



V-belt를 적용한 2단 수동변속기의 변속특성에 관한 연구

†염광욱

한양사이버대학교 기계자동차공학부 교수

(2020년 12월 4일 접수, 2020년 12월 18일 수정, 2020년 12월 19일 채택)

Study on the Shift Characteristics of a 2speed Manual Transmission apply to V-Belt

†Kwang-wook Youm

Dept. of Mechanical and Automotive Engineering, Hanyang Cyber University, Seoul 04763, Korea

(Received December 4, 2020; Revised December 18, 2020; Accepted December 19, 2020)

요 약

세계적으로 친환경자동차의 연구 및 개발이 확대되면서 주행거리를 증대시키기 위해 차량의 부가적인 장치를 축소·삭제하거나 경량화를 위한 연구를 진행하고 있다. 그 중 내연기관자동차에 적용되던 다단변속기를 삭제하고 감속기로 대체하여 모터출력 값 제어를 통해 토크증대로 초기구동력을 확보하고 있다. 하지만 잦은 모터의 속도변화로 부하가 상승되는 결과를 가져올 수 있기 때문에 본 연구에서는 일반적인 감속기구조를 갖는 소형·경량의 수동 2단 감속기를 개발하려고 한다. 따라서 평행축을 갖는 구조에 대기어와 소기어를 삽입하여 평행한 축의 감속기형태에서 V-벨트로 기어를 연결하고, 저단과 고단의 기어비를 각각 설정하여 2개의 기어비를 갖는 2단 변속기를 설계하였다. 또한 변속기의 회전속도와 부하에 따른 동력성능을 시험을 통해 확인하고 구동시 발생하는 발열특성을 확인하여 변속기의 타당성을 검증하였다.

Abstract - As research and development of eco-friendly vehicles are expanding worldwide, additional devices of vehicles are reduced or deleted to increase the mileage, or research is being conducted to reduce weight. Among them, the multi-stage transmission that was applied to the internal combustion engine vehicle was deleted and replaced with a reducer, and the initial driving power is secured by increasing the torque through the control of the motor output value. However, since frequent motor speed change can result in a load increase, this study attempts to develop a compact and lightweight manual two-stage reducer with a general reducer structure. Therefore, a two-speed transmission with two gear ratio was designed by inserting a large gear and a small gear in a structure with a parallel shaft to connect the gears with a V-belt in the form of a parallel shaft reducer, and setting the gear ratio of the low and high gears respectively. In addition, power performance according to the rotational speed and load of the transmission was checked through a test, and the heat generation characteristics generated during driving were checked to verify the validity of the transmission.

Key words : 2-speed transmission, gear ratio, efficiency property, thermal property

†Corresponding author:youmkw@hycu.ac.kr

Copyright © 2020 by The Korean Institute of Gas

I. 서론

자동차산업은 석유자원고갈과 환경규제와 같은 문제로 친환경자동차의 개발 및 보급이 확대되고 있다. 세계적으로도 친환경자동차에 대한 연구개발이 활발히 진행되고 있다[1-4]. 친환경자동차에는 전기모터를 활용한 전기자동차, 하이브리드 자동차, 연료전지자동차, 태양열 자동차 같은 것들이 포함된다. 배터리를 탑재한 자동차의 경우 배터리의 용량을 늘리게 되면 배터리로 인해 중량이 증대되어 자동차의 주행거리가 단축되는 결과를 가져올 수 있다. 이렇게 모터를 이용한 자동차들은 중량에 따라 주행거리가 크게 달라지기 때문에 자동차의 중량 및 부피를 줄이기 위한 연구가 활발히 진행되고 있다[5-7]. 그리고 모터를 적용한 친환경자동차의 경우 모터에 인가되는 전류량을 조절하여 구동축에 전달되는 토크를 변화시키는 방법으로 제어하기 때문에 자동차에서 토크나 회전속도를 변화시켜주는 변속기를 적용하지 않고 감속기로 대체하여 초기구동력을 확보하고 있다[8-9]. 적용되는 감속기는 변속기에 비하여 구조가 간단하기 때문에 중량이 가볍고 부피도 축소할 수 있다. 하지만 고정된 기어비로만 작동되기 때문에 모터의 부하가 변속기에 비해 증대되어 수명에 영향을 미칠 수 있다. 친환경자동차에 변속기를 적용하게 되면 중량이 증대되는 문제가 있지만 모터의 부하를 감소시킬 수 있다. 하지만 자동변속기의 경우 기어비의 배분이 복잡하고 기어를 작동시켜주기 위한 장치와 센서가 추가적으로 장착되어 부피 및 중량이 증대되는 문제가 있다[10-11]. 그러나 수동변속기의 경우 단단기어를 적용하여 구조도 간단하고 조장을 위한 장치가 간소화되는 특징이 있다. 이처럼 다단화를 할 경우 변속기의 부피 및 중량이 증대될 수 있다[12]. 이러한 고단의 복잡한 변속기는 여러고장을 일으킬 수 있고, 이로 발생된 고장사태에 대한 연구도 다양하게 발표되었다[13-14]. 따라서 본 연구에서는 감속기 구조의 평행축에 저단과 고단의 기어비를 적용하여 2단으로 기어비를 적용하고 운전자의 레버조작을 통해 변속이 가능한 감속기 형태의 2단 변속기구의 개발과 변속시 발생하는 변속특성에 대한 연구를 진행하였다.

II. 변속기 구조

본 연구에서는 일반적으로 전기자동차에 적용되고 있는 감속기의 형태를 갖기 위해 Fig.1 과 같이 평행한 축에 스플라인을 가공한 기어를 이용하여 2개의 기어비를 갖는 2쌍의 기어를 입력축과 출력축에 삽입하고 V-형 벨트를 이용하여 동력을 전달하는 방식을 적

용하였다.

적용된 V-형 벨트는 스쿠터에 적용되는 무단변속기용 고무벨트를 적용하였고 벨트의 길이는 710mm이다. 구조는 상시 벨트가 스플라인에 체결이 되어 있는 상태이고 동력을 전달하기 위해 Fig.2와 같이 벨트를 누르고 있는 편심되어 있는 변속레버를 작동하면 고단과 저단이 선택되어 고단과 저단의 기어가 동력으로 출력되는 구조이다.

변속기는 입력 축과 출력 축에 동일한 대기어와 소기어를 교차로 삽입하여 가속과 감속을 할 수 있도록 하였다. 이때, 대기어의 직경을 80mm, 소기어의 직경을 48mm로 설정하였고, 초기구동시 토크를 향상시켜 구동력을 확보하기 위해 저단시 약1.67의 기어비를 나타내고, 고속주행에서 모터 효율이상의 속도를 나타낼 수 있도록 고단시 0.6의 기어비를 갖도록 각각의 기어비를 설계하였다. 감속기와 동일한 구조의 동일축 상에서 추가적인 기어삽입으로 2단의 기어비를 나타내고 있고, 변속시 발생하는 충격이나 동력특성을 고려하여 비교적 큰 기어비를 갖지 않도록 Table 1 과 같이 설계하였다.

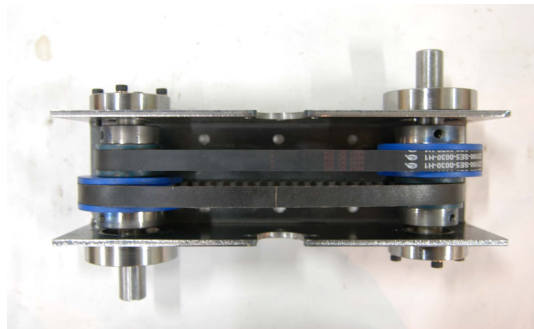


Fig. 1. Structure of 2-speed transmission.

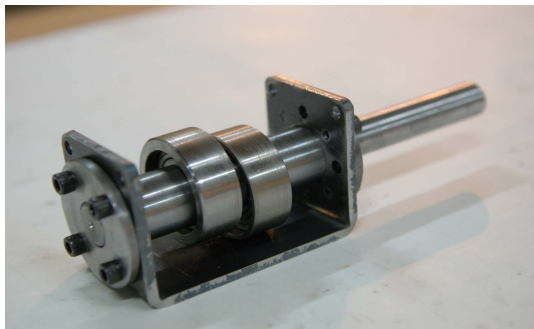


Fig. 2. Structure of eccentricity shaft.

Table 1. Gear ratio of 2-speed transmission

	Input	Output	Ratio
Low speed	45mm	80mm	1.67
High speed	80mm	45mm	0.6

Table 2. Design of shift unit

	Diameter	Width	Phase difference
Eccentric arm	40mm	15mm	180°
Shift shaft	140mm		

변속을 위한 레버 축에 편심 캠을 180° 위상차를 두고 설치하고 V-벨트에 강하게 압착되어 변속시 해당 벨트가 강하게 대기어와 소기어에 압착되어 스플라인의 동력을 V-벨트를 통해 출력한다. 이때 강한 압력이 작용할 수 있도록 캠의 지름을 40mm로 설정하고 폭은 벨트 폭과 동일한 15mm로 설정하였다. 그리고 레버 축 외부 끝단에 수동변속을 위한 변속레버를 삽입하여 운전자가 직접 조작할 수 있는 구조를 가지도록 Table 2와 같이 설계하였다.

III. 변속효율 특성

개발된 V-벨트형 수동변속장치에 대한 변속효율 및 발열특성을 확인하기 위하여 시험기의 구조를 Fig. 3과 같이 구성하였다.

시험기는 용량 5Kw급의 구동모터에 가변저항을 연결하여 모터의 회전수를 제어하고, 회전수를 확인하기 위한 rpm sensor를 거쳐 Torque meter를 통해 변속기 입력 축에 연결된다. 출력 축에 전자클러치를 연결하여 회전수와 출력되는 토크를 측정하여 제어기에 연결된 인디게이터를 통하여 출력 값을 확인하고, 발열특성은 적외선 카메라를 이용하여 변속기 30cm 이내에 거리에서 측정된 값을 수기로 작성하였다. 시험기의 전체적인 제어는 제어기를 Fig.4와 같이 설치하여 전원을 인가하고 모터의 회전수와 rpm, 전자클러치의 통합제어를 실시하였다.

3.1. 효율성능 시험

부하에 따른 변속기의 동력전달 효율특성을 확인하기 위하여 모터의 회전수를 0부터 2,500rpm까지 500rpm씩 저단의 경우 상승시키고 고단의 경우 감소시키며, 부하율을 5%부터 30%까지 5%씩 변화시키며 실험을 진행하였다. 이때 제어기에 있는 인디게이터

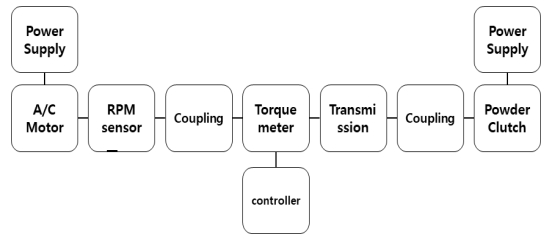


Fig. 3. Diagram of transmission tester.

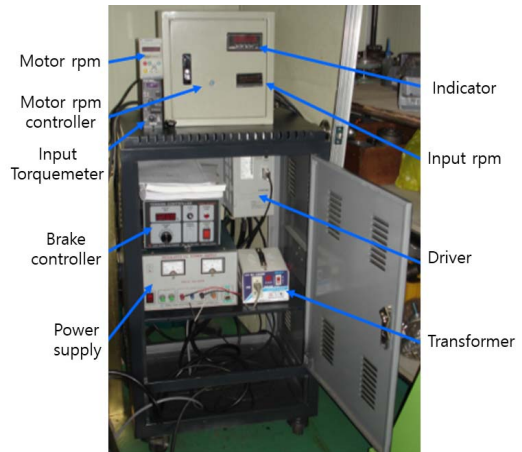


Fig. 4. Transmission tester controller.

에 나타나는 값을 기준으로 입력 대비 출력의 동력전달 효율을 확인하였다. 실험은 가속시험과 감속시험으로 구분하여 1회 시험 후 30분 휴식으로 각 5회 실시하여 평균값을 기준으로 그래프를 작성하였다.

Fig. 5는 저단을 설정하고 500rpm에서 500rpm씩 가속을 하면서 부하율을 변화하며 실험을 진행한 결과, 나타난 값을 그래프로 표시하였다. 동력전달 효율은 500rpm에서 부하율 5%일 때 68.3%로 가장 낮게 나타났고, 2,500rpm에서 부하율이 30%일 때 93.4%로 가장 높게 나타났다. 이로 인해 부하가 증대되면 벨트와 기어 간의 접촉이 원활하고 강한 마찰로 인해 효율이 증대되는 것을 확인하였다. 그리고 Table 3과 같이 rpm이 높고 부하가 강할수록 효율이 상승하는 특성을 나타내는데 이는 편심캠이 벨트에 강한 압착을 통하여 동력을 전달하기 구조적 특성 때문에 압력과 회전속도의 상관관계로 인해 동력효율이 결정된다.

Fig. 6은 고단을 설정하고 2,500rpm씩에서 500rpm씩 감속을 하면서 부하율을 변화하며 실험을 진행한 결과, 나타난 값을 그래프로 표시하였다. 저단의 가속

Table 3. Result of acceleration efficiency test

rpm \ Load	5%	10%	15%	20%	25%	30%
500	68.35	72.6%	80.2%	84.3%	86.5%	88%
1,000	70.2%	73.8%	82.6%	85.2%	87.4%	89.6%
1,500	72.6%	75.2%	83.3%	86.3%	89.3%	90.7%
2,000	74.8%	77.6%	83.9%	87.4%	90.1%	92.6%
2,500	76.5%	80.3%	85.1%	89.2%	91.2%	93.4%

Table 4. Result of reduction efficiency test

rpm \ Load	5%	10%	15%	20%	25%	30%
2,500	76.3%	81.2%	85.3%	89.1%	91.3%	92.2%
2,000	73.6%	77.9%	83.3%	87.2%	89.7%	91.1%
1,500	68.5%	74.2%	77.5%	82.1%	86.3%	88.4%
1,000	65.3%	69.8%	74.3%	78.2%	85.4%	87.6%
500	61.3%	66.1%	70.2%	74.4%	78.2%	82.2%

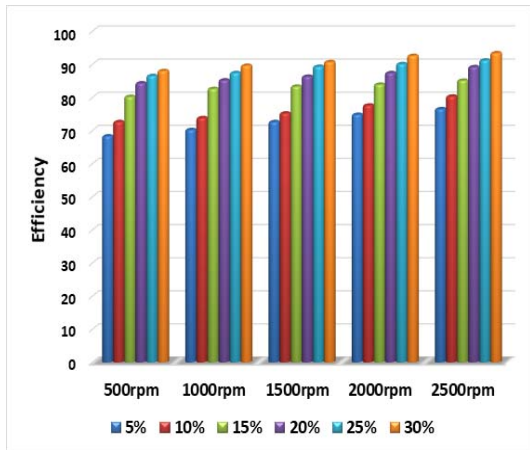


Fig. 5. Graph of acceleration efficiency test.

시와 마찬가지로 동력전달 효율은 500rpm에서 부하율 5%일 때 61.3%로 가장 낮게 나타났고, 2,500rpm에서 부하율이 30%일 때 92.2%로 가장 높게 나타났다. 이로 인해 부하가 증대됨에 따라 벨트와 기어 간의 접촉이 원활하고 강한 마찰로 인해 효율이 증대되는 것을 확인하였다. 그리고 Table 4와 같이 저단의 가속과 마찬가지로 rpm이 높고 부하가 강할수록 효율이 상승하는 특성을 나타낸다.

여기서, 저단에서 가속시와 고단에서 감속시의 결과 값을 비교해보면 전반적으로 비슷한 값을 나타내지만 저단에서 감속시 회전속도에 따라 부하율이 상승할 때 높은 동력전달 효율을 나타내고 있다. 이는 동력전달 방식시 강한 압착이 이루어지고 동력전달요소인 V-벨트인 고무의 마찰특성으로 인해 밀착성이 상승되어 높은 동력전달이 이루어진다.

3.2. 발열 특성 시험

부하에 따른 변속기의 발열특성을 확인하기 위하

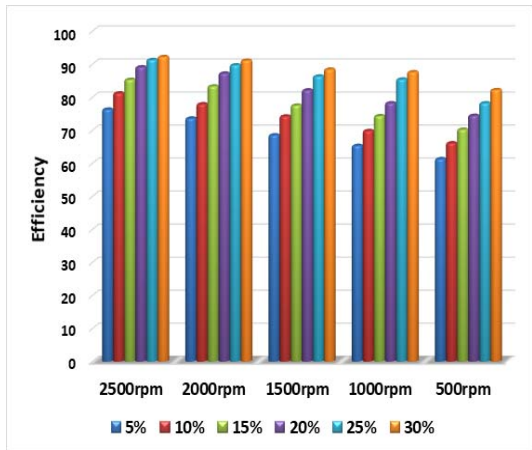


Fig. 6. Graph of reduction efficiency test.

여 동력효율 시험과 동일하게 모터의 회전수를 0부터 2,500rpm까지 500rpm씩 저단의 경우 상승시키고 고단의 경우 감소시키며, 부하율의 경우 5%에서 30%까지 5%씩 변화시키며 시험을 진행하였다. 이때 적외선 카메라를 30cm 이내 거리에서 변속기 중심부에 투영하여 나타나는 값을 확인하였다. 시험은 가속시험과 감속시험으로 구분하여 1회 시험 후 30분 휴식으로 발생된 열을 냉각시킨 후 각 5회 실시하여 평균값을 기준으로 그래프를 작성하였다.

Fig. 7은 저단을 설정하고 500rpm에서 500rpm씩 가속을 하면서 부하율을 변화하며 실험을 진행한 결과, 나타난 온도 값을 그래프로 표시하였다. 온도는 500rpm에서 부하율이 5%일 때 74.2℃로 가장 낮게 나타났고, Table 5와 같이 rpm의 상승과 부하율 상승에 따라 발열이 가속화되어 2,500rpm에서 부하율30%일 때 144.2℃로 가장 높게 나타났다. 이로 인해 부하가 상승하면 편심캠과 V-벨트간의 마찰압력이 상승함에 따라 과도한 열이 발생되는 것을 확인하였고, 내연기

Table 5. Result of acceleration thermal test

Load rpm \ rpm	5%	10%	15%	20%	25%	30%
500	74.2°C	77.2°C	81.4°C	84.3°C	86.2°C	88.6°C
1,000	97.6°C	101.5°C	102.6°C	105.6°C	110.5°C	115.5°C
1,500	105.5°C	108.6°C	111.2°C	118.2°C	122.4°C	126.5°C
2,000	111.4°C	117.8°C	124.6°C	129.5°C	134.4°C	141.5°C
2,500	117.5°C	122.5°C	128.6°C	134.5°C	139.5°C	144.2°C

Table 6. Result of reduction thermal test

Load rpm \ rpm	5%	10%	15%	20%	25%	30%
2,500	126.5°C	132.5°C	136.2°C	140.2°C	144.5°C	146.8°C
2,000	125.8°C	129.2°C	133.4°C	137.9°C	141.2°C	144.2°C
1,500	115.3°C	120.5°C	122.8°C	125.6°C	128.3°C	131.5°C
1,000	105.8°C	118.8°C	112°C	113.9°C	116.2°C	118.4°C
500	81.5°C	82.8°C	84.6°C	86.2°C	87.8°C	89.5°C

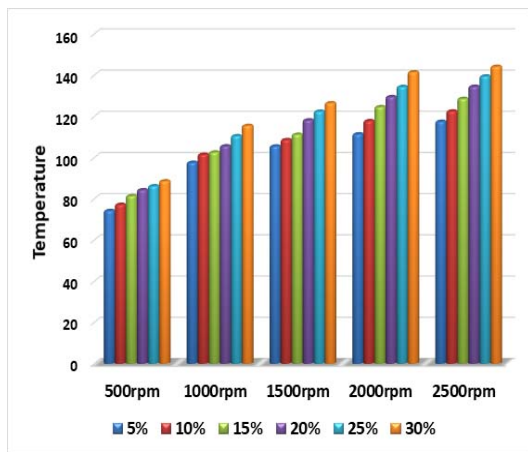


Fig. 7. Graph of acceleration thermal test.

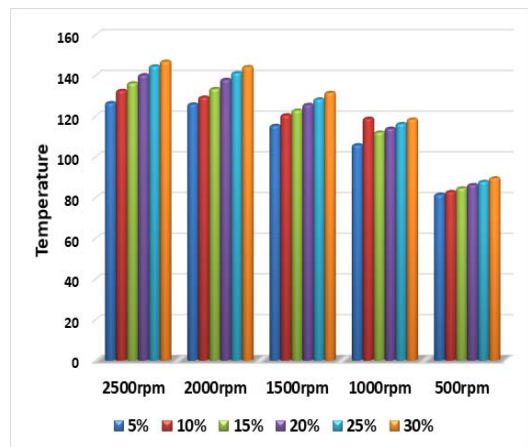


Fig. 8. Graph of reduction thermal test.

관과 비교하여 높은 온도상승을 나타내는 것으로 확인되었다.

Fig. 8은 고단을 설정하고 2,500rpm에서 500rpm씩 감속을 하면서 부하율을 변화하며 실험을 진행한 결과, 나타난 온도 값을 그래프로 표시하였다. 저단가속시와 마찬가지로 500rpm에서 부하율이 5%일 때 나타나는 온도가 81.5°C로 가장 낮았고, 2,500rpm에서 부하율30%일 때 나타나는 온도가 146.8°C로 가장 높게 나타났다. Table 6과 같이 고rpm에서 높은 부하율을 인가했을 때 나타나는 온도가 높은 특성을 보이고 있다. 이는 고속회전에 따른 마찰열과 편심캠과 V-벨트 간의 강한 마찰력으로 발생하는 열이 결합된 결과로 발열특성을 보이고 있다.

여기서, 저단 가속시와 고단 감속시의 결과 값을 비교해보면 전반적으로 고단에서 감속을 진행할 때 높은 발열 온도를 나타내고 있다. 이는 저단과 고단에서 동일한 부하로 V-벨트에 인가되는 힘은 동일하지만 저단에 비하여 고단에서 회전속도가 증대되는 특성

에 따라 높은 발열특성을 지니고 있다. 또한 감속을 하는 경우 발생된 마찰열의 온도가 높기 때문에 저rpm 영역에서도 높은 발열특성을 나타낸다. 이로 인해 본 연구에서 개발된 변속기에 적용가능한 추가적인 냉각장치의 설계가 필요하다.

IV. 결론

본 연구에서는 소형 친환경자동차에 적용 가능한 감속기구조를 갖는 수동2단변속기의 구조설계 및 개발에 대한 연구를 진행하였다. 아울러 변속기의 효율성능시험과 발열특성에 대한 시험을 진행하여 다음과 같은 결과를 도출하였다.

- (1) V벨트를 적용하여 수평축 구조를 갖는 축에 대기어 지름 80mm, 소기어 지름 48mm의 삼입하여 저단기어비 0.6, 고단 기어비 1.67의 2단 변속기를 설계하였다.

(2) 변속기의 수동변속을 실현하기 위해 V-벨트를 통해 출력되는 동력을 가변시켜 주기 위한 지름 40mm, 폭 15mm의 편심캠 변속장치를 변속 축에 삽입한 구조로 설계하였다.

(3) 변속기의 동력효율 성능시험 결과, 저단 가속시 최저효율 500rpm에서 부하율 5%일 때 68.3%의 동력전달 효율을 나타내었고, 2,500rpm에서 부하율 30%일 때 93.4%의 동력전달효율을 나타내었다.

(4) 변속기의 동력효율 성능시험 결과, 고단 감속시 최저효율 500rpm에서 부하율 5%일 때 61.3%의 동력전달 효율을 나타내었고, 2,500rpm에서 부하율 30%일 때 92.2%의 동력전달효율을 나타내었다.

(5) 변속기의 발열특성시험 결과, 저단 가속시 1,000rpm에서 부하율10%일 때 101.5℃로 100℃를 상회하였고, 2,500rpm에서 부하율 30%일 때 144.2℃로 최대온도를 나타내었다.

(5) 변속기의 발열특성시험 결과, 고단 감속시 1,000rpm에서 부하율5%일 때 105.8℃로 100℃를 상회하였고, 2,500rpm에서 부하율 30%일 때 144.2℃로 최대온도를 나타내었다.

본 연구결과 저 rpm영역에서 마찰에 의한 온도 상승이 비교적 높지 않기 때문에 부하가 낮은 소형 전동장치에 적용이 가능할 것으로 판단된다. 또한 발열특성 시험 결과를 토대로 rpm과 부하율 상승에 따라 마찰에 의한 온도가 높게 상승하는 것을 확인하였기 때문에 향후 냉각장치에 대한 추가적인 연구가 필요할 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 2018년 한양사이버대학교 연구비 지원으로 연구되었습니다.

REFERENCES

- [1] Kim, S. W., Choi, J. W., Kim, H. R., Kwon, Y. S., Kang, N. J., Choi, K. S., Park, H. P., and Cha, B. S., "A Study on the Design of High-Voltage Connector for Green Car using FEM", *KSPE*, 28(6), 716-723, (2011)
- [2] Lee, S. B., Shin, C. H., and Yim, H. J., "Optimal Design of Rear Car Body Structure to Improve Rear Crash Performance of Eco-friendly Vehicles", *KSAE*, 26(6), 706-716, (2018)
- [3] Baek, D. K., "Energy Efficient Electric Vehicle Driving Optimization Method Satisfying Driving Time Constraint", *KSIIIS*, 25(2), 39-47, (2020)
- [4] Kim, C. K., and Kim, D. H., "Strength Safety Study on the Stress Characteristics of a Composite Pressure Cylinder for 35MPa Hydrogen Gas Vehicle", *KIGAS*, 16(2), 25-30, (2012)
- [5] Oh, E. Y., Min, D. S., Han, J. Y., Jung, S. H., and Kang, T. S., "Consequence Analysis of Toxic Gases Generated by Fire of Lithium Ion Batteries in Electric Vehicles", *KIGAS*, 23(1), 54-61, (2019)
- [6] Kim, J. M., "Comparative Analysis of Maximum Driving Range of Electric Vehicle and Internal Combustion Engine Vehicle", *KSAE*, 21(3), 105-112, (2013)
- [7] Park, Y. K., "Communication Method for torque Control of Commercial Diesel Engine in Range-Extended Electric Trash Truck", *KAICS*, 19(7), 1-8, (2018)
- [8] Choi, O. M., Shin, J. W., Cho, H. M., Shin, S. L., and Kim, J. C., "A Study on the Improvement of Peak Power by Applying Electric Vehicle Charging Reservation System", *KIPE*, 34(3), 16-22, (2020)
- [9] Park, C. E., Yoo, S. W., Jeong, Y. H., and Kim, K. B., "Effect of Thermal Management of Lithium-Ion Battery on Driving Range of Electric Vehicle", *KAICS*, 18(5), 22-28, (2017)
- [10] Lee, H. K., Hong, S. M., Kim, M. S., Hur, J. W., and Yoo, D. K., "A Research for the Noise Development of the FF 8th Speed Automatic Transmission", *KSNVE*, 26(5), 559-566, (2016)
- [11] Han, J. H., Jeong, H. U., and Hwang, S. H., "Design of Gear Shift Map for Automatic Transmission considering Transmission Efficiency", *KSAE*, 27(8), 611-617, (2019)
- [12] Youm, K. W., and Ham, S. H., "Development of Speed Reducer Integrated Driving system Apply to Vehicle Window Motor", *KSPSE*, 20(1), 57-62, (2016)
- [13] Kim, C K, and Lee , I. K, "Tribological Failure Analysis of Automatic Transmission in a Passenger Car", *Journal of the KSTLE* , 21(5), 227-235, (2005)
- [14] Kim, C K, and Lee , I. K, "Tribological Failure Study of Manual Transmission in Front Engine and Front Wheel Drive Vehicle", *Journal of the KSTLE* , 24(6), 285-290, (2008)