

## 차동 링기어 방식의 고비율 유성기어 감속기 개발

### Development of High-Ratio Planetary Reduction Gears Applied Differential Ring Gear Type

박 규 식*	이 기 명*	김 유 일
정희원	정희원	
K. S. Park	K. M. Lee	Y. I. Kim

#### ABSTRACT

Automation facilities of greenhouses have been continuously developed.

However, the conventional two-stage worm gear reducer reveals some problems, including low transmission efficiency. The worm gear reducer also have some difficulties in manufacturing and short life.

Therefore, this study was performed to develop a planetary gear reducer, having a high gear reduction ratio and high torque transmission efficiency. The planetary gear system consisted of a fixed ring gear and a 2-teeth differential ring gear turning slow, as the planetary pinion orbits fast around the fixed ring gear. The developed gear system can achieve a high speed reduction rate at one stage. The reducing system was employed to the greenhouse ventilation system. The reducer has the transmission efficiency of 70.5%, 2~3 times longer life time, and twofold roll-up torque at an affordable price, comparing with conventional reducers. This reducer can be also applied to many industrial equipments, such as industrial crane, hoist, elevator and gondola etc.

**주요 용어(Key Words):** 차동 링기어식 유성기어 감속기(planetary reduction gears of differential ring gear type), 파이프 비닐온실(pipe-constructed plastic-film greenhouse), 권취식 창개폐기(roll-up ventilator)

#### 1. 서 론

감속기술은 오래 전부터 기계 시스템과 더불어 발달하여 왔으며, 최근 각종 산업용 로봇이나 자동화 장비의 서보메카니즘에서 고비율화, 소형화, 동력 전달효율의 극대화 등이 요구되고 있다.

기어열 구성에 의한 10단위의 감속은 평기어열의 다단감속, 웜기어감속 등의 방법이 적용되지만, 100단위 이상의 고비율 감속기술은 다단 웜기어, 튜블러모터에서 적용되는 다단유성기어, 하모닉 드라이브(harmonic drive) 등이 있다.

워엄기어 감속기는 산업용으로 사용되고 있는 것

으로 비교적 높은 감속비를 얻을 수 있으나 워엄기어의 경사각에 의한 마찰 동력 전달 방식이기 때문에 동력의 손실 및 마모율이 크고 소음 및 고열발생 등 문제가 있었다.

특히 최근 국내의 온실에 보급 사용되고 있는 환기창 개폐기의 2단 워엄기어 감속기는 그리스(grease)를 윤활재로 사용하며, 마모로 인하여 고장이 잦고, 내구성이 짧은 것이 문제점으로 지적되고 있다.

본 연구에서는 산업용 로봇 또는 자동화 장비의 서보메카니즘, 크레인, 호이스트, 엘리베이터 등의 감속장치에 적용할 수 있으며, 1단만으로 큰 감속비

\* 경북대학교 농업기계공학과

가 가능한 차동링기어 방식의 유성기어 감속기의 실용적인 메카니즘을 개발하고, 이를 이용하여 내구성이 짧고 잦은 고장으로 시설원에 종사자로부터 온실 설비중 가장 많은 불신을 받고 있는 개폐기를 실용화 하였다.

## 2. 차동링기어식 유성기어 감속 메카니즘 구성

### 2.1 유성기어 메카니즘

일반적인 유성기어 감속기는 맞물림 기어로 구성되는 기어열로 선기어, 유성기어, 유성기어의 축을 연결하는 캐리어, 링기어로 구성이 된다. 선기어를 입력으로 할 경우 입력 회전속도는 유성기어와 링기어를 거치면서 감속이 되고 이때 출력축을 캐리어 또는 링기어 어느쪽을 선택하느냐에 따라 감속비를 조절할 수 있는 구조이다. 그림 1은 일반적인 동력 전달장치에서 사용하고 있는 유성기어 감속기의 구성도이다.

그림 1은 선기어로부터 입력된 회전력은 유성기어를 거쳐 링기어에 전달되며, 링기어를 고정하고 캐리어를 출력축으로 하는 구조이다. 이와 같이 링기어를 고정된 일반적인 유성기어 감속기에서의 감속비는 선기어의 치수( $N_s$ )와 링기어의 치수( $N_r$ )의 함수로 나타낼 수 있으며, 식 (1)과 같다.

$$1 : (N_s + N_r) / N_s \dots\dots\dots (1)$$

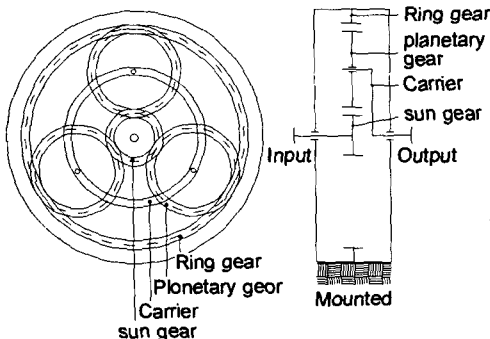


Fig. 1 The schematic diagram of general planetary gear mechanism.

일반적인 유성기어 방식에서는 수백대 1 정도의 고비율의 감속이 요구될 경우 그림 2와 같이 다단으로 제작하여 사용하게 되고 이 경우 기어열의 증가에 따라서 가격이 높아지게 되는 단점이 있다.

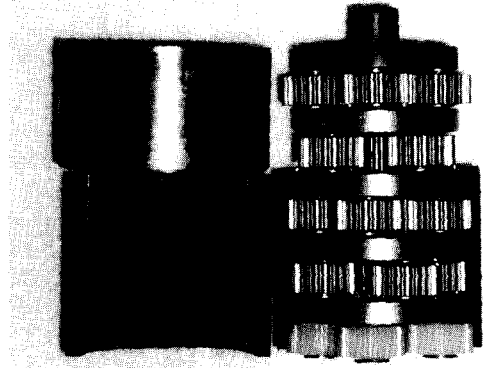


Fig. 2 Multistage planetary gear reduction system.

### 2.2. 차동링기어 유성기어 감속 메카니즘 구성

본 연구에서는 1단으로 큰 감속비가 가능한 차동링기어 방식의 감속 메카니즘을 그림 3과 같이 개발하였다. 차동링기어 방식의 감속메카니즘은 그림 3에서와 같이 치수가 다른 링기어를 두 개 설치하여 한 쪽을 고정하는 고정 링기어(fixed ring gear)로 하고, 다른 쪽은 고정링기어보다 치수를 1~3개 적게 한 차동링기어(differential ring gear)로 하여 출력축으로 한 것으로 각각의 링기어에 동시에 물리는 유성기어에 의해 차동이 된다. 따라서 입력축의 회전속도는 선기어와 고정링기어의 기어비에 의해 1차 감속이 되고, 다시 고정 및 차동링기어의 치수 차이에 의한 차동에 의해 2차 감속되는 원리의 감속기로서 1단만으로 큰 감속비를 얻을 수 있는 메카니즘이다.

차동링기어 방식의 유성기어 감속기의 감속비는 선기어와 고정링기어의 기어비에 의해 발생하는 감속과 유성기어에 같이 물려있는 고정 및 차동링기어의 치수차이에 의한 감속으로 나타내지며 식 (2)와 같다.

$$1 : \frac{(N_s + N_{rd})}{N_s} \cdot \frac{N_{rd}}{(N_{rd} - N_{rd})} \dots\dots\dots (2)$$

여기서,  $N_s$  선기어의 치수  
 $N_{rd}$  고정링기어의 치수  
 $N_{rd}$  차동링기어의 치수

차동방식의 감속원리는 알려져 있지만 본 연구에서는 차동링기어 치수차(1~3)에 따라 1차 차동, 2차 차동, 3차 차동으로 명명하고, 본 연구에 의하여 2차 차동, 3차 차동의 원리를 활용한 실용적인 감속기 구성에 대한 고안이 실용신안으로 등록되었고, 1차 차동의 원리와 실용적인 메카니즘을 구성한 것은 본 연구가 처음 시도한 것으로 현재 발명 특허로 출원하여 특허심사에 통과된 상태이다.

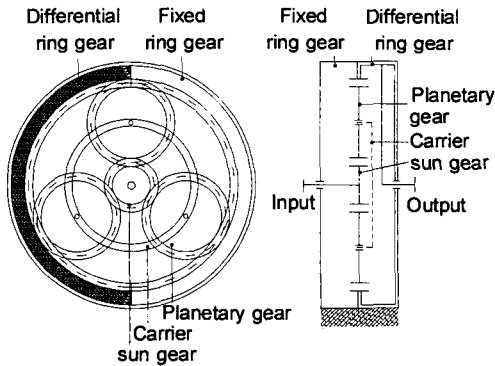


Fig. 3 The schematic diagram of improved planetary gear mechanism applied to the differential ring type.

2.3. 3차 차동

그림 4는 고정링기어보다 출력 기어인 차동링기어의 치수를 3개 적게 만든 3차 차동링기어 방식의 유성기어 감속기이다. 3차 차동링기어 방식에서는 고정 및 차동링기어의 치수의 차가 3이므로 그림 4에서와 같이 3지점에서 두 링기어의 치가 일치하게 된다. 차동링기어 방식의 감속 메카니즘에서는 고정 및 차동링기어의 치가 일치하는 지점에 유성기어가

동시에 물리게 되므로 유성기어의 수는 3개가 필요하게 된다. 또한 3차 차동방식에서는 고정 및 차동링기어 모두의 치수를 3의 배수가 되도록 하여야 하고, 이것은 그림 4에서와 같이 유성기어 A, B, C 사이에서 고정링기어와 차동링기어 사이의 치수 차이가 1이 되도록 하여 차동이 되도록 한다.

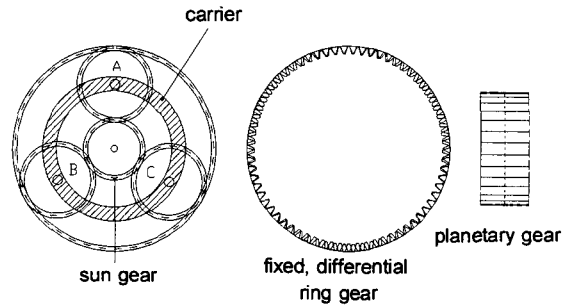


Fig. 4 The schematic diagram of 3-teeth differential ring gear mechanism.

2.4. 2차 차동

그림 5는 고정 및 차동링기어의 치수 차가 2개인 2차 차동링기어 유성기어식 감속기이다.

2차 차동방식에서는 치수의 차이가 2인 고정 및 차동링기어가 2지점에서 치가 일치하게 되고 동시에 물리는 유성기어의 수도 2개가 된다. 2차 차동방식은 3차차동 방식에서와 같은 원리로 고정링기어와 차동링기어의 치수는 2의 배수가 되어야 하고, 이것은 각각의 유성기어 A, B사이에서 고정링기어와 차동링기어의 치수 차이가 1개가 되어야 차동이 되기 때문이다.

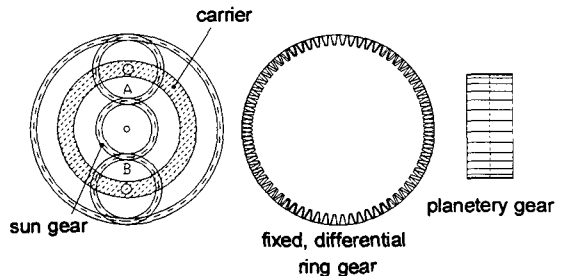


Fig. 5 The schematic diagram of 2-teeth differential ring gear mechanism.

차동링기어 방식의 감속비는 식 (2)에서와 같이 고정링기어와 차동링기어의 치수 차이가 1일 때 가장 큰 감속비를 얻을 수 있다. 따라서 치수 차이가 1인 1치 차동링기어 방식의 유성기어 감속메카니즘을 구성하게 되었다.

### 2.5. 1치 차동

그림 6은 차동링기어 방식의 유성기어 감속기에 서 가장 큰 비율의 감속을 실현할 수 있는 지금까지 시도된 적이 없는 1치 차동링기어방식이다. 그림 6에서와 같이 고정링기어와 차동링기어와의 치수의 차이는 1개로 1개의 지점에서 치가 일치하게 된다. 앞의 차동링기어 방식의 원리에서와 같이 1치 차동 방식일 경우 동시에 물리게 되는 유성기어는 1개로 된다. 그러나 유성기어가 한 개일 경우 유성기어 감속기의 구성이 불가능하다. 따라서 그림 6에서와 같이 유성기어는 3개로 구성하고, 3개의 유성기어 중 고정링기어에 물리는 부분은 모두 치가 있지만 차동링기어와 물리는 부분은 1개의 유성기어(A)만 치가 있고 나머지 2개의 유성기어(B, C)에는 치가 없도록 제작하여 출력축의 구동을 1개의 유성기어가 부담하도록 한 것이다. 이렇게 하여 고정링기어와 차동링기어의 치수 차이가 1개인 1치 차동이 가능하게 하였다. 1치 차동방식이 가장 큰 비율의 감속비를 얻을 수 있으며 치면의 접촉이 가장 적어 소음과 열의 발생을 최대한 줄일 수 있다.

그림 6과 같은 1치 차동방식에서는 세 개의 유성

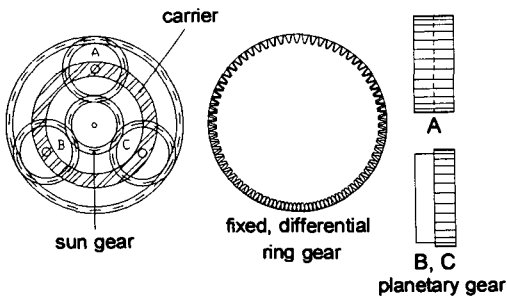


Fig. 6 The schematic diagram of 1-tooth differential ring gear mechanism.

기어 중 1개의 유성기어(A)에만 고정 및 차동 링기어에 동시에 물리는 치가 있고 나머지 두 개의 유성기어(B, C)는 고정링기어에만 물리는 치가 있다. 이 경우 메카니즘으로는 안정된 구성이 되지만 고정 및 차동링기어에 함께 물리는 1개의 유성기어(A)에 구동토크가 집중되게 된다. 따라서 1개의 유성기어(A)는 강도면에서 불리하므로 강도보강을 위한 처리가 필요하다.

그림 7은 1치 차동링기어 방식에서 이런 결점을 보완하기 위하여 세 개의 유성기어 중 고정 및 차동링기어의 치가 일치되는 유성기어(A)는 그림 7과 같이 고정링기어 및 차동링기어와 물리는 상하치를 동일하게 제작한다. 그리고 차동링기어와 고정링기어를 3등분한 지점에서 나머지 2개의 유성기어가 만나므로 2개의 링기어는 1/3치 만큼 엇갈리게 치가 겹치게 되므로 이 지점의 유성기어(B, C)는 그림과 같이 상하치를 1/3치의 차를 두고 치를 가공하여 제작한 유성기어를 사용하면 1치 차동 메카니즘이 가능하다. 이렇게 함으로써 1치 차동방식에서 세 개의 유성기어를 사용하여 각각의 유성기어가 동일하게 토크를 분담하여 무리가 없도록 구성할 수가 있다.

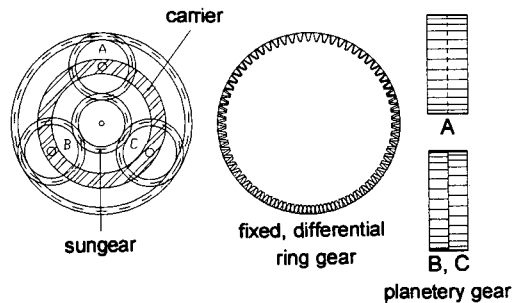


Fig. 7 The schematic diagram of improved 1-tooth differential ring gear mechanism.

### 3. 차동링기어 방식 감속기의 적용 예

그림 8은 차동링기어 방식의 유성기어식 감속기의 적용 예로써 1단만으로 비닐온실의 권취개폐에 적합한 감속비를 얻을 수 있도록 선기어의 치수를 8T로 하고 고정링기어의 치수를 74T, 차동링기어의

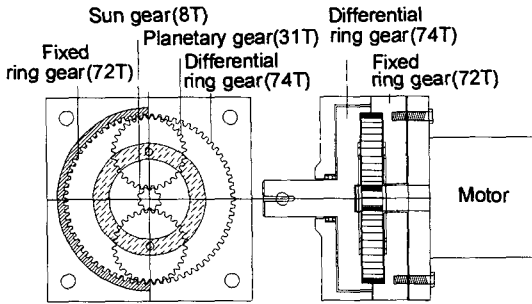


Fig. 8 The schematic diagram of 2nd mechanism applied differential planetary gear reduction system.

치수를 72T로 구성된 2차 차동링기어식 감속기의 구조를 나타낸 것이다.

여기서 감속비는 선기어에 대한 고정링기어의 감속비  $(74 + 8)/8 = 10.25$ , 즉 10.25 : 1)와 차동링기어의 감속비  $(74/2 = 37$ , 즉 37 : 1)의 곱으로서 전 감속비는 379.25 : 1이 된다.

그림 9는 2차 차동링기어 방식을 적용하여 온실 창 개폐용 감속기로 실용화{(주) 씨엔엘 엔지니어링}한 유성기어 감속기의 제품 사진이다.

실용화한 제품은 AC 220V 140W의 모터를 사용하였고, 그림 9에서와 같이 개폐기축에 타이밍 벨트로 연결된 스크류를 이용한 접점식 리미트스위치 장치

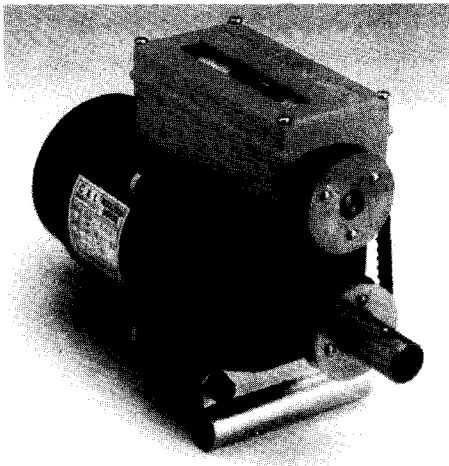


Fig. 9 A roll-up ventilator developed for practical use.

를 부착하여 비닐의 권취개폐시 상하한의 자동정지를 쉽게 설정할 수 있도록 하였으며, 슬라이딩하는 가이드 파이프가 필요없이 온실예의 설치가 쉽도록 하였다.

## 4. 성능 시험

### 4.1. 성능 시험장치

개발한 고비율 감속기의 성능을 시험하기 위하여 그림 10과 같은 부하 토크 측정용 시험장치를 제작하였다. 본 시험장치는 감속기를 거쳐나오는 3~5rpm의 저속회전인 경우의 토크측정용으로 개발한 것으로 토크변환기에 비하여 다소 오차가 인정되나 측정의 편리를 위하여 개발 사용하였다.

시험장치는 시험용 개폐기의 설치와 조립이 용이하도록 연결부는 스플라인 축으로 구성하였고, 부하중은 중량을 편리하게 가감할 수 있도록 버켓식으로 만들었으며 상하한 리미트스위치를 사용하여 자동 정지되고 방향을 바꾸어 다시 동작하도록 하여 연속동작이 가능하도록 하였다. 이 때 연속 상하 동작 회수를 자동으로 카운터하고, 실제 운전상황에 근접하기 위해 1회 동작 후 설정한 시간을 대기한 후 다시 동작하도록 하였다.

성능시험은 상용 및 최대 토크 시험을 실시하였으며 부하중량을 증가시켜 작동이 가능한 부하중량과

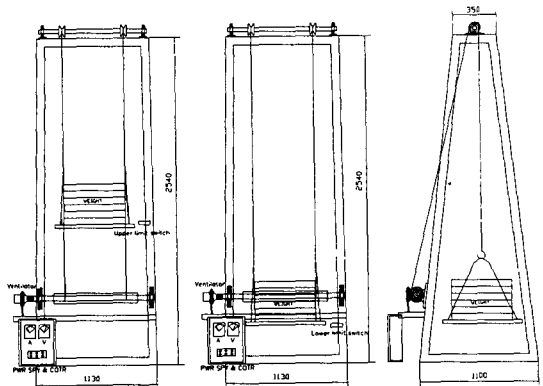


Fig. 10 The schematic diagram of performance test apparatus for ventilator.

와이어드럼의 반경을 곱한 값을 최대토크값으로 하였다. 상용토크는 최대토크의 60% 범위에서 연속반복시험을 한 값으로 하였다.

제품간 동작오차는 실제 온실에서 동일 스위치에 연결된 5개의 개폐기가 1m를 개폐할 때 개폐거리 오차를 나타내는 것으로 실제 온실에 개폐기를 설치하여 측정한 것이다.

#### 4.2. 성능시험 결과

개발한 차동링기어 방식의 유성기어식 감속기는 1단만으로 379.25 : 1이며, 최대출력 토크는 630kg~cm, 상용토크는 500kg~cm로써, 차동링기어 유성기어식 감속기가 고감속비와 큰 토크가 요구되는 권취식 창개폐기용 감속기에 가장 적합하다고 판단된다. 연속개폐 동작을 2,100회 이상 시행한 결과에서 감속기에 이상이 나타나지 않아 연속 개폐동작시험을 중단하였다. 이것은 기존의 감속기에 비해 반영구적이라 할 수 있는 성능을 보인 것이다. 제품간의 동작 오차도 1m 개폐에 20mm로서 컴퓨터를 이용하여 동일한 스위치에 연결하는 시스템을 구성하는 데도 적용성이 좋은 것으로 나타났다.

#### 5. 결 론

온실의 창개폐기, 산업용 로봇의 서보기구, 크레인, 호이스트 등의 감속장비에 활용할 수 있는 1단만으로 고비율 감속이 가능한 성능이 우수한 차동링기어식 유성기어 감속메카니즘을 개발하였고, 2차 차동링기어식 유성기어 감속기의 실용 예로서 비닐 온실용의 권취개폐기를 개발하였으며, 연구 수행 결과를 요약하면 다음과 같다.

가. 차동링기어식 유성기어 감속기는 고정링기어와 차동링기어의 기어수차이에 따라 1차 차동, 2차 차동, 3차 차동식이 있으며, 1단으로 고비율감속이 가능하고 동력전달 효율이 우수한 새로운 방식의 1차 차동식 차동링기어식 유성기어 감속기의 메카니즘을 개발하였다.

나. 차동링기어식 유성기어 감속기를 이용하는 창개폐기를 실용화 하였으며, 기존의 워밍기어식 개폐기에 비해 권취 토크는 2배, 수명은 2~3배로 우수한 것으로 나타났다.

#### 참 고 문 헌

1. 구건효. 1993. 施設園藝의 환경제어 시스템 개발을 위한 기초연구. 경북대학교 박사학위논문.
2. 김진현, 김철수, 구건효, 이기명. 1995. 마이크로 컴퓨터에 의한 시설재배의 자동화에 관한 기초연구(Ⅲ). 한국농업기계학회 20(2):162-172.
3. 이기명, 박규식, 김유일, 김태홍. 1995. 파이프 비닐온실용 권취식 창개폐기의 개발. 생물생산시설환경학회 4(2):232-239.
4. 이기명, 이석건, 장익주. 1992. 시설원예에 있어서 구조의 표준화 및 환경제어·재배관리 자동화에 관한 연구. 과학기술처 특정개발연구 최종보고서.
5. 이기명, 전재근, 류관희. 1996. 원예작물 현대화 시설 환경조절장치 및 제어기술 개발. 농촌진흥청 농업특정개발연구 최종보고서.
6. 정현교, 이기명, 박규식. 1996. 경북지역 현대화 원예시설의 관리실태 조사분석. 생물생산시설환경 5(2):174-186.
7. 김유일. 1995. 인터날기어를 이용한 감속장치. 실용신안등록 제 087732호.
8. 吉在豊樹. 1985. 施設園藝環境調節新技術. 日本施設園藝協會.
9. 古在豊樹. 1985. 園藝におけるコンピュータ利用. 農耕と園藝別冊. 野菜の新技術と新資材. 誠文堂新光社:248-254.
10. 日本施設園藝協會. 1994. 施設園藝ハンドブック:198-212.
11. 日本生物環境調節學會. 1995. 生物環境調節ハンドブック:419-430.