

# 자동차용 웜기어 모듈 개발에 관한 연구

## A study on the development of worm gear module for automobile

김주한\*, 성하경\*\*, 류세현\*\*\*

(Joo Han Kim, Ha Kyeong Sung, Se Hyun Rhyu)

**Abstract** - Various adjustment devices which present automobile uses electric motion motor of reducer built-in type for user's convenience are increasing. The example are seat control motor, sunroof motor, power windows motor etc. To get low noise, high effectiveness special quality in automobile DC motor of reducer built-in type, reducer department's transmission efficiency and noise, vibration quality are very important. The reducer used to DC motor of automobile reducer built-in type use worm gear for enough torque and proper number of rotation. We need optimization design technology of deceleration module including worm gear and housing for reducer development that have special quality of good quality.

**Key Words** : 자동차, 웜기어, DC 모터, 고 정밀, 저소음

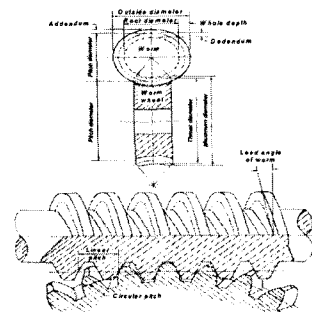
### 1장. 개요

현재의 자동차는 사용자의 편의를 위하여 감속기 일체형의 전동 모터를 이용한 각종 조절장치가 늘어나고 있다. 시트 조절모터, 선루프 모터, 파워윈도우 모터 등이 그 예이다. 감속기 일체형의 자동차용 DC모터에 있어서 저소음, 고효율 특성을 얻기 위해서는 감속기부의 전달효율 및 소음, 진동특성이 매우 중요하다. 자동차용 감속기 일체형의 DC모터에 사용되는 감속기는 대부분 충분한 토크와 적절한 회전수를 얻기 위한 웜기어를 사용하고 있으며, 양질의 특성을 갖는 감속기 개발을 위해서는 웜기어 및 하우징을 포함한 감속모듈의 최적화 설계기술이 필요하다. 자동차용 감속기 일체형 모터의 웜기어를 갖는 감속모듈은 고 효율화 및 저소음, 저 진동 특성을 요구하고 있으며, 이러한 기술개발의 부족 시 소음, 진동으로 인한 사용자의 불쾌감 및 안전을 위협할 수 있는 위험요소가 될 수 있다. 기어의 설계에 있어 작동성, 신뢰성 등의 많은 부분을 고려하여야 하지만, 현재의 기어 설계는 체계적인 이론에 근거한 기술개발이 아닌 단순히 경험적인 기술에 의존하고 있어 많은 시행착오를 겪고 있는 실정이다. 본 논문은 높은 전달효율 및 저소음, 저 진동 및 우수한 내구 특성을 갖는 웜기어 감속기 모듈 설계기술 개발에 관한 내용을 다루었다.

### 2장. 웜기어 설계

#### 2.1 웜기어 개요

웜 기어(worm gear)는 일반 원통 기어에 비해서 큰 감속비를 얻을 수 있고, 소음과 진동이 없는 원활한 운전이 가능할 뿐만 아니라, 자결 작용(self-locking)에 의한 역회전 방지 기능을 갖고 있기에, 여러 가지 산업기계, 즉 고층 엘리베이터, 각종 대형 프로펠러 구동, 공작기계의 정밀 이송장치, 섬유기계, 운반기계, 각종 방위 산업기계, 절단기 등에 광범위하게 사용된다. 웜 기어는 아래그림과 같이 웜(worm)과 웜 휠(worm wheel)로 이루어져 있으며, 두 요소의 축은 서로 만나지 않으면서 직각을 이룬다. 웜기어의 장점으로는 한 쌍의 기어의 속도 비를 크게 할 수 있다. 원통 기어나 베벨 기어의 최대 속도 비는 보통 1/10 정도이나, 웜 기어는 1/70~1/100 정도의 것을 용이하게 제작할 수 있다.



[그림1. 웜기어 형상]

#### 저자 소개

- \*전자부품연구원 지능메카트로닉스 연구센터 선임연구원
- \*\*전자부품연구원 지능메카트로닉스 연구센터 수석연구원
- \*\*\*전자부품연구원 지능메카트로닉스 연구센터 선임연구원

## 2.1 웜기어 설계이론

웜 기어 형상의 설계 기준은 나라별로 조금씩 다르다. KS 는 모듈(module)을 설계 기준으로 하고 있으며, 독일 규격 (DIN)과 일본 기어공업회 규격(JGMA)도 모듈을 기준으로 한다. 축각(Σ)이 90°인 표준 웜 기어에 있어서는 웜 축 방향 모듈과 웜 휘일의 정면 모듈이 서로 같으며, 웜의 축 방향 피치와 웜 휘일의 정면 피치도 같다. 따라서 이들을 기준으로 설계 자료를 설정한다. 여기서는 이들을 단순히 모듈( $m_a$ )과 피치( $p_a$ )라고 칭한다.

$$m_a = \frac{p_a}{\pi} \quad (1)$$

웜 휘의 강도계산은 다음과 같은 식으로 계산된다.

○ 웜 휘일의 허용 토크

$$T_{2,lim} = 0.00191 K_v K_n S_{c,lim} Z d_2^{1.8} m_a \frac{Z_1 Z_m Z_r}{K_c} \quad (2)$$

$K_v$ : 미끄럼 속도 계수       $K_n$ : 회전 속도 계수

$S_{c,lim}$ : 치면 강도에 대응하는 허용 응력 계수

$d_2$ : 웜 휘일의 피치원 직경 [mm]

$m_a$ : 웜의 모듈 [mm]       $Z$ : 영역 계수

$Z_1$ : 윤활유 계수       $Z_m$ : 윤활법 계수

$Z_r$ : 치면 조도 계수       $K_c$ : 치면 접촉 계수

감속비 ( $i$ ), 축간 중심거리 ( $A$ )와 웜의 회전수 ( $n_1$ ) 등이 주어졌을 때, 웜기어의 효율이 최대가 되도록 설계하는 것이 일반적으로 설계의 목적이 된다. 웜기어는 다른 기어 전달 장치와는 달리 미끄럼 접촉을 하는 까닭에 마찰에 의한 발열과 마모 등에 따른 재료 조건을 고려해야 하고, 토크를 전달하기 위한 굽힘 강도, 면압 강도 등의 강도 설계도 해야 한다. 아래식이 웜기어 효율의 관계식이다.

$$\therefore \eta = \frac{\tan \gamma (1 - \mu \cdot \tan \gamma / \cos \alpha)}{\tan \gamma + \mu / \cos \alpha} \quad (3)$$

효율  $\eta$  값을 웜에 작용하는 힘과 기하학적 형상으로부터 유도하였으며, 웜 기어의 효율은 진입각과 압력각, 마찰 계수 ( $\mu$ )의 관계식임을 알 수 있다.

## 2.1 웜기어 설계결과

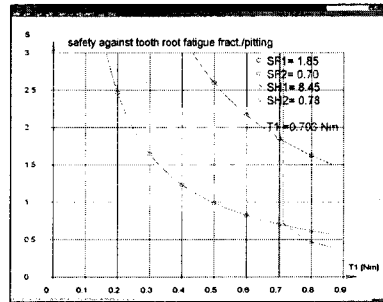
웜 감속기 정밀 기어 설계를 위하여 독일 HEXAGON사의 정밀 웜기어 설계 소프트웨어인 ZAR3을 사용하여 설계 하였다. DIN 3990 설계규격을 기준으로 하여 설계 하였고, 결과 값 으로는 기어 형상 제원 설계, 기어 강도설계, 효율 결과값을 얻었다.

아래 값들은 기어형상 설계 결과 값이다.

Symbol Unit Worm Gear			
<b>BASIC DATA</b>			
Gear ratio	$u$		70.000
No. of teeth	$z$		70
Center distance	$a$	mm	31.70
Diam. center distance ratio	$dm1/a$		0.1986
Profile shift coeff.	$x$		0.000

ANGLE		
Generation angle	$\alpha$ deg.	20deg
Pressure Angle	$\alpha_x$ deg.	20deg'14"
Gradient angle	$\gamma$ deg.	7deg23'2"
Base gradient angle	$\gamma_b$ deg.	21deg16'1"
Center helix angle	$\beta$ deg.	82deg36'58"
<b>GEAR DATA</b>		
Tooth concen. Fact.	$q$	7.716
Modulus	$m$	0.816
Gradient height	$p_z$ mm	2.563
Reduced grad height	$p_z \text{ red}$ mm	0.400
Axial pitch	$p_x$ mm	2.563
Normal circular pitch	$p_n$ mm	2.542
Base cylinder pitch	$p_b$ mm	2.308
tooth alignment		left hand

밑의 그래프는 구동토크와 면압강도 및 굽힘강도에 대한 안전계수를 나타낸 것이다.



[그림2. 웜 기어 강도 그래프]

마지막으로 기어 효율에 대한 결과 값이다. 여기서 기어 접촉 효율(Tooth contact efficiency)을 높이는 방향으로 설계를 진행 하였다.

EFFICIENCY		
Tooth friction value	$\mu_e z$	0.038
Tooth contact efficiency	$\eta_z$	0.769
Gearing, loss of power	$P_{Uz}$ kW	0.071
Idling, loss of power	$P_{U0}$ kW	0.219
Efficiency	$\eta$	0.868

## 3장. 웜기어 모듈 구조설계

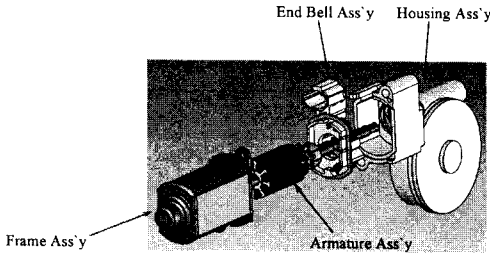
본 자동차용 감속기 일체형 모터 구조 설계를 아래와 같은 설계 목표를 가지고 설계 하였다.

- Compact Size
- Reduce Parts Number
- Cost Reduction
- Increase Productivity
- Low Noise, Vibration, Harshness
- Meet Global Specifications

감속기 일체형 모터의 요구 성능 스펙은 아래와 같고, 아래 스펙은 감속기와 모터와의 결합 후의 성능 스펙이다.

- 정격 토크: 30 kgf · cm      - 정격 전류: 7 A
- 정격 회전수: 60 rpm      - 무 부하 전류: 2.1 A

- 무 부하 회전수: 85 rpm - 구속(stall) 토크: 95 kgf · cm
- 구속 전류: 25A



[그림3. 워 기어 모듈 구조도]

위 그림에서 보듯이 감속기 일체형 모터의 전체 구조는 크게 4가지로 나눌 수 있다. 먼저 모터부의 마그네트를 고정시켜주고, 모터 회전부를 보호 해 주는 역할을 하는 프레임 조립부(Frame Ass'y)가 있고, 모터 회전부로서 모터 샤프트와 모터 스테이터 코어가 결합되어 있는 아마추어 조립부(Armature Ass'y)가 있다. 그리고, 감속기 일체형 모터의 외부 연결부를 구성해 주는 끝단 조립부(End Bell Ass'y)가 있고, 워와 워휠이 연결되고, 워 휠의 지지부 역할을 해주는 하우징 조립부(Housing Ass'y)가 있다.

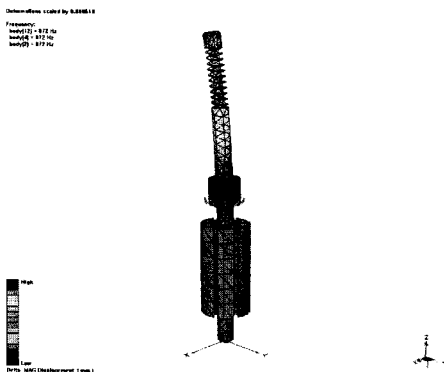
#### 4장. 워기어 모듈 진동해석

모터의 최근 기술 동향에서 저소음 및 저 진동 경향이 두드러지게 나타나고 있다. 본 연구 에서는 모터 구조 설계 시 진동해석을 수행 하여 고유 진동수를 찾아내어 모터구동 시 공진으로 인한 진동 및 소음의 증가를 방지 하도록 하였다.

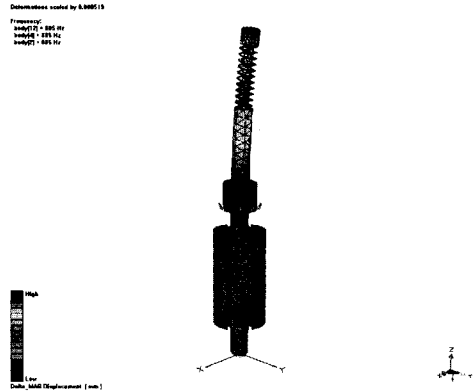
다자유도계의 진동문제나 시스템의 유한 요소 모델은 다음과 같은 고유치 문제로 나타낼 수 있다.

$$[m] \ddot{x} + [k] \dot{x} = \vec{F} \quad (4)$$

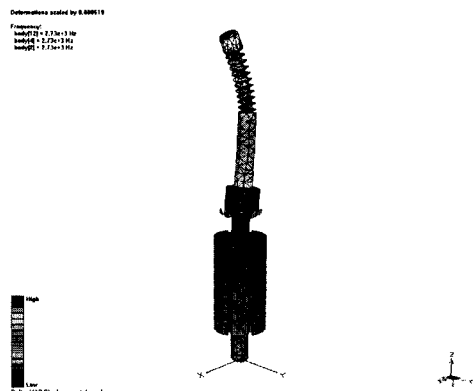
진동해석은 Visual nastran 4D 해석 소프트웨어를 사용하여 수행 하였다. 밑의 그림은 스테이터 코어 조립품에 대한 진동해석을 통하여, 고유진동수 및 변형량을 나타낸 그림이다.



[그림4. 고유진동수 해석 1st mode]



[그림5. 고유진동수 해석 2st mode]



[그림6. 고유진동수 해석 3st mode]

#### 4장. 결론

본 논문은 높은 전달효율 및 저소음, 저 진동 및 우수한 내구 특성을 갖는 자동차용 워기어 감속기 모듈 설계기술 개발에 관한 내용을 정리 기술 하였다. 이 연구를 통해 다음과 같은 결과를 얻었다.

- (1) 소형, 고효율, 저 진동의 특성을 갖는 워기어를 설계 하였다.
- (2) 구조 최적화 및 고유진동수해석을 통하여 양질의 특성을 가지는 자동차용 워기어 모듈을 설계 하였다.

#### 참 고 문 헌

- [1] "워기어의 영국 표준 규격 설명서", BS721, 1983
- [2] A. J. Lemanski, 1990, "Gear Design", SAE, Chapter 3
- [3] Hendershot, J. R. and Miller, T. J. E, 1994 "Design of brushless permanent magnet motors", Oxford
- [4] Adachi, E, "자동차용 직류 모터의 고주파 소음 해석과 저감", 일본기계학회논문집 0387-5024, 59(567), pp.P3469-3473, 1993