

아라고 원판 효과를 이용한 전기자동차용 비접촉 감속기의 특성 분석

Characteristic Analysis of Non-Contact Reducer for Electric Vehicles using Arago Disc Effect

최군호*

Goon-Ho Choi*

〈Abstract〉

In the case of internal combustion engine vehicles, transmissions are essential for various reasons, such as vehicle starting and speed control. However, in the case of electric vehicles, unlike internal combustion engine vehicles, a transmission is not necessarily required. Of course, considering the efficiency of electric vehicles, a transmission is necessary, but installing the existing transmission as is has the opposite effect due to increased vehicle weight, so it has not been considered so far. In this paper, a non-contact reducer type using the Arago disc effect is proposed rather than a transmission using a conventional gear train, and the aim is to examine whether this can increase the driving efficiency of electric vehicles while minimizing weight. In addition, the effectiveness of the proposed reducer will be verified by manufacturing and testing it.

Keywords : Electric-Vehicles, Transsmission-Gear, Non-contact Reducer, Arago Disk Effect, Motor Efficiency

* 경성대학교 전기공학과, 부교수
E-mail: goonho@ks.ac.kr

* Associate Professor, Dept. of Electrical. Eng, KyungSung Univ.

1. 서론

내연기관 자동차에 있어서 변속기는 아주 중요한 역할을 한다. 내연기관의 특성상 변속기는 엔진의 시동 문제, 초기 기동 상태일 때의 저 토크 상태 문제, 아울러 차량이 운행하는 동안에도 엔진에서 발생하는 일정한 토크에 대하여 차량의 필요 속도를 만들어 내야 하는 등의 이유로 반드시 필요하다[1-3]. 반면에 전기자동차의 경우에는 구동력을 전동기를 이용하기 때문에 시동 상태의 개념이 없고, 초기 정지 상태에서 최고 속도 구간까지 단순히 전동기 제어를 통한 속도 변화를 만들어 낼 수 있기 때문에 이론적으로는 전체 속도 범위의 전동기를 사용할 경우, 전기자동차에서는 일반적인 내연 기관 자동차의 변속기 구조가 필요하지 않다. 따라서 내연 기관 자동차의 무겁고 복잡한 기계 구조를 배제할 수 있으므로 기구적으로 보다 안정하고 유지보수가 쉬우며 차량 전체의 무게를 일정 부분 줄일 수 있는 장점 등이 있다. 다만, 전기 자동차에 사용하는 전동기의 최고 속도가 일반적인 차량 운행의 최고 속도 구간보다 큰 경우가 많고, 전동기의 최적 운전 효율 구간을 고려하여 보통 1단의 감속기 구조만을 채택하여 전기자동차를 설계하는 것이 일반적이다[4-6].

문제는 이러한 단일 감속기 구조는 전동기의 운전 효율을 고려할 때, 비효율 구간에서의 운전을 배제할 수 없다. 이는 전기자동차의 대중화를 위해 적은 배터리 용량으로 긴 운행거리가 필요하다는 점을 생각하면 개선할 필요가 있는 것이 분명하다. 때문에 많은 연구자들이 일반적인 내연 기관과 같이 변속기를 전기자동차에 채택하고자 하는 연구가 활발하다. 다만 이러한 경우 앞서의 장점으로 고려되었던 변속기 미적용으로 인한 전체 무게 감소의 효과를 볼 수 없고, 이는 다시 전기자동차의 주행 효율을 나쁘게 하는 결과를 얻을 수 있다.

본 논문에서는 전기 자동차의 주행 효율 개선을 위한 무게를 최소화 하고 다양한 형태의 변속 구간을 만들 수 있는 새로운 형태의 변속기를 제안하여 보고자 한다.

2. 관련 이론 및 연구

2.1 내연기관에서의 변속기

기어를 이용한 가속 또는 감속의 형태는 지난 수 천년동안 연구, 발전되어 온 형태이다. 일반적인 내연기관 변속기는 크게 엔진의 동력을 구동바퀴로의 전달을 단속하는 클러치와 여러 단계의 서로 다른 감속 및 증속 기어열(reduction and increase gear trains)로 이루어져 있다. 이는 1895년 Emile Levassor가 평행 축을 갖는 3속 변속기를 개발한 이래, 1930년대 변속기 내부에 최초의 클러치 구조를 포함한 2속 변속기 등의 여러 발전과정을 거쳐, 이후 동력 단속 방식에 따라 수동, 자동 변속기, 효율 개선과 주행 안정성을 위하여 다양한 단수를 갖는 변속기로 발전되어 왔다. 내연기관 자동차에 변속기가 필요한 이유는 다양하지만, 크게 다음과 같이 다섯 가지로 정리할 수 있다[1-3].

- 1) 시동 문제 : 내연기관은 그 특성상 부하를 낀 상태에서 시동할 수 없다. 아울러 시동과 동시에 동력을 얻을 수 없다.
- 2) 전/후진 전환 : 내연기관은 한쪽 방향으로만 회전할 수 있어서 전진/후진을 전환할 기구적인 장치가 반드시 필요하다.
- 3) 초기 기동 문제 : 저속 상태일 때 발생토크가 작아서 엔진만의 힘으로는 기동하기가 어렵고 이 때문에 초기에는 저속 기어열을 이용하여 낮은 토크를 보상하여 기동할 수

있도록 하여야 한다.

- 4) 토크의 출력 범위 문제 : 기동 후 엔진은 공급되는 연료에 따라 출력의 변화가 발생하는데, 주행 시 이 출력은 한계가 있고, 이 범위가 크지 않다. 때문에 단일 출력만으로는 차량의 이동 속도의 변화가 극히 제한적이다. 따라서 동일 출력에서 차량의 속도 변화를 만들어 주기 위한 다양한 형태의 기어열측, 변속기가 필요하다.
- 5) 엔진 효율과 운전자 편의성 문제 : 앞서 변속기를 이용한 변속 범위를 단순히 엔진의 출력 범위와만 연동할 경우, 엔진이 최적 효율에서 운전할 수 있는 범위가 줄어든다. 따라서 좀 더 많은 변속기 단수를 이용하면 이 문제를 좀 더 효과적으로 대처할 수 있다. 아울러 변속기의 단수가 많아질수록 변속 시 발생하는 충격을 감소시킬 수 있으므로 이는 운전자의 사용 만족도를 높일 수 있는 효과가 있다.

이와 같은 이유로 내연기관 차량의 경우 변속기의 채용이 반드시 필요한 요건이 되었으며, 이 문제 해결을 통해 내연기관 자동차의 대중화와 고성능화를 이끌어 왔다. 문제는 이와 같은 많은 단수의 감속 기어열과 증속 기어열의 구조는 필연적으로 자동차의 무게를 증가시키고, 동시에 많은 기어열로 인한 마찰력 등에 의한 손실을 발생시킨다. 이는 차량의 운행 효율을 떨어뜨리는 중요한 요인이 될 수밖에 없고, 변속기의 적용으로 인한 효율 증대라는 앞서의 설명과의 상반 결과를 상쇄하기 위하여 적절한 단수와 구조의 변속기 구조로 만들어질 수밖에 없는 한계가 있다.

2.2 전기자동차에서의 변속기

전기자동차와 내연기관 차량의 가장 큰 차이점

은 첫 째, 구동력을 만들어 내는 전동기가 회전 운동을 함으로써 내연기관과 같은 직선운동을 회전운동으로 변환하는 크랭크-암 구조가 필요 없다. 둘째, 전동기의 특성상 초기에 큰 전류를 이용한 고 기동 토크를 만들어 낼 수 있으며, 전류의 단속이나 방향 전환을 통해 시동 문제 및 전/후진 전환이 가능하다. 셋 째, 전동기의 경우 회전 속도의 변속 범위 및 토크 출력 범위가 내연기관 보다 현저히 넓다. 이 세 가지는 사실상 2.1절의 첫 번째에서 네 번째까지의 문제가 전기자동차에서 발생하지 않는다는 것을 의미하며, 아울러 다섯 번째에서 언급한 운전자 편의성의 경우도 비슷한 이유 때문에 필요하지 않다. 결국은 전기자동차에서는 다섯 번째에서 언급한 효율 문제를 제외하면 기본적으로 내연기관과 같은 변속기는 필요하지 않다고 할 수 있다[4-6]. 따라서 전기자동차에서 변속기는 전동기의 최적 효율 구간에서 운전을 목적으로 필요하다고 할 수 있는데, 이러한 이유로 변속기를 사용할 경우 앞서 2.1절에서의 변속기의 문제점인 무게 증가와 기어열 구조로 인한 마찰 손실 등이 발생하므로 오히려 효율을 떨어뜨릴 수 있고 때문에 다단의 변속기는 채택하기 어려운 것이 현실이다. 아울러 다단의 변속기를 채택할 경우, 기존의 전기자동차의 장점인 동력 전달 메커니즘이 구조상 간단하다는 장점도 함께 잃게 되어 이로 인한 제조 단가의 상승, 유지 보수의 난이도 증가 등의 문제를 추가로 발생시킨다. 이런 이유 때문에 현재까지 생산되고 있는 전기자동차 중에서 다단 변속기를 채택하는 경우는 없고, 연구 주제로서 최소한의 2 단 변속기를 채택하여 운행효율을 높이려는 연구는 지속되고 있다[7-9].

2.3 비접촉 감속기 구조

2.1절의 기존의 기어열을 이용한 변속기는 운전

효율이 더욱 중요한 전기자동차의 경우 더욱 채택하기 어려운 상황이다.

이러한 문제를 해결하기 위하여 기어열을 사용하지 않는 비접촉 동력 전달장치에 대한 부분을 고려하여 보고자 한다. 첫 번째로 자석을 이용한 비접촉 동력 전달 장치이다. 이러한 실험적인 비접촉 동력 전달 장치는 동력 전달 양쪽에 고성능의 자석을 채택하고 이를 이용하여 동력을 전달하는 방식이다[10]. 다만 이 방식은 큰 토크를 전달하는 데에 문제가 있고 양쪽의 자석에 의한 동기 속도가 유지 되지 않을 경우 오히려 다른 문제를 발생시킬 수 있기 때문에 이러한 방식은 전달 토크가 작고 동력 전달 과정에서 발생할 수 있는 진동이나 소음 등을 배제하는 등의 특수한 용도로만 사용되고 있다.

두 번째는 아라고 원판 현상을 이용한 동력 전달 방식이다. 아라고 원판 현상은 1822년 프랑스의 물리학자 Dominique François Jean Arago에 의해 처음 제시된 것으로 이후 1831년 Faraday의 전자 유도 현상 이론에 의해 그 이론적 근거를 갖게 되었으며, 이는 현대에 이르러 유도전동기의 기본 원리가 된 현상이다. 즉 회전 자계 속에서 비자성체 금속이 따라서 회전하는 현상을 말하는데, 유도전동기의 경우 이 회전 자계를 전기적으로 발생시키고 있다. 이를 응용하여 회전 자계를 물리적인 회전체에서 발생하는 회전 자계라고 하고 이로 인해 비자성체 원판이 회전 할 수 있다면, 물리적인 회전 자계를 동력원, 이로 인해 회전하는 비자성체 원판을 피동력원으로 볼 수 있고 이는 동력전달의 한 형태로 볼 수 있다[11]. 다만 유도전동기의 운전에서 알 수 있듯이 유도전동기 회전자의 회전 속도는 회전자와 슬립각 만큼 느리게 움직일 수밖에 없으므로 아라고 원판 현상을 비접촉 동력 전달 장치로 사용할 경우, 증속은 불가능할 뿐 아니라 등속 이하에서만 사용할 수 있

는 감속기로서의 역할 밖에 하지 못한다는 것을 고려하여야 한다. 하지만 전기자동차의 경우 증속 기어열 없이 운용이 가능하므로 이와 같은 형태의 감속기만의 구조가 가능하다고 할 수 있다.

3. 아라고 원판 구조의 비접촉 무단 감속기

3.1 아라고 원판 토크 실험 장치

[11]에서 Fig. 1과 같은 실험 시스템이 제안된 바 있다. 이 시스템은 비자성체 원판에 직결되어 있는 직류 전동기를 회전시킴으로써 원판에 자속 변화를 유기시켜 자석막대에 일정량의 힘을 가하게 되고, 이 힘으로부터 유기되는 자석막대의 회전 토크를 추의 무게로 지지시켜 일정 제어 각을 유지하는 시스템이다. [11]에서는 이때 발생하는 자석막대에 발생하는 토크의 관계식을 유도하였는데, 이에 따르면 발생하는 토크는 서로간의 상대 속도와 원판을 통과하는 자속에 비례함을 알 수 있다.

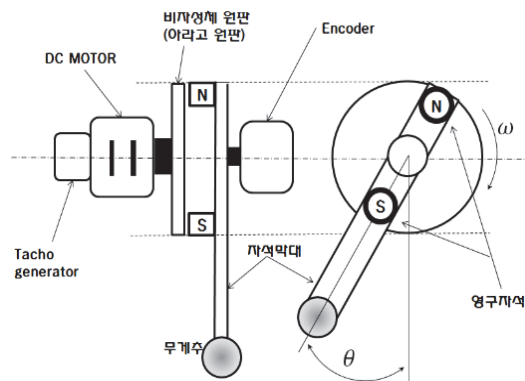


Fig. 1 Conceptual diagram of the previously presented Arago disc experimental device

3.2 아라고 원판형 비접촉 무단 감속기

3.1절을 통해 알 수 있는 사실은 직류전동기를 회전함으로써 정지되어 있는 자석막대에 토크를 발생시킬 수 있다는 것이며, 이는 직류전동기의 동력을 자석막대에 전달할 수 있다는 것으로 해석할 수 있다. 이러한 형태에서 자석 막대가 무게 추를 갖지 않는 자석원판의 형태로 되어 있다면 유도전동기와 같은 원리로 일정 슬립각을 갖는 상태에서 회전하는 형태로 구현할 수 있을 것이다.

Fig. 2에서 보면 단순한 원판과 자석이 부착된 원판이 마주보고 있는 구조이다. 이 두 원판 중에 하나를 회전 시키면 다른 쪽 원판이 3.1절에서 설명한 것처럼 같은 방향으로 따라서 회전하게 될 것이다. 이를 각각 구동부와 비구동부 원판이라고 정의하면 비구동부 원판은 구동부 원판에 연결된 직류 전동기에서 발생하는 속도에 일정 정도(슬립각) 낮은 속도의 회전력을 갖는 구동체로 생각할 수 있으며 이는 일종의 비접촉 감속기의 역할을 할 수 있을 것으로 생각할 수 있다.

여기에서 두 원판 사이의 상대속도는 비구동부 원판에 발생하는 토크에 관계되며, 이 토크는 [11]에서 비자성체 원판을 통과하는 자속에 상관된다는

것을 알 수 있다. 즉, 이 통과 자속이 많을수록 비자성체 원판에 발생하는 회전 토크가 커지게 된다. 이때 통과 자속의 수는 자성체의 세기에 비례하고 자성체와 원판 사이의 간격에 각각 반비례하는 것을 알 수 있다. 본 논문에서는 자성체를 일반적인 영구 자석을 사용하고자 하므로, 실질적으로 발생하는 회전 토크는 자성체와 회전판 사이의 간격에 따라 두 원판 사이의 상대 속도가 달라질 수 있음을 알 수 있다. 결과적으로 이러한 형태는 고정된 구동부의 속도가 동일하더라도 간격에 따라 비구동부의 속도가 달라지게 할 수 있으며, 이는 간격을 변속기의 단(gear)으로 생각할 수 있다면 무단 변속 기어를 갖는 감속기 구조라고 생각할 수 있을 것이다.

즉 일반적인 변속기(감속기)에서는 여러 기어열의 기어비가 감속 비율을 의미하는 것과 달리 본 논문의 무단 감속기는 두 원판(구동부, 비구동부 원판) 사이의 간격이 이를 대신할 수 있을 것이라 예상할 수 있다. 아울러 이러한 형태는 기존의 기어열 변속기(감속기)가 갖는 무게, 소음 및 유지 보수 등의 문제를 일부 해결할 수 있을 것으로 예상된다. 이 부분을 다음 장의 실험 검증을 통해 그 유효성을 확인하여 보고자 한다.

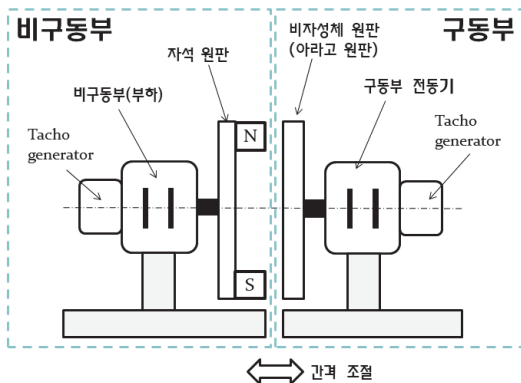


Fig. 2 Conceptual diagram of the newly proposed Arago disk experiment device

4. 무단 감속기로서의 유효성 실험 및 검증

4.1 실험 장치 구성

우선 이 실험은 비접촉 무단 감속기 유용성 검증에 대한 것이므로 구동부 동력이 없을 때, 비구동부가 공회전 하는 경우를 배제한다. 이에 대하여 다음과 같은 가정을 한다.

가정1) 구동부가 정지 상태일 때는, 비구동부는 차량의 브레이크 시스템 등에 의하여 단속된다.

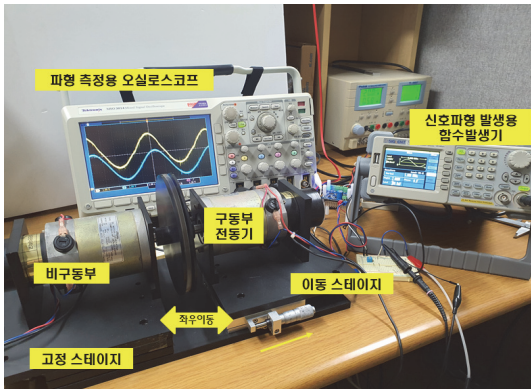


Fig. 3 Complete experimental setup and measurement system configuration

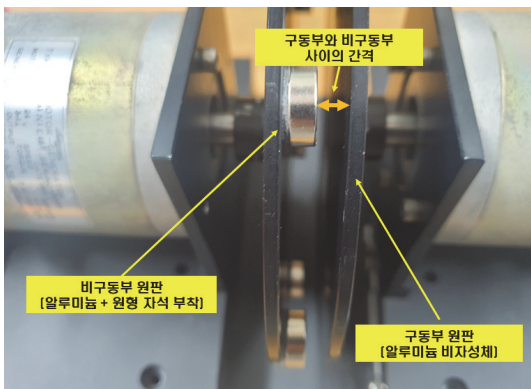


Fig. 4 Close-up photo of a magnetic disk and a normal disk

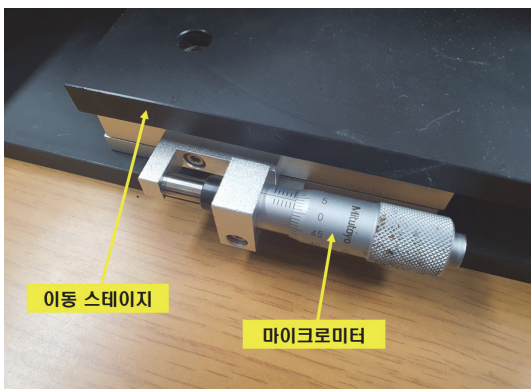


Fig. 5 Close-up photo of transfer micro-stage using a micrometer

가정2) 구동부가 회전하고 만약 감속없이 운행하고자 할 때는 구동부와 비구동부는 접촉하여 동력 직결 상태를 만들 수 있다. 이는 마치 내연기관 변속기의 클러치 역할이라고 가정할 수 있다.

Fig. 3은 앞서의 Fig. 2를 구현한 실제 실험 시스템이다. 그림에서 양쪽에 모두 동일한 직류전동기가 연결되어 있다. 이때 우측의 전동기는 구동부 동력원으로 좌측의 직류전동기는 비구동부의 부하로서의 역할을 한다. 그리고 양쪽에 모두 동일한 타코제너레이터가 직결되어 회전 속도를 실시간으로 측정이 가능하도록 하였다.

Fig. 4는 두 전동기의 앞부분 원판부를 확대한 사진으로, 두 전동기 축에는 같은 지름이지만 하나는 자석이 있는 반대쪽은 자석이 없는 원판을 각각 설치하였음을 보여준다.

Fig. 5는 두 원판 사이의 간격을 조정할 수 있도록 우측의 베이스 하단의 이송 스테이지 부분을 보여준다. 이 이송 스테이지는 두 원판 사이의 간격을 정밀하게 측정하고 이송할 수 있도록, 10 μ m 정밀도의 마이크로미터를 장착하였으며, 이를 통해서 두 원판 사이의 간격을 0mm~10mm 까지 10 μ m간격으로 조정할 수 있도록 하였다.

4.2 유효 감속 간격에 대한 실험

제안된 형태의 감속기는 두 원판 사이의 간격이 너무 멀 경우, 자속이 미치지 못하여 동력 전달이 불가능하다. 따라서 제안된 장치의 유효 간격을 측정하여 그 범위를 정할 필요가 있다. 이를 위해 구동부를 일정 속도로 회전하도록 하고, 비구동부의 간격을 넓혀 가면서 비구동부의 속도를 측정하였다.

Table 1은 최초 1mm 간격에서 시작하여 일정 간격으로 둘 사이의 간격을 넓혀 가면서 비구동부의 속도를 측정하는 것이다. 이때 토크의 또 다른 영향 요

소인 두 원판의 상대 속도를 고려하여 구동부의 전동기는 각각 500rpm, 1000rpm, 1500rpm으로 세 가지 속도에서 실험하였고, 실험 과정에서의 오차를 줄이기 위하여 동일 속도에서 한 번은 간격을 넓혀가면서, 또 한 번은 간격을 줄여가면서 두 차례 측정하였다. 아울러 실험 데이터는 구동부와 비구동부

의 타코제너레이터에서 발생하는 전압을 각각 두 개의 멀티미터를 이용하여 측정하여 그 값을 기록하였으며, 이를 엑셀 파일로 정리한 후, 해당 값(전압)을 이 센서의 변환 factor인 7V/1000rpm를 이용하여 분당 회전수(rpm)으로 환산한 수치임을 밝힌다.

Fig. 6은 Table 1의 데이터를 평균한 결과를 그래프로 표시한 것이다. 그래프를 보면 모든 속도에서 일정 간격 이상에서는 비구동부가 회전하지 않았다. 그리고 간격에 따라 결과의 선형성을 고려한다면, 유효한 간격은 1mm~3.5mm 사이의 간격임을 알 수 있다.

Table 1. Measured value of rotation speed of non-driving disc according to change in spacing

속도 간격(mm)	500rpm		1000rpm		1500rpm	
	증가	감소	증가	감소	증가	감소
1	396	411	911	916	1424	1427
1.5	366	379	877	883	1386	1380
2	327	343	837	843	1343	1337
2.5	281	296	791	796	1289	1284
3	230	243	734	736	1226	1221
3.5	166	181	669	667	1150	1149
4	90	100	590	586	1061	1060
4.5	0	0	497	493	960	960
5	0	0	389	386	843	844
5.5	0	0	263	263	707	711
6	0	0	110	107	553	560
6.5	0	0	0	0	384	384
7	0	0	0	0	187	171
7.5	0	0	0	0	0	0

4.3 유효 감속 속도 구간에 대한 실험

4.2절의 실험에서 구한 유효 간격에 대한 결과를 바탕으로, 1.5mm, 2mm, 3mm의 간격에 대한 구동부 속도에 대한 비구동부 속도의 변화를 측정하였다.

Table 2. Measured value of rotational speed of non-driving disc according to change in driving unit speed

속도(rpm)	1.5mm		2mm		3.0mm	
	증가	감소	증가	감소	증가	감소
100	0	0	0	0	0	0
200	79	71	39	33	0	0
300	181	161	146	120	44	43
400	269	261	234	221	136	111
500	384	366	347	321	251	214
600	486	463	447	420	349	311
700	587	563	547	519	449	407
800	686	663	646	620	546	507
900	786	766	747	721	646	606
1000	887	861	851	819	747	700
1100	969	963	946	917	840	797
1200	1069	1063	1023	1014	904	893
1300	1171	1164	1126	1116	1001	990
1400	1269	1260	1221	1211	1094	1083
1500	1367	1361	1319	1313	1193	1181

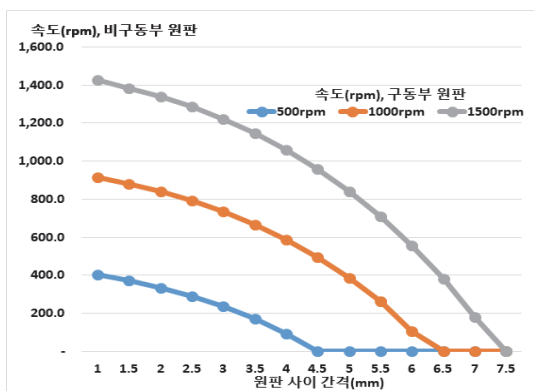


Fig. 6 Rotational speed change of the non-driving disk according to the change in spacing

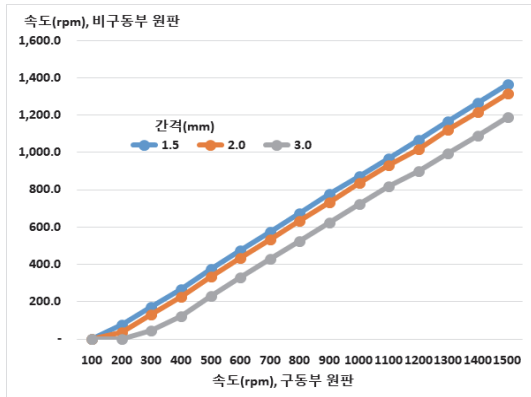


Fig. 7 Rotation speed change of the non-driving disc according to the change in driving unit speed

Table 2는 최초 100rpm에서 시작하여 동일한 간격에서 구동부 속도의 변화를 주어 측정된 결과이다. 실험 과정에서의 오차를 줄이기 위하여 동일한 간격에서 한 번은 속도를 높여가면서, 또 한 번은 속도를 줄여가면서 두 차례 측정하였다.

Fig. 7은 이 결과의 평균을 그래프로 표시한 것이다. 그래프를 보면 구동부 속도가 낮은 경우(100rpm~300rpm 구간)를 제외하면 3가지 측정대상 간격에서 구동부와 비구동부의 유의미한 선형적인 속도 변화를 보여주고 있다.

4.4 입력 신호의 변화에 따른 실측 실험

4.2, 4.3절의 내용의 추가적인 검증을 위해 구동부 전동기의 입력을 변화시키면서 각 원판의 속도변화를 측정 실험하였다.

입력으로 사용된 전동기 구동부 신호는 5초 주기의 정현파이며, 속도는 약 300rpm~1000rpm의 변화가 발생하도록 하였다. 이는 4.3절에서 너무 낮은 구동부 속도에서는 비구동부의 특성이 잘 나타나지 않음을 참고하여 결정하였다. Fig. 8은 이 파형을 입력하였을 때 구동부 전동기와 비구동부의 속도 변화를 오실로스코프를 이용하여 실측

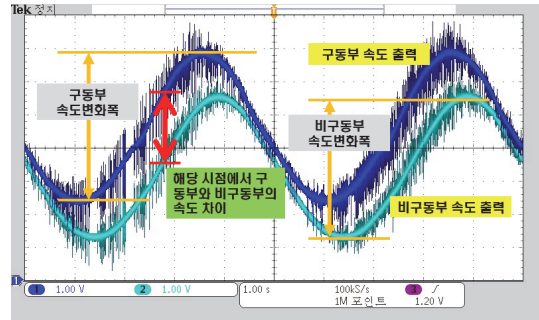


Fig. 8 Measurement waveforms and explanations of driving/non-driving parts for sinusoidal input

한 결과이며, 속도 측정용 센서가 모두 타코제너레이터이므로 측정된 결과는 전압으로 표시되었음을 밝힌다. 이 그래프를 보면 구동부 속도 변화에 대하여 비구동부가 어떻게 추종하는 지를 보여주고 있다. 다만 이 실험 결과를 보면 구동부 속도가 증가 할 때와 감소할 때가 약간 다르게 나타나는 것을 볼 수 있는데, 이는 실험의 특성상 구동부는 속도가 상승하고 하강할 때 모두 구동부 제어기의 영향을 받아 속도가 즉시 변화하지만, 비구동부의 경우 상승할 때 발생한 관성 회전력이 하강할 때 반영되어 속도가 덜 줄어드는 현상이 발생하는 것으로 파악되었다. 실제 자동차에서는 이 부분이 브레이크 시스템에 의해 단속되어야 하지만, 실험 시스템에서는 브레이크 시스템을 실제로 구현할 수 없으므로 4.1절의 가정1)으로 대신하였다. 따라서 이 실험결과는 상승할 때의 데이터가 4.2, 4.3절의 결과와 비교할 수 있는 유효 데이터라고 할 수 있다.

Fig. 9는 원판 사이의 간격을 1mm~3mm로 변화하면서 측정된 결과이다. 이 간격은 4.2절의 결과에서 유효 간격을 참조하였으며, 이 결과에서 보면 특정 간격에서 마치 기어의 감속비처럼 일정한 속도 차이를 보여주고 있음을 알 수 있다. 따라서 이 절의 측정 결과는 4.2절, 4.3절의 결과와도 어느 정도 일치함을 알 수 있다.

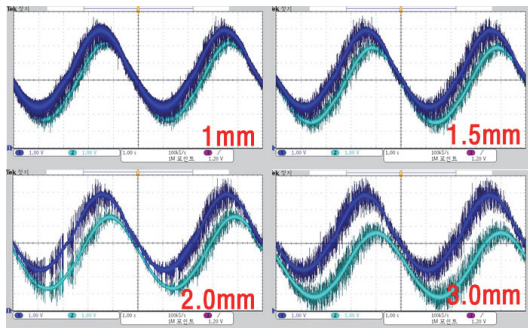


Fig. 9 Measurement waveforms of driving/non-driving parts at different distance

5. 결론

본 논문에서 제안된 비접촉 무단 감속기 구조는 구조적으로 간단하고 기존의 2단 감속기에 비해 무계를 현저히 줄일 수 있는 간략한 구조로 되어 있다. 특히 4장의 검증 과정에서 다단 감속기로서의 유효성을 어느 정도 확인할 수 있었다. 이는 향후 전기자동차 이외에 전동기를 구동력으로 갖는 시스템의 속도 변화에서도 비접촉 동력 전달 방식으로 사용될 수 있을 것으로 예상된다. 추후 4.1절의 가정에서 제안된 클러치 효과와 간격 제어를 통한 변속 범위 증대 등의 내용에 대한 추가적인 연구를 통해 보다 발전시킬 수 있을 것으로 예상된다.

참고문헌

- [1] Lee, C. S., Son, J. H., Cho, H. B., A Study on the Development of Synchromesh System in Manual Transmission, J. of KSME, 4:4 p.107~117, (1996).
- [2] Seo, J. D., A Study on Torque Converter Clutch Control and Stability Analysis of an Autonomous Transmission, Master Thesis, Ajou Univ., Rep. of Korea, (1998).
- [3] Cho, T. H., A Study on the Upshift Characteristics of Multi-speed Automatic Transmission, Master Thesis, Mokpo National Maritime Univ., Rep. of Korea, (2016).
- [4] Kim, H. S. Choi, W. S. Choi, W. S., Lim, W. S., Energy Optimization through Operating Mode and Motor Torque Control for Electric Vehicles Equipped with 2-Motor and 2-Transmission, Trans. of KSAE, 29:5 p.477-483, (2021).
- [5] Yeo, Y. G., Transmission Development Trends for Electric Vehicles, Auto Journal, 5 p.35-39, (2015).
- [6] Lee, J. G., Kim, S. H. Kim, Han, S. G., Shin, Y. I., Song, C. K., Design of a Reducer Gear for Small Electric Vehicles, J. of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers, 19:9 p. 116-121, (2020).
- [7] Choi, J. H. Suh, J. H., and Park, N. G., Optimal Design of Lightweight Two-Speed Transmission of Electric Vehicles, Tribol. Lubr., 36:2 p.96-104, (2020).
- [8] Kook, C. H. Kim, J. T., Oh, S. H., Design of two-speed transmission for electric vehicle, J. of Korean Soc. of Mechanical Technology, 11:3. p.1-6, (2009).
- [9] W. H. Jeong, A study on the structure of an integrated two-speed transmission for electric vehicles, Master Thesis, Chung Ang Univ., Rep. of Korea, (2022).
- [10] Kwak, H. S., Kim, S. J., and Choi, S. H., Design of a Step Motor with a Passive Magnetic Bearing, Trans. of the Korean Society for Noise and Vibration Engineering, 16:12 p.1201-1207, (2006).
- [11] Choi, G. H., A Study on the Position Control of Arago's Disk Systems, Master Thesis, SungKyunKwan Univ., Rep. of Korea, (1994).