

Harmonic Drive 감속기 개발동향



최 동 엽
(KIMM 자동화연구부)

'77-'81 서울대학교 공과대학 기계공학과(학사)
'90-'93 한국과학기술원 정밀공학과(석사)
'82-현재 한국기계연구원 선임연구원



배 성 혁
(KIMM 자동화연구부)

'87-'91 서울대학교 공과대학 조선공학과(학사)
'91-'93 서울대학교 공과대학 조선공학과(석사)
'93-현재 한국기계연구원 연구원

1. 서 론

산업용 robot의 초기 단계에는 일반적인 기어 감속 장치를 사용하였으나, 1959년 처음 발표된 harmonic drive 감속기[1]가 robot용으로 개발되면서, 대부분의 robot에서는 harmonic drive 감속기를 채용하게 되었다. 이것은 고감속비를 얻기가 쉽고, robot용으로 사용하기 위해서 필수적인 고정도를 얻을 수 있기 때문이다. 그러나 harmonic drive의 강성, 입력축 inertia, 진동 특성 등의 문제점이 알려 지면서 cyclo drive 감속기 및 revolutionary vector drive 감속기가 개발 되기에 이르렀고, 고용량 감속기에서는 revolutionary vector drive 감속기 및 cyclo drive 감속기의 성능이 우수하여 대용량 robot 및 주3관절에는 그 사용량이 늘어나게 되었다. 이에 따라서 robot용 감속기를 생산하는 3사에서는 성능 향상을 위한 노력을 기울이게 되었고, 성능이 향상된 새로운 model이 개발되고 있다. 그러나 현재 국내에서 사용되고 있는 robot용 감속기는 거의 대부분 일본에서 수입되고 있다.

표 1. 로봇용 감속기의 시장 점유율

	시 장 점 유 율			
	대 수	비 율	금 액	비 율
Harmonic Drive	72,000	40%	3,150백만엔	35%
RV	54,000	30%	2,700백만엔	30%
Cyclo Drive	36,000	20%	2,250백만엔	25%
기 타	18,000	10%	900백만엔	10%

표 1.은 1990년대 초기의 연간 robot용 감속기의 시장 점유율을 보이고 있는데, harmonic drive 감속기가 대수 비율에 비하여 금액 비율이 낮은 것은 revolutionary vector drive나 cyclo drive 감속기에 비하여 소용량의 제품이 많이 사용되기 때문이다.

이러한 감속기들은 각각의 구조에 따라서 robot용 감속기로서의 성능상에 다른 특성을 갖게 되는데, 각 사의 제품 catalogue 및 각 사에서 당사 제품의 성능과 관련하여 학술지 혹은 학술회의에서 발표한 자료를 근거로 하여 각 감속기의 성능을 요약, 비교하면 다음과 같다.

- 강성에서는 harmonic drive 감속기가 성능이 떨어지는 것을 볼 수 있는데, 이것은 harmonic drive 감속기가 flexible한 요소를 내장하고 있기 때문이다.
- 효율은 입력 회전수에 따라 약간의 변화는 있으나 거의 비슷한(73-87%) 양상을 보인다.
- 전달 특성은 3종의 감속기가 비슷한 양상을 보인다.
- 진동 특성면에서 cyclo drive 감속기와 revolutionary vector drive 감속기가 우수하다.
- Cyclo drive 감속기와 revolutionary vector drive 감속기는 거의 유사한 성능을 나타내고 있으나 강성과 전달 특성면에서 cyclo drive 감속기가 약간 우수한 특성을 갖고 있다.

- harmonic drive 감속기는 질량이나, 다양성 면에서 다른 감속기에 비하여 월등하다.

즉 harmonic drive 감속기는 다른 종류의 정밀 감속기에 비하여 강성이나 진동면에서 성능상 약간 떨어지는 경향이 있다. 따라서 기존의 harmonic drive 감속기의 생산업체나 새로 개발하고자 하는 경우에는 이와 같은 단점을 보완하고자 하는 노력을 기울이게 되었다.

본고에서는 harmonic drive와 관련된 해외의 주요 개선 및 개발내용과 한국기계연구원에서 수행한 개발내용을 소개하고자 한다.

2. Harmonic Drive 감속기의 특성

Harmonic drive가 최초의 고감속비를 갖는 robot용 정밀감속기임에도 불구하고 새로 개발된 감속기에 시장을 잠식당한 이유는 앞에서 언급한 바와 같이 몇가지 성능항목 중에서 뒤떨어지는 면이 있기 때문이다. 이와 같은 특성은 harmonic drive 고유의 구조에서 발생하는 것으로서 그 내용을 살펴 보면 다음과 같다.

우선 harmonic drive의 구조를 살펴 보면 그림 1에서 보는 바와 같이 circular spline(ring gear), flexspline(flexible gear), wave generator 등으로 구성된다. Circular spline은 flexspline에 비하여, 감속비가 n 일 때, 잇수가 $1/n$ 만큼 많다. 따라서

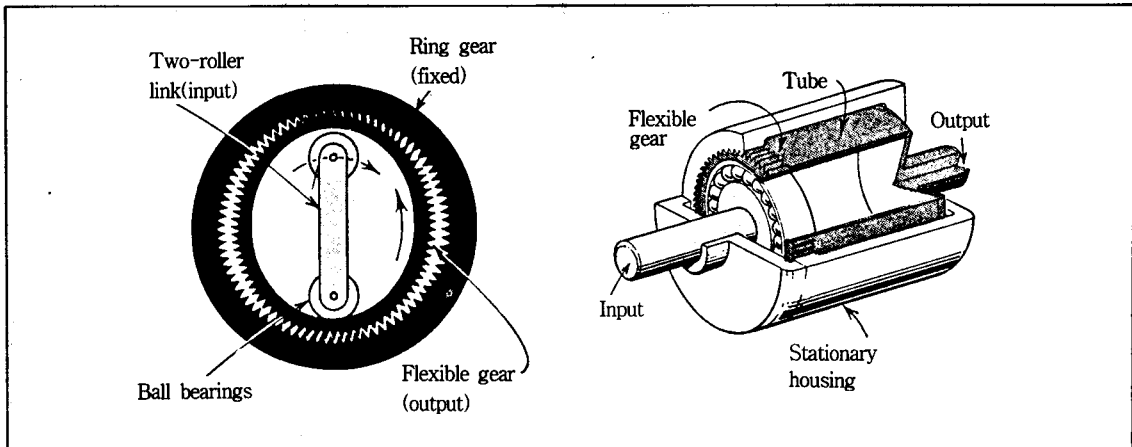


그림 1. Harmonic drive의 구조

정상적인 상태에서는 flexspline과 circular spline는 동축상에 설치되기 때문에 이가 맞물리지 않으나, wave generator와 함께 조립된 상태에서는 wave generator의 형태에 따라서 두 지역 혹은 세 개의 지역에서 맞물리게 된다. 그리고 감속기의 입력에 연결된 wave generator가 회전하게 되면 두 spline의 이는 맞물리게 되며, wave Generator가 1회전하게 되면 고정된 circular spline에 대한 flexspline의 위치는 $1/n$ 만큼 덜 돌아 간 결과로 나타난다. 이것이 감속이 되는 원리이며 circular spline 혹은 flexspline을 출력으로 사용하게 된다.

이와 같이 잇수가 적은 flexspline이 circular spline과 동축상에서 이가 맞물려서 회전하기 위해서는 필연적으로 flexspline이 변형을 해야 하는데, 이를 위해서는 이를 자체에서도 나타나듯이 flexible한 요소를 내장하게 되고, 따라서 강성은 떨어지게 된다. 한편으로는 flexspline의 변형이 무리없이 진행되기 위해서는 flexspline gear의 치저 부분이 얇아져야 하고, 치저 부분의 응력 집중 현상이 커지게 된다. 실질적으로 flexspline의 타원 변형에 대해서는 감속기의 설계시 주의를 요하는데, 이것은 harmonic drive의 피로 수명을 결정하는 응력이 주로 타원 변형에 의한 응력에 기인하기 때문이다.

일반적인 gear의 설계에 필요한 module, 전위계수, clearance 계수 등을 제외하고 flexspline의 응력에 큰 영향을 미치는 인자로서 편위계수를 생각할 수 있으며, 변형전의 flexspline의 지름을 d_{f0} 라 하고 탄성변형량을 d 라 하면 하모닉 드라이브의 운동성을 대표하는 편위계수 λ 를 다음과 같이 정의할 수 있다[2].

$$\lambda = \frac{1}{i} \left(1 + \frac{d}{d_{f0}} \right)$$

여기서 i 는 Z_c / Z_f 즉 잇수비이며 Z_c 는 circular spline의 잇수이고 Z_f 는 flexspline의 잇수이다.

Circular spline의 지름 d_c 는 다음의 식과 같고 circular spline의 피치 P_c 와 flexspline의 피치 P_f 는 각각 다음과 같이 유도해 낼 수 있다.

$$d_c = d_{f0} + d = \lambda i d_{f0}$$

$$P_c = \frac{\pi \lambda i d_{f0}}{Z_c} = \lambda \frac{\pi d_{f0}}{Z_f}$$

$$P_f = \frac{\pi d_{f0}}{Z_f}$$

위의 식을 보면 편위계수가 1이 아니면 내치차와 외치차의 피치가 달라진다. 편위계수가 1보다 작으면 음성편위(negative deviated) 치차라 하는데 탄성변형의 양이 편위계수가 1일때보다 작아진다. 이것은 굽힘응력이 작아져서 wave generator와 flexspline의 강도면에서는 좋으나 운동깊이가 작다. 반면 편위계수가 1보다 크면 양성편위(positive deviated) 치차라 하는데 운동깊이가 가장 좋으나, 변형량이 크므로 응력이 커져 강도면에서는 불리하다. 따라서 편위계수의 선정에 따라서 감속기의 운동상태, 응력 등이 달라지게 되며, 응력은 특히 피로수명에 직접적인 영향을 미치게 되므로 설계에 중요한 역할을 하게 된다.

이와 같이 동력 전달을 위한 응력보다는 단지 감속구동을 하기 위한 flexspline의 탄성 변형에 기인하는 응력이 크기 때문에 가능한 한 탄성 변형에 기인하는 응력을 줄일 수 있도록 flexspline을 설계하여야 하지만, 동시에 감속기의 강성에 대한 고려도 이루어져야 한다. 즉 harmonic drive의 강성이 다른 정밀 감속기에 비하여 강성이 떨어지는 것은 harmonic drive의 구조에서 발생하게 되는 것으로서, 다른 감속기에 경쟁력을 갖는 감속기를 개발하기 위해서는 응력 분산 및 강성을 높이기 위한 대책이 마련되어야 한다.

최근의 harmonic drive의 개발 혹은 개선 사례를 보면 이러한 점을 중시하여 이루어지고 있으며 본고에서는 이와 관련된 해외의 개발 동향 및 한국기계연구원의 harmonic drive 개발 현황을 소개하기로 한다.

3. 해외의 harmonic drive 정밀 감속기 개발 동향

Harmonic drive 감속기는 가장 먼저 일반화된 robot용 감속기이지만 이후 개발된 cyclo drive 감속기나 revolutionary vector drive 감속기와 경쟁을 하게되면서 시장의 많은 부분을 잠식당하게 되었다. 이에 따라서 일본의 Harmonic Drive System에서는 제품의 성능 향상을 위하여 많은 노력을 기울이게 되었고, 그 결과로 지속적인 신제품을 발표하게 되었다.

한편, 아시아권(중국, 한국) 및 유럽 지역(이태리, 독일)에서도 harmonic drive에 대한 개발이 시작되었으나, 그 성능면에서 입증되거나, 사용 실적이 없어서 아직은 관심을 끌지는 못하고 있는 실정이다.

본장에서는 최근의 harmonic drive 감속기 개발 내용중에서 대표적인 것으로 판단되는 일본의 Harmonic Drive System사의 제품 개선 내용과 harmonic drive 감속기의 유형에 속하기는 하지만 독창적인 특징을 갖고 있는 독일의 연구내용에 대하여 소개하기로 한다.

일본의 Harmonic Drive System사에서는 1981년 harmonic drive를 상품화한 이후 2번의 성능개선을 이룩하였다. 첫 번째는 harmonic drive의 새

로운 치형을 개발하여 강성 및 수명을 개선하였는데[3], 그림 2는 개발된 IH 치형의 설계 개념을 보여주는 것으로서, 경로 1은 flexspline의 tip point B가 움직이는 경로이고, A는 circular spline의 tip point로서 A점과 마찬가지로 경로 1을 따라서 움직이게 된다. 호 AM은 circular spline의 tooth profile 이며, 호 BN은 flexspline의 tooth profile이다. 두 개의 profile은 같은 방법으로 생성되며, 같은 형상을 갖게된다. 이러한 치형은 운동 중 연속적인 접촉을 하게 된다. 새로운 치형의 채택에 의하여 구체적으로 나타난 결과는 강성이 전달 torque에 따라서 50~100% 증가, ratchetting torque가 약 70% 증가한 것이다.

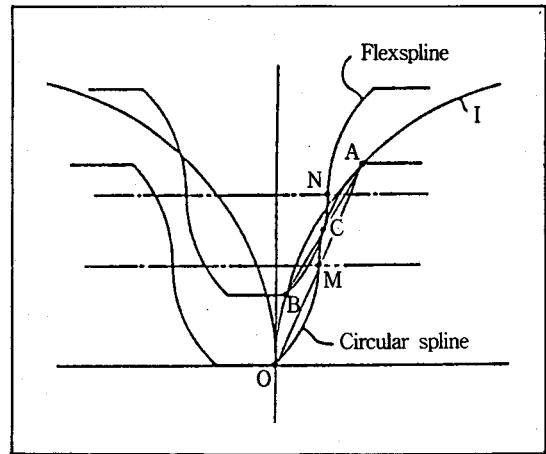


그림 2. IH치형의 tooth profile

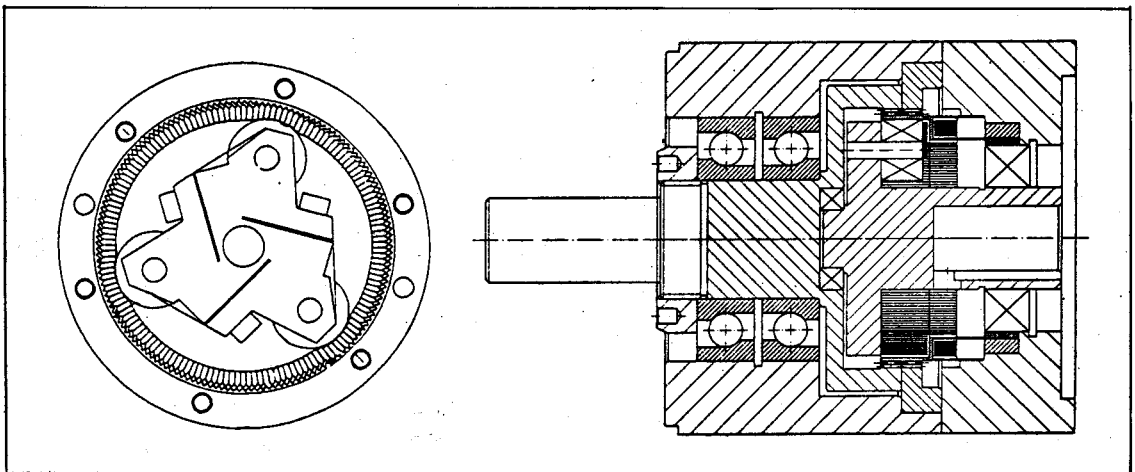


그림 3. Segment치차를 이용한 감속기의 구조

두 번째 개선에서는 flexspline tube의 길이를 줄이고, diaphragm의 단면 형상을 개선하였으며, flexspline의 이를 relieving 하여, 설치공간을 축소시키고, 치저 부분의 응력을 감소시켜 전달 torque를 상승시켰다[4].

독일의 NEUGART에서는 harmonic drive의 원리를 이용한 새로운 감속기를 개발하여 특허 출원중에 있다[5]. 그림 3은 그 구조를 보이고 있는데, harmonic drive와 같이 circular spline, flexspline 그리고 wave generator로 구성되어 있다. 단, 기존의 harmonic drive의 flexspline이 탄성 변형에 의하여 이의 물림이 이루어 지는 것과는 달리 flexspline의 이가 segment화 되어 있어서 wave generator에 설치되어 있는 bearing이 flexspline의 조각치(segment tooth)를 circular spline 방향으로 눌러줄 때만 이물림이 이루어 진다. 따라서 기존의 harmonic drive를 설계할 때 주요 관건이 되는 flexspline의 타원형 탄성변형에 의한 응력에 대한 대책을 필요로 하지 않게 된다. 한편으로는 조각치가 spring에 연결되어 있어서 이의 마모에 의한 backlash의 발생도 방지된다고 한다.

이 개발품은 1997년경 상품화될것으로 기대된다.

4. 한국기계연구원의 harmonic drive 감속기 개발

한국기계연구원에서는 대일수입에 의존하고 있는 정밀 감속기의 국산화를 목적으로 대일 공업(주), KAIST, 중앙대와 공동으로 정밀 감속기를 개발하였다[6]. 개발된 감속기는 3종류로서, 마찰 감속기, harmonic drive 감속기, 정밀 유성 감속기 등이다. 마찰 감속기는 backlash를 조정할 수 있는 형태의 감속기로서 초정밀 구동을 요하는 계측기 등에 사용되며, harmonic drive 감속기나 정밀 유성 감속기는 대표적인 용도가 산업용 robot이다.

이와 같은 3가지 감속기중에서 개발의 주 대상

이 된 것은 harmonic drive 감속기로서, 기본적인 구조는 기존의 harmonic drive에서 벗어나지 않으나, 새로운 치형의 개발, 복합재료의 채용 등을 통하여 성능 개선 및 기술 독립을 꾀하였다.

Harmonic drive 감속기의 치형을 개발함에 있어서 가장 중요한 것은 tooth profile 설계, 응력해석, 강성 해석 등이다. Tooth profile를 결정하기 위하여 simulation program을 작성하여 사용하였으며, 응력해석을 위해서는 상용의 FEM package를 사용하였다. Harmonic drive의 설계를 효율적으로 수행하기 위하여 감속기의 성능을 결정하는 module, clearance, 전위계수, 편위계수 등을 설계 변수로 선정하여 최적의 설계가 되도록 노력하였다.

4.1 Involute 치형을 이용한 harmonic drive

본 연구에서 개발하고자 한 하모닉 드라이브는 벽 두께가 얇은 컵형태를 가진 flexspline의 개구부쪽에 치형이 있고 축대칭을 이룬다. 원형 스프라인은 인볼루트 치형에서는 기본적으로 일반적인 내치차 설계원리로 설계할 수 있다. 감속기 조립시에는 flexspline의 개구부 쪽으로 타원형상의 wave generator가 삽입되어 flexspline의 장축부의 치형이 원형스플라인의 치형과 맞물리게 되며, 일반적으로 전체 치수의 10~30%가 맞물리게 된다. 따라서 wave generator가 삽입된 상태에서는 응력분포가 축대칭을 벗어나게 되며 특히, wave generator에 의한 flexspline의 장축과 단축부위의 변형은 flexspline 치저부분의 응력집중 현상을 야기한다. 이러한 거동은 1축 거동인 인장 압축의 개념보다는 굽힘변형 거동과 비슷하다. 즉 치저부분과 flexspline의 내벽과의 두께에 따라 응력이 엄청난 변화를 갖게 되고, 치저부분의 형상에 따라서도 응력분포가 상당히 달라진다. 더욱이 flexspline의 타원형상 변형에 의하여 발생하는 굽힘응력이 구동 torque에 의한 인장응력보다 크다. 즉 정격의 5배 부하에서도, 동적하중상태에서

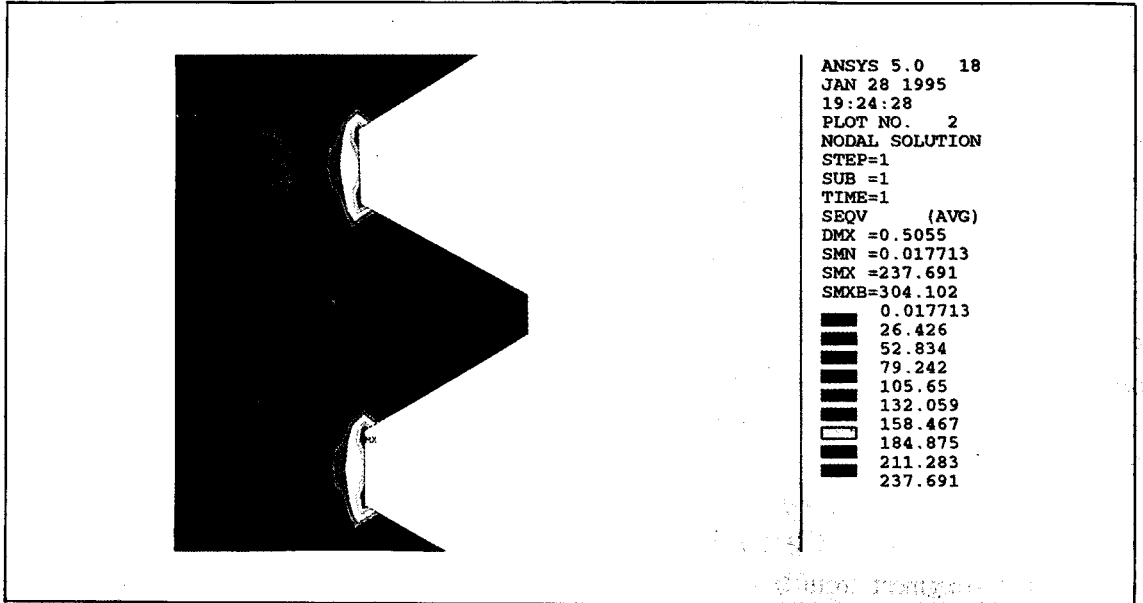


그림 4. Flexspline의 응력해석

의 응력이 무부하 상태에 비하여 응력 증가가 약 30% 정도 밖에 되지 않는다[7]. 이것은 가능한 한 타원 형상 변형에 의한 응력을 낮추도록 설계가 되어야 한다는 것을 의미한다. 이러한 점에 주안점을 두고 응력해석을 바탕으로 한 치형 설계를 수행하였으며, 2차원 model을 사용한 기초응력해석에서, 이의 형상에 영향을 주는 전위계수, Clearance, 모듈, 편위계수 등이 응력에 주는 영향을 고찰하였다.

응력 해석 결과를 요약하면 대체로 모듈이 작을 수록, clearance가 작을 수록 편위계수가 작을 수록 최대 등가응력이 작아진다. 본 연구의 경우에는 편위계수를 1로하여 flexspline과 원형스프라인이 모듈이 같고 압력각이 일치하는 기본치형의 설계를 하였으며, 이유는 flexspline을 출력으로 직접 사용하는 경우에는 편위계수를 1로 하여도 물림상태가 원활하기 때문이다. 이러한 치형의 설계는 기본적으로는 표준치차와 설계과정이 같다. 하지만 flexspline이 구동될 때에는 탄성 변형 상태에서 circular spline과 장축에서 맞물림이 일어나므로 표준치차의 형상에서 벗어나기 때문에 모듈과 전위계수등 치형의 형상과 강도에 직접적인

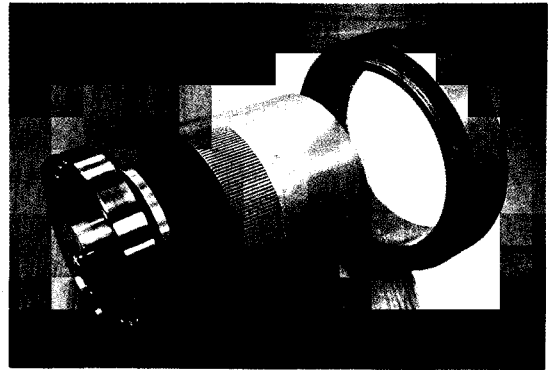


그림 5. 제작된 harmonic drive 감속기의 시제품

영향을 미치는 변수들은 직접 강도해석에 의해 결정하였다. 특히 flexspline은 wave generator에 의해 탄성변형이 일어나므로 이에대한 응력해석이 불가피하고 그때의 응력이 피로한도 내에 있어야 한다.

그림 4는 flexspline의 응력해석 결과의 한 예를 보여주는 것으로 목표로 하는 응력 level을 만족하며, 이 model은 3차원 응력해석을 통해서도 검증되었다. 그림 5는 응력해석 내용을 바탕으로 설계, 제작된 harmonic drive 감속기이다.

본 연구에서 중점을 둔 다른 한 분야는 harmonic drive의 성능을 개선시키기 위한 것으로서 최근 많은 분야에서 각광받고 있는 신소재(advanced material), 즉 섬유강화 고분자 기지 복합재료의 채용이다. 이것은 섬유강화 고분자 기지 복합재료(fiber reinforced polymer matrix composite materials)가 기존의 금속재료에 비하여 고 비강성(specific stiffness ; E/ρ) 및 고 비강도(specific strength ; S/ρ)를 나타내기 때문에 항공기, 자동차, 로봇 등 경량화가 요구되는 구조물의 설계에 유익하기 때문이다.

앞에서 언급한 바와 같이 harmonic drive가 구동할 때 flexspline에 작용하는 비틀림 하중에 의한 응력값에 비하여 flexspline의 타원형태의 변형으로 인한 인장 및 굽힘변형에 의한 응력값이 더 크게 나타난다. 이와같이 wave generator의 삽입에 의한 초기상태의 과도한 응력발생은 한쪽이 고정된 컵형상의 flexspline에 심각한 굽힘응력이 작용하기 때문이다. 이러한 현상을 줄이기 위해서는 반경방향으로 더욱 유연한 flexspline을 설계해야 하며, 이를 위해서는 flexspline의 벽 두께를 더 얇게 설계해야만 한다. 그러나, 이렇게 되면 flexspline의 원주방향의 강성이 감소하는 결과를 가져오게 될 것이다. 따라서, 강철과 같은 등방성 재료를 사용할 경우에는 더 이상의 한계성을 극복할 수가 없게 된다. 그러나, 원주방향의 강성은 크게 유지하면서도 반경방향으로의 유연성을 증가시킬 수 있는 이방성 복합재료를 사용한다면 이러한 문제를 극복할 수 있게 된다. 즉, 복합재료의 Taylor-making의 장점을 이용하여 flexspline의 튜브에 대한 축방향과 원주방향의 탄성계수는 작게 하고 전단계수는 크게 할 수 있도록 복합재료 튜브를 제조하여 flexspline에 적용하면 매우 유리하게 된다. 본 연구에서는 이러한 점에 착안하여 복합재료의 적층방법을 $[\pm 45]_{2T}$ 으로 하여 튜브를 제조하므로써 튜브의 축방향과 원주방향의 탄성계수를 모두 동일하게 하고, 두 축에 대한 전단계수는 크게 하였다.

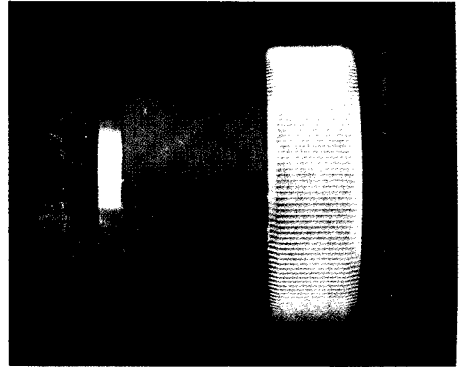


그림 6. 복합재료를 사용한 flexspline

개발한 복합재료 flexspline에서는 단일형상 컵형 flexspline의 보스, 튜브 및 치형부를 각각 세 개의 부분으로 나누어서 설계 제조하고 고강도 접착제를 사용하여 접합하였다. 또한, 복합재료 flexspline의 복합재료 튜브의 제조공정과 강철 보스부 및 치형부의 접착공정을 동시에 수행하는 동시경화접착법을 사용하여 복합재료 flexspline을 제조하였다. 그림 6은 복합재료를 이용하여 제작된 flexspline이다

제작된 복합재료 컵형 flexspline의 성능을 평가하기 위하여 감속기 성능과 관련된 각종 시험을 수행하였으며, 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

- 접착제를 사용한 복합재료 flexspline의 경우는 강철재 flexspline에 비해 원주방향의 강성은 약 35%, 동시경화접착법으로 제조한 복합재료 flexspline의 원주방향의 강성은 강철 flexspline에 비해 약 50% 향상되었다.
- 반경방향의 compliance는 두 종류의 복합재료 flexspline 모두 약 2% 증가하였다.
- 반경방향의 진동모드 및 비틀림모드에서 접착제를 사용한 복합재료 flexspline의 경우는 기본 고유진동수가 각각 6% 및 7.5% 향상되었고, 동시경화접착법으로 제조한 복합재료 flexspline의 경우는 각각 5.8% 및 5.4% 향상되었다.
- 기본 고유진동수에서 반경방향의 진동모드 및 비틀림모드의 감쇠비는 접착제를 사용한 복합재료 flexspline의 경우는 각각 105% 및 190%

향상되었고, 동시경화접착법으로 제조한 복합재료 flexspline의 경우는 각각 86% 및 140% 향상되었다.

- 복합재료 flexspline과 강철 프렉스플라인에 대한 소음측정결과 복합재료를 flexspline에 사용하면 소음 감소효과를 얻을 있다.

4.2 Cycloid 치형을 이용한 Harmonic Drive

Cycloid harmonic drive는 기존의 harmonic drive가 involute 치형을 사용하는데 반하여 cycloid 치형을 이용한다. 이것은 involute 곡선을 이용할 경우 치형의 치저부면에서 곡률이 작아져서 flexspline이 타원으로 변형시 응력이 매우 커지게 되는 단점이 있기 때문이며, cycloid형태는 치저부면에서 곡률이 크고 따라서 응력 집중 현상이 작게 된다. 본 과제에서 개발한 cycloid 치형을 이용한 harmonic drive 감속기는 circular spline의 기능을 갖는 연삭편과 그 편을 따라서 구동하는 flexspline로 구성된다. 즉 일반적인 harmonic drive와 같이 감속기의 입력인 wave generator의 회전에 의하여 flexspline을 변형시키면 flexspline은 고정되어 있는 연삭편을 따라서 감속된 운동을 하게 된다.

Cycloid 치형의 경우 고감속비를 실현하기 위해서는 입력축에 유성기어를 이용하여 2단 감속을 하여야 하며, 감속비의 조절을 용이하게 할수 있는 부가적 장점도 있다. 2단감속을 사용하는 구조는 두 가지로 구분할 수 있는데, 첫번째는 유성치차의 링치차를 flexspline에 고정하고 유성치차의 캐리어 출력을 wave generator 입력으로 사용하는 경우이고, 두번째는 유성 캐리어의 출력을 flexspline에 고정하고 유성 링 치차의 출력을 wave generator 입력으로 사용한 경우이다. 첫번째 경우에 대한 감속비는

$$\frac{\theta_r}{\theta_s} = \frac{i}{1 + (1-i)\frac{R_r}{R_s}}$$

i : 표준형 harmonic drive의 감속비

θ_s : 태양치차 각속도

θ_r : 링치차 각속도

R_s : 태양치차반경

R_r : 링치차 반경

가 되고, 두 번째 경우의 감속비는

$$\frac{\theta_r}{\theta_s} = \frac{1}{1 + \frac{R_r}{R_s}(1 - \frac{1}{i})}$$

가 된다

Cycloid 치형을 이용하여 2가지의 감속기를 설계하였다. 하나는 1단 감속, 즉 harmonic drive 기구만을 감속기이며, 다른 하나는 2단 감속, 즉 유성 기어와 harmonic drive 기구를 동시에 사용한 것이다. 그림 7은 2단 감속을 사용한 감속기의 구조를 보여 주고 있다. 2단 감속을 사용한 감속기의 구조는 ring gear를 flexspline에 고정하고, 유성 carrier는 wave generator에 고정하는 방식을 사용하였다.

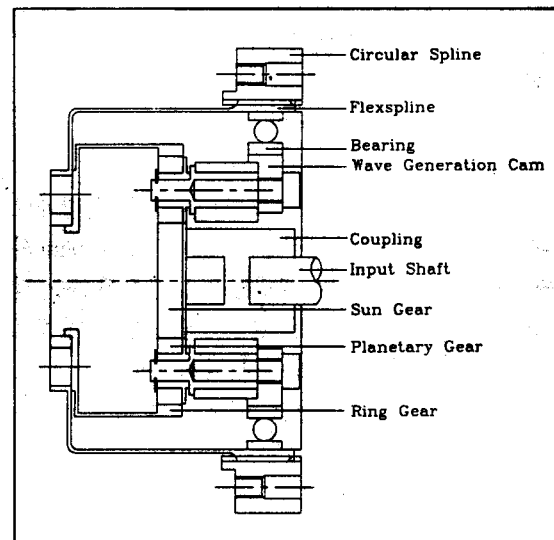


그림 7. Cycloid 치형을 이용한 harmonic drive 감속기 조립도

Cycloid 치형을 이용한 두종의 감속기를 개발하기 위하여 involute 치형을 이용한 감속기를 개발할 때와 같이 치합 simulation과 응력해석을 위한 FEM해석을 수행하였다.

본 연구에서 개발한 cycloid 치형을 이용한 harmonic drive 감속기의 circular spline을 복합재료를 이용하여 제작하였다. 그림 8은 제작된 형상을 보이고 있는데, 왼쪽은 편형상 치형을 복합재료로 제작하고, steel의 몸체부분에 접합한 것이고, 오른쪽은 연삭편과 steel 몸체 부분을 복합재료를 이용하여 결합한 것이다. circular spline을 복합재료를 이용하여 제작한 이유는 생산성을 고려한 것으로, 대량 생산을 하는 경우 유리하기 때문이다.

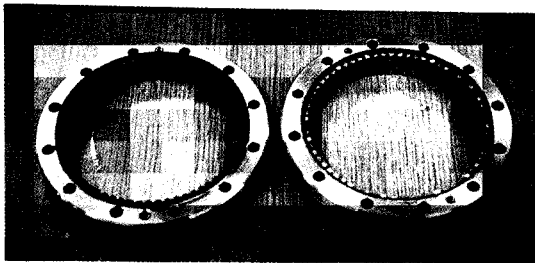


그림 8. 복합재료를 이용하여 제작한 Circular Spline

5. 결 론

현재 국내의 robot 개발 현황은 외형적으로는 robot 부품이 상당부분 국산화되어 있으나, 핵심이 되는 robot용 servo motor와 정밀 감속기는 거의 대일 수입에 의존하고 있다. 따라서 국내 robot 산업의 대일 종속을 탈피하기 위해서는 주요 부품의 국산화가 시급한 실정이다.

이러한 상황속에서 수행된 본 연구원의 정밀

감속기 개발 연구내용을 바탕으로 하여, harmonic drive 를 개발하기 위하여 특별히 고려하여 할 항목에 대하여 기술하고, 그와 관련하여 해외 및 한국기계연구원에서 수행한 harmonic drive의 개선 및 개발내용에 관하여 기술하였다. 한국기계연구원에서 수행한 연구내용은 보안을 통하여 상품화될 예정으로 있으며, 기존의 감속기에 필적할만한 제품이 개발될 것으로 기대된다.

참 고 문 헌

- [1] C.W.Musser, "Strain Wave Gearing", United States Letters Patent 2,906,143, 1959
- [2] S.Ishigawa, "The Gear Geometry of tooth Engagement in Harmonic Drive", JSME 1967 Semi-international Symposium, 1967, pp97-104
- [3] Y.Kiyosawa, S.Ishigawa, "Performance of a Strain Wave Gearing Using a New Tooth Profile", International Power Transmission and Gearing Conference, Vol 11, 1989, pp607-612
- [4] Y.Kiyosawa et al, "A New Strain Wave Gearing : Performance Evaluation", JSME International Conference on Motion and Powertransmissions, Nov. 1991, pp1132-1136.
- [5] Thomas Herr, "Neue Wege Umsetzung bekannter Bewegungsgesetze mittels neuer Getriebemechanismen", NEUGART Technische Information
- [6] 최동엽 외, "로봇용 ball 감속기 개발", 통상산업부, 1995
- [7] 菊池正紀 et al, "Stress Analysis Harmonic Drive using FEM and BEM", 日本機械學會論文集(C편), 58卷 556號, 1992, pp235-240