

움직임이 자유로운 Time-lapse dolly 설계

김승민¹, 김흥일¹, 전승우¹, 황정길¹, 우윤환^{1*}
¹한성대학교 기계시스템공학과

Free Moving Time-lapse dolly Design

Seung-Min Kim¹, Heung-Il Kim¹, Seung-Woo Jeon¹, Jeong-Kil Hwang¹
and Yoonhwan Woo^{1*}

¹Mechanical Systems Engineering, Hansung University

요약 최근 DSLR 카메라의 보급이 높아졌고, 이로 인해 DSLR을 활용한 여러 가지 촬영기법 중 동영상 촬영기법의 하나인 Time-lapse 촬영기법이 개발되었다. Time-lapse란 기존 동영상 촬영을 하지 않고 한 컷 당 일정 시간 간격을 두고 연속 사진 촬영하여 효율적이고 고화질의 동영상을 제작하는 촬영기법이다. 이를 위해서는 카메라의 이동속도와 방향 셔터속도 제어가 가능한 기계적 장치(dolly)가 필요하며 이에 본 논문에서는 주어진 설계조건을 만족하는 이동시스템의 설계방법을 제시하고 최종설계에 대한 정적, 동적 각 상태에서의 응력해석을 통한 설계의 타당성을 검증하였다.

Abstract The supply of DSLR cameras has increased recently. Because of its widespread use, different types of DSLR camera video techniques have also been developed. Time-lapse is an effective filming technique that helps produce a fine-quality video clip by taking pictures of multiple camera shots during certain time intervals without recording the actual video clip, as the existing technique does. Machinery equipment (dolly), which controls the speed of movement and shutter, needs to be deleted. This paper introduces a method for a designing movement system that satisfies the design conditions. In addition, this paper proved the validity of the design by performing stress analysis on the static and dynamic conditions of the final design.

Key Words : DSLR, Machinery equipment, Time-lapse, Video techniques.

1. 서론

최근 DSLR 카메라의 보급이 활발해지면서, 이를 활용한 여러 가지 촬영기법이 개발 되었으며 동영상 촬영 기법도 동시에 개발되어 이전에 널리 쓰이던 VOD가 아닌 DSLR로도 동영상 촬영이 가능한 VDSLRL이 탄생하게 되었다. 하지만, 이 VDSLRL은 쉽고 간편한 동영상 촬영 기법인 것에 반해 밤하늘의 별처럼 빛이 부족한 경우 촬영이 어려우며, 촬영을 하더라도 영상의 화질의 저하가 나타난다. 이를 개선하여 만들어진 것이 Time-lapse라는

촬영기법이다.

Time-lapse는 특수 촬영 기법의 일종으로 일반적으로 촬영되는 프레임 시퀀스 보다 훨씬 낮은 Frame rate를 사용해 촬영된 것을 일반적인 속도로 재생하게 되면 결과적으로 빠른 시간의 흐름을 담을 수 있게 되는 기법이다.

Fig. 1의 첫 번째 그림처럼 1초에 24장을 캡처 한 카메라 사진을 24 frame 동영상 프로젝트로 만들면 자연스러운 평균속도의 동영상으로 보이지만 두 번째처럼 6장으로 캡처된 카메라 사진을 프로젝트로 만들면 평균속도보다 4배가 빠른 속도로 재생이 된다.

본 논문은 한성대학교 교내연구비 연구과제로 수행되었음.

*Corresponding Author : Yoonhwan Woo(Hansung Univ.)

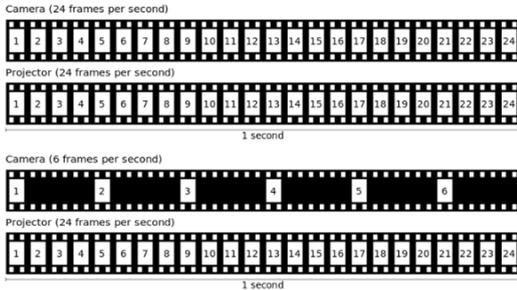
Tel: +82-2-760-4149 email: yhwoo@hansung.ac.kr

Received August 16, 2013

Revised October 1, 2013

Accepted December 5, 2013

이렇듯 Time-lapse는 DSLR에 의해 정해진 간격으로 촬영된 사진들을 정상 속도로 이어 붙여 영상화 하는 것으로 TV, 영화, 다큐멘터리 분야에서 널리 쓰이고 있으며, 기본적인 Time-lapse 촬영을 하고 영상을 제작하기 위해서는 인터벌 기능이 있는 카메라 혹은 인터벌 리모컨 그리고 삼각대만 있으면 된다. 그러나 고급 Time-lapse 영상 제작이 요구될 시에는 셔터속도 제어와 DSLR의 이동속도, 방향 제어가 가능한 기계적 장치인 Time-lapse dolly라는 이동시스템을 활용해야 한다.



[Fig. 1] The difference of time-lapse and frame rate.

현재 시중에서 유통되고 있는 Time-lapse dolly는 Fig. 2에서 보이는 SKYPIX 사의 제품과 같이 대부분 톱니로 이루어진 기어와 벨트로 제작되어 있다. 하지만, 벨트와 기어로 이루어진 Time-lapse dolly의 가장 큰 단점은 벨트의 길이만큼만 이동할 수 있고 회전촬영이 불가능하다는 것이다. 이는 좀 더 역동적인 촬영을 원하는 사용자들에게 불편함을 주고 있다.

이에 본 연구에서는 이러한 불편함을 해소하고 사용자들의 요구사항을 수렴하여 Time-lapse dolly 자체의 움직임을 개선하는 설계를 진행하였다.

1.1 설계목적

기존의 Time-lapse dolly의 움직임은 약 1m거리의 레일 위를 직선왕복 운동하는 구조로 되어있고 구동부인 톱니기어와 벨트는 회전기능을 가지고 있지 않다. 그래서 우리는 기존의 톱니기어와 벨트 구동부를 다른 방식으로 설계하여 한정된 레일 위를 벗어나 무제한적인 직선운동이 가능하게 만들고 회전촬영이 가능한 Time-lapse dolly를 설계하고자 한다.



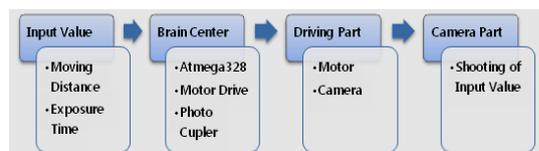
[Fig. 2] Astro dolly of skypix co.

2. 제품 설계

2.1 제품 구성 및 부품 선정

2.1.1 시스템 구성

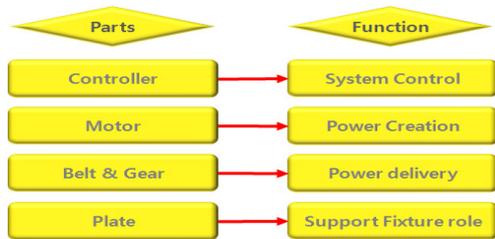
전체적인 시스템의 구조는 Fig. 3에 보여진 바와 같이 Time-lapse dolly의 제어부를 통하여 입력된 사용자 정의의 입력 값인 이동거리, 노출 시간 등을 받아 그 값들을 Time-lapse dolly를 구동시킬 기본 값으로 받아들여지게 된다. 입력 값들은 제어부에 입력되어 모터를 구동시키는 센서인 모터 드라이브를 통해 입력 값을 신호로 변환하여 모터에 전달한다. 카메라를 컨트롤 하는 센서인 포토 커플러는 입력 값인 노출시간을 릴리즈 타임으로 변환하여 카메라를 구동하고 제어한다. 이렇게 각 센서에 의해 전달된 입력 값을 전달 받은 모터와 카메라는 사용자가 입력한 이동거리와 노출 시간에 맞추어서 연속 촬영을 진행하게 된다.



[Fig. 3] System of time-lapse dolly

2.1.2 제품의 구조 및 주요파트 도출

기존의 Time-lapse dolly의 구조는 넓은 판 위에 시스템을 제어하는 콘트롤러와 구동을 담당하는 모터, 구동부 역할을 하는 벨트와 기어, 전력을 담당하는 배터리, 마지막으로 모든 부품들을 지지하고 전체 형태를 이루는 플레이트로 이루어져 있다. 여기서 우리는 설계목표를 만족시키기 위해 영향을 끼치는 구조를 선정해보면 Fig. 4와 같다.



[Fig. 4] Component diagram

콘트롤러는 Time-lapse dolly의 전체적인 시스템을 제어하는 역할을 하기 때문에 설계하는데 필수이며, 모터는 운동 할 수 있도록 동력을 생성하므로 모터를 고려한 설계가 필요하다. Time-lapse dolly가 운동을 하기 위해서는 기기 아래에 위치한 구동부 역할을 하는 타이밍 벨트와 톱니모양 기어가 꼭 필요하다. 이 구동부에 따라서 Time-lapse dolly의 운동 범위도 바뀌므로 설계목표인 이동거리의 제약을 없애려면 구동부의 개선이 필요하다. 플레이트는 부품 지지 및 기본형태 유지, 시스템 전체 구조의 틀이므로 설계에서 개선이 꼭 필요한 부분이다.

2.1.3 구조별 대안 도출

각 구조별로 준거를 세워 1점부터 3점까지 점수를 매겨가며 부품들을 선정하였다. 콘트롤러를 Table 1, 2, 3과 같이 전체 시스템을 관장하는 CPU, 서터제어를 하는 포토 커플러, 모터를 제어하는 모터 드라이브로 나눠서 선정하였다.

[Table 1] The selection of the controller

	Economics 1~3	Availability 1~3	Accessibility 1~3	total
AVR Atmega 128	1	2	1	4
Arduino Atmega 328	3	3	3	10

Arduino는 AVR에 비해 값이 저렴하고 연계되는 프로그램과 오픈소스가 많이 존재하여 활용성과 접근성이 뛰어나다.

[Table 2] The selection of the photo coupler

	compatibility 1~3	Size 1~3	Economics 1~3	total
Interval Release	3	1	1	5
NTE 3086 Photo coupler	3	3	3	9
TLP620 Photo coupler	1	3	3	7

NTE3086은 Arduino와 호환이 잘되고 크기가 작아 부피를 줄일 수 있고 가격 역시 저렴하여 본 설계에 적합하다.

[Table 3] The selection of the motor drive

	Economics 1~3	Size 1~3	Output 1~3	total
H-BRIDGE	1	1	2	4
511-L293E Motor Drive	3	3	2	8
BA6208 Motor Drive	2	3	2	7

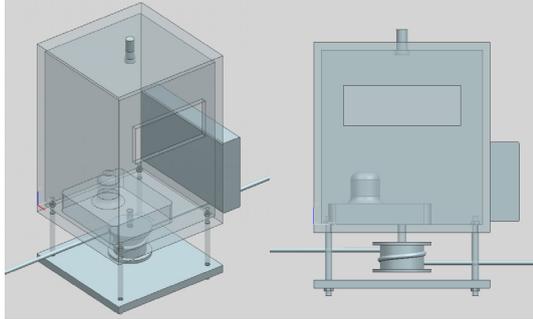
부품의 크기가 작고 많이 사용되는 모터드라이브를 선정하였다.

[Table 4] The selection of the motor

	Price 1~3	Output torque 1~3	Velocity 1~3	total
8.75 rpm	2	3 (6.8kg possible)	3 (0.01 m/s)	7
25 rpm	2	1 (3.6kg possible)	1 (0.04 m/s)	4
50 rpm	1	1 (2.6kg possible)	1 (0.07 m/s)	3

설계의 구동부 역할을 할 부분 역시 Table 5처럼 준거를 세워 선정하여 길이의 제약을 받지 않고 기어를 이용하지 않아 톱니 크기에 의한 움직임의 오차가 적은 와이어 풀리를 이용해서 구동하게 하였다. Fig. 5처럼

Time-lapse dolly 하단에 풀리를 장착하여 와이어가 감기며 이동하게 설계하였다.



[Fig. 5] CAD models of the wire & pulley moving system.

[Table 5] The selection of the moving parts

	Friction Area 1~3	Error 1~3	Length Limit 1~3	total
Gear & Belt	3	1	1	5
Gear & Wire	1	2	3	6
Pulley & Belt	1	2	1	4
Pulley & Wire	2	3	3	8

구동부 부분에서 와이어는 변위가 일어나지 않는 스태틱 와이어(Static wire)로 사용한다.

[Table 6] The selection of the material

	Corrosion 1~3	Strength 1~3	Machinability 1~3	total
Aluminum	3	3	1	7
Acrylic	3	2	3	8
Wood	1	1	3	4

부식이 잘 일어나지 않고 강도도 준수하며 가공성이 손쉬운 Acrylic로 선정하였다.

[Table 7] The selection of the part

Element	Parts
Control	Arduino Atmega 328
Shutter trigger	NTE 3086
Motor drive	511-L293E
Motor	8.75 RPM
Moving Parts	Pulley & Wire
Material	Acrylic

이렇게 준거를 통해 선정된 각 요소별 부품들을 정리하면 Table 7로 나타낼 수 있다.

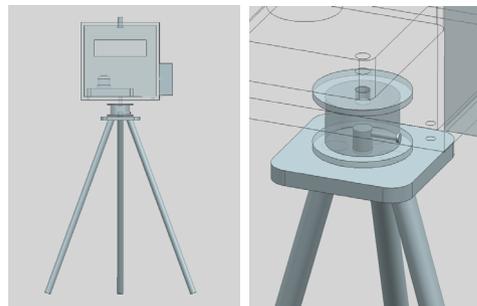
2.2 최종제품의 설계

외형적 구조는 기존의 플레이트에 각각의 부속을 얹어 놓은 형태가 아닌 Fig. 6과 같이 정육면체 모양의 일체형 케이스를 사용하여 무게중심을 정중앙에 있게 제작하여 보다 더 안정적인 움직임이 가능하게 한다. 각각의 부품을 박스형 바디에 모아 관리하기 쉽고 휴대성을 간편하다. 제품의 부피는 각 요소별 부품들이 들어갈 수 있어야 하므로, 가로×세로×높이×두께를 120×120×120×5(mm)로 선정하였다.

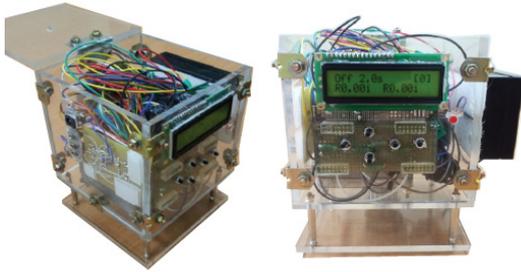


[Fig. 6] CAD model of the proposed dolly system.

Fig. 7과 같이 시스템의 현 상황을 볼 수 있는 LCD와 소프트웨어를 조작할 수 있는 스위치, 그리고 구동부 역할을 하여 와이어가 감길 풀리를 모터에 장착했다. 여기서 풀리의 하단중앙을 삼각대 볼트(1/4 인치)에 장착하여 회전기능이 가능하게 하고, Fig. 7과 같이 풀리 측면에 볼트를 조여 삼각대 볼트와 고정시켜 회전기능의 안정성을 높였다.



[Fig. 7] Implementation of rotational function.



[Fig. 8] The final prototype of the time-lapse dolly

Fig. 8은 도출된 설계를 바탕으로 실제 제작한 프로토타입 time-lapse dolly의 모습을 보여주고 있다.

[Table 8] Material property of pmma

Materials	PMMA
Tensile Strength ultimate	62 MPa
Yield Strength	69 MPa
Breaking strength	87 MPa
Modulus of Elasticity	2.9 MPa
Poisson's Ratio	0.3

3. 제품 평가

3.1 해석방법

평가를 통해 정한 Acrylic을 본 설계에 이용한다. Acrylic 의 정식 재료명은 Polymethyl Methacrylate (PMMA) 이며 Table 8과 같이 물성치를 얻을 수 있고 안전계수 지정에 따라 항복 응력을 구하였다.

먼저 안전계수는 여러 가지 방법 중 Cardullo의 방법을 이용한다. Cardullo의 방법은 식 (1)과 같이 정의된다.

$$\text{안전계수}(n) = a \times b \times c \quad (1)$$

- a: Breaking strength와 Yield strength과의 비율
- b: 충격계수
- c: 재료의 결함수치

Time-lapse dolly는 카메라의 정하중이 작용하는 경우이므로 충격계수는 1이다.

$$a = \frac{87MPa}{69MPa} = 1.3$$

아크릴은 잘 깨지는 취성 재료이므로 2이다. 따라서

안전계수(n) = $1.3 \times 1 \times 2 = 2.6$ 이며 반올림하여 3의 안전계수를 지정 하였다.

[Table 9] Condition of limitation

Safty factor	3
Yield Strength	69 MPa
Allowable Strength	23 MPa
Tensile strength ultimate	62 MPa
Modules of Elasticity	2.9 Gpa
Poisson's Ratio	0.3

Acrylic의 고유 물성치는 Table 8과 같이 나타난다. 그리고 안전계수선정을 Cardullo의 방법을 이용하여 3이라 지정하였다. 이 때 알 수 있는 Acrylic의 제한조건 Table 9에 나타내었고, Allowable Strength 23MPa는 Time-lapse dolly의 안전성 평가에 사용하고 Modules of Elasticity, Poisson's Ratio는 Abaqus를 이용하여 응력 분석에 사용하였다. 또 높은 수준의 영상을 얻어내려면 이동시 관성 및 가속도등에 의한 진동을 최소화해야 하므로 이와 관련된 해석도 수행하였다.

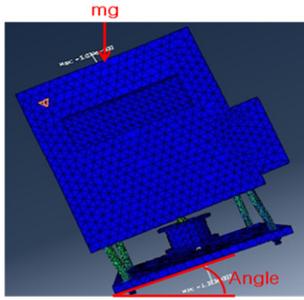
[Table 10] Upper stress analysis of load

Weight (kg)	1	2	3	4	5
MAX (MPa)	2.18	4.37	6.56	8.75	10.94
Weight (kg)	6	7	8	9	10
MAX (MPa)	13.13	15.32	17.51	19.69	21.88

3.2 안전성 평가

카메라는 렌즈의 사용에 따라서 그 무게가 달라 질 수 있다. 이에 따라서 Time-lapse dolly가 받는 하중의 크기도 달라진다. Table 10과 같이 카메라의 무게를 1kg씩 증가시키면서 Time-lapse dolly가 받는 응력(MPa)을 분석하였다.

무게를 증가시키며 진행할 때 11kg에 도달하면 24.07MPa의 von-mises stress가 발생하여 허용응력 23MPa을 초과한다. 하지만 촬영에 사용되는 어떤 DSLR 카메라도 무게가 10kg을 초과하는 경우는 없으므로 본 time-lapse dolly를 사용하는 것은 안전하다.



[Fig. 9] Structural analysis for inclined cases.

Fig. 9과 같이 Time-lapse dolly를 경사진 곳에서 움직일 때를 분석해 보았다. 일정한 각도를 가진 경사를 움직일 때 받침대와 폴리를 구속조건으로 정하였고 Time-lapse dolly의 하중에 의한 변형이 나타난다. 위의 무게에 따른 응력 분석을 응용하여 기울어짐에 따른 응력 분석을 진행 하였다.

[Table 11] Stress analysis of load & gradient (MPa)

weight \ angle		angle				
		0°	10°	20°	30°	40°
weight	9kg	19.6	20.09	20.7	21.7	22.3
	10kg	21.8	22.32	23.0	24.2	25.0
weight \ angle		angle				
		50°	60°	70°	80°	90°
weight	9kg	22.8	22.75	22.2	21.4	20.8
	10kg	25.3	25.2	24.7	23.7	23.1

Table 11을 통해 분석 결과 무게 및 각도가 증가할수록 von-mises stress 역시 선형적으로 증가하고 무게 10kg와 기울기 20° 이상일 때 허용응력 23MPa를 초과하기 때문에 안정성의 문제가 생긴다.

따라서 Time-lapse dolly는 무게 10kg와 기울기 20° 이하에서 구동하는 것이 바람직하고, 일반적인 DSLR 카메라의 무게가 10kg 미만이므로 안전성에 영향을 끼치지 않아 사용하기에 충분하다.

3.3 진동 평가

회전수와 반지름에 따른 속도는 식(2)와 같다.

$$v = r \times \omega \tag{2}$$

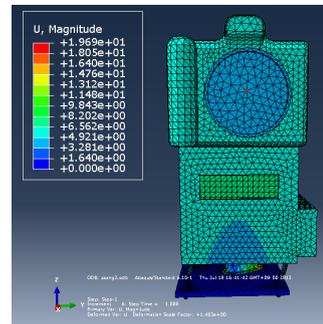
구동부 모터의 분당 회전수는 8.75 rpm으로 각속도 변환하면 0.9163 rad/s를 얻을 수 있다. 이 각속도 값과 폴리의 반지름 15mm를 식(2)에 적용하면모터의 속도는

13.744mm/s를 얻는다. 이를 이용하여 처음 움직일 때의 Time-lapse dolly에 가해지는 힘을 식(3)에 의해 얻을 수 있다.

$$F = ma = m \times \frac{V - V_0}{\Delta t} = \frac{m V - m V_0}{\Delta t} \tag{3}$$

초기속도 0과 나중속도 13.744mm/s, 질량은 기본 보급기 DSLR 및 단 렌즈의 총 무게 2kg과 Time-lapse dolly의 무게 5kg의 합인 7kg이고, 그때의 순간 시간인 Δt 는 0.1s로 가정하여 계산하면 힘은 약 980N이 된다. 이 힘은 폴리에 작용하고 방향은 수평이라는 가정 하에 카메라 렌즈 중앙의

최대 진폭을 구해보면 Fig. 10과 같이 나타난다.



[Fig. 10] Analysis of vibration

이 때 힘에 의한 렌즈 중앙의 최대 변위는 4.06mm라는 값을 얻을 수 있다. 하지만, 이 변위를 고려하여 코드를 모터의 회전이 멈춘 후 일정시간 후에 셔터의 촬영이 되고 그 후 다시 이동하는 Run-Stop-Shot으로 설계를 하여 변위의 영향을 한 단계 줄였고, DSLR 자체의 손떨림 보정 기능으로 인해 한 단계 더 줄여 무시해도 무방하다.

4. 결론

본 연구에서는 폴리와 와이어를 이용하여 설계목표인 이동거리의 제약을 없앴으며 회전촬영이 가능하게 설계하였다. 또 기존 분리형 Time-lapse dolly를 간편화하여 일체형 외형으로 변경하였다.

1. Time-lapse의 사이즈를 회로 및 부품 등의 부피로 선정한 가로×세로×높이×두께 = 120×120× 120×5 (mm)는 회로 기판을 따로 설계하고 커넥트 와이어를 사용하지 않는다면 제품의부피를 줄이고 더 낮

은 무게중심으로 좀 더 안정적인 Time-lapse dolly 형태가 가능할 것이다.

2. 제품화시켰을 시 재료를 알루미늄 또는 플라스틱으로 제작하여 더 높은 항복강도와 내구성을 얻을 수 있을 것이다.
3. 본 설계는 단일 모터로 구성하여 직선운동과 회전운동은 독립적이라 동시에 구동하기는 힘들지만 두 개 이상의 구동 모터를 구성하면 직선운동과 회전운동이 동시에 가능하다.

References

- [1] Il-Tae Kim, "Manhwa Animation Dictionary", 50-60, 318-420, Bucheon Cartoon Information Center, 2009.
- [2] Naver, "Time-lapse", <http://terms.naver.com/entry.nhn?cid=374&docId=1651157&mobile&categoryId=374>, (accessed Jun. 28th. 2013)
- [3] SLRclub, Time-lapse Model, www.slrclub.com, (accessed March. 5th. 2013)
- [4] skypix, spec of part, www.skypix.co.kr, (accessed March. 5th. 2013)
- [5] Wikipedia, The difference between Time-lapse camera work and Frame late, www.wikipedia.org, (accessed Jun. 1th. 2013)
- [6] Gere, James M., Goodno, Barry, "Mechanics of Materials", pp.60-150, Cengage Learning, (April, 1th, 2008)
- [7] Nader G. Zamani, Shuvra Das. / Das, Shuvra. "ABAQUS for CATIA V5 tutorials :AFC V2.5", pp.15-120, 2008.

김 승 민(Seung-Min Kim)

[준회원]



- 2008년 3월 ~ 현재 : 한성대학교 기계시스템공학과 재학

<관심분야>
신재생 에너지 산업

김 흥 일(Heng-II Kim)

[준회원]



- 2008년 3월 ~ 현재 : 한성대학교 기계시스템공학과 재학

<관심분야>
자동차 설계 및 튜닝

전 승 우(Seung-Woo Jeon)

[준회원]



- 2008년 3월 ~ 현재 : 한성대학교 기계시스템공학과 재학

<관심분야>
철강 및 재강 산업, 건설 플랜트 산업

황 정 길(Jeong-Gil Hwang)

[준회원]



- 2008년 3월 ~ 현재 : 한성대학교 기계시스템공학과 재학

<관심분야>
건설 및 건축 설계, 플랜트 산업

우 윤 환(Yoonhwan Woo)

[정회원]



- 2002년 6월 ~ 2004년 8월 : 국민대학교 자동차공학전문대학원 계약교수
- 2004년 9월 ~ 2005년 2월 : 성균관대학교 기계기술연구소 연구교수
- 2006년 3월 ~ 현재 : 한성대학교 기계시스템공학과 부교수

<관심분야>

기계설계, 형상모델링, CAD/CAM