

굴절차량의 감속구동장치 연구개발 성과

Development of Design method and Evaluation technology for Driving Gear Unit of Articulated Vehicles

이민수* 김태형* 김진완** 김용기***
Lee, Min-Soo Kim, Tea-Hyung Kim, Jin-Wan Kim, Yong-Kee

ABSTRACT

This study is to establish design method and evaluation technology for drive system appropriate to articulated vehicles. The transmission system of articulated vehicles serves in the other condition compared with those of commercial vehicles, namely, they have to transmit high power to run and they have to make maximum use of the limited space. This paper reports the reviews and results of the design and evaluation method for driving gear unit of articulated vehicles and discusses various design items and methods about assembly and parts of driving gear unit.

1. 서 론

굴절차량용 감속구동장치는 전동기에 발생하는 동력을 구동축을 통해 바퀴(wheel)에 전달하는 역할을 하며 차량의 주행성능, 안전성, 승차감등에 영향을 미치는 핵심부품이다. 감속구동장치는 속도범위가 넓고, 구동 중에 장치에 가해지는 토크가 크기 때문에 사용 속도범위에서 공진을 피하고 충격하중에 대한 강도를 충분히 갖도록 설계해야만 한다. 본 연구는 굴절차량용 감속구동장치 개발에 필요한 품질 및 내구성, 신뢰성을 확보하기 위한 항목 및 설계 방안을 제안하고, 기술 검토를 통하여 굴절차량의 요구 성능에 만족하는 최적화 설계기술을 확보하는 데 그 목적이 있다. 본 연구에서는 감속기 케이스 구조해석을 통한 강도측면과 변위를 해석하였으며 주요부품인 기어 및 축에 대해서는 강도 및 변위를 통한 시스템 안정성을 검증하였다.

2. 감속구동장치 케이스 구조해석

감속구동장치 케이스는 하우징과 COVER로 구성되어 있으며, 케이스는 볼트로 고정된다. 감속기 케이스의 기하학적 모델은 CATIA V5를 이용하여 3차원 모델로 구성하였으며 이는 그림1과 같다. 기하학적 모델은 MSC PATRAN 2003으로 넘겨져서 요소분할을 하여 유한요소 모델을 생성하였다. 사용한 요소는 10절점을 갖는 사면체 요소이며, 전체모델은 902,996 Nodes, 563,906 Element로 구성되어 있다. 유한요소 모델링은 그림2에서 보여준다. 표 1은 케이스 소재 물성치를 나타낸다.

해석은 응력 및 변위 두 가지에 대해 수행하였다. 응력해석에 있어서 고려한 하중 조건은

* 다이모스(주) 기술연구소 주임연구원, 비회원
E-mail : mslee@dymos.co.kr
TEL : (031)369-5088 FAX : (031)369-5012
** 다이모스(주) 기술연구소 선임연구원, 비회원
*** 다이모스(주) 기술연구소 수석연구원, 비회원

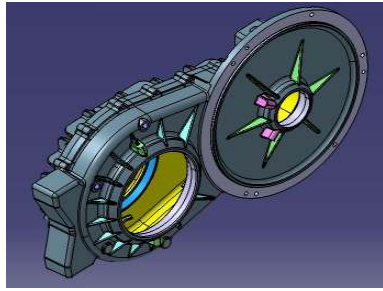


그림 1 감속구동장치 3D 모델



그림 2 감속구동장치 유한요소 모델링

표 1 케이스 소재 물성 치

FCD400-18	Young's Modulus	Poisson's Ratio	Tensile Strength, Ultimate	Tensile Strength, Yield
	16300 kgf/mm ²	0.3	40.8 kgf/mm ²	25.5 kgf/mm ²

베어링 반력에 의한 하중이며, Romax Designer S/W로 계산을 수행하였다. 베어링 반력에 의한 하중은 표 2와 그림 3, 4에서 보여준다.

표 2 베어링 반력

Bearings	FORCE(N)			MOMENT(Nm)		
	X	Y	Z	X	Y	Z
INPUT LH TAPER BRG	-8.44E+02	-6.59E+03	-2092.9	69.8	-8.61	0
INPUT RH TAPER BRG	-3.85E+03	-4.26E+03	8383.4	-61.3	34.98	0
INTER.SHAFT LH ROLLER BRG	1.14E+04	2.05E+04	-0.1	12.19	-11.32	0
INTER.SHAFT RH ROLLER BRG	-1.78E+04	1.96E+04	-0.5	-6.22	-10.66	0
OUTPUT LH TAPER BRG	2.71E+04	-5.78E+03	-1.77E+04	349.80	8.69E+02	0
OUTPUT RH TAPER BRG	-1.61E+04	-2.34E+04	9873.7	-738.73	506.26	0

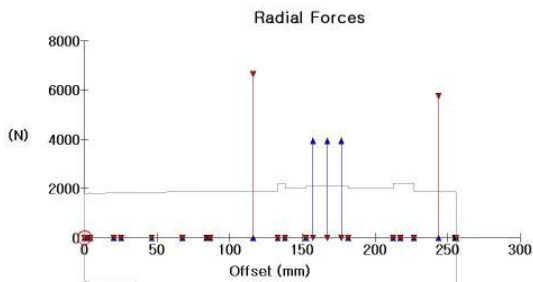


그림 3 Input LH Force(Y축)

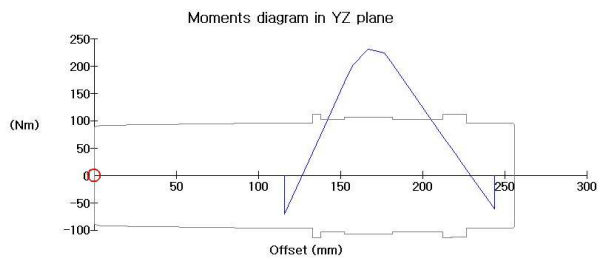


그림 4 Input Moment(YZ축)

해석결과는 표 3과 그림 5, 6에서 보여주고 있으며, 해석결과 충분한 안전율을 가지고 있다.

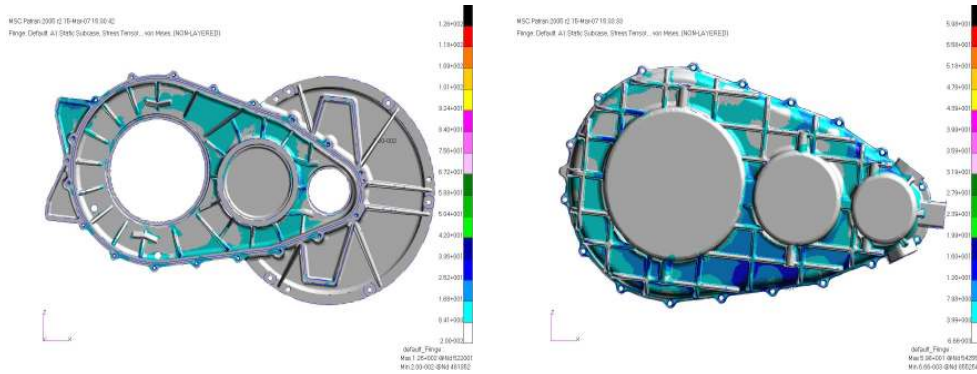


그림 5 MAX. VON MISES STRESS(왼쪽부터; 하우징, COVER)

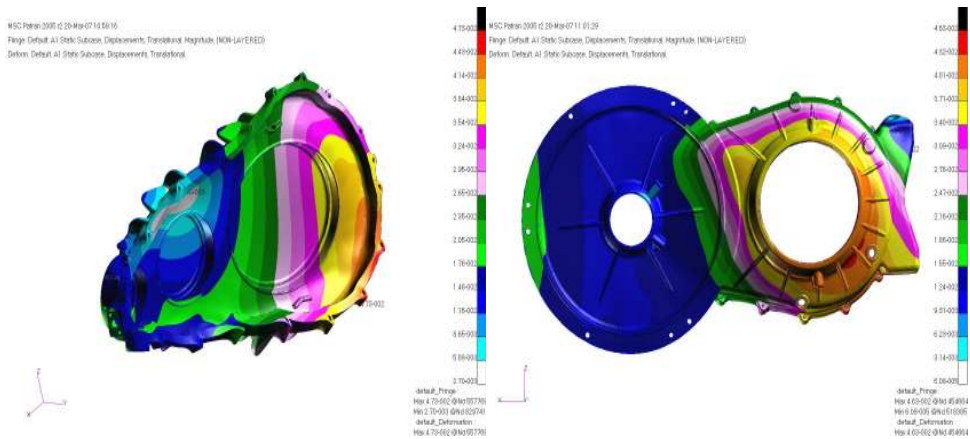


그림 6 최대하중에 대한 변형 량(왼쪽부터; 하우징, COVER)

표 3 구조해석 결과

항 목	케이스	케이스 COVER
최대응력(MPa)	126	72.5
안전률	1.98	3.45
최대변위(mm)	0.046	0.047

3. 기어 내구성 검토

기어 강도 검토는 굽힘강도(Bending Strength), 면압강도(Pitting Resistance)를 고려하고, 강도 계산에 영향을 미치는 제 인자들을 고려한다. 강도평가를 위한 각종 계수와 평가방법, 실험 결과 등이 잘 반영되어 있다고 평가되는 AGMA규격 DIN규격을 토대로 하여 Romax Designer S/W 로 검증하였다. 그림 7는 Romax Designer S/W를 사용하여 구성한 감속기 시스템 레이아웃을 보여주고 있다. 표 4에서는 주요기어에 대한 제원을 나타내고 있다.

표 4 기어 주요 제원

항 목	GEAR SET 1		GEAR SET 2	
	INPUT	INTER.1	INTER.2	OUTPUT
잇 수	31	119	33	124
모 들	2		3	
압력각(°)	20		20	
헬리컬각(°)	30		15	
치폭(mm)	29	25.2	44	40
치선경(mm)	76.475	279.7	108.5	391.5
치저경(mm)	67.403	270.619	94.992	378.01

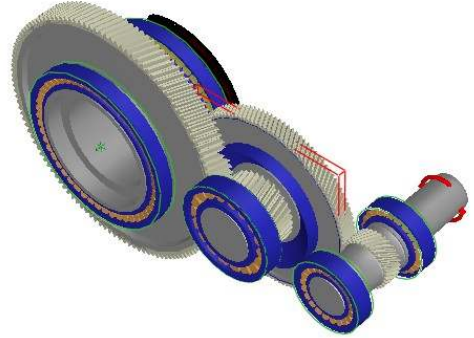


그림 7 시스템 레이아웃

전달 접선 력에 의한 계산 응력과 허용 응력과의 비를 안전율이라 할 때 기어의 설계 안전율은 표 5 과 같다.

표 5 기어 안전율

GEAR	면압강도 안전율	굽힘강도 안전율
OUTPUT GEAR	1.567	1.413
INTER2	1.418	1.374
INTER1	1.432	1.211
INPUT GEAR	1.294	1.594

Gear mesh misalignment는 샤프트, 베어링 하우징 움직임에 의한 기어축의 총 변위 량이다. 하우징은 고정되어 있는 베어링의 변형에 영향을 미치는데 이로 인해 기어 열의 치합을 불균형 하게 만드는데, 이 하우징과 베어링의 상호작용을 하우징 stiffness 값으로 표현한다. 기어에 작용 하는 하중이 커짐에 따라 gear mesh misalignment량은 커진다. 차량의 운전상태가 다양한 하중 과 속도조건을 가지므로 전체 misalignment량을 줄이는 방향으로 치형 수정을 실시하였다. 치형 수정 전 기어 전달오차(transmission error), 기어 치에 걸리는 면압응력 분포는 그림 8, 9에 나타 내었다.

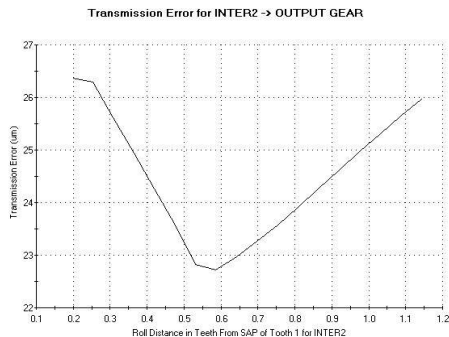


그림 8 기어전달오차(수정 전)

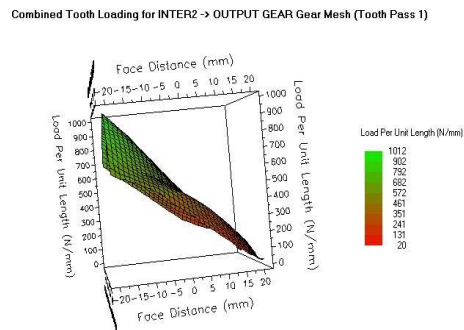


그림 9 면압응력 분포(수정 전)

치형 수정을 통해 기어 전달오차 값을 줄였으며, 기어 치의 끝 부분에 최대하중이 걸리지 않도록 하여 기어 치 전체에 고르게 하중이 걸릴 수 있도록 설계하였다. 치형 수정한 결과를 그림

10, 11에서 보여주고 있다.

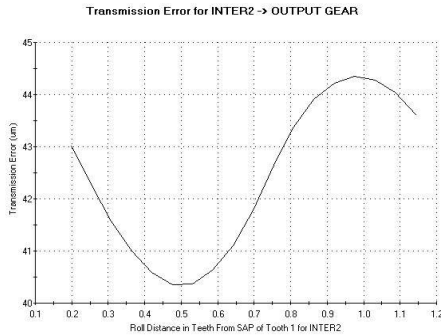


그림 10 기어전달오차(수정 전)

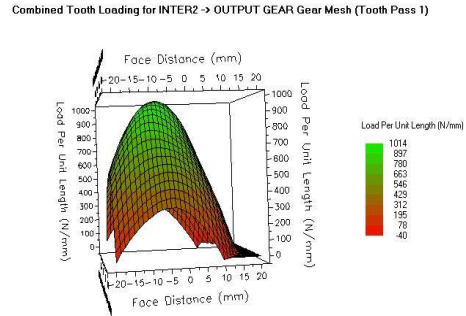


그림 11 면압응력 분포(수정 전)

4. 축 내구성 검토

축 설계하는 방법으로는 응력을 이용하는 방법, 비틀림 강성을 이용하는 방법, 그리고 주축의 처짐을 이용하는 방법이 있으나 동력전달의 감속 축에 대해서는 주축의 처짐이나 비틀림 강성에 이용한 계산방법이 가장 많이 이용되고 있다. 입력 축에 대해서만 강도 및 처짐 량을 검토하였다.

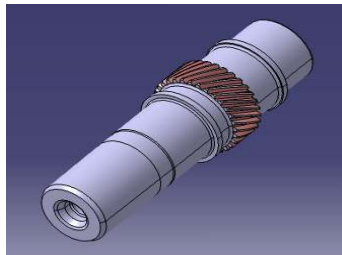


그림 12 입력 축 3D 모델

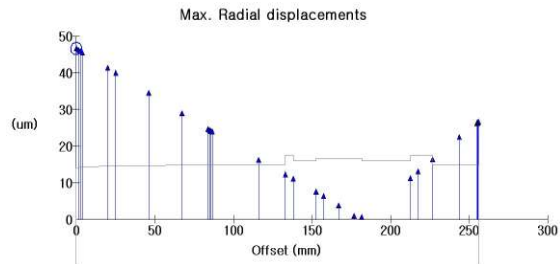


그림 13 Max. Radial Displacements

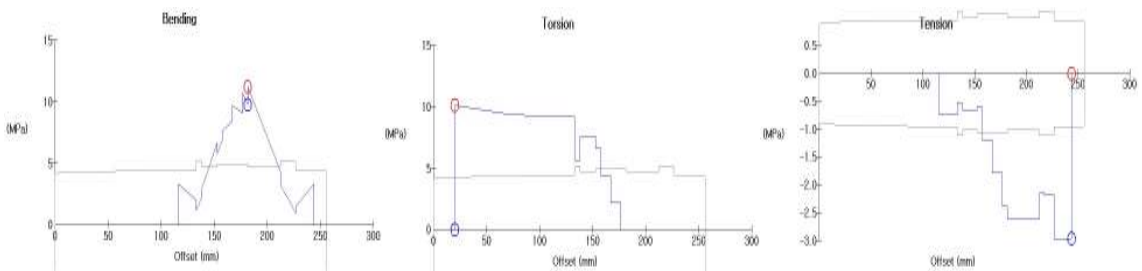


그림 14 축에 작용하는 하중(왼쪽부터; Bending, Torsion, Tension)

위 결과에서 볼 수 있듯이 처짐 량은 모든 축에서 $47\mu\text{m}$ 이하로 나타났으며, 굽힘은 재료의 항복 강도에 비해 작은 값이므로 설계한 축에 대해서는 충분히 안전하다고 판단된다.

5. 베어링 수명

감속 구동장치의 베어링은 주로 원통 롤러 베어링과 테이퍼 롤러 베어링이 사용된다. 원통 롤러의 경우 주로 반경방향의 하중만이 주로 작용될 때 사용되며 설치 해체가 용이하고 베어링 내

부를 상세히 점검할 수 있어 보수도 용이하다. 또한 온도변화에 의한 신축, 설치오차에 대한 축과 하우징의 축 방향 위치 어긋남 등에 의한 무리한 하중을 피할 수 있다. 테이퍼 롤러 베어링의 경우 축 하중과 반경방향의 하중이 동시에 작용할 때 많이 사용된다. 또한 베어링의 주변의 구조가 간결하고 내·외륜을 쉽게 분리할 수 있어 케도면의 점검이 용이하나 클리어런스(clearance)의 조정이 필요하다. 굴절차량용 감속구동장치에는 원통 롤러베어링과 테이퍼 롤러베어링이 적용되었다. 일반적인 베어링 수명 판정을 위해 ISO Life에 의한 수명 판정과 병행해서 베어링의 misalignment를 고려한 Romax Adjusted Life를 검토했다. 적용한 베어링 종류 및 사양은 표 6과 같다.

표 6 베어링 사양

위 치	종 류	SIZE (mm)			비 고
		내경	외경	폭	
INPUT LH	32212J	60	110	29	테이퍼 롤러 베어링
INPUT RH					
INTER.SHAFT LH	NJ1022	110	170	28	원통 롤러 베어링
INTER.SHAFT RH	NJ217ET2X	85	150	28	
OUTPUT LH	L540049/L540010	196	254	28	테이퍼 롤러 베어링
OUTPUT RH					

베어링의 예상 수명과 damage는 그림 15, 16에서 보여주고 있으며, 테이퍼 롤러 베어링에 대한 PRE-LOAD에 따른 베어링수명을 그림 17에 나타내었다.

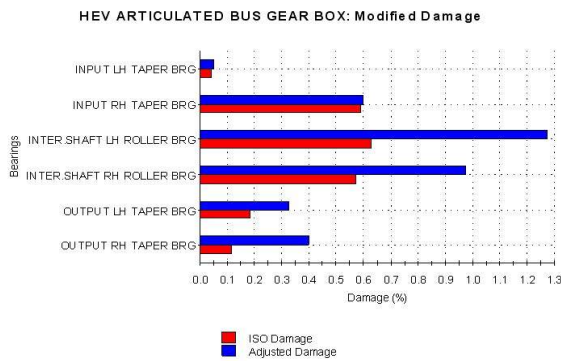


그림 15 베어링 damage

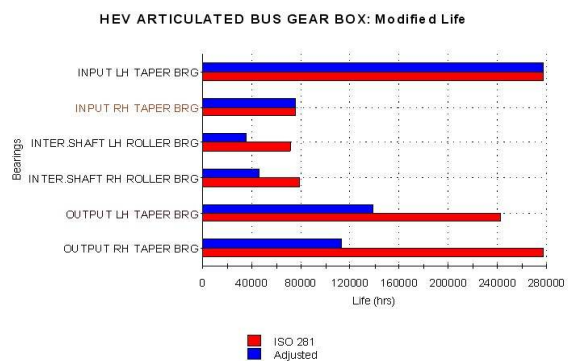


그림 16 베어링 예상수명

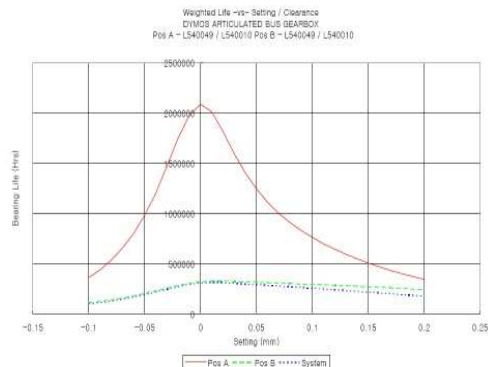
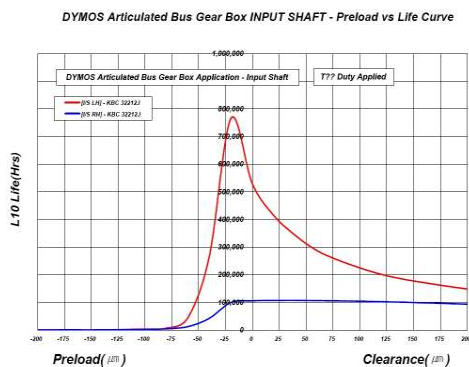


그림 17 Pre-load에 따른 베어링 수명(외쪽부터; Input베어링, Output베어링)

베어링 수명검토를 수행한 결과 모든 베어링이 주어진 하중 조건에 대해 충분한 내구 수명을 확보하고 있음을 알 수 있다.

6. 결 론

굴절차량용 감속구동장치를 개발하기 위한 중요 구성 품들에 대해 본문내용과 같이 구조해석 등을 통하여 상세 설계과정을 완료하였다.

1. 운행 조건을 고려한 베어링 하중이 적용된 감속구동장치 케이스 구조해석 결과 응력 및 변위에 대해 안전한 것으로 계산되었다.
2. 기어 설계 안전율은 굽힘강도 및 면압강도를 고려하여 AGMA규격 DIN규격을 토대로 계산한 결과 안전율 1.0이상으로 안전한 것으로 계산되었다.
3. 축 설계 시 응력을 이용하는 방법, 비틀림 강성 및 처짐을 검토한 결과 충분히 안전한 결과를 얻었다.
4. 베어링의 수명검토 결과 모든 베어링이 주어진 하중 조건에 대해 충분한 내구 수명을 확보하고 있다.

이상과 같이 이론 및 각종 해석 프로그램들을 통해 굴절차량에 적합하도록 안전성 및 신뢰성을 검증하였으며 향후 개발완료 후 성능시험 결과와의 비교 검토가 수행될 계획이다.

후기

본 연구는 2007년 건설교통부/한국철도기술연구원/국가교통핵심기술개발사업인 “신에너지 Bimodal 저상굴절 차량의 추진시스템 개발”의 일환으로 수행된 연구결과의 일부이다.

참고문헌

1. “철강편람(Ⅲ)”, 일본기계학회編, 현영창譯, 도서출판 세화, 1991
2. S. Suresh, “Fatigue of materials”, Cambridge University Press, 1991
3. "Romax Designer Manual", 한국화상기술, 1998
4. AGMA 2101-C95 "Fundamental Rating Factors and Calculation Methods for Involute Spur and Helical Gear Teeth"
5. 배찬권의 3명(2004년), “틸팅차량용 감속구동장치 연구개발 성과”, 한국철도공학회.
6. 김용기의 3명(2005년), “중고속 감속구동장치 개발 및 성능평가”, 한국철도공학회.