독자모델 감속구동장치 토크암의 구조해석 및 하중시험에 관한 연구

Structure Analysis and Loading Test of Torque arm for Driving Gear Unit of Unique Model

차수덕* 최진욱** 유재일*** 이민수****
Cha, Soo-Deok Choi, Jin-Wook Yu, Jai-Il Lee, Min-Soo

ABSTRACT

This paper describes the result of structure analysis and load test of torque arm for driving gear unit. The purpose of the analysis and test is to evaluate an safety which torque arm shall be considered fully sufficient rigidity so as to satisfy proper system function under maximum load. Driving gear unit consist of gearbox and torque arm. Both components, torque arm is significant component subjected to the vehicle and motor loads. The evaluation methode is used the FEM analysis, static and fatigue test. The test results have been very safety and stable for design load conditions.

1. 서 론

철도차량 주행장치인 대차용 감속구동장치의 토크 암은 전동기의 동력을 차량의 최적 운전 조건으로 변경하여 차륜에 전달하는 역할을 하는 주요 구성품으로 구동장치와 대차를 연결해주는 유일한 부품으로서 주행성, 승차감, 차체의 수명 및 차량 안정성에 영향을 끼치는 핵심부품이다. 감속구동장치는 크게 기어박스와 토크 암 등으로 구성되며, 토크암의 하중조건도 정적 및 동적하중이 복합적으로 작용하고 있어, 차륜으로부터 발생하는 하중 및 모터에서 발생하는 하중을 받고 있다. 본 연구에서는 구동장치의 주요구성품인 토크암에 대하여 먼저 구조해석을 실시한 후 이를 바탕으로 하중시험을 통해 강도를 확인하여 토크암의 구조 안정성을 평가하고자 한다. 구조해석에 적용된 하중조건은 최근 제작된 구동장치에 작용하는 하중조건을 기준을 적용하였으며, 하중시험은 구조해석 결과를 참고하여 각 하중조건에서 높은 응력이 예상되는 부위에 스트레인게이지를 부착하여 성능시험을 수행하였다.

2. 토크암의 구조해석

2.1 해석모델

본 해석은 토크 암에 대하여 유한요소법을 사용하였으며, FE Mesh는 GS-Mesher를 사용하여

* 다이모스(주) 기술연구소 선임연구원, 정회원
** 다이모스(주) 기술연구소 선임연구원, 비회원
*** 다이모스(주) 기술연구소 주임연구원, 비회원
**** 다이모스(주) 기술연구소 연구원, 비회원

총 15214개의 Tetra10 Solid Element로 Modeling 하였고, Pre/Post-processing은 MSC Patran을 Solver는 MSC Nastran을 사용하였다. 해석모델은 그림 1과 같다.

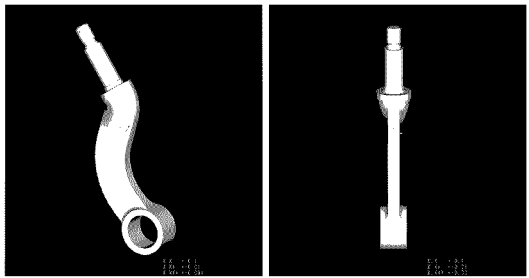

그림 1. 토크 암의 구조해석 모델

2.2 하중조건

대차용 감속구동장치 토크 암 재질(SCM440H)의 기계적 성질은 표1과 같으며, 감속구동장치 토크 암에 작용하는 하중은 그림2와 같다.

표 1. 토크 암 재질의 기계적 성질

항복강도	피로강도	인장강도
988.7 N/㎟	395 N/㎟	1,089 N/㎟

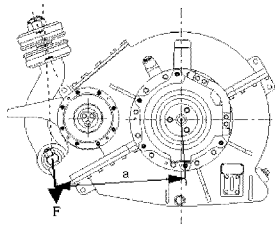

그림 2. 토크 암에 작용하는 하중

여기서,

Axle Center ~ Torque Link Mounting(lower) ; a = 0.521 m

Gear Ratio ; i = 7.071

C.G of G/B ~ Axle Center ; d = 0.095 m

Max. Acceleration in Gravity term ; G_t = 50.

토크 암에 작용하는 하중은 다음과 같이 계산된다.

① 단발 하중

i) Short Circuit : from Pinion

T_{sh} = 9,559 Nm

$F_{sh} = (T_{sh}/a) \times (1+i) = (9{,}559 \text{ Nm} / 0.521) \times (1 + 7.071) = 148{,}081.9 \text{ N}$

② 빈발 하중

i) Max. Traction Torque : from Pinion

T_W = 1,593 Nm

$F_{tr} = (1{,}593 \text{ Nm} / 0.521) \times (1 + 7.071) = 24{,}677.7 \text{ N}$

ii) Slip Torque : from Wheel

T_{sp} = 22,273 Nm

$F_{sp} = (T_{sh}/a) \times (1 + 1/i) = (22{,}273 \text{ Nm} / 0.521) \times (1 + 1/7.071) = 48{,}796.4 \text{ N}$

iii) Torque caused by Weight

W = 22,273 Nm

$F_w = G_f \times W \times d / a = 50 \times 4{,}390.4 \text{ N} \times 0.095 / 0.521 = 40{,}024 \text{ N}$

단발 최대 하중은 Short Circuit Condition을 택하였으며, 빈발 하중으로 취급한 Max. Traction Torque, Slip Torque 및 Weight(50G) 중 가장 큰 Slip Torque를 피로 상당 하중으로 채택하였다.

2.3 판정기준

토크 암의 강도는 표1의 토크 암 재질의 항복강도이하 이어야 한다.

2.4 토크 암의 구조해석 결과

각 하중조건별 응력분포는 표2와 같으며 그림 3~6에서 보여주고 있다. 정하중에 대해서는 가장 큰 하중인 Short Circuit 조건에 해당하는 Torque를 부과하였으며, 이에 대해 1.65의 안전율을 갖는 것으로 계산되었다. 따라서, 운전 중 발생할 수 있는 최대 크기의 정하중에 대해 안전한 것으로 볼 수 있다.

피로 하중에 대해서는, 단발성 최대 하중이 아닌 빈발성 최대 하중으로 Slip Torque에 대해 계산하였으며 이에 대해 1.99의 안전율을 보였다. 따라서, 운전 중 발생할 수 있는 빈발 최대 하중에 대해 충분한 수준의 강성을 확보 한 것으로 볼 수 있다.

표 2. 하중조건별 최대응력

No.	하중조건	최대응력	허용응력	재질
1	정하중(인장)	597.8 N/㎟	988.7 N/㎟	SCM440H
2	정하중(압축)	212.7 N/㎟	988.7 N/㎟	
3	피로하중(인장)	198 N/㎟	395 N/㎟	
4	피로하중(압축)	158.8 N/㎟	395 N/㎟	

그림 3. 정하중(인장)

그림 4. 정하중(압축)

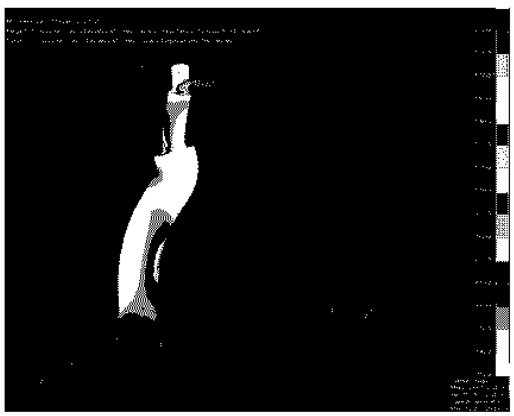

그림 5. 피로하중(인장)

그림 6. 피로하중(압축)

3. 토크암의 하중시험

토크 암의 구조해석 결과를 참고하여 각 하중조건에서 높은 응력이 예상되는 부위와 형상변화 등에 의한 응력 집중이 예상되는 부위에 스트레인 게이지를 부착하여 정하중 및 피로하중을 측정하였다.

3.1 시험장치 및 지그구성

시험에 사용되는 시험기는 INSTRO사의 유압식 피로시험기로써 최대하중은 40ton이며 스트로크는 25 Hz에서 ±10mm이고, 10Hz에서는 ±1mm이다. 시험품인 토크 암은 7 ton일 경우 1.5mm의 변위가 발생하고 피로시험을 할 경우에는 최대 15ton의 하중이 부가되어야 하므로 이때의 변위는 약 4mm 정도까지의 변위가 발생한다. 따라서 지그의 변위까지 합쳐지면 변위가 더 크게 발생하므로 시험에 사용되는 지그는 변위가 최대한 작도록 설계되어야 한다. 변위를 최대한 제한하기 위하여 하단 장착 부위 지지판을 크게하여 강성을 크게 설계하였다. 실제차량에서 토크 암 조립시 상부 체결부위 볼트 토크는 80~90 kgf·m 으로 지시한다. 따라서 지그 조립시에도 이와 동일하게 구성하였다.

3.2 시험방법

정하중 시험은 토크 암에 발생하는 응력분포와 최대응력, 발생부위를 파악하기 위한 것으로 구조해석을 통하여 최대응력이 발생한 부위에 게이지를 그림 7과 같이 부착하였다. 하중시험은 그림 8과 같이 수행되었다. 최대응력이 발생하는 부위는 그림에서와 같이 토크 암의 윗부와 라운드 부위으로, 윗부분에는 4개(1-4번 게이지), 아랫부분은 2개(5-6번 게이지)의 단축게이지를 각각부착하였다. 부가하중은 측정부위 응력이 탄성범위 이내가 되도록 하였고, 선형성을 파악하기 위하여 3, 6, 9, 12 ton으로 단계적으로 하중을 부가한다. 피로시험은 slip torque로부터 구해진 반복하중을 토크 암에 적용하여 피로시험을 실시 한다. 동하중을 0~ 5ton까지 반복하중을 주었으며, 반복부하속도는 토크 암의 변위가 크므로 5Hz로 준다. 비파괴 반복하중횟수는 $N=2\times10^6$ 로 하며, 손상 및 파손이 발생하는지를 판단한다.

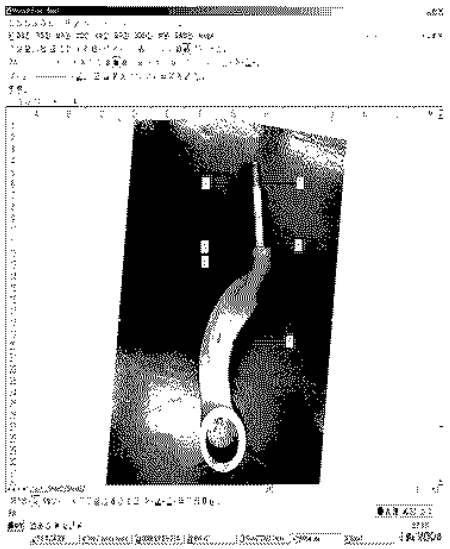

그림 7. 게이지 부착위치

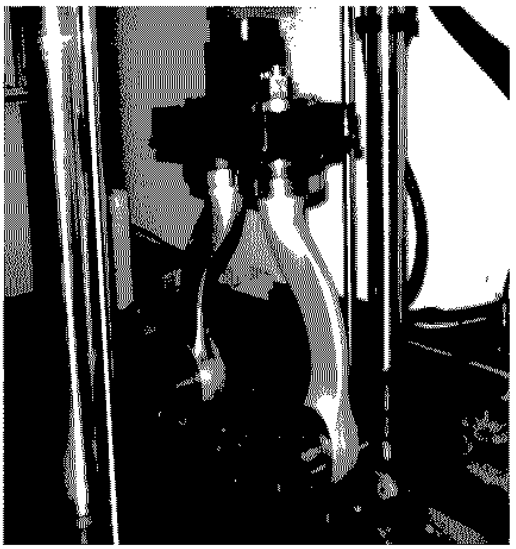

그림 8. 하중시험

4. 결 론

철도차량 주행장치인 대차용 감속구동장치의 토크 암에 대하여 구조해석을 수행한 결과는 다음과 같다.

구조해석결과 최대응력은 정하중(인장)시 윗부에서 최대응력 597.8 N/㎟ 작용하였으며, 안전률은 재질의 허용응력 대비 1.65 나타내고 있다. 피로하중(인장)시 윗부에서 최대응력 198 N/㎟ 작용하였으며, 안전률은 재질의 피로허용응력 대비 1.99 나타내고 있으므로 충분히 안전하다고 볼 수 있다. 정 하중 및 피로 하중 시험은 시험장비 여건상 최대응력을 나타내고 있는 인장을 적용하지 못하고 압축 조건을 적용하므로써 제품의 안정을 판단한다.

참고 문헌

1. 건설교통부(2000년), "도시철도용품 품질시험 기준" 전동차용 구동장치.
2. 한국DTS(주)(2001년), "고속전철 대차용 감속구동장치 개발 연차보고서", 건설교통부.
3. 차수덕외 2명(2003년), "한국형 고속전철 감속구동장치 개발 및 성과", 한국철도공학회.
4. 윤성철외 4명(2004년), "대차틀의 구조해석 및 하중시험에 관한 연구", 한국철도공학회.