

CVT구조를 적용한 2단 변속기의 효율특성에 관한 연구

†염광욱

*한양사이버대학교 기계자동차공학부 교수
(2024년 2월 8일 접수, 2024년 3월 14일 수정, 2024년 3월 15일 채택)

A study on Shift Efficiency Characteristics of a 2-speed Transmission applying CVT Structure

†Kwang-Wook Youm

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

(Received February 8, 2024; Revised March 14, 2024; Accepted March 15, 2024)

요약

본 연구에서는 초소형 특수목적형 전기자동차에 적용 가능한 초소형 변속기에 대한 연구를 진행하였다. 일반적으로 전기자동차에서는 다단 기어형태의 변속기를 삭제하고 모터의 출력을 제어하거나 감속기를 통해 초기 구동력을 확보한다. 그러나 전기카트나 경형 전기자동차와 같은 초소형 차량에서는 배터리 용량이 상대적으로 적기 때문에 적재 상태에 따라 주행 거리가 감소하거나 모터에 부하가 가해질 수 있다. 따라서 본 연구에서는 CVT(Continuously Variable Transmission)의 변속 메커니즘을 적용하여, 구배 상태나 적재 상태와 같은 필요한 상황에서 변속이 가능한 고단 0.625와 저단 1.6의 기어비를 갖는 2단 구조의 감속기를 개발하였다. 선정된 기어비를 기반으로 변속기를 설계하고, 개발된 변속기의 동력 전달 효율을 검증하기 위해 시험기를 제작하였다. 이 시험기를 통해 변속기의 회전 속도와 부하량을 변화시키며 동력 전달 효율 특성을 확인하고, 변속과 구동 시 발생하는 발열 특성도 확인하였다. 그 결과를 토대로 CVT구조를 갖는 2단 구조의 변속기를 개발하였다.

Abstract - In this study, we conducted research on a miniaturized transmission system suitable for ultra-compact electric vehicles, such as electric arts or small electric cars. While conventional electric vehicles eliminate multi-gear transmissions and control motor output or secure initial driving force through reducers, in vehicles like electric karts or compact electric cars, which have relatively small battery capacities, the driving range can be reduced or the motor can be stressed depending on the loading state. Therefore, in this study, we developed a low stage ratio 0.625 and high stage ratio 1.6 a two-stage transmission system that can change gears as needed, considering factors such as slope conditions and loading status, by applying the continuously variable transmission (CVT) mechanism. Based on the selected gear ratios, we designed the transmission and created a test rig to verify the power transmission efficiency of the developed transmission. Using the test rig, we varied the rotational speed and load of the transmission to confirm its power transmission characteristics and also examined the heat generation characteristics during shifting and operation. As a result, developed a two-stage transmission with a CVT structure.

Key words : CVT, 2speed-transmission, Efficiency test, Temperature test

†Corresponding author:youmkw@hycu.ac.kr

Copyright © 2024 by The Korean Institute of Gas

I. 서론

세계적으로 환경적인 문제와 복합적인 상황으로 인해 자동차 동력원이 기존의 내연기관 중심에서 모터를 적용한 친환경자동차 중심으로 변화되고 있다.[1-4] 내연기관 자동차의 경우 엔진의 배기량과 다양한 요인에 의해 출력 및 효율이 결정되고 운행상황에 맞게 필요한 효율에 대응하기 위한 목적으로 변속기를 장착하여 출력이나 토크를 향상시키는 작용을 하게 된다. 하지만 전기자동차의 경우 모터에 인가되는 전류량 제어를 통해 직접적으로 모터의 회전속도 제어가 가능하기 때문에 별도의 변속기를 장착하지 않고 초기구동력을 확보하기 위해 감속기형태로 장착되고 있다.[5-7] 하지만 모터의 빈번하고 급격한 속도 변화는 모터에 부하를 가할 수 있고 그로인해 모터의 수명이 저하되는 현상이 나타날 수 있다. 그리고 모터에 출력이 가변되어 인가되면서 배터리의 부하가 상승될 수 있고 해당되는 부품의 부하가 증가되어 수명이 단축될 수 있다. 따라서 토크나 속도변화가 빈번하게 이루어지는 조건에서 운전되는 전기자동차의 경우 저속과 고속으로 구분되는 정도의 변속구조를 갖는 변속기를 장착하면 위와 같은 문제점을 감소시킬 수 있다. 하지만 전기자동차에서 감속기가 아닌 변속기를 적용하는 경우 부피나 중량이 증대되어 오히려 배터리의 소모가 심해져 주행거리가 단축되는 문제점이 발생될 수 있다. 따라서 일반적인 다단기어형태의 기어배열로 변속기를 구성하게 되면 감속기 대비 부피와 중량이 증대되기 때문에 구조를 간소화할 수 있는 메커니즘이 필요하다.[8-10] 그 중 CVT형태의 변속기는 초기구동시에 벨트와 풀리의 접촉면에서 slip이 발생할 수 있지만 다른 변속기에 비하여 부피를 줄일 수 있고 비교적 간소화된 구성요소를 가지고 있다. slip의 경우도 자동으로 변속이 되는 상황에서 주로 발생되기 때문에 CVT형태를 갖지만 수동으로 저단과 고단을 변속하면 slip을 최소화할 수 있다.[11-12]

따라서 본 연구에서는 경형 전기자동차에 적용할 수 있도록 기존 감속기와 유사한 수준의 부피와 중량을 가질 수 있는 CVT형태의 변속메커니즘을 고안하였다. 그리고 고단과 저단으로 구분되는 변속기의 개발을 위한 연구를 진행하였다. 또한 감속기의 효율성 및 발열특성을 확인하기 위한 테스트 베드를 설치하여 개발된 변속기의 적합성을 확인하였다.

II. 변속기 구조 설계

본 연구에서는 무단변속기의 구조를 활용하여 2단 변속이 가능한 메커니즘을 고안하였다. 따라서 무단

변속기에 적용되는 입력축 풀리와 출력축풀리를 두고 고무벨트를 활용하여 동력을 전달하는 방식을 적용하였다.[13] 기존 무단변속기의 경우 입력축 풀리와 출력축 풀리에 각각 고정풀리와 가변풀리를 설치하여 설정된 고단과 저단을 유연하게 변속하는 구조이지만 본 연구에서는 가변풀리를 적용하지 않고 고단과 저단으로 설정된 동일한 지름의 풀리를 각각 2개씩 설치하고 각각의 벨트로 연결하여 고단과 저단으로 구성된 2개의 변속비를 갖는 2단 구조의 변속메커니즘을 적용하였다. 동력의 전달 방식으로 풀리를 선택하여 무단변속기의 형태를 갖지만 고단과 저단으로 변속하는 방식은 수동형태로 레버조작을 통해 변속이 이루어지도록 설계하였다. 벨트와 풀리를 활용하여 동력을 전달하는 경우 slip이 발생되어 동력전달 효율이 떨어지는 현상이 발생한다. 따라서 벨트와 풀리사이에서 강한 압력이 발생할 수 있도록 입력축 풀리와 출력축 풀리 중앙 상단부에 텐서너 역할을 할 수 있는 지름 30mm인 2개의 cam을 편심을 두어 180°의 위상차를 갖게 설치하였다. 하우징 외부에 있는 bar에 레버를 장착하여 직접 조작을 통해 텐서너를 조작하게 되면 저단과 고단에 작용하는 텐서너에 의해 변속이 이루어진다. 이때 풀리에 걸리는 벨트의 폭을 고려하여 편심캠의 폭을 20mm로 설정하고 저단과 고단을 변속하는 경우 편심캠을 통해 벨트에 압력이 작용하여 해당 변속 단에서 압력을 발생시켜 동력을 전달하는 편심 캠의 구조는 Fig.1과 같다.

본 연구에서는 전기카트나 경형 전기자동차와 같이 부하가 크지 않은 장치에 적용하기 위해 소형이면서 확실한 변속을 가능하게 하기 위하여 레버조작을 통해 벨트의 동력을 전달·차단하는 구조를 선택하였다. 그리고 부하가 적은 장치에 적용하기 때문에 차량의 부하상태나 주행조건을 고려하여 기어비를 저단에서 1.6수준으로 설정하였고, 고단에서는 0.6 수준으로 설정하였다. 설정한 기어비를 충족시키면서 변속

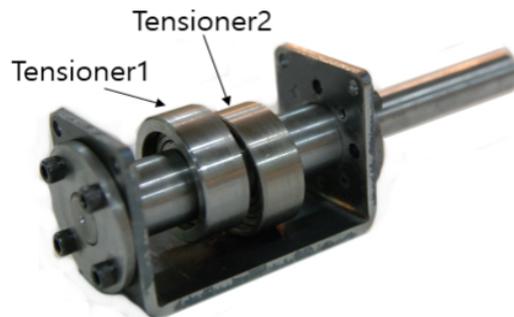


Fig. 1. Shape of eccentric arm.

기의 전체적인 크기와 풀리의 직경을 고려하여 Fig. 2와 같이 입력축과 출력축을 각각 구성하였고, 각 축에 직경 80mm의 대풀리와 직경 50mm의 소풀리를 각각 2개씩 삽입한 형태로 설계하였다. 그리고 기어비 계산식에 따라 식(2)과 식(3)에 의해 저단에서 1.6, 고단 0.625의 기어비를 도출하였다.

$$i = \frac{Output}{Input} = \frac{Out\ diameter}{In\ diameter} \quad (1)$$

$$i = \frac{Output}{Input} = \frac{80}{50} = 1.6 \quad (2)$$

$$i = \frac{Output}{Input} = \frac{50}{80} = 0.625 \quad (3)$$

여기서 축간거리는 풀리의 직경을 고려하여 200mm로 설정하였다. 저단으로 변속시에는 입력축의 D2와 출력축의 D1이 벨트를 통해 동력이 전달되어 1.6으로 감속이 이루어지고, 고단으로 변속시에는 입력축의 D2와 출력축의 D1이 벨트를 통해 동력이 전달되어 0.625의 기어비로 출력이 나타나게 된다. 설계를 토대로 Fig. 3과 같이 입력축과 출력축에 각각 대풀리와 소풀리를 삽입하고 텐서너역할을 하는 편심캠이 삽입되도록 하우징을 가공하여 형태의 2단 변속구조를 갖는 소형감속기를 제작하였다.

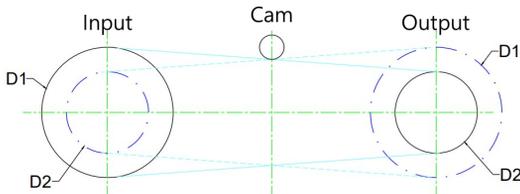


Fig. 2. Design of pulley.

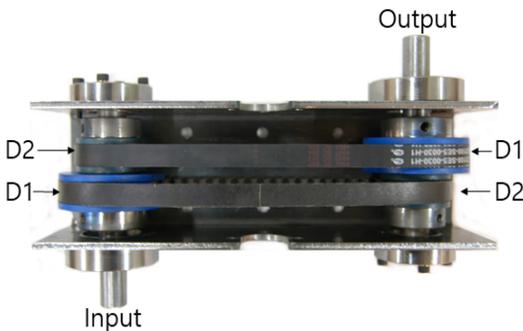


Fig. 3. Structure of reducer.

III. 변속특성 시험

3.1. 시험기 구성

본 연구에서 개발한 2단 구조의 소형감속기가 구동시 발생하는 특성을 확인하기 위하여 시험기를 구성하였다. 시험기는 개발된 감속기의 동력전달특성을 비롯한 구동시 발생하는 다양한 특성을 확인하기 위하여 모터를 통해 구동되도록 구성하였다. 따라서 Fig. 4와 같이 모터를 통해 전달된 동력으로 변속기를 구동하고 파워더클러치에 전달된 동력을 끝단에 장착된 로드셀의 저항 값을 통해 출력을 검출하게 된다. 개발된 변속기의 경우 전기카트나 경형전기자동차에 적용할 계획이기 때문에 구동되는 모터는 5.5Kw급의 서보모터를 적용하여 Fig. 5와 같이 전체적인 시험기를 제작하였다.

시험방법은 장착된 서보모터의 저항을 변화시켜 출력을 가변할 수 있는 모터를 변속기 입력축에 장착하고 500rpm에서 800rpm까지 100rpm씩 회전수를 변화시킨다. 이때 rpm센서를 통해 회전수를 확인하고 토크센서를 통해 토크를 확인한다. 변속기 출력축에는 전자클러치를 연결하고 끝단에 로드셀을 장착하여 최종적으로 출력되는 토크와 rpm을 측정한다. 이때

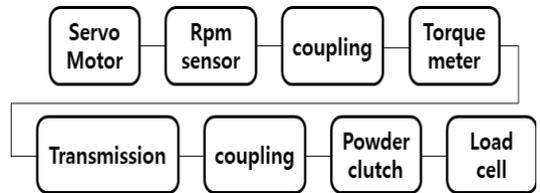


Fig. 4. Diagram of tester.

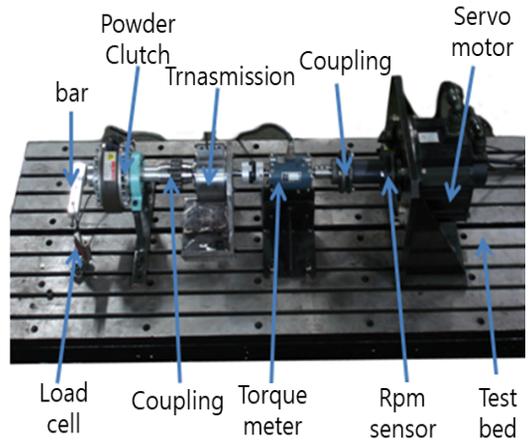


Fig. 5. Structure of tester.

출력값은 외부에 연결된 디스플레이를 통해 육안으로 확인하며 기록하고 모니터링한다. 이를 통해 저단과 고단 변속시 입력측에서 확인되는 수치와 출력측에서 확인되는 수치를 비교하여 효율특성을 분석한다. 그리고 비접촉 적외선 온도계를 통하여 변속기 구동시 발생하는 열을 측정하여 발열 특성을 분석한다.

3.2. 효율특성 시험

효율특성 시험을 위해 변속기 입력측에 연결된 모터의 회전수를 500rpm부터 100rpm씩 조절하여 800rpm까지 회전수를 조절하였고, 해당되는 rpm에서 구배특성이나 적재중량 등을 고려해 5%에서 20%까지 5%의 부하율을 추가하면서 시험을 진행하였다. 이때 디스플레이에 나타나는 값을 결과값으로 반영하였다. Fig. 6은 감속비가 0.625인 고단에서의 동력전달 효율 그래프이다. 시험결과, 5%에서 15%의 부하율에서는 동력전달효율이 너무 낮게 나타나고, 20%의 부하율을 기준으로 500rpm일 때 47.46%, 600rpm일 때 48.89%, 700rpm일 때 44.24%, 800rpm일 때 44.02%의 효율을 나타냈다. 전반적으로 부하율이 증가됨에 따라 효율이 증대되는 특성을 나타내고 있고, 전 회전수 영역에서 부하율이 20%일 때 동력전달효율이 가장 높게 나타나지만 50% 미만으로 나타내는 것을 확인할 수 있다.

Fig. 7은 감속비가 1.6인 고단에서의 동력전달 효율 그래프이다. 시험결과, 부하율이 15%에서 500rpm일 때 56.29%, 600rpm일 때 59.73%, 700rpm일 때 49.47%, 800rpm일 때 53.06%의 효율을 나타내고 있고, 20%의 부하율을 기준으로 500rpm일 때 79%, 600rpm일 때 74.85%, 700rpm일 때 77.07%, 800rpm일 때 82.28%의 효율을 나타냈다. 저단과 마찬가지로 전반적으로 부하율이 상승함에 따라 효율이 증대되는 특성을 나타내고 전 회전수 영역에서 부하율이 20%일 때 전 회전수영역에서 75%이상의 동력전달효율을 나타내는 것

을 확인할 수 있다.

동력전달 효율 특성 시험결과로 볼 때 저단보다 고단에서 높은 효율특성을 나타내고 있다. 이는 고단에 비해 저단에서 벨트와 풀리사이의 견인력이 부족하여 발생하는 slip으로 인해 동력전달효율이 떨어지는 것으로 판단된다. 그리고 저단과 고단 모두 부하가 증가됨에 따라 효율이 증대되는 특성으로 볼 때 부하율을 고려하여 상시 적재용 소형전기자동차나 전동카트에 적용 가능할 것으로 판단된다.

3.3. 열적부하특성 시험

개발된 변속기는 고무벨트와 풀리의 마찰을 통한 동력전달방식을 따르고 있다. 따라서 변속기가 구동됨에 따라 벨트와 풀리의 마찰에 의해 발생하는 변속기 내부의 발열특성 시험을 위해 변속기 입력측에 연결된 모터의 회전수를 효율시험과 동일하게 500rpm부터 100rpm씩 조절하여 800rpm까지 회전수를 조절하였고, 각각의 rpm에서 5%에서 20%까지 5%의 부하율을 추가하면서 시험을 진행하였다. 이때 디스플레이에 나타나는 값을 결과 값으로 반영하였다. Fig. 8은 감속비가 0.625인 저단에서의 발열특성 그래프이다. 시험결과, 500rpm에서는 전부하영역에서 60.8°~64.8°를 나타내고 있고, 600rpm에서는 전부하영역에서 65.5°~75.6°를 나타내고 있고, 700rpm에서는 전부하영역에서 78.9°~86.6°를 나타내고 있고, 800rpm에서는 전부하영역에서 77.5°~87.8°를 나타내고 있다. 동일한 회전수에서도 부하가 증가됨에 따라 온도가 상승하는 특성을 나타내고 있고, 800rpm의 20%부하영역에서 87.8°로 가장 높은 온도를 나타내고 있지만 높은 점보다 낮은 온도이고 내연기관에 비해 낮은 온도를 나타내는 것을 확인할 수 있다.

Fig. 9는 감속비가 1.6인 저단에서의 발열특성 그래프이다. 시험결과, 500rpm에서는 전부하영역에서

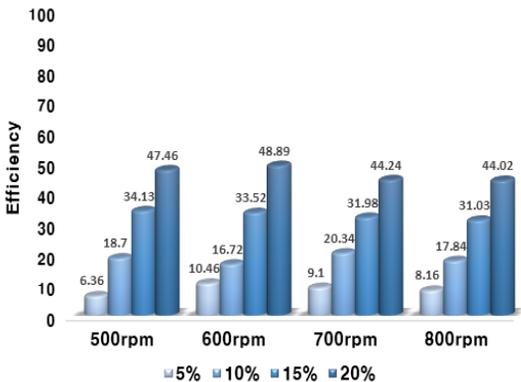


Fig. 6. Graph of low gear ratio efficiency.

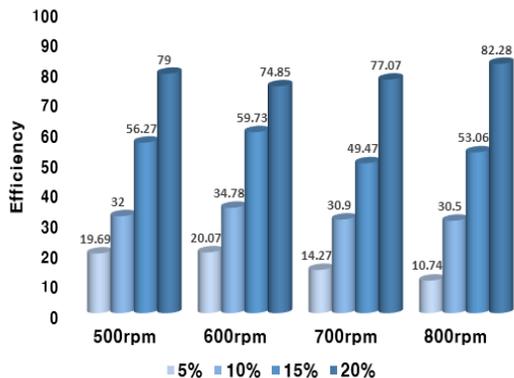


Fig. 7. Graph of high gear ratio efficiency.

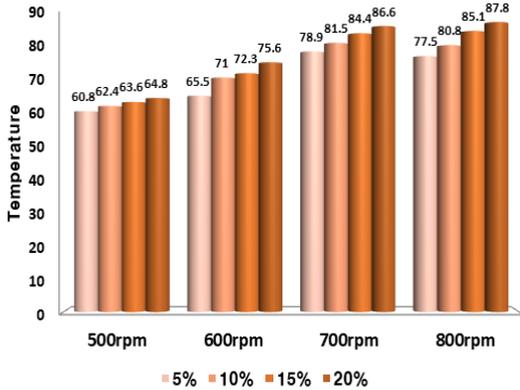


Fig. 8. Graph of low gear ratio Temperature.

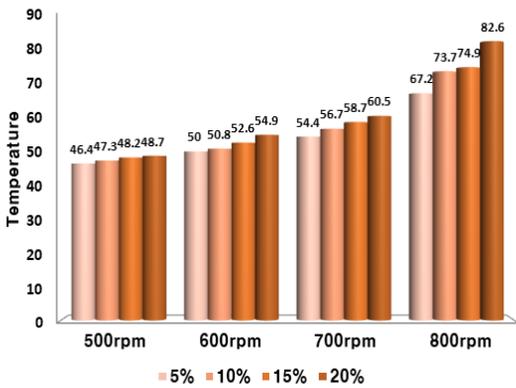


Fig. 9. Graph of high gear ratio Temperature.

46.4°~48.7°를 나타내고 있고, 600rpm에서는 전부하영역에서 50°~54.9°를 나타내고 있고, 700rpm에서는 전부하영역에서 54.4°~60.5°를 나타내고 있고, 800rpm에서는 전부하영역에서 67.2°~82.6°를 나타내고 있다. 저단과 동일하게 동일한 회전수에서도 부하가 증가됨에 따라 온도가 상승하는 특성을 나타내고 있고, 800rpm의 20%부하영역에서 82.6°로 가장 높은 온도를 나타내고 있지만 짧은 점보다 낮은 온도이고 내연기관에 비해 낮은 온도를 나타내는 것을 확인할 수 있다.

발열특성시험으로 볼 때 고단보다 저단에서 높은 발열온도를 나타내고 있다. 이는 동력전달효율시험에서와 마찬가지로 저단에서 벨트와 풀리 간에 강한 견인력이 발생되지 않고 slip으로 인해 마찰이 증대되면서 열이 상승하는 것으로 판단된다. 또한 전체적으로 변속기 내부에서 100°이상으로 온도가 상승하지 않지만 차체의 무게나 적재중량에 따라 발열이 증가할 수 있기 때문에 공랭을 통한 냉각장치의 장착을 고

려할 수 있다.

IV. 결론

본 연구에서는 전기카트나 경형전기자동차에 적용 가능한 CVT구조를 갖는 소형감속기에 대한 연구를 진행하였다. CVT의 특성을 활용하여 변속메커니즘을 설정하고 입력축과 출력축에 각각 직경 80mm 대 풀리, 직경 50mm 소풀리 2개씩을 삽입한 형태의 CVT 구조의 변속기를 설계하였다. 벨트의 장력을 조절하는 텐서너 기능의 편심캠을 통해 저단과 고단으로 변속이 가능한 변속레버를 설계하였다. 변속기의 적용범위 및 사용목적에 고려하여 기어비식에 의해 고단 0.625, 저단 1.6의 기어비를 설정하였다. 그리고 특성을 확인하기 위해 제작한 시험장치를 이용하여 개발된 감속기의 동력효율시험과 발열특성에 대한 시험을 통하여 다음과 같은 연구결과를 도출하였다.

1. 동력전달효율시험을 통해 20%의 부하율에서 저단 변속시 500rpm 47.46%, 600rpm 48.89%, 700rpm 44.24%, 800rpm 44.02%의 효율특성이 나타났는데 저단에서 벨트와 풀리 간의 견인력 부족으로 slip이 발생된 것으로 판단되며, 이는 오로지 변속기에 인가된 부하만을 통해 도출된 결과로 차량의 무게와 운행조건에 의해 향상될 것으로 판단된다.

2. 동력전달효율시험을 통해 20%의 부하율에서 고단 변속시 500rpm 79%, 600rpm 74.85%, 700rpm 77.07%, 800rpm 82.28%의 효율특성이 나타났는데 고속회전을 통해 벨트와 풀리 간의 견인력이 향상되어 저단에 비해 높은 동력전달효율을 보이고 있다. 마찬가지로 오로지 변속기에 인가된 부하만을 통해 도출된 결과로 차량의 무게와 운행조건에 의해 향상될 것으로 판단된다.

3. 발열특성시험을 통해 20%의 부하율에서 저단 변속시 500rpm 64.8°, 600rpm 75.6°, 700rpm 86.6°, 800rpm 87.8°의 발열특성이 나타났다. 이는 효율시험에서와 같이 벨트와 풀리 간의 slip으로 인해 온도가 상승한 것으로 판단된다.

4. 발열특성시험을 통해 20%의 부하율에서 고단 변속시 500rpm 48.2°, 600rpm 54.9°, 700rpm 60.5°, 800rpm 82.6°의 발열특성이 나타났다. 이는 회전수가 증가됨에 따라 마찰에 의한 온도상승이 이루어진 것으로 판단된다.

5. 저단과 고단의 발열특성 결과 부하율이 상승함에 따라 온도가 상승하는 특징도 보이지만 회전수에 따른 온도변화 영향을 많이 받는 특성을 나타낸다. 이는 마찰증대에 따른 온도상승이 발생한 것으로 판단된다.

REFERENCES

- [1] Lee, S. M., Le, T. D., and Hong, S. M., "Formability Evaluation of New High Strength Aluminum Materials (Almag6) for Environment-Friendly Vehicle", *Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society*, 23(10), 9-17, (2022)
- [2] Cho, Y. J., Kim, H. S., Choi, W. S., and Lim, W. S., "Analysis on the Baulking Probability of the Dog Clutch of Electric Vehicle Transmission", *Transactions of KSA*, 31(8), 613-618, (2023)
- [3] Oh, E. Y., Min, D. S., Han, J. Y., H., 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)
- [4] 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", *Transactions of KSA*, 26(6), 706-716, (2018)
- [5] Park, S. S., and Sun, Y. T., "Improvement Efficiency and Noise by Applying Chain System to Reducer of EV", *Transactions of KSA*, 20(2), 99-104, (2022)
- [6] Lee, H. K., Kim, M. S., Mun, H. S., Park, J. D., and Lee, J. H., "A Study on the Improvement of Impact Noise caused by the EV Spline Quality and Axial Imbalance", *Trans. Korean Soc. Noise Vib. Eng.*, 32(4), 368-374, (2022)
- [7] Lee, J. G., Kim, S. H., Han, S. G., Shin, Y. I., and Song, C. K., "Design of a Reducer Gear for Small Electric Vehicles", *Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers*, 19(9), 116-121, (2020)
- [8] Kang, S. H., Park, S. H., and Cho, Y. S., "Developing Planetary Gear Reduction Design Software for the Planetary Gear Design and Durability Strength Analysis of Armored Vehicle's Transmission", *TTribol. Lubr.*, 39(5), 173-182, (2023)
- [9] Youm, K. W., "Design of Planetary Gear Drive Unit for Drive Conversion of Transfer case", *KIGAS*, 26(2), 21-26, (2022)
- [10] Oh, J. M., and Yang, J. H., "Gear Micro-geometry Optimization for Improvement of Planetary Gear Noise on Automatic Transmission", *Trans. Korean Soc. Mech. Eng. A*, 48(1), 69-75, (2024)
- [11] Kwon, Y. W., "An Experimental Study of the Gradient Response CVT", *J. Korean Soc. Mech. Technol.*, 18(3), 454-459, (2016)
- [12] Kim, J. Y., "Analysis on the Shifting Mechanism of the Multi-link CVT", *Transactions of KSA*, 31(11), 927-933, (2023)
- [13] Kim, S. M., Zheng, C. H., Lim, W. S., and Cha, S. W., "Performance Analysis of the Rubber Belt type CVT System", *Korean Society of Manufacturing Technology Engineers*, 20(4), 376-381, (2011)