

ISO 6336에 따른 고속철도 차량용 감속기 기어 강도 평가

강지성*, 김상헌*, 박진규*, 이진호*, 최성수**

*한국산업기술시험원

**한국철도공사

e-mail:jisung58@ktl.re.kr

Evaluation of the Gear Strength of Reduction Gear for High Speed Train according to ISO 6336

Jisung Kang*, Sanghun Kim*, Jinkyu Park*, Jinho Lee*, Sungsoo Choi**

*Korea Testing Laboratory

**Korea Railroad

요약

고속철도 차량의 감속기는 헬리컬 기어 한 쌍이 맞물려 동력을 차축으로 전달한다. 본 논문은 감속기 기어가 고속철도 차량의 견인조건을 충족시키기 위해 충분한 강도를 확보했는지 ISO 6336에 따라 평가하고 있다. 기어의 강도평가는 면압강도의 안전계수(S_H) 및 이의 절손에 대한 안전계수(S_F)를 산출하여 최소안전계수 1.0을 초과하고 있는지 확인을 통해 이루어 졌으며 설계된 기어 프로파일 검토결과 면압강도와 이뿌리파손에 대한 안전계수가 적합함을 확인하였다.

1. 서론

최근 운행되고 있는 동력분산식 고속철도 차량(KTX-이음)의 요구 견인력은 226 kN을 상회한다. 이를 위해 차량의 동력계통은 견인전동기의 고(高)토크를 차륜으로 전달할 수 있어야 하며 차량의 내구연한동안 영구변형 또는 파손되지 않아야 한다. 특히 감속기 기어는 운행 중 치면손상, 이뿌리 절손 등 결함이 발생할 경우 안전에 중대한 영향을 미칠 수 있기 때문에 설계단계에서 여러 운행조건에 대한 기어 강도를 확보할 수 있도록 철저한 검증이 필요하다. 따라서 본 연구에서는 감속기 기어가 치면에 발생하는 면압과 이뿌리에 발생하는 굽힘 응력에 대해 충분한 강도를 지니고 있는지 ISO 6336에서 제시하는 방법으로 안전계수를 도출하고 평가하고자 한다. 기어의 안전계수는 KISSsoft 03-2017를 활용하여 도출하였다. 기어 치면 면압강도 및 이뿌리 굽힘 강도 계산에 사용된 기본 정보는 [표 1]과 같다.

[표 1] 감속기 헬리컬 기어 기본 정보

구분		조건	
		Gear 1	Gear 2
기어 잇수	z	40	86
압력 각	α	20°	
비틀림 각	β	17°	
치직각 모듈	m_n	5.75 mm	
중심거리	a	380 mm	
치폭	b	65 mm	65 mm

2. 헬리컬 기어의 안전계수 계산

설계된 기어가 내구연한동안 신뢰도를 가지기 위해서는 기어의 안전계수가 주의 깊게 결정되어야 한다. 안전계수의 상승은 기어 제작비용과도 연결되기 때문에 경제적, 기술적으로 적절한 안전계수의 선정이 중요하다.

2.1 면압 강도 안전계수(S_H) 계산

기어의 면압 강도 계산은 피치점이나 한 쌍 이물림의 최저 위치의 접촉응력(σ_H)에 기인한다. 접촉응력과 허용접촉응력(σ_{HP})은 피니언기어(drive gear)와 휠기어(driven gear)에 대해 각각 계산되어야 하며 σ_H 는 σ_{HP} 보다 작아야 한다. 접촉응력(σ_H)은 공칭접촉응력(σ_{H0}), 적용계수(K_A), 동하중계수(K_V), 치면하중계수($K_{H\alpha}$, $K_{H\beta}$)를 고려해 다음의 식(1)을 통해 계산하며, 허용접촉응력(σ_{HP})은 수명 계수(Z_{NT}), 윤활제 계수(Z_L), 거칠기 계수(Z_R), 속도계수(Z_V), 경화계수(Z_W), 치수효과계수(Z_X)를 고려해 식(2)와 같이 계산할 수 있다.

$$\sigma_{H1,2} = \sigma_{H0} \sqrt{K_A K_V K_{H\beta} K_{H\alpha}} \dots\dots\dots (1)$$

$$\sigma_{HP} = \frac{\sigma_{Hlim} Z_{NT}}{S_{Hlim}} Z_L Z_V Z_R Z_W Z_X \dots\dots\dots (2)$$

계산된 헬리컬 기어의 접촉응력($\sigma_{H1,2}$)와 허용접촉응력($\sigma_{HP1,2}$)

은 [표 2]와 같다.

[표 2] 헬리컬 기어 접촉응력 및 허용접촉응력

구분		계산 결과(N/mm ²)	
		Gear 1	Gear 2
접촉응력	σ_H	1038.92	1038.92
허용접촉응력	σ_{HP}	1255.94	1285.77

위의 계산 결과에 따라 면압 강도 안전계수(S_H)를 구하면 피니언기어에 대한 안전계수(S_{H1})은 1.21, 월기어에 대한 안전계수(S_{H2})는 1.24가 된다. 전달 토크에 대한 면압 강도 안전계수는 피니언기어(S_{H1}^2) 1.46, 월기어(S_{H2}^2) 1.53이 된다.

2.2 이뿌리 굽힘 강도 안전계수(S_F) 계산

이뿌리 굽힘 강도를 평가하기 위해 이뿌리 치면의 최대 인장 응력을 뜻하는 이뿌리 굽힘 응력(σ_F)과 이뿌리 굽힘 응력 한도(σ_{FG}), 이뿌리 굽힘 허용 응력(σ_{FP})을 알아야 한다. 이는 식(3), (4), (5)를 통해 산출이 가능하다.

$$\sigma_F = \sigma_{F0} K_A K_V K_{F\beta} K_{F\alpha} \dots\dots\dots (3)$$

$$\sigma_{FP} = \frac{\sigma_{FG}}{S_{Flim}} \dots\dots\dots (4)$$

$$\sigma_{FG} = \sigma_{Flim} Y_{ST} Y_{NT} Y_{\delta rel T} Y_{R rel T} Y_X \dots\dots\dots (5)$$

계산된 이뿌리 굽힘 응력(σ_F), 이뿌리 굽힘 응력 한도(σ_{FG}), 및 이뿌리 굽힘 허용 응력(σ_{FP})은 [표 3]과 같다.

[표 2] 헬리컬 기어 접촉응력 및 허용접촉응력

구분		계산 결과(N/mm ²)	
		Gear 1	Gear 2
이뿌리 굽힘 응력	σ_F	622.99	521.41
이뿌리 굽힘 허용 응력	σ_{FP}	563.54	577.84
이뿌리 굽힘 응력 한도	σ_{FG}	788.96	808.96

따라서 피니언기어의 이뿌리 굽힘 강도 안전계수(S_{F1})는 식 (6)에 따라 1.27, 월 기어의 안전계수(S_{F2})는 1.55로 도출된다.

$$S_F = \frac{\sigma_{FG}}{\sigma_F} \dots\dots\dots (4)$$

3. 결론

본 논문에서는 고속철도 차량용 감속기에 적용되는 헬리컬 기어의 면압 강도 안전계수와 이뿌리 굽힘 강도 안전계수 계산을 통해 기어 강도 설계에 대한 적합성을 평가하고자 하였다. 면압에 대한 강도는 피니언기어의 안전계수 1.21, 월기어 안전계수가 1.24로 설계목표 안전계수(S_{Hmin}) 1.0을 넘겨 적합한 것으로 확인되었으며 이뿌리 굽힘 강도는 피니언기어의 안전계수가 1.27, 월기어 안전계수 1.55로 설계목표(S_{Fmin}) 1.2를 상회하여 적합하다고 할 수 있다. 다만 피니언기어의 이뿌리 굽힘 강도의 경우 굽힘모멘트 암(h_{FE})을 줄이거나 이뿌리 현 두께(S_{Fn})를 늘려 치형계수(Y_F)를 작게 한다면 공칭 이뿌리 굽힘 응력(σ_{F0})이 높아져 안전계수가 올라갈 수 있다. 안전계수는 기어가 부하를 받으며 사이클이 반복될수록 작아질 수 있다. 다시 말해, 사이클이 반복될수록 기어의 고장확률은 늘어날 것이며 요구되는 수명에 대해 적합한 강도를 유지할 수 있을지 추가적인 검토가 필요하다.

후 기

본 연구는 국토교통부 철도기술연구사업의 일환으로 국토교통과학기술진흥원의 연구비 지원(21RTRP-B148104-04)으로 수행되었습니다.

참고문헌

- [1] ISO 6336-1:2006 “CALCULATION OF LOAD CAPACITY OF SPUR AND HELICAL GEARS – PART 1: BASIC PRINCIPLES, INTRODUCTION AND GENERAL INFLUENCE FACTORS”
- [2] ISO 6336-2:2006 “CALCULATION OF LOAD CAPACITY OF SPUR AND HELICAL GEARS – PART 2: CALCULATION OF SURFACE DURABILITY (PITTING)”
- [3] ISO 6336-3:2008 “CALCULATION OF LOAD CAPACITY OF SPUR AND HELICAL GEARS – PART 3: CALCULATION OF TOOTH BENDING STRENGTH”
- [3] ISO 6336-5:2016 “CALCULATION OF LOAD CAPACITY OF SPUR AND HELICAL GEARS – PART 5: STRENGTH AND QUALITY OF MATERIALS”