

유성기어 감속기의 기구형태 설계에 관한 연구

신중호, 권순만(창원대 기계설계공학과), 황정건*(창원대학교 대학원)
곽희성((주)효성), 고우식((주)효성)

A Study on A Mechanism Type Design of General Planetary Gear Reducers

J. H. Shin(Mech. Design & Manuf. Eng. Dept., CWNU), S. M. Kwon(Mech. Design & Manuf. Eng. Dept., CWNU), J. G. Hwang(Mech. Design & Manuf. Eng. Dept., CWNU), H. S. Kwak(Co. Hyosung), W. S. Ko(Co. Hyosung)

ABSTRACT

Gear trains are used in many machinery for variable speed ratios. Typical shapes of gear trains are two categories: simple gear trains and planetary gear trains. Generally the methods of the design typical shapes are two way. One of the methods is trailblazing design and the other is selective design in available types. This paper presents the mechanism types when input rotating velocity and output rotating velocity are maintained for useful planetary gear reducers of twelve types. Also, this paper gives the applicable example about rotating velocity of the gear axis, carrier velocity and the organized gear specifications

Key Words : Planetary gear reducer(유성기어 감속기), Mechanism type design(기구 형태 설계), Selective design(선택적 설계법), Kinematic analysis(기구학적 해석)

1. 서론

기계 산업의 급속한 발전으로 많은 기계 요소들이 개발 되었다. 기계요소로서 기어열은 동력전달 및 속도의 가감속을 위해 많이 사용되어 왔다. 기어열은 구성 방법에 따라 많은 형태가 있는데, 일반 기어열은 제작이 용이하고 조립이 쉬워 많이 사용하고 있지만, 공간에 비해 감속비가 떨어지는 단점이 있다. 따라서 감속비의 효율을 높이기 위해 고안된 것이 유성기어열인데 제한된 공간에서 감속비의 효율이 탁월하다는 장점과 구성에 따라 감속비를 손쉽게 변화시킬수 있는 장점이 있다. 이런 유성기어열의 설계에는 많은 방법이 있지만, 본 연구에서는 기계 산업 분야에서 응용성이 높은 12가지 형태의 가용한 유성기어 감속장치에 대해 각각 입력축과 출력축의 회전속도를 일정하게 유지할 때의 기구장치 구성도를 제시하여, 일반 산업에 대한 응용성을 향상하고자 한다. 또한, 각각의 기어축, 회전속도, 캐리어 속도 및 구성된 기어제원을 적용예로 제시 한다.

2. 유성기어 감속기의 보편적 12가지 형태와 특성

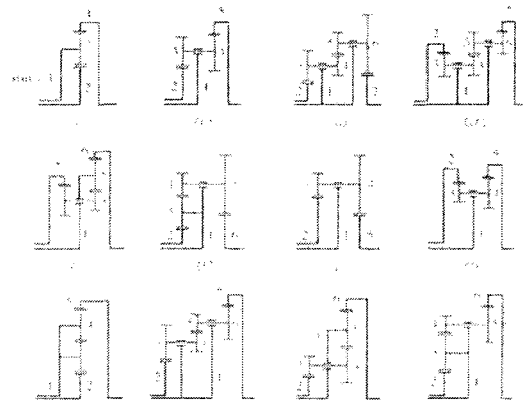


Fig. 1 Levai's 12 possible epicyclic trains
유성기어열을 이용한 감속기의 형태는 여러 가지가 있다. Fig.1은 Levai[1]에 의해 정의된 응용성이 높

은 12가지 형태의 가용한 유성기어 감속장치에 대해 정리한 것이다. Fig.1에서 2번은 구동축을, 그리고 각 형태의 마지막 숫자는 출력축의 번호를 나타낸다.

3. 유성기어 감속기의 속도 해석법

3.1 The Tabular Method[1]

유성기어열은 기어들이 암을 중심으로 회전하고 암은 그 스스로 운동을 하므로 속도차 문제를 도입하면 속도비를 구할 수 있으며, 식으로 나타내면 식(1)과 같다.

$$\omega_{gear} = \omega_{arm} + \omega_{gear/arm} \quad (1)$$

구성된 기어 간의 속도 계산은 Fig.2와 같은 Tabular Method[1]를 이용하여 쉽고 간편하게 계산할 수 있다. Gear #란에는 각 기어의 번호를 적어 넣게 되고 Gear ratio란에는 각각 접하는 기어와의 기어 이수 비를 넣게 된다. 그리고 주어진 조건과 식(1)을 이용하여 Table의 빈칸을 채우면서 기어 각각의 회전 속도를 구하게 되는 방법이다.

	1	2	3	
Gear #	$\omega_{gear} =$	$\omega_{arm} +$	$\omega_{gear/arm}$	Gear ratio

Fig. 2 Table for the solution of planetary gear trains

3.2 The Formula Method

유성기어열의 속도해석을 위해 속도차 식을 바로 기어열에 적용시킬 수 있다. 속도차항을 풀기 위해 식(1)를 재배열할 수 있다. ω_F 를 기어열의 첫번째 기어의 각속도라 하고, ω_L 을 기어열의 마지막 기어의 각속도라면, 첫번째 기어에 대하여

$$\omega_{F/arm} = \omega_F - \omega_{arm} \quad (2)$$

마지막 기어에 대하여

$$\omega_{L/arm} = \omega_L - \omega_{arm} \quad (3)$$

마지막을 첫 번째로 나눈면,

$$\frac{\omega_{L/arm}}{\omega_{F/arm}} = \frac{\omega_L - \omega_{arm}}{\omega_F - \omega_{arm}} = R \quad (4)$$

정지된 암의 기어열에서 속도비를 정의하는 기본적인 기어열 값을 R로 표현한다. 그리고 기어열의 첫 번째부터 마지막까지의 기어의 이수들의 곱의 비와 같다.

$$R = \pm \frac{\text{구동기어열의 이수들의 곱}}{\text{피동기어열의 이수들의 곱}} = \frac{\omega_L - \omega_{arm}}{\omega_F - \omega_{arm}} \quad (5)$$

위 식을 이용하기 위해서는 암과 기어열의 속도 중에 하나를 알고 있든지, 첫 번째 기어와 마지막 기어의 속도를 알고 있어야 한다. 또 다른 제한 조건은 첫 번째 기어와 마지막 기어를 그라운드에 지지되어 있는 것으로 선택하여야 하며, 캐드운동을 하는 유성 기어를 포함하고 연결하는 일체식의 암이 있어야 한다는 것이다.

4. 유성기어 감속기의 응용[2]

개발된 유성기어 감속기 해석용 CAD 프로그램을 이용하여 같은 감속비를 가지는 12가지 형태의 유성기어열의 설계 예를 제시한다. 기어의 모듈은 모두 5로 통일 되어 있고, 각 기어의 이수는 유성기어의 간섭조건을 만족하도록 설정되어져 있다. 기어열의 type번호는 개발된 프로그램의 순서를 따른다. 예시된 모든 감속기의 감속비를 동일하게 1/5로 고정하기 위해 입력단의 회전수 5, 출력단의 회전수는 1로 정한다.

4.1 Type1의 경우

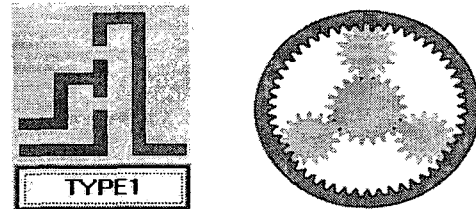


Fig. 3 Type and designed planetary gear trains

Gear #	$\omega_{gear} =$	$\omega_{carrier} +$	$\omega_{gear/carrier}$	Gear_ratio
# 2	5.00	2.17	2.83	91 : 15
# 3	-1.80	2.17	-3.97	15 : 51
# 4	1.00	2.17	-1.17	

Fig. 4 Speed ratio table of type1
Type1의 경우 각 기어들의 이의 개수가 21, 15, 51로 주어졌다. Tabular method에 의해 구해진 각부의 속도는 Fig.4와 같다.

4.2 Type2의 경우

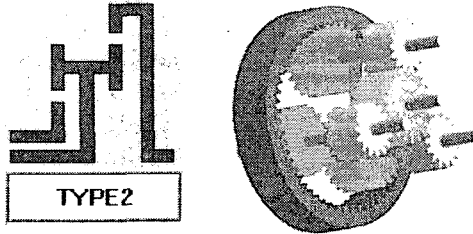


Fig. 5 Type and designed planetary gear trains

Gear #	$\omega_{gear} =$	$\omega_{carrier} +$	$\omega_{gear}/carrier$	Gear_ratio
# 2	5.69	2.291	2.67	
# 3	-1.40	2.291	-3.73	!
# 4	-1.40	2.291	-3.73	20 / 56
# 5	1.00	2.291	-1.33	

Fig. 6 Speed ratio table of type2

Type2는 출력단이 링기어로 구성되어 있는 형태로서 각각의 이수는 21, 15, 20, 56의 4종류의 기어가 사용되었다.

4.3 Type3의 경우



Fig. 7 Type and designed planetary gear trains

Gear #	$\omega_{gear} =$	$\omega_{carrier} +$	$\omega_{gear}/carrier$	Gear_ratio
# 2	5.69	16.33	-5.33	
# 3	17.80	16.33	7.47	!
# 4	17.80	16.33	7.47	-20 / 16
# 5	1.00	16.33	-9.33	

Fig. 8 Speed ratio table of type3

Type3은 캐리어에 의해 2단구조로 연결되어 있고 Sun gear로 받은 동력을 유성기어가 동일 축에 연결되어있는 다른 캐리어로 동력을 전달하고 이를 출력단이 받아들이는 형식을 취하고 있다. 4가지의 기어가 사용되었고 각각 이수가 21, 15, 20, 16개 이다.

4.4 Type4의 경우

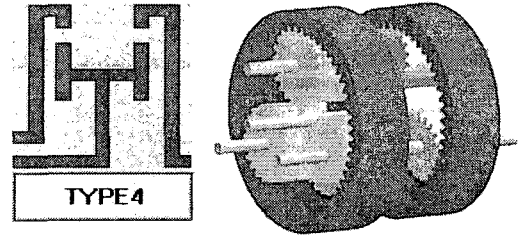


Fig. 9 Type and designed planetary gear trains

Gear #	$\omega_{gear} =$	$\omega_{carrier} +$	$\omega_{gear}/carrier$	Gear_ratio
# 2	5.00	-39.27	43.27	
# 3	73.00	-39.27	111.27	!
# 4	73.00	39.27	111.27	18 / 51
# 5	1.00	-39.27	39.27	!

Fig. 9 Speed ratio table of type4

Type4는 입, 출력단 모두가 링기어로 구성되어있다. 기어 각각의 이수는 54, 21, 18, 51의 4종류의 기어가 사용되었다.

4.5 Type5의 경우

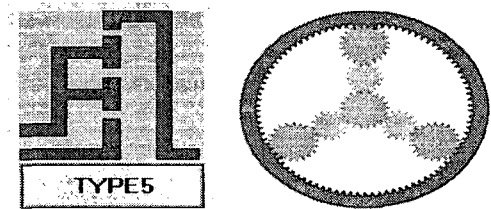


Fig. 11 Type and designed planetary gear trains

Gear #	$\omega_{gear} =$	$\omega_{carrier} +$	$\omega_{gear}/carrier$	Gear_ratio
# 2	5.00	-6.17	5.17	
# 3	-7.40	-6.17	-7.23	-15 / 21
# 4	5.00	-6.17	5.17	21 / 36
# 5	1.00	-6.17	1.17	

Fig. 12 Speed ratio table of type5

Type5는 가장 기본적인 형태의 2단구조의 유성기어열이다. 출력단은 링기어로 되어 있으며, 이수 21, 15, 21, 93개인 4종류의 기어를 쓰고 있다.

4.6 Type6의 경우

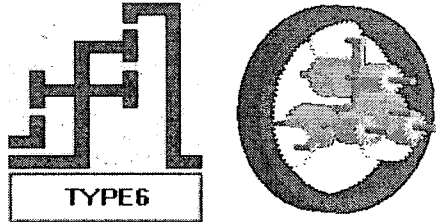


Fig. 13 Type and designed planetary gear trains

Gear #	ω_{gear}	$\omega_{carrier}$	$\omega_{gear/carrier}$	Gear_ratio
# 2	5.74	-0.74	5.74	
# 3	-0.78	0.74	-0.04	1
# 4	-0.70	-0.74	-0.04	-21 / 20
# 5	7.70	0.74	8.44	29 / 97
# 6	1.74	-0.74	1.74	

Fig. 14 Speed ratio table of type6

Type6은 3단 구조의 유성기어열로 링기어 형태의 출력단을 가지고 있다. 5가지의 기어가 사용되고 있고 이수는 각각 21, 15, 21, 20, 97개 이다.

4.7 Type7의 경우

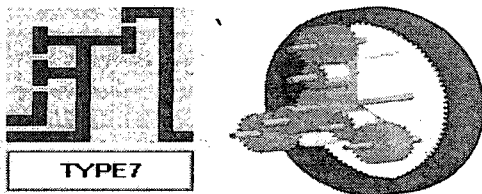


Fig. 15 Type and designed planetary gear trains

Gear #	ω_{gear}	$\omega_{carrier}$	$\omega_{gear/carrier}$	Gear_ratio
# 2	5.11	-0.11	5.11	
# 3	7.27	0.11	-7.16	-15 / 21
# 4	5.00	0.11	5.11	1
# 5	5.00	-0.11	5.11	20 / 92
# 6	1.11	-0.11	1.11	

Fig. 16 Speed ratio table of type6

Type7은 형태 상으로 Type6과 비슷하다. Type6의 경우 링기어 안쪽으로 유성기어가 2단으로 구성되어 있지만 이 형식은 입력단에 2단으로 유성기어열이 구성되어있고 링기어 안쪽은 1단으로 되어있다. 사용된 기어수도 Type6과 같으며 이수는 링기어가 92개이고 다른 4가지의 기어는 Type6과 동일하다.

4.8 Type 8의 경우

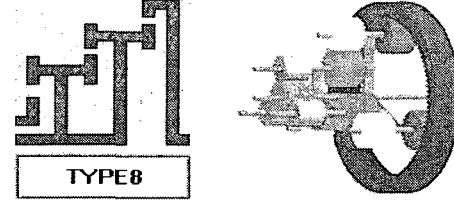


Fig. 17 Type and designed planetary gear trains

Gear #	ω_{gear}	$\omega_{carrier}$	$\omega_{gear/carrier}$	Gear_ratio
# 2	-	-1.04	8.04	
# 3	-9.50	1.04	-8.46	1
# 4	-9.50	-1.04	-8.46	21 / 20
# 5	7.04	1.04	8.08	1
# 6	7.04	-1.04	8.08	29 / 100
# 7	-	1.04	2.04	

Fig. 18 Speed ratio table of type8

Type8은 4단의 구조를 가지고 있는 유성 기어열이다. 6가지의 기어로 구성되어 있고 기어이수는 21, 15, 21, 20, 23, 100개 이다.

4.9 Type 9의 경우

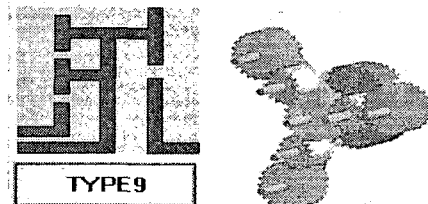


Fig. 19 Type and designed planetary gear trains

Gear #	ω_{gear}	$\omega_{carrier}$	$\omega_{gear/carrier}$	Gear_ratio
# 2	2.11	2.09	2.11	
# 3	-0.07	2.09	-2.96	15 / 21
# 4	5.00	2.09	2.11	1
# 5	5.00	2.09	2.11	24 / 98
# 6	-	2.09	-1.89	

Fig. 20 Speed ratio table of type9

Type9는 Type7에 링기어 대신 외접기어를 사용한 형태이다. 사용위치에 따라 Type7과 Type9중에서 선택적으로 사용할 수 있을 것이다. 이수는 21, 15, 21, 34, 38개이다.

4.10 Type 10의 경우

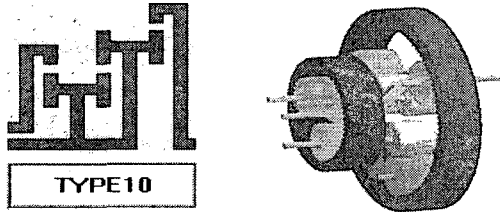


Fig. 21 Type and designed planetary gear trains

Gear #	ω_{gear}	$\omega_{carrier}$	$\omega_{gear/carrier}$	Gear ratio
# 2	1	2.53	2.67	
# 3	9.19	2.53	6.66	1
# 4	9.19	2.53	6.66	-19 / 23
# 5	-3.34	2.53	-5.67	23 / 98
# 6	1.11	2.53	-1.33	

Fig. 22 Speed ratio table of type10

Type10은 입, 출력단 모두가 링기어로 되어있고, 출력단의 유성기어열의 구성이 2단 구조로 되어 있는 형태이다. 5가지의 기어를 사용하였고 각각의 경우 이수는 54, 21, 19, 23, 98이다.

4.11 Type 11과 Type 12의 경우

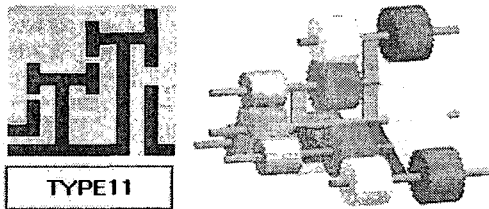


Fig. 23 Type and designed planetary gear trains

Gear #	ω_{gear}	$\omega_{carrier}$	$\omega_{gear/carrier}$	Gear ratio
# 2	1	2.54	2.46	
# 3	-0.90	2.54	-3.44	1
# 4	-0.90	2.54	-3.44	-21 / 23
# 5	6.16	2.54	3.62	1
# 6	6.16	2.54	3.62	-20 / 54
# 7	1	2.54	-1.54	

Fig. 24 Speed ratio table of type11

Type11과 Type 12는 같은 구조이다. 다만 Type 11에서 Sun gear로 나타낸 것이 Type12에서는 링기어로 표현되고 있다. 사용된 기어의 종류는 Type11

과 Type12가 각각 6가지의 기어를 쓰고있으며 각각의 이수는 Type11의 경우 21, 15, 21, 20, 23, 54이고 Type 12의 경우는 54, 21, 19, 23, 34, 109 이다.

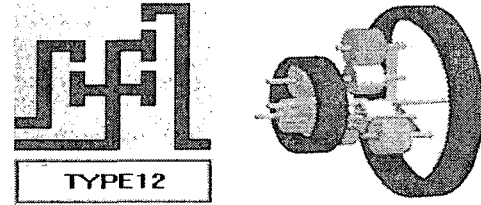


Fig. 25 Type and designed planetary gear trains

Gear #	ω_{gear}	$\omega_{carrier}$	$\omega_{gear/carrier}$	Gear ratio
# 2	1	2.59	2.41	
# 3	8.78	2.59	6.19	1
# 4	8.78	2.59	6.19	-19 / 23
# 5	-2.52	2.59	-5.11	1
# 6	-2.52	2.59	-5.11	34 / 109
# 7	1	2.59	-1.59	

Fig. 26 Speed ratio table of type12

5. 결론

본 논문에서는 유성기어열의 설계에 있어서 선택 적설계법의 적용 예를 보여 주기위해 Levai[1]가 제시한 12가지의 기본 형태를 이용했고, 같은 감속비를 가지는 여러 가지 형태의 기어열을 유성기어 설계 CAD 프로그램을 이용해 나타냈다. 일정 감속비의 여러 가지 형태의 기어열을 나타냄으로서 기어열이 사용되어지는 환경이나 방법, 출력이나 입력단의 기어형태의 선택에 있어서 좀 더 적합한 형태를 선택할 수 있다.

후기

이 논문은 한국 산업기술재단의 지역혁신 인력양성사업과 동남권 부품소재 산학협력 혁신 사업단의 산학협력 중심대학 육성사업의 지원 사업을 받아 이루어 졌으며, 이에 관계자 여러분께 감사드립니다.

참고문헌

1. Robert L. Norton, "Design of Machinery 2/E," McGrawHill.,pp.452-468,1999
2. 박세환, 신중호, 윤호업, 김대원, "유성기어열의 기구학적 특성분석에 관한 연구," 한국정밀공학회 추계 학술대회 논문집, pp.643-646, 2001.