

# 베벨기어의 강도평가 시스템에 관한 연구 Rating Systems for Power Transmission Bevel Gears

정 태 형\* (한양대), 지 중 조 (한양대원), 변 준 형 (고동기술연구원)  
T. H. Chong(Hanyang univ.), J. J. Chi, J. H. Byun(Institute for Advanced Engineering)

Keywords : Gear(치차), Bevel Gear(베벨기어), Rating Systems(강도평가시스템), Bending Strength(굽힘강도), Surface Durability(면압강도), Scoring Resistance(스코링강도), AGMA Standard(AGMA규격), Gleason Standard(Gleason규격).

### Abstract :

Rating systems of bevel gears(straight, spiral, and zerol bevel gears) which are commonly used as power transmission devices for non-parallel axes are developed on the personal computer, which analyze and/or evaluate the gear design and the service performance at the point of view of strength and durability. The typical considerations of the ratings are the bending strength, the surface durability, and the scoring resistance. The ratings are carried out using the reliable standards of AGMA & Gleason Works. Therefore, the system is built so that the variables or factors considered differently in those standards and the strength, durability, and scoring partially in Gleason are appraised seperately by each method, and a series of the estimation processes is integrated into the system so as to compare each result.

The developed rating systems can be used in the initial stage of gear design process, and also a better design can be performed by the evaluation of the initial design at the view point of gear strength and durability. Additionally, it is useful for the trouble-shooting of bevel gear systems and to the purpose of introducing the methods for maintaining design strength in service, with appraising the gear strength after design or with appraising the influencing factors, as a whole.

Therefore, this rating systems can help the aim of design automation of bevel gears.

## 1. 서론

공학에 있어서 어느 한 요소의 설계과정은 기본설계, 평가, 재설계로 이어지는 일련의 반복된 과정을 따라 행해지는 것이 일반적이다. 치차설계를 포함한 대부분의 실제의 기계설계에 있어서는 공학적인 해석과 판단, 실제 운전경험, 관련 실험데이터 등을 이용함으로써 반복되는 설계과정을 수행해 나간다. 최근들어 치차의 설계시 제기되는 문제로서는 생산의 능률화와 운전상의 고성능화를 들 수 있는데<sup>(1)</sup>, 특히 동력 전달용 치차에 있어서는 전달동력의 중대, 치차장치의 소형화, 경량화와 더불어 부하능력의 향상 및 설계의 능률화라는 측면이 절실이 요구되고 있다<sup>(1)-(3)</sup>. 베벨기어(스트레이트, 제롭, 스파이럴 베벨기어)의 부하능력은 굽힘강도, 면압강도, 스코링강도 등에 의하여 결정되는데, 치차의 재질, 제작, 조립, 운전 등에 관련하여 수많은 영향인자가 강도에 영향을 미치게 된다. 치차를 설계하거나 운전할 때에는 강도에 영향을 미치는 인자 중 어떤 인자에 유의하여야 하며 어떠한 방법으로 인자를 평가하느냐에 따라 치차의 부하능력이 다르게 평가될 수도 있기 때문에<sup>(2)</sup>, 치차의 강도에 영향을 미치는 수많은 인자들을 일목요연하게 평가하여 인자가 미치는 영향을 판단할 수 있게되고 치차의 강도나 성능, 신뢰성 등을 보장할 수 있는 평가방법을 확립시켜 이를 간편히 사용할 수 있다면 강도적인 측면에서 보다 효율적으로 치차를 설계할 수

있게 된다.

본연구에서는 강도의 측면에서 베벨기어의 설계 및 성능평가를 돕기 위하여 퍼스널컴퓨터상에서 간편히 수행할 수 있는 베벨기어의 강도평가 시스템을 개발한다. 즉, 베벨기어의 굽힘강도, 면압강도 및 스코링강도와 이들과 관련하여 기하학적인 형상, 재질, 운전상태, 신뢰성, 안전계수 등 강도에 영향을 미치는 거의 모든 인자를 일목요연하게 평가하고, 이들이 강도에 미치는 영향을 판단할 수 있는 치차의 강도평가 과정을 하나의 시스템으로 구성함으로써 설계현장 등에서 간편히 이용할 수 있도록 하고 최종적으로 컴퓨터를 이용한 설계의 자동화를 이룰 수 있도록 한다.

## 2. 베벨기어의 강도

### 2.1 강도평가 방법의 선정

베벨기어의 강도는 피니언과 기어의 재질, 동력을 전달할 때 치면에 작용하는 하중의 형태, 치면의 물림상태에 따른 최악하중의 작용위치, 최악하중의 작용에 수반하는 최종적인 치차손상 및 파손의 형태 등 어떤 인자를 기준으로 하느냐에 따라 그 평가방법이 다르고 또한 평가결과도 달라지게 된다. 치차의 강도평가 방법에는 수치해석을 이용한 평가방법, 설계된 치차를 제작하여 실험한 결과에 의한 평가방법 및 각

중 규격에 의한 평가방법 등<sup>(1),(4)~(11)</sup>이 있다. 이들 중 치차의 강도 및 성능에 관계된 수많은 인자들을 종합적으로 고려할 수 있는 방법을 선정하여 강도를 평가하고, 제작된 실제치차의 손상이나 수명에 근거하여 강도평가식을 경험적으로 수정함으로써 설계의 신뢰도를 증대시킬 수 있다. 따라서 강도평가식은 가능한 경험적 데이터가 풍부한 계산식을 이용하는 것이 바람직하다.

그러므로 베벨기어의 강도에 미치는 영향인자의 분류와 각 인자의 성질규명, 계산법 등이 가장 잘 정비되고 확립된 규격으로서 AGMA<sup>(4),(5)</sup> 및 Gleason 규격<sup>(6)~(11)</sup>에서 제안된 식을 선정한다. 이는 두 규격의 강도평가 방법이 상이하고 강도의 영향인자들 중 과다하거나 과소하게 평가되는 인자가 있을 수도 있기때문에, 신뢰할 수 있는 두가지 규격에 의해 강도를 평가하고 결과를 통합하여 대비함으로써 두 규격에서 서로 상이하게 고려된 인자의 영향을 비교하여 판단할 수 있게하기 위함이다.

Fig. 1 은 이들 규격식에 포함된 각종 계수를 대비한 것이다. Fig. 1 에서 보는 바와 같이 각 규격식은 고려하는 계수가 서로 상이한 점이 많음을 알 수 있고 이들에 의한 강도평가 결과는 서로 달라지게 된다.

## 2.2 굽힘강도

베벨기어의 설계수명동안에 이뿌리필렛(tooth root fillet)에서 굽힘응력에 의한 절손(breakage)이 발생하지 않을 하중을 평가하기 위한 굽힘강도평가식은, 이뿌리에서 작용하중의 접선성분에 의한 굽힘응력뿐 아니라 반경성분에 의한 압축응력, 이뿌리필렛에서의 응력집중, 물리고 있는 근접치사이의 하중분담, 물림응에 의한 운전정숙성 및 스파일베벨기어의 경우 이에 경사진 접촉선으로부터 결과되는 하중의 비균일 모멘트 분포 등을 고려한다. AGMA 규격에 의한 피니언과 기어에서 발생하는 굽힘응력(calculated bending stress,  $S_w$ )<sup>(4),(5)</sup>

은 각각 식(1) 및 식(2)로 계산되며, Gleason 규격에 의한 굽힘응력<sup>(6),(9)~(11)</sup>은 각각 식(3) 및 식(4)로 계산된다.

$$S_w = \frac{2 T_P K_a}{K_v} \frac{P_d}{F d} \frac{K_s K_m}{K_x J_P} \quad \text{for pinion} \quad (\text{lb/in}^2) \quad (1)$$

$$S_w = \frac{2 T_G K_a}{K_v} \frac{P_d}{F D} \frac{K_s K_m}{K_x J_G} \quad \text{for gear} \quad (\text{lb/in}^2) \quad (2)$$

$$S_w = \frac{W_P K_o}{K_v} \frac{P_d}{F} \frac{K_s K_m}{K_x J_P} \quad \text{for pinion} \quad (\text{lb/in}^2) \quad (3)$$

$$S_w = \frac{W_G K_o}{K_v} \frac{P_d}{F} \frac{K_s K_m}{K_x J_G} \quad \text{for gear} \quad (\text{lb/in}^2) \quad (4)$$

여기에서  $T_P$ ,  $T_G$ 는 각각 피니언과 기어의 작용토크,  $W_P$ ,  $W_G$ 는 각각 피니언과 기어의 전달접선하중,  $K_a$ 는 외부동하중 계수,  $K_o$ 는 순간적인 과부하토크를 고려한 과부하계수,  $K_v$ 는 치형의 부정확성을 고려한 동하중계수이며, 이들은 작용하중에 관계된 계수들이다.  $P_d$ 는 치륜피치,  $F$ 는 치폭,  $d$  및  $D$ 는 각각 피니언과 기어의 피치원지름이며, 이들은 이의 크기에 관련된 것이다.  $K_s$ 는 재질의 비균일성을 고려한 치수효과계수,  $K_m$ 은 치폭방향으로 하중의 비균일분포를 고려한 하중분포계수,  $K_x$ 는 이의 길이방향 곡률의 영향을 고려한 커터반경 계수,  $J_P$ ,  $J_G$ 는 각각 피니언과 기어에서 굽힘강도의 형상계수를 나타낸다.

베벨기어가 굽힘에 견딜 수 있는 사용굽힘응력(working bending stress;  $S_w$ )은 AGMA 규격과 Gleason 규격에서 식(5)로 계산되며,  $S_w$ 는 재질, 열처리 및 경도 등에 의해 결정되는 허용굽힘응력(allowable bending stress)을 나타내고,  $K_L$ ,  $K_T$ ,  $K_R$ 은 각각 굽힘에 대한 수명계수, 온도계수, 신뢰도 계수를 나타낸다. 단, 두 규격에서 식(5)의 형태는 같으나 각 계수의 평가법은 서로 상이한 것에 주의를 요한다. 따라서 식(1), 식(2) 및 식(3), 식(4)로 평가된 피니언과 기어의 굽힘응력이 각각 식(5)의 사용응력보다 같거나 작으면 두 규격에 의한 굽힘강도면에서 안전한 것으로 평가한다.

$$S_w = S_u \frac{K_L}{K_T K_R} \quad (\text{lb/in}^2) \quad (5)$$

## 2.3 변압강도

설계수명동안 치면에 피팅손상(destructive pitting)이 발생하지 않을 하중을 평가하기 위한 AGMA 규격<sup>(4),(5)</sup>과 Gleason 규격<sup>(7),(9)~(11)</sup>의 변압강도평가식에서는 Hertz의 접촉응력식에 기초를 두고, 제작의 불완전성에 의해 발생하는 집중하중, 물리고 있는 근접치사이의 하중분담효과 등을 고려

Factor name	Bending		Contact		Scoring Gleason
	AGMA	Gleason	AGMA	Gleason	
External dynamic factor	$K_a$		$C_a$		
Overload factor		$K_o$		$C_o$	
Dynamic factor	$K_v$	$K_v$	$C_v$	$C_v$	
Elastic coefficient			$C_P$	$C_P$	
Stress adjustment constant			$C_b$		
Size factor	$K_s$	$K_s$	$C_s$	$C_s$	
Load distribution factor	$K_m$	$K_m$	$C_m$	$C_m$	
Cutter radius factor	$K_x$	$K_x$			
Load exponent			$z$		
Crowning factor			$C_{sc}$		
Surface condition factor			$C_f$	$C_f$	
Geometry factor (pinion, gear)	$J_P, J_G$	$J_P, J_G$	$I$	$I$	$G$
Life factor	$K_L$	$K_L$	$C_L$	$C_L$	
Temperature factor	$K_T$	$K_T$	$C_T$	$C_T$	
Safety factor	$K_R$	$K_R$	$C_R$	$C_R$	
Hardness ratio factor			$C_H$	$C_H$	
Thermal constant					$C_I$
Load factor					$K_T$
Reliability factor					$L_R$

Fig. 1 Factors for rating bevel gears (bending, contact, scoring)

한다. AGMA 규격에 의한 접촉면의 접촉응력(calculated contact stress:  $S_c$ )은 식(6)과 같이 계산하며, Gleason 규격에 의한 접촉응력은 식(7)과 같이 계산한다.

$$S_c = C_P C_b \left( \frac{2T_D C_a}{C_v} \left( \frac{T_P}{T_D} \right)^z \frac{1}{F_d^2} \frac{C_s C_m C_x C_I}{I} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (\text{lb/in}^2) \quad (6)$$

$$S_c = C_P \left( \frac{2T_P C_a}{C_v} \frac{1}{F_d^2} \frac{C_s C_m C_I}{I} \right)^{\frac{1}{2}} \left( \frac{T_{RC}}{T_P} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (\text{lb/in}^2) \quad (7)$$

여기에서  $C_P$ 는 치차재료의 탄성계수와 포아손비를 고려한 탄성정수계수,  $C_b$ 는 스트레이트, 스파이럴, 계륜베벨기어에 대해 동일 재질이던 동일한 접촉응력을 평가하기 위한 응력조정상수,  $T_D$ 는 최적의 접촉패턴을 얻기 위한 피니언토크의 최소치인 설계피니언토크,  $z$ 는 이의 크라운에 따라 좌우되는 하중지수,  $C_x$ 는 크라운계수,  $C_I$ 는 치면다듬질, 잔류응력, 소성효과 등에 좌우되는 치면상태계수,  $I$ 는 면압강도의 형상계수를 나타내며,  $C_a$ ,  $C_v$ ,  $C_s$ ,  $C_m$ 은 각각 면압강도의 동하중계수, 과부하계수, 동하중계수, 치수효과계수, 하중분포계수를 나타내고,  $T_{RC}$ 는  $T_P$ 로부터 계산되는 피니언의 토크를 나타낸다.

베벨기어가 피팅에 견딜 수 있는 사용접촉응력(working contact stress:  $S_{wc}$ )은 AGMA 규격과 Gleason 규격에서 식(8)로 계산된다.  $S_{ac}$ 는 시험치차에 의해 평가된 재료의 허용접촉응력(allowable contact stress)을 나타내고,  $C_L$ ,  $C_T$ ,  $C_R$ ,  $C_H$ 는 각각 면압에 대한 수명계수, 온도계수, 신뢰도계수, 경도비계수를 나타내며 이들은 각 규격에 따라 평가방법이 상이하다. 따라서 식(6)과 식(7)의 접촉응력이 식(8)의 사용응력보다 같거나 작으면 면압강도면에서 안전한 것으로 평가한다.

$$S_{wc} = S_{ac} \frac{C_L C_H}{C_T C_R} \quad (\text{lb/in}^2) \quad (8)$$

## 2.4 스코링강도

스코링강도(scoring resistance)의 평가 방법은 Gleason 규격에만 구체적인 평가법이 마련되어 있으며, 치면의 스코링강도(scoring resistance)평가식<sup>(8)</sup>은 치면의 이물림위치에서 순간적으로 발생하는 섬광온도(flash temperature)를 기준하며, 섬광온도에 의한 접촉점에서의 스코링지수(scoring index:  $T_I$ )는 식(9)로 계산한다.

$$T_I = T_i + \Delta T_G \quad (^{\circ}\text{F}) \quad (9)$$

$T_i$ 는 윤활제의 온도에 좌우되는 치차몸체의 온도이며,  $\Delta T_G$ 는 접촉점의 최대온도로서 식(10)으로 계산된다.

$$\Delta T_G = \frac{G}{C_i} C_p^{0.85} K_T^{0.75} \left( \frac{50}{50-S} \right) P_d^{0.875} n_p^{0.325} \left( \frac{T_{PC}}{T_P} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (^{\circ}\text{F}) \quad (10)$$

여기에서  $G$ 는 스코링강도의 형상계수,  $C_i$ 는 재질에 관련된 열상수이며,  $K_T$ 는 최대피니언토크, 과부하계수, 하중분담계수, 치폭등에 관련된 하중계수이고,  $S$ 는 다듬질방법에 따른 초기 길들이기(break-in)운전을 하기 전의 표면거칠기,  $n_p$ 는 피니언의 회전속도를 나타낸다.

베벨기어에 스코링손상이 발생하지 않는 기준으로서 사용스코링지수(working scoring index:  $T_{wi}$ )는 식(11)로 계산되며,  $T_a$ 는 재질, 열처리, 윤활제, 경도 등에 의해 결정되는 허용스코링지수(allowable scoring index)이며  $L_R$ 는 스코링의 신뢰도계수이다. 따라서 식(9)의  $T_I$ 가 식(11)의  $T_{wi}$ 보다 작으면 스코링강도면에서 안전한 것으로 평가한다.

$$T_{wi} = \frac{T_a}{L_R} \quad (^{\circ}\text{F}) \quad (11)$$

## 2.5 강도의 영향인자

베벨기어의 굽힘강도, 면압강도, 스코링강도를 평가함에 있어서 각종 계수들의 평가시에 큰 영향을 미치는 인자들은 언더컷, 물림율, 피치원주 접선속도 등을 들 수 있다. 기어의 이끝이 피니언의 이뿌리에 간섭하여 발생하는 언더컷(undercut)은 이의 강도를 상당히 저하시킬 수 있으며, 피니언의 간섭은 식(12)와 같이 피니언의 내단(inner end)에서 디덴덤( $b_{in}$ )이 내단한계디덴덤(limit inner dedendum,  $b_{in}$ )보다 클 때 발생하는 것으로 판정한다.

$$b_{in} \leq b_{in} \quad (\text{in}) \quad (12)$$

또한, 베벨기어에서 물림율은 치차의 물림성능, 운전시의 정속성, 하중분담효과 등에 많은 영향을 미친다. 스트레이트 및 계륜베벨기어의 경우 축직각물림율(transverse contact ratio,  $m_p$ )을 식(13)과 같이 고려하며 1.0보다 커야 하고, 스파이럴 베벨기어의 경우에는 축직각물림율 외에 스파이럴각으로 인한 식(14)의 치폭물림율(face contact ratio,  $m_{fp}$ )을 고려한다. 식(15)는 스파이럴베벨기어에서 축직각물림율과 치폭물림율을 평균한 수정물림율(modified contact ratio,  $m_b$ )로서 2.0보다 커야 한다.

$$m_p = \frac{\left\{ \sqrt{r_{oN}^2 - r_{bN}^2} - r_{N} \sin \phi + \sqrt{R_{oN}^2 - R_{bN}^2} - R_N \sin \phi \right\}}{\cos \phi (\cos^2 \psi + \tan^2 \phi)} p_n \quad (13)$$

$$m_F = \frac{A_o}{A} \frac{F \tan \psi}{p} \quad (14)$$

$$m_o = \sqrt{m_p^2 + m_F^2} \quad (15)$$

여기에서  $\phi$ 는 압력각,  $\psi$ 는 스파이럴각,  $p_n$ 는 평균치직각원주 피치,  $p$ 는 외단(outer end)원주피치,  $A_o$ 는 외단원주거리,  $A$ 는 평균원주거리,  $r_{oN}(R_{oN})$ ,  $r_{iN}(R_{iN})$ 은 각각 피니언(기어)의 이중 간부 치직각단면에서의 기초원, 이끝원의 반경을 나타낸다.

베벨기어의 운전시에도 원활한 유막형성을 위해 외단에서 최대피치원주속도( $v_{max}$ )를 제한하여 스트레이트베벨기어의 경우에는 1000(ft/min), 스파이럴 및 제롬베벨기어의 경우에는 8000(ft/min)로 제한된다<sup>(4)</sup>. 또한 Gleason 규격에서는 오일유조내의 최대온도( $T_S$ : maximum oil reservoir temperature)를 허용온도( $T_{Sa}$ : allowable oil reservoir temperature)이내로 제한하며,  $T_{Sa}$ 는  $300(^{\circ}F)$ 로 제한한다<sup>(4)</sup>.

### 3. 강도평가 시스템의 구성

베벨기어(스트레이트, 스파이럴, 제롬 베벨기어)의 굽힘강도와 면압강도 및 스코어링강도를 평가함에 있어서 AGMA 규격에 의한 평가, Gleason 규격에 의한 평가를 별개로 각각 수행할 수도 있고 이들을 임의로 조합한 평가도 수행할 수 있도록 강도평가 시스템을 구성함으로써 필요에 따라 각각의 결과를 비교하여 평가할 수 있도록 한다. 따라서 강도평가 시스템은 Fig. 2 와 같이, ① 각 강도평가법에 필요한 데이터의 입력을 위한 Input parts, ② AGMA와 Gleason에 의한 강도계산을 행하는 Main body, ③ Main body에서 계산한 결과를 출력하는 Output parts의 세 기능군으로 구성한다.

Input parts는 모니터를 통한 사용자와의 대화형식으로 데이터의 입력 및 입력사항의 확인을 행할 수 있다. 강도평가에 필요한 입력 데이터는 Fig. 3 과 같이 치차의 사용상태, 치차의 지지상태, 이(tooth)의 기하학적 형상, 절삭법 및 재질관련항목, 기타항목 등의 특징별로 분류하여 구분한다. 이들은 수행되는 강도평가의 조합에 따라 입력되는데, 예로써 AGMA 규격에 의한 강도평가만을 행할 경우는 AGMA 에

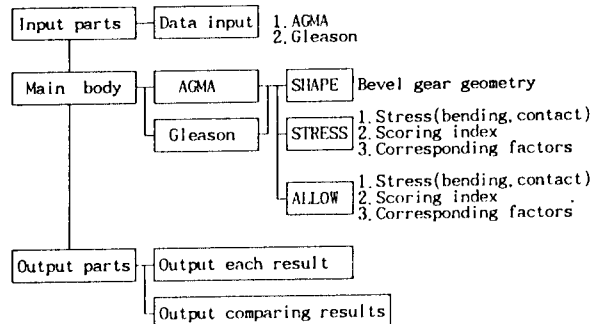


Fig. 2 The structure of rating systems for bevel gear

해당되는 입력항목만 입력하며, 두가지 이상의 강도평가를 동시에 행할 경우는 공통된 입력사항을 먼저 입력하고 각각의 평가방법에만 필요한 입력항목을 순차적으로 입력한다.

Main body는 Input parts에서 입력된 각종 데이터를 이용하여 AGMA규격에 의한 강도평가, Gleason규격에 의한 강도평가를 행하는 두부분으로 구성된다. Fig. 2에서 AGMA규격에 의한 강도평가부분과 Gleason 규격에 의한 강도평가부분의 구성으로는, SHAPE에서 강도평가에 필요한 피니언과 기어의 기하학적 형상제원, 조립제원, 축직각 및 치직각단면의 기어 제원을 계산하며, STRESS에서는 식(1)~(4) 및 식(6),(7),(9),(10)에 관련된 각종 계수들을 계산한 후 각종 굽힘응력과 접촉응력 및 스코어링 지수 등을 계산한다. ALLOW에서는 식(5),(8) 및 식(11)에 관련된 각종계수를 계산하며 각종 사용응력 및 사용 스코어링 지수 등을 계산하여 AGMA 규격과 Gleason 규격에 의한 강도평가를 수행한다.

Output parts는 Input parts의 입력사항과 Main body에서 계산된 강도평가결과를 출력하는 부분으로서, 각각의 강도평가 결과를 출력하거나 각 방법의 결과를 비교출력할 수 있도록 구성한다. 또한 출력항목으로서 응력만을 출력하거나 응력평가에 관련된 각종계수(Fig. 1) 및 기타 세부항목들을 선택적으로 출력가능하게 함으로써 사용자의 강도평가목적에 부합하도록 구성하며, 이와 같이 구성된 강도평가 시스템은 입력 및 결과의 출력에 있어서 베벨기어가 설계되거나 제작되기 위해 널리 사용되는 SI 단위와 English 단위를 사용자의 목적에 따라 선택적으로 결정할 수 있도록 한다.

### 4. 강도 평가 시스템의 적용 및 검토

강도평가를 하기위한 베벨기어의 예는, 출력 65HP, 1800rpm의 전동기에 의해 약 600rpm으로 연속운전되는 볼류트 펌프를 구동하는 스파이럴 베벨기어이다. 축각은  $90^{\circ}$ 이며, 전동기의 기동토크는 46kgf·m이다.

Fig. 4는 이 경우의 스파이럴 베벨기어에 대하여 강도평가 시스템을 적용하기 위한 입력항목중 형상제원을 나타낸 것이며, Fig. 5는 강도평가를 위한 입력항목을 나타낸 것이다.

Group	AGMA	Gleason
Service condition	operating state,driving member,required life,transmitting power,driver speed,reliability,character of load, etc.	
Assembly & blank	shaft angle,mounting method,shank diameter,bore diameter, shaft diameters,crown to back, etc.	
Tooth	gear type,number of teeth,quality,crowning,tooth taper, etc.	
Cutting	cutting method,cutter radius,pressure angle,spiral angle, hand of spiral,surface roughness, etc.	
Material	material,material properties,heat treatment,surface hardness	material quality
Miscellaneous		lubricant, peak operating oil temperature

Fig. 3 Input items in Input parts

Fig. 4와 Fig. 5의 데이터를 대화화면을 통해 입력한 후 사용 단위를 English단위로 하여 AGMA규격과 Gleason 규격에 대해 강도평가를 수행한다. Fig. 6은 굽힘강도, 면압강도, 스코어링강도의 영향계수를 두 규격으로 대비하여 나타낸 것이며, Fig. 7은 평가된 각종 용력 및 스코어링 지수를 대비하여 나타낸 것으로서, Safety coefficient는 사용용력(지수)을 계산 용력(지수)로 나누어 사용된 베벨기어의 사용안전도를 나타낸 것이다.

Fig. 6에서 알 수 있는 바와 같이 각 규격에서 평가된 강도의 영향계수들은 내용이 동일한 계수라도 평가된 값이 서로 상이함을 알 수 있으며, 각 계수값을 일목요연하게 평가할 수 있다.

Fig. 7에서 허용용력(지수), 사용용력(지수) 및 계산용력(지수)의 크기가 굽힘강도에 대해서는 AGMA규격에 의한 값이, 면압강도에 대해서는 Gleason규격에 의한 값이 크게 평가됨을 알 수 있다. 또한 사용용력대 계산용력을 대비하면 AGMA규격에 의한 Safety coefficient의 크기가 Gleason규격에 의한 크기보다 작으므로, AGMA규격쪽이 더 엄하게 강도를 평가하고 있음을 알 수 있다. 즉, AGMA규격의 사용용력을 기준으로 베벨기어를 설계하면 Gleason규격에서는 안전한 설계, 됨을 알 수 있다.

개발된 베벨기어의 강도평가 시스템을 이용하여, Fig. 4 및 Fig. 5 와 같은 제원을 입력하면 모든 베벨기어를 대상으로 강도평가를 수행한다.

## 5. 결론

본연구에서는 임의의 각도로 동력을 전달하는 데 사용되는 베벨기어(스트레이트, 제롬 및 스파이럴 베벨기어)를 대상으로 치차의 설계나 운전시 치차의 강도를 평가하기 위하여,

Item	Data
Shaft angle (degree)	90.00
Number of teeth on pinion	14
Number of teeth on gear	43
Diametral pitch (in <sup>-1</sup> )	4.23
Face width (in <sup>1</sup> )	1.57
Spiral angle	35.00
Hand of spiral on pinion*	left
Tooth taper	standard
AGMA quality	11
Shank diameter of pinion (in)	2.50
Bore diameter of gear (in)	3.00
Cutting process	face-milling*
Pressure angle (degree)	20.00
Cutter radius * (in)	4.50
Cutter edge radius, pinion(in)	0.02
Cutter edge radius, gear (in)	0.02

Note : The \* mark refers to zerol and spiral bevel gears.

Fig. 4 Bevel gear data for geometry calculation

신뢰도가 높은 AGMA 및 Gleason 규격을 이용하여 굽힘강도, 면압강도 및 스코어링강도를 평가하였으며, 각 강도평가방법에 따라 평가되는 강도나 서로 상이하게 고려되는 변수 및 성능인자들의 영향을 비교판단할 수 있는 강도평가 시스템을 개발하였다.

따라서 치차설계시 초기설계단계나 기본설계가 끝난 치차의 설계타당성 강도의 측면에서 재검토할 수 있으므로 보다 나은 설계를 행할 수 있게 되었으며, 설계가 완료된 치차의 강도평가 및 치차의 운전시에 있어서 유의해야 할 인자들도 일목요연하게 검토할 수 있게 되어 치차운전시 설계강도를 유지하기 위한 방안을 세우거나 치차장치의 강도상 트러블슈팅 등의 목적에 이용할 수 있다. 또한 강도평가 시스템은 퍼스널 컴퓨터상에서 간편하게 이용할 수 있도록 구성되어 치차설계의 자동화를 이룩하는데 유용하게 이용할 수 있다.

Item	Data
Application	general commercial
Driving member	pinion
Direction of rotation (driver)	clockwise
Character of load 1) prime mover 2) driven machine	uniform uniform
Load type	dynamic
Required total life 1) pinion (hours) 2) gear	87600.0 87600.0
Reliability requirement	fewer than one failure in 100
Mounting method 1) pinion 2) gear	overhung straddle
Speed of pinion (rpm)	1800.0
Design power (hp)	65.0
Maximum pinion torque (lbin)	3989.910
Lubricant	MIL-L-2105B
Crowned / non-crowned	crowned
Material 1) pinion 2) gear	steel steel
Heat treatment 1) pinion 2) gear	carburized & case hardened
Surface hardness 1) pinion (HRC) 2) gear	60.0 60.0
Pinion surface finish roughness (microinch)	60.0

Fig. 5 Bevel gear data for rating

## 참고 문헌

- (1) Dudley, D.W., 1984, Handbook of Practical Gear Design, McGraw-Hill.
- (2) 정태형, 변준형 1993, "원통치차의 강도평가 시스템 개발 연구", 대한기계학회논문집, 제7권, 제1호, pp. 112~119.
- (3) Trautshold, R., 1955, Gear Design and Production, Columbia Graphs.
- (4) ANSI/AGMA 2003-A86, 1988, Rating the Pitting and Bending Strength of Generated Straight Bevel, ZEROL Bevel, and Spiral Bevel Gear Teeth.
- (5) ANSI/AGMA 2005-B88, 1988, Design Manual For Bevel Gears.

- (6) Gleason Works, 1987, Bending Stresses in Bevel Gear Teeth.
- (7) Gleason Works, 1981, Surface Durability Pitting Formulas for Bevel Gear Teeth.
- (8) Gleason Works, 1977, Scoring Resistance of Bevel Gear Teeth.
- (9) Gleason Works, The Effect of Cutter Diameter on Spiral Bevel Tooth Proportions.
- (10) Gleason Works, Assembling Bevel and Hypoid Gears.
- (11) Gleason Works, Gear Dimension Sheet Explanation.
- (12) Gleason Works, 1980, Straight Bevel Gear Design.
- (13) Gleason Works, 1965, Zerol Bevel Gear System.
- (14) Gleason Works, Spiral Bevel Gear System.

Factor name	Bending		Contact		Scoring
	AGMA	Gleason	AGMA	Gleason	Gleason
External dynamic factor	1.000	.	1.000	.	.
Overload factor	.	1.000	.	1.000	.
Dynamic factor	0.960	1.000	0.960	1.000	.
Elastic coefficient	.	.	2290.604	2805.405	.
Stress adjustment constant	.	.	0.634	.	.
Size factor	1.000	0.697	1.000	1.000	.
Load distribution factor	1.828	1.000	1.828	1.000	.
Cutter radius factor	1.003	1.003	.	.	.
Load exponent	.	.	0.667	.	.
Crowning factor	.	.	1.500	.	.
Surface condition factor	.	.	1.000	1.000	.
Geometry factor, pinion	0.196	0.250	.	.	.
Geometry factor, gear	0.245	0.247	0.116	0.115	0.005950
Life factor, pinion	0.801	1.000	0.683	1.000	.
Life factor, gear	0.831	1.000	0.727	1.000	.
Temperature factor	1.000	1.000	1.000	1.000	.
Safety factor	1.000	1.000	1.000	1.000	.
Hardness ratio factor	.	.	1.000	1.000	.
Thermal constant	.	.	.	.	41
Load factor	.	.	.	.	1.000
Reliability factor	.	.	.	.	1.000

Fig. 6 Calculated factor values for the example

Item	Bending		Contact		Scoring
	AGMA	Gleason	AGMA	Gleason	Gleason
Allowable stress or index	70000.000	30000.000	225000.000	250000.000	650.000
Working stress or index	58173.422	30000.000	163612.047	250000.000	650.000
Calculated stress or index	35914.820	10418.520	128637.172	134634.810	306.625
Safety coefficient	1.620	2.879	1.272	1.857	2.120

NOTE : Stress unit is lb/in<sup>2</sup> and scoring index is °F.

Fig. 7 Rated stresses and scoring indexes