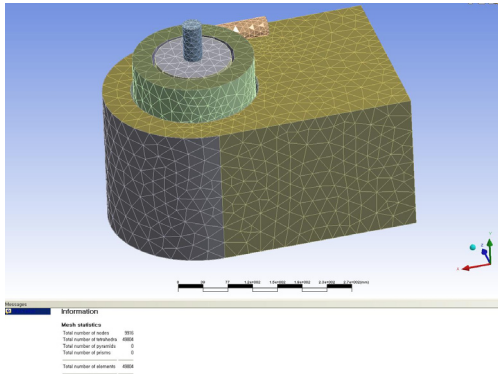
4. 진공집진부 개발

필터부에 미세분진 누적시 필요한 탈리 작업을 위하여 필터부에 필터교체용 문을 설치하고 사이클론에서 필터로 이어지는 연결부위를 깔때기로 설계하여 필터에서 떨어진 분진이 깔때기를 타고 사이클론 중심에 위치한 홀(hole)로 떨어져 분진함에 집진될 수 있도록 그림 6과 같이 개념적으로 설계하였으며, 이로 인해 스탠딩 그라인더를 장시간 작업시 미세분진 누적으로 인한 출력 저하를 해결할 수 있다.

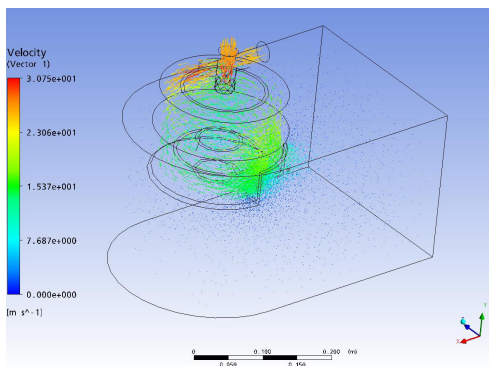


[그림 6] 사이클론 개념 설계
[Fig. 6] Concept Design of Cyclone

사이클론을 실제로 설계, 제작하기 전에 그림 7과 같이 사이클론 형상을 모델링하고 49,804개의 메시를 생성하여, Ansys-CFX에 의한 사이클론의 유동해석[1]을 통해 성능을 예측하였다.



[그림 7] CFD 메시 생성
[Fig. 7] CFD Mesh Generation

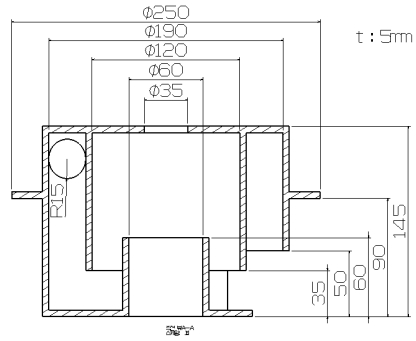


[그림 8] Cyclone 유동해석 결과
[Fig. 8] Fluid Analysis on Cyclone

그림 8에서 보는바와 같이 사이클론의 설계요구 성능으로서 사이클론 출구에서 유속 $25m/s$, 유량 $0.93m^3/min$.

이 발생하려면 사이클론의 입구에서 유속이 $26m/s$ 이 필요하며 압력손실이 회복되는 것을 볼 수 있다.

상기의 해석 결과를 바탕으로 사이클론의 형상 및 사이즈를 설계하였으며, 그 사이클론의 설계 단면도는 그림 9와 같다.



[그림 9] 사이클론 설계 단면도
[Fig. 9] Section View of Cyclone

그림 10과 같이 경량, 간단한 구조의 일체형 사이클론 시작품을 제작 후 AVM-430 풍량 측정기를 통해 사이클론 배출구 후방 30mm 위치에서 10회를 측정하여 평균 유속은 $25.62m/s$ 이며, 평균유량은 $0.945m^3/min$ 이었다. 실제로 측정한 결과와 CFD 유동해석의 오차범위는 약 3% 이내로서 거의 일치함을 알 수 있었다.



[그림 10] 개발한 사이클론 장치
[Fig. 10] Cyclone Appearance Developed

그림 11과 같이 사이클론 제작 후 실제적인 테스트를 거쳤다. 질량이 작고 부피가 큰 종이로서 분진을 테스트 하였을 때는 대부분 분진을 분리하는 성능을 보인다. 그러나 일반적으로 $5\mu m$ 이하 입径의 밀가루 같은 미세 분진의 경우는 약 80%의 분진을 분리하였으나 20%는 흡입되었다. 이는 분진이 사이클론을 통해 고속 회전함에 따

라 미세한 분자가 일정하고 정방향의 회전력을 가짐으로서 정전기에 의한 자기장이 발생한다. 이와 같은 자기장은 분진이 배출될 시 분진이 일정하게 바닥에 쌓이지 않고 집진함의 외벽에 분산되어 쌓이는 역할을 하는 것으로 추정된다.



[그림 11] 분진여과시험: 좌(종이), 우(밀가루)
[Fig. 11] Dust Filtering Test: Left(Paper), Right(Wheat Flour)

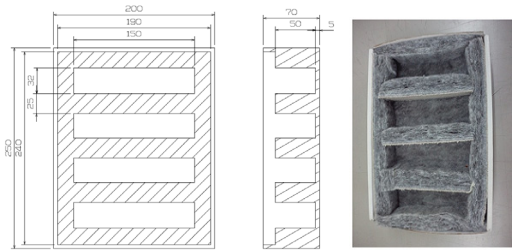
사이클론 몸체의 외측에는 상기 흡입 유로관에 의해 사이클론 몸체 내부에 연통된 외벽을 통하여 고속 회전하여 사이클론 몸체와 분리된 공간을 통해 분진을 집진하여 배출하고 상기 집진함에는 오염물이 포함된 가스를 상기 공간 내 일부분에 충돌하는 방향으로 흡입시키는 흡입관을 형성하여, 상기 흡입관을 통해 공간 내로 흡입된 공기를 그 내면 일부분에 충돌시킴에 의해 흡입압력에 의한 유동력을 상실한 일부 오염물이 자중에 의해 공간 저면에 집진되도록 한다. 또한 사이클론 내의 분진 가스는 사이클론 내벽구조에 의해 손실된 압력 재생시켜 기존 사이클론의 압력손실을 보완하고 일반적으로 입경이 $5\mu m$ 이상에서는 우수한 분리효율을 가지는 것으로 추정된다.

설계한 집진기의 1차 분진 여과과정인 사이클론은 $5\mu m$ 이상의 분진에서는 우수한 성능이 발휘되지만 $5\mu m$ 이하의 미세 분진에서는 취약하기 때문에 미세분진용 백필터(bag filter)를 장착하여 미세분진을 여과할 수 있도록 하였다.[2] 이 백필터는 내부 여과 방식으로 유리섬유, 면섬유 같은 두꺼운 층의 여과재를 자루 모양이나 평판형으로 만든 여과포, 즉 백필터의 섬유층 속에 먼지를 모으는 방식이다. 백필터를 통해 배출된 공기는 집진기를 통해 대기로 송출되며 작업자에게 개선된 작업환경을 제공할 수 있다.

스탠딩 그라인더에 사용하기 위해서 개발한 집진기는 정격출력 $1,300W$, 풍량 $4m^3/min$ 의 사양을 갖는 C&M사의 견습식 흡입모터인 VCF240E04를 사용하여 흡입력을 발생시켰으며, 그 구조는 동력발생부의 아래쪽인 집진실에 위치되어 있다.

집진기 그라인더에서 발생하는 소음을 개선하기 위해

폴리에스테르 흡음소재[3-5]를 이용하여, 그 크기는 $170*250*50mm$ 로 집진기의 송출구를 덮을 수 있도록 그림 12와 같이 소음기를 설계하였으며, 송출된 공기가 빠져 나갈 수 있게 집진기와 소음기의 접촉면을 $5mm$ 의 간격을 두어 제작하여 설치하였다.



[그림 12] 소음기 설계도면 및 제작 외관
[Fig. 12] Design and View of Silencer

이때 가장 큰 소음은 송출구로 배출되는 공기와 함께 나온다. 이와 같은 소음은 소음기의 빈 공간을 통해 흡음재와 충돌하게 되는데 흡음재는 폴리에스테르로 공기는 배출시키고 소음은 흡수하여 이와 같은 과정을 단계적으로 실행 최소화된 소음만을 공기와 함께 배출한다.

소음 측정은 KS 송풍기·압축기의 소음레벨 측정 방법[4]인 KSB-6361:2002에 의거 (재)부산테크노파크 기계부품소재기술지원센터에 의뢰하여 측정하였다. 그림 13과 같이 소음 측정은 무향실 내에서 이루어지며, 그 측정 위치는 개발제품의 최대 소음발생 원인으로부터 각각 거리 $1m$, 높이 $1m$ 떨어진 위치이다.

무향실에서 개발제품의 최대 발생소음의 운전 조건에서 측정한 결과 $69.9dB(A)$ 이었으며, 이는 발생소음이 $90dB(A)$ 인 기존 제품과 비교되며 개발 요구사항을 만족하였다.



[그림 13] 무향실내의 개발제품의 소음측정
[Fig. 13] Noise Measurement in anechoic room

5. 결론

포터블 진공집진 스탠딩 그라인더는 이동이 자유로우며 작업자가 일어 선 상태에서 가벼운 그라인더부를 손으로 잡고 바닥뿐 아니라 벽체, 천장과 같이 높은 곳의 표면을 깨끗하게 연마하는 동시에 이 때 발생하는 분진을 집진하여 작업환경을 개선하여 작업자의 건강 및 환경보호에 도움을 주기 위하여 그림 14와 같이 개발되었다.



[그림 14] 개발 시작품 외관
[Fig. 14] Overall View of Prototype Developed

본 논문에서 사이클론을 활용한 경량, 저소음의 진공 집진 스탠딩 그라인더 성능개선 결과를 요약하면 다음과 같다.

- (1) 사이클론의 CFD 유동해석에서 입구유속을 26m/s로 하면 출구유속 25m/s, 유량 $0.93m^3/min$ 을 유지할 수 있다는 시뮬레이션 결과를 사이클론 설계에 반영하였으며, 사이클론 시작품을 제작 후 실제로 측정결과 출구유속은 25.62m/s, 유량은 $0.945m^3/min$ 이며, 오차범위는 약 3%이내로 거의 일치함을 알 수 있었다.
- (2) 사이클론의 분진 여과시험 결과, 입경이 $5\mu m$ 이상에서는 성능이 우수한 분리효율을 가졌고, 또한 일체형 사이클론을 채택하여 경량 구조로서 이동이 가능한 포터블로 개발하였다.
- (3) 연마패드를 장착한 그라인더부의 중량을 5.9kg으로 경량화 하였고, 그 무게 중심을 작업자 몸체 쪽으로 두어 작업자가 일어난 상태에서 작업하기에 편리하도록 하였다.
- (4) KSB-6361:2002에 의거 무향실에서 개발제품의 발생 소음을 측정한 결과 69.9dB(A)로서 저소음의 개발사양을 충족하였다.

Reference

- [1] K.S. Heo and S.Y. Seol, "Numerical Study about Pressure Loss and Collection Efficiency depend on cyclone wall curvature", KSME, Proc. of KSME 2008 Spring Conference, pp. 648-687, 2008.
- [2] J.K. Lee, H.P. Ji, O.C. Hyun, S.C. Kim, "Filter Performance Evaluation of the Dust Removal in the Vacuum Air cleaner", KSME, Proc. of KSME 1996 Fall Conference, pp. 408-413, 1996
- [3] J.E. Jeong, J.H. Lee, C.O. Chung, G.B. Hwang and J.E. Oh, "Noise reduction of Vacuum Cleaner's Output Noise Using Transfer Path Analysis", KSPE, Proc. of KSPE 2009 Fall Conference, pp.75-76, 2009.
- [4] J.H. Kim, T.J. Cho, J.W. Jeong, M.J. Choi and S.G. Lee, "A Study on Acoustic Absorption Efficiency of Vacuum Cleaner by Kinds of Acoustic Absorbent", KSNVE, Proc. of KSNVE 2007 Spring Conference, 2007.
- [5] J.W. Jung, T.J. Cho and M.J. Choi, "A Study on Noise and Acoustic Absorption Characteristics of a Vacuum Cleaner on the line of Additional Acoustic Absorbent", KSPE, Proc. of KSPE 2007 Spring Conference, pp.77-78, 2007.

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, 제어·자동화, LCD물류반송 자동화, 향만하역설비 자동화, 태양광발전 Module 제조장비 등