

## 편심캠을 이용한 소형감속기의 변속특성에 관한 연구

염광욱\*, 함성훈  
동주대학교 자동차·기계과

### Study on Shift characteristic of Small reducer using Eccentric arm

Kwang-Wook Youm\*, Seong-Hun Ham

Dept. of Automobile&Mechanics, Dong-Ju University

**요약** 본 연구에서는 부피는 기존 1단 감속기와 동일한 수준을 유지하면서 2단의 감속비를 갖는 소형감속기에 대한 개발을 위하여 새로운 형태의 편심캠을 이용한 감속기의 연구를 진행하였다. 따라서 자동차에 적용되는 무단변속기의 개념을 이용하여 2단 감속기를 설계하였다. 캠은 감속풀리와 가속풀리에 각각 연결되어있는 V-벨트를 압착하여 미끄러짐을 최소화하기 위하여 텐서너 역할을 할 수 있도록 180°의 위상차를 두고 편심형태를 가지는 구조로 설계하였다. 또한 캠의 직경을 35mm로 하고, 외경의 폭을 18mm로 하여 v-벨트의 외측부분과 캠이 완벽하게 접촉할 수 있는 구조로 설계하였다. 감속을 위한 저속 풀리는 입력축에 지름 50.8mm의 풀리를 설치하고, 출력축에 지름 76.2mm의 풀리를 설치하였다. 가속을 위한 고속 풀리에는 입력축에 지름 76.2mm의 풀리를 설치하고, 출력축에 지름 50.8mm의 풀리를 설치하였다. 설계된 내용을 토대로 변속기의 동력전달효율실험과 발열특성에 대한 실험을 진행하여 타당성을 검증하였다. 또한 타당성 검증을 통하여 감속기의 적합성을 증명하였다.

**Abstract** In this study, a new type of eccentric cam was used for the development of a small size reducer with a two-shift reduction ratio while maintaining the same volume as the existing one-shift speed reducer. Therefore, a two-shift speed reducer was designed using the concept of a continuously variable transmission applied to automobiles. The cam was designed to have an eccentric shape with a 180° phase difference to act as a tensioner to minimize slip by squeezing the V-belt connected to the deceleration pulley and the acceleration pulley, respectively. The cam was designed to have a diameter of 35mm and an outer diameter of 18mm so that the outer portion of the v-belt could contact the cam perfectly. A pulley with a diameter of 50.8mm was installed on the low speed pulley input shaft for deceleration and a pulley with a diameter of 76.2mm was provided on the output shaft. In the high-speed pulley for acceleration, a pulley with a diameter of 76.2mm is provided on the input shaft, and a pulley with a diameter of 50.8mm is provided on the output shaft. Based on the design details, the power transmission efficiency test and the heating characteristics of the transmission were tested to verify the feasibility. In addition, through validation, the suitability of the reducer was demonstrated.

**Keywords** : Eccentric arm, Efficiency characteristic, Pulley, Small reduce, Temperature characteristic

### 1. 서론

내연기관 자동차는 연료를 연소시켜서 발생하는 열에너지를 이용하여 구동하기 때문에 그에 따른 유해가스가

발생된다. 자동차에서 발생하는 CO, HC, NOx와 같은 유해가스에 자주 노출되게 되면 호흡기질환이나 피부점막의 손상과 같이 인체에 치명적인 피해를 줄 수 있다.[1-3]또한 대기오염과 그에 따른 지구 온난화와 같은

본 논문은 동주대학교 연구과제로 수행되었음.

\*Corresponding Author : Kwang-Wook Youm(Dongju Univ.)

Tel: +82-51-200-3410 email: youm.k.w@hanmail.net

Received February 1, 2017

Revised February 15, 2017

Accepted March 10, 2017

Published March 31, 2017

문제가 발생되기 때문에 지구 대기환경 보호와 에너지원의 고갈을 막기 위하여 에너지 절약 및 대체 에너지 개발이 활발히 이루어지고 있다.[4-6]따라서 자동차 업계에서는 대체에너지를 이용하며 유해가스배출이 적은 하이브리드 자동차, 전기자동차, 연료전지 자동차와 같은 친환경 자동차의 개발을 추진하고 있다.[7,8]이러한 친환경 자동차는 공통적으로 배터리에 저장되어있는 전기 에너지를 이용하여 모터를 작동시켜 구동력을 발생하기 때문에 구동에 따른 유해가스가 발생하지 않는 장점이 있다. 하지만 배터리의 용량이 한정적이기 때문에 자동차의 부하를 최소화하기 위해서 부품의 개수나 부피와 중량을 줄이기 위한 연구가 중점적으로 이루어지고 있다. 자동차에 적용되는 부품의 부피나 중량을 줄이는 방법은 여러 가지가 있지만 모터만을 사용하여 동력을 발생시키는 친환경 자동차의 경우 모터에 인가되는 전류량을 조절하면 모터축의 회전수를 조절할 수 있기 때문에 출력축으로 전달되는 토크와 회전속도의 조절이 가능하다. 또한 모터에 인가되는 극성을 변환시켜주면 정회전과 역회전이 가능하다.[9,10] 따라서 현재 개발되는 전기 자동차의 경우 내연기관 자동차에서 필수적으로 필요했던 변속기가 삭제되는 추세이다.[11,12] 하지만 초기 구동력 확보를 위하여 감속기를 장착하고 있다. 따라서 기존의 변속기에 비하여 감속기의 구조가 간단하기 때문에 부품의 부피 및 중량을 현저하게 줄일 수 있다. 때문에 현재 전기 자동차 같은 경우에는 변속기가 아닌 감속기가 장착이 되고 있다. 하지만 이러한 감속기의 경우 정해진 1단의 감속비로만 운행되기 때문에 효율적인 측면에서 단점이 발생할 수 있다.

따라서 본 연구에서는 부피는 기존 1단 감속기와 동일한 수준을 유지하면서 2단의 감속비를 갖는 소형감속기에 대한 개발을 위하여 새로운 형태의 편심캠을 이용한 감속기의 연구를 진행하였다. 또한 개발된 감속기의 동력전달 효율시험과 구동시 발생하는 발열특성을 통하여 감속기의 적합성을 확인하였다.

## 2. 본론

본 연구에서는 자동차에 적용되는 무단변속기의 개념을 이용하여 2단 감속기를 설계하였다. 무단변속기는 입력축 풀리와 출력축 풀리를 구성하여 차량이 주행함에

따라 가변풀리를 이용하여 입력축 풀리의 직경과 출력축 풀리의 직경변화에 따른 변속이 이루어진다.[13,14] 본 연구에서 개발하는 감속기의 구조는 무단변속기와 동일하게 입력축 풀리와 출력축 풀리를 두는 것은 같지만 별도의 가변풀리를 두지 않고 감속과 가속의 변속비가 결정된 각각의 풀리를 적용하여 주행조건에 따라 선택적으로 변속이 이루어지는 구조를 채택하였다. 그에 따라 운행조건에 따라 변속레버를 이용하여 변속을 가능하도록 하는 캠축과 감속기구조를 설계하였다.

### 2.1 편심캠 설계

캠은 감속풀리와 가속풀리에 각각 연결되어있는 V-벨트를 압착하여 미끄러짐을 최소화하기 위하여 텐서너 역할을 할 수 있도록 180°의 위상차를 두고 편심형태를 가지는 구조로 설계하였다. 캠의 직경을 35mm로 하고, 외경의 폭을 18mm로 하여 V-벨트의 외측부분과 캠이 완벽하게 접촉할 수 있는 구조로 설계하였고, 캠 내경에 15mm의 내경을 갖는 변속레버 축이 삽입될 수 있도록 가공하여 변속레버를 삽입하였다. 또한 캠에 삽입된 변속레버에 의해 캠의 저항이 발생되지 않도록 캠과 변속레버 축 사이에 베어링을 삽입하여 벨트를 압착한 상태에서 캠이 회전하면서 캠과 V-벨트간의 마찰로 인하여 발생하는 동력손실을 최소화하였다. 이렇게 설계한 편심캠과 변속레버가 감속기에 고정될 수 있도록 하우징을 설계하여 Fig. 1과 같이 제작하였다.



Fig. 1. Structure of eccentric arm

### 2.2 감속기 구조 설계

동력의 전달을 위한 감속기의 형태는 무단변속기 형태를 차용했기 때문에 입력축과 출력축에 지름이 각각 다른 풀리를 적용하였다. 감속을 위한 저속 풀리는 입력축에 지름 50.8mm의 풀리를 설치하고, 출력축에 지름 76.2mm의 풀리를 설치하였다. 가속을 위한 고속 풀리에는 입력축에 지름 76.2mm의 풀리를 설치하고, 출력축에

지름 50.8mm의 풀리를 Fig. 2와 같은 형태로 설치하였다.

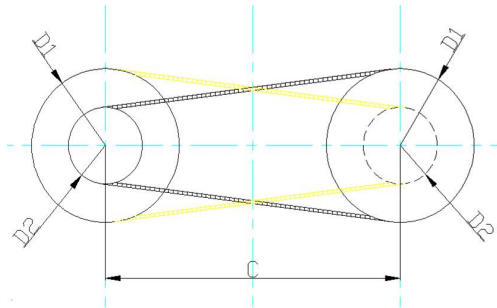


Fig. 2. Shape of reducer

또한 감속과 가속을 담당하는 풀리는 각각 고무벨트로 체결되어 동력을 전달하였다. 체결된 고무벨트의 전체길이는 654mm로 나타났고, 그에 따라 풀리의 직경을 고려하여 중심거리를 222mm로 하여 Table 1과 같이 설계하였다.

Table 1. Design of reducer spec

Unit	Dimension (mm)
Belt length	654mm
Wheel space	222mm
Pulley I	76.2mm
Pulley II	58.8mm

앞서 설계한 180°의 위상차를 갖는 편심캠을 벨트세트 중심에 고정하여 편심캠의 작동에 의하여 감속풀리와 가속풀리가 각각 압착되어 Fig. 3과 같이 동력을 전달하게 된다. 이때 풀리의 직경비에 따라 감속풀리는 0.667:1의 감속비를 나타내고 가속풀리의 경우 1.5:1의 감속비를 나타낸다

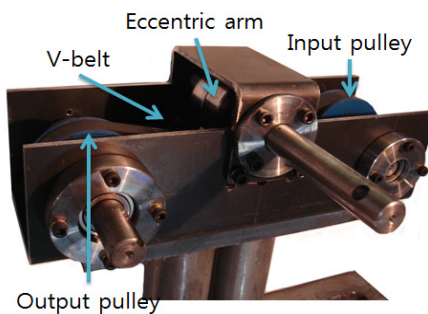


Fig. 3. Manufacture of reducer

### 3. 변속 특성 시험

본 연구에서 개발된 소형감속기의 변속시 발생하는 특성을 확인하기 위하여 감속기의 동력전달효율과 발열 특성에 대한 시험을 진행하였다. 시험방법은 저항을 이용하여 회전수를 가변할 수 있는 5Kw급 모터를 동력원으로 이용하여 토크미터를 거쳐 감속기의 입력축에 연결하였고, 감속기의 출력축에 전자클러치를 연결하였다. 이때 전자클러치에 바와 함께 로드셀을 장착하여 rpm과 출력토크를 측정하였다. 측정된 값은 별도의 인디게이터를 통하여 육안으로 확인하였다. Fig. 4와 같은 제어기를 이용하여 모터의 부하량을 제어하였고, 전자클러치에 발생하는 특성을 모니터링하였다. 그로인해 변속기의 입력 대비 출력축의 동력전달효율과 감속에 따른 변속상태 등의 확인이 가능하였다. 또한 본 연구에서 제작한 감속기의 경우 감속시 발생하는 열을 냉각시켜주는 장치가 없기 때문에 적외선 온도계를 이용하여 가감속시 발생하는 온도에 대한 측정을 실시하였다.

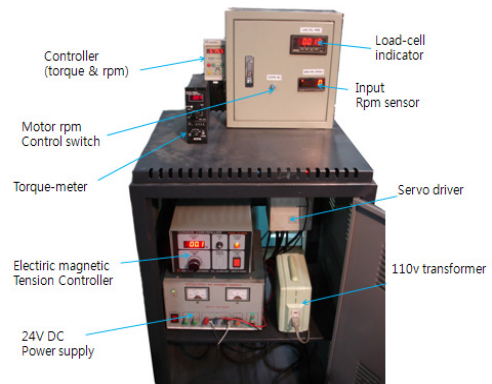


Fig. 4 Controller of tester

#### 3.1 동력전달효율 특성 시험

실험조건은 모터의 입력축 회전수를 500rpm에서부터 2,000rpm까지 500rpm씩 간격을 두고 조절하였고, 각각의 rpm에서 부하율을 5%부터 20%까지 5%씩 변화시켜 실험을 진행하였다. 그리고 제어기에 나타난 값을 기준으로 결과값을 토출하였다. 실험은 동일한 값에서 동일한 방법으로 각각 10회씩 실시하여 평균값을 토대로 실험결과를 토출하여 그래프를 작성하였다. 먼저 Fig. 5의 경우 입력축에 연결된 모터의 회전수를 2,000rpm에서 500rpm씩 감속하면서 500rpm까지 하강시켰다. 이때 각

각의 rpm에서 부하율에 따른 동력전달 특성을 관찰하였다. 관찰결과 고부하 영역에 비하여 저부하 영역에서 낮은 동력전달 효율을 나타내었다. 이는 부하량이 늘어남에 따라 풀리와 벨트간의 접촉이 증대되어 감속기의 동력전달효율이 증대되는 것으로 확인된다. 또한 20% 부하율에서 500rpm은 85.1%, 1,000rpm은 84.4%, 1,500rpm은 79.6%, 2,000rpm은 83.1%의 동력전달효율을 나타낸다. 이는 모든 영역대에서 80%이상의 동력전달효율을 나타내는 것으로 동력전달장치로써 안정적인 동력전달효율이 가능하다.

Fig. 6은 500rpm에서 2,000rpm까지 500rpm씩 가속시키며 각각의 rpm영역에서 부하율을 5%에서 20%까지 변화를 주며 동력전달 특성을 관찰하였다. 관찰결과 감속시와 마찬가지로 가속의 경우에서도 부하량에 증대됨에 따라 동력전달효율이 증대되었다. 그리고 20%의 부하율에서 500rpm은 88.4%, 1,000rpm은 90.2%, 1,500rpm은 91.6%, 2,000rpm은 93.3%의 동력전달효율을 나타낸다. 따라서 높은 동력전달효율이 나타남을 확인하였고, 안정적으로 동력전달이 가능한 것으로 판단된다.

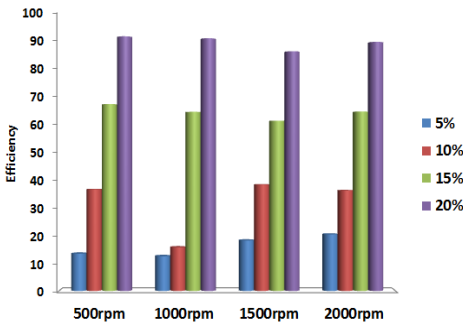


Fig. 5. Mechanical efficiency of reduction

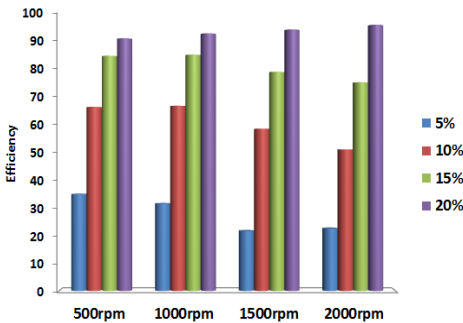


Fig. 6. Mechanical efficiency of increase

동력전달 효율 특성결과, 감속시에 비하여 가속시 전 영역대에서 높은 동력전달효율을 나타내는 것을 확인하였다. 이는 감속시와 가속시 벨트와 풀리 사이에서 발생하는 압착력이 다르기 때문에 가속시 발생하는 구동저항이 적다라는 것을 확인할 수 있다.

### 3.2 발열 특성 시험

실험조건은 동력전달효율 특성의 실험방법과 동일하게 모터의 회전수를 500rpm부터 2,000rpm까지 500rpm씩 간격을 두고 조정하였고, 각각의 rpm에서 부하율을 5%부터20%까지 5%씩 변화시켜 실험을 진행하였다. 그리고 적외선 온도계를 이용하여 변속시 외부로 발생하는 발열온도를 확인하였다. 먼저 Fig. 7의 경우 모터의 회전수를 2,000rpm부터 500rpm까지 500rpm씩 감속시키면서 각각의 rpm에서 나타나는 부하량에 따른 온도변화를 관찰하였다. 관찰결과, 500rpm 부근에서 각각의 부하율 모두 약 80℃영역대의 온도가 검출되었고 2,000rpm에서 부하율이 5%일 때 125.7℃, 10%일 때 130.1℃, 15%일 때 134.6℃, 20%일 때 138.6℃의 온도가 검출되었다. 이는 rpm이 증대되면 마찰력이 증대되기 때문에 발생하는 온도가 상승된다는 것을 알 수 있다. 또한 부하량이 증대되면 벨트와 풀리의 압착이 증대되기 때문에 온도가 상승되는 것으로 확인되었다.

Fig. 8은 반대로 500rpm에서 2,000rpm까지 500rpm씩 가속시키면서 각각의 rpm에서 나타나는 부하량에 따른 온도변화를 관찰하였다. 관찰결과, 500rpm부근에서 각각의 부하율 모두 약 60℃의 온도가 검출되었다. 그리고 2,000rpm에서 부하율이 5%일 때 110.3℃, 10%일 때 115.3℃, 15%일 때 121.1℃, 20%일 때 125.9℃의 온도가 검출되었다. 이는 감속모드와 마찬가지로 가속모드에서도 마찰력증대로 인한 온도상승이 일어났다.

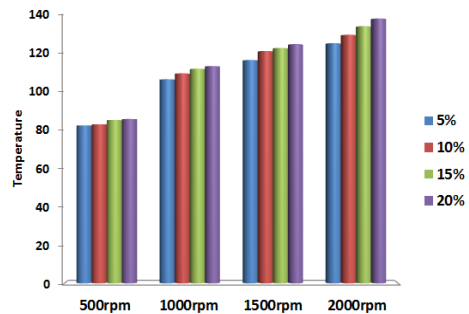


Fig. 7. Temperature characteristic of reduction

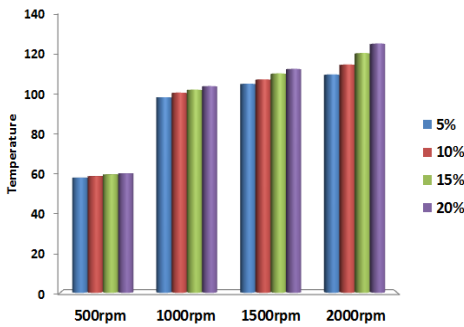


Fig. 8. Temperature characteristic of increase

변속에 따른 발열특성결과, 전 영역에서 가속모드에 비하여 감속모드에서 발생하는 온도가 높게 나타났다. 이는 가속모드에 비하여 감속모드에서 발생하는 부하가 크기 때문에 마찰력이 크게 발생된다는 것을 알 수 있다. 또한 부하 및 rpm이 상승될수록 발열량이 증대되기 때문에 고부하영역에서 사용하기 위해서는 추가적인 냉각 시스템이 필요할 것으로 판단된다.

#### 4. 결론

본 연구에서는 친환경자동차에 적용 가능한 캠축을 활용한 소형감속기에 대한 설계 및 개발을 진행하였다. 또한, 개발된 감속기를 토대로 동력전달효율과 발열특성에 대한 실험을 진행하여 다음과 같은 연구결과를 얻었다.

- (1) 캠의 내경을 15mm로 하여 변속레버를 삽입하고 외경을 35mm, 외경 폭을 18mm로 한 캠을 가공하였다.
- (2) 감속기 구조는 변속을 위해 저속에 입력축 풀리 지름 50mm, 출력축 풀리 지름 76.2mm를 설치하고, 고속에 입력축 풀리 지름76.2mm, 출력축 풀리 지름 50.8mm를 설치하였다.
- (3) 제작된 감속기를 통하여 동력전달효율특성 실험 결과, 최고부하율 20%에서 감속모드의 경우 500rpm 85.1%, 1,000rpm 84.4%, 1,500rpm 79.6%, 2,000rpm 83.1%로 나타났고, 가속모드의 경우 500rpm 88.4%, 1,000rpm 90.2%, 1,500rpm 91.6%, 2,000rpm 93.3%로 나타났다.
- (4) 제작된 감속기를 통하여 발열특성 실험결과, 최고 부하율 20%에서 감속모드의 경우 500rpm 86℃

1,000rpm 113.7℃, 1,500rpm 125.2℃, 2,000rpm 138.6℃로 나타났고, 가속모드의 경우 500rpm 60.3℃, 1,000rpm 104.4℃, 1,500rpm 113.1℃, 2,000rpm 125.9℃로 나타났다.

- (5) 발열특성 실험결과, 고부하영역에서 사용하기 위해서는 별도의 추가적인 냉각시스템에 대한 연구가 필요할 것으로 판단된다.

#### References

- [1] H. S. Ha, J. S. Shin, S. K. Pyo, H. S. Jung and J. H. Kang, "A Study on the Strategy of Fuel Injection Timing according to Application of Exhaust Gas Recirculation for Off-road Engine", Transaction of the Korean Society of Automotive Engineers, vol. 24, no. 4, pp. 447-453, 2016.  
DOI: <https://doi.org/10.7467/KSAE.2016.24.4.447>
- [2] S. H. Baek, J. H. Yoon, W. S. Jung, H. S. Ha, S. S. Chung and J. K. Yeom, "Estimation of the Exhaust Characteristics of Biodiesel Used in Diesel Engine", Transactions of the Korean Society of Mechanical Engineers - B, vol. 38, no. 2, pp. 129-137, 2014.  
DOI: <http://doi.org/10.3795/KSME-B.2014.38.2.129>
- [3] K. W. Youm and S. J. Kim, "A Study on Distillation Property of Automotive Gasoline and Diesel Fuel", Journal of the Korean Society for Power System Engineering, vol. 18, no. 5, pp. 11-15, 2014.  
DOI: <https://doi.org/10.9726/kspe.2014.18.5.011>
- [4] W. J. Lee, S. R. Lee and C. E. Lee, "A Numerical Study on Combustion Characteristics of HCCI Engine with Stratification Condition of EGR Exhaust Gases", Transaction of the Korean Society of Automotive Engineers, vol. 19, no. 6, pp. 46-52, 2011.
- [5] J. S. Yoo, C. S. Kim, "A Study on Waveform Analysis of Oxygen Sensor, Injector and Secondary Waveform through Emission Characteristics by a Decrepit Vehicle", Transaction of the Korean Society of Automotive Engineers, vol. 21, no. 5, pp. 151-156, 2013.  
DOI: <https://doi.org/10.7467/KSAE.2013.21.5.151>
- [6] W. S. Oh, B. H. Yu, T. J. Park and C. E. Lee, "A Fundamental Study of Hybrid Combustion System Applying Exhaust Gas Recirculation", Journal of Energy Engineering, vol. 25, no. 1, pp. 100-107, 2016.  
DOI: <https://doi.org/10.5855/ENERGY.2015.25.1.100>
- [7] J. Y. Jeon, H. K. Kang and H. D. Lee, "Development of BMS ECU for Eco-Friendly Car", The Korean Society Of Automotive Engineers 2009 Annual Conference, pp. 2928-2933, 2009.
- [8] H. K. Kim, K. Y. Lee, D. O. Kim and H. S. Choi, "Study on the Electric Continuity Measurements of Green Car for Human Body Safety", The Transaction of the Korean Institute of Electrical Engineers P, vol. 58, no. 3, pp. 351-356, 2009.
- [9] B. S. Kil and G. C. Kim, "The Analysis of a Electric Scooter's Performance through Motor and Battery

Capacity Changing", Transaction of the Korean Society of Automotive Engineers, vol. 19, no. 5, pp. 7-13, 2011.

- [10] S. M. Lee, Y. M. Jeong, W. Y. Sung, O. J. Kim and B. K. Lee, "Advanced control-algorithm of In-wheel motor driving system for electric vehicle", KIEE, pp. 348-350, 2012.
- [11] S. Y. Yun and J. Lee, "Implementation of In-wheel Motor Driving System for Electric Vehicle", The Transaction of the Korean Institute of Electrical Engineers, vol. 62, no. 6, pp. 750-755, 2013.  
DOI: <https://doi.org/10.5370/KIEE.2013.62.6.750>
- [12] J. Y. Kim and Y. I. Park, "Analysis of Agricultural Working Load Experiments for Reduction Gear Ratio Design of an Electric Tractor Powertrain", Transaction of the Korean Society of Automotive Engineers, vol. 20, no. 5, pp. 138-144, 2012.  
DOI: <https://doi.org/10.7467/KSAE.2012.20.5.138>
- [13] C. H. Lin, "A Six-Phase CRIM Driving CVT using Blend Modified Recurrent Gegenbauer OPNN Control", Journal of Power Electronics, vol. 16, no. 4, pp. 1438-1454, 2016.  
DOI: <https://doi.org/10.6113/JPE.2016.16.4.1438>
- [14] S. M. Kim, C. H. Zheng, W. S. Lim and S. W. Cha, "Performance Analysis of the Rubber Belt type CVT System", Journal of the Korean Society of Manufacturing Technology Engineers, vol. 20, no. 4, pp. 376-381, 2011.

---

**함 성 훈(Seong-Hun Ham)**

[정회원]



- 2010년 8월 : 국민대학교 대학원 기계공학부 (기계공학석사)
- 2010년 2월 : 중앙대학교 대학원 기계공학부 (기계공학박사)
- 2008년 3월 ~ 현재 : 동주대학교 조교수

<관심분야>  
기계, 자동차

---

**염 광 욱(Kwang-Wook Youm)**

[정회원]



- 2010년 8월 : 중앙대학교 대학원 기계공학부 (기계공학석사)
- 2014년 8월 : 중앙대학교 대학원 기계공학부 (기계공학박사)
- 2014년 3월 ~ 현재 : 동주대학교 조교수

<관심분야>  
기계, 자동차