

파워스티어링용 유압펌프의 일체형 풀리 개발 Development of Monolith Type Driving Pulley of Power Steering Hydraulic Pump

이 춘 태
C. T. Lee

Key Words : Power Steering(동력조향), Pump Pulley(펌프풀리), Stress Analysis(응력해석), FEM Analysis(유한요소해석), Monolith Type(일체형)

Abstract: Most power steering systems work by using a hydraulic system to turn the vehicle's wheels. The pressure is usually provided by a hydraulic pump driven by the vehicle's engine. A double-acting hydraulic cylinder applies a force to the steering gear, which in turn applies a torque to the steering axis of the road wheels. The flow to the cylinder is controlled by valves operated by the steering wheel ; the more torque the driver applies to the steering wheel and the shaft it is attached to, the more fluid the valves allow through to the cylinder, and so the more force is applied to steer the wheels in the appropriate direction. Since the pumps employed are of the positive displacement type, the flow rate they deliver is directly proportional to the speed of the engine. And for a long time, the type of hydraulic pump pulley was boss welding type. But recently, monolith type driving pulley is widely used. Therefore in this paper we studied the safety of monolith type driving pulley to the extracting force and endurance by FEM analysis and experiments

1. 서 론

조향장치(steering system)는 자동차의 진행방향을 운전자가 의도하는 바에 따라 임의로 바꿀 때 조작되는 모든 장치들로, 조향핸들을 돌려서 바퀴의 각도를 바꾸어 자동차의 진행방향을 바꿀 수 있도록 한 것이다. 기계적 조향시스템은 핸들의 조작력이 크게 되고 신속한 조향 조작이 어려워, 가볍고 신속한 조향 조작을 하기 위해 동력조향장치를 사용하며, 동력조향장치는 차량의 엔진으로 유압펌프를 구동하여 발생한 유압을 조향장치 중간에 설치된 조향장치용 유압실린더(power cylinder)로 보내서 유압에 의해 핸들의 조작력을 가볍게 한 것이 동력조향장치(power steering system)이다. 동력조향장치용 유압

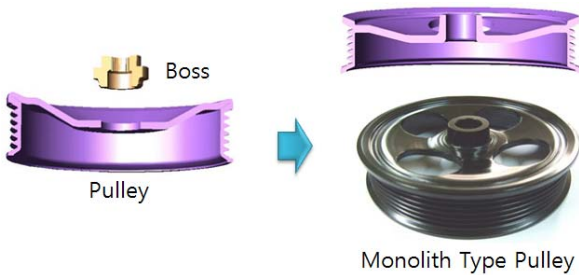
펌프는 동력조향장치의 중요부품으로 엔진과 연결된 벨트에 의해 구동되며 동력조향장치의 실린더에 고압의 유압을 공급하여 주므로 핸들 조작으로 생기는 부하압력의 변화에 민감하게 대응하여 저속에서는 핸들 조작을 유연하게 하며 고속에서도 안전성이 보장된다. 따라서 차량의 대형화와 엔진의 고성능화로 고출력에 대한 내구성을 지니며 운전자의 부담 없이 핸들조작이 용이한 동력조향장치용 유압펌프의 개발이 활발히 진행되고 있다. 이러한 동력조향장치용 유압펌프를 Fig. 1에 나타내었다.



Fig. 1 Power steering hydraulic pump

접수일 : 2010년 8월 10일
수정일(1차) : 2010년 8월 17일
게재확정일 : 2010년 8월 21일
이춘태(책임저자) : 신라대학교 자동차기계공학과
E-mail : charity@silla.ac.kr, Tel : 051-999-5468

동력조향장치용 유압펌프의 부품 중 엔진의 동력을 전달하는 구동폴리(driving pulley)는 대부분의 국내의 업체에서 구동폴리와 보스(boss)를 별도로 가공, 용접하여 펌프구동축과 조립하는 용접형을 사용하고 있으나 최근, 해외를 중심으로 Fig. 2에서와 같이 구동폴리를 보스와 일체형으로 가공하여 펌프 구동축과 조립하는 일체형 구동폴리에 대한 연구가 활발히 진행 중에 있다. 기존의 제작방법은 압입형의 일체형 폴리에 비하여 재료비 상승, 보스 용접 및 브로치 공정 추가로 인한 원가상승과 용접부위의 특별 관리로 인하여 상대적으로 가격 경쟁력에서 불리한 구조이다. 또한, 이러한 일체형 폴리는 동력조향장치 뿐만 아니라 자동차의 워터펌프폴리(water pump pulley), 팬폴리(fan pulley), 발전기폴리(alternator pulley) 등 자동차 주요부품에 대하여 전반적으로 활용이 가능한 기술이므로 해외업체에서는 현재 시점에서 핵심적인 기술로 선정하여 개발을 서두르고 있다.



(a) boss welding type (b) monolith type

Fig. 2 Comparison of boss welding and monolith type pump pulley

동력조향장치용 유압펌프의 구동폴리에 대한 연구는 이강수^{1~2)} 등에 의해 단순 형상의 V형 구동폴리에 대한 하중해석과 응력해석을 수행하였으며, 신보성^{3~5)} 등에 의해 엔진폴리의 다단 드로잉 공정에 대한 연구가 진행되었다. 또한 심희진⁶⁾ 등에 의해 조향용 펌프의 구동폴리에 대한 내구성을 고려한 최적형상 설계에 대한 연구가 진행되었으나, 동력조향장치용 일체형 구동폴리의 안전성에 대한 연구는 전무한 실정이다. 따라서, 본 연구에서는 일체형 구동폴리의 제작공정 변경에 따른 구동폴리의 압출하중(extracting force)에 대한 안전성을 검토하기 위하여 유한요소 해석방법을 사용하였다. 또한, 실험을 통하여 해석결과의 타당성을 검토하였고, 진동내구시험을 실시하여 일체형 폴리의 진동내구성능을

검증하였다.

2. 일체형 구동폴리 안전성 해석

2.1 가공공정 및 해석 개요

압입타입 일체형 폴리의 가공공법은 Fig. 3과 같이 정밀프레스공법과 롤포밍(roll forming)공법으로 구성되어 있다. 정밀프레스공법은 자동차용 텐서너와 아이들 폴리의 가공방법과 동일한 방법으로서 전용 금형과 틀링설계 기법을 이용하였고, 롤포밍공법은 포밍 전용장비를 이용하였다.

Process	Blanking	Draw, piercing & trimming, restriking	Roll forming	CNC
Figure				
Machine	 300ton NC Feeder press	 1,250 ton transfer	 Roll forming automation line	 CNC automation line
Transfer process				

Fig. 3 Machining processes of monolith type power steering pump pulley

이와 같은 공정을 통하여 제작된 일체형 구동폴리의 구조와 주요부 형상을 Fig. 4에 나타내었다. 그림에서와 같이, 본 연구에 사용한 구동폴리와 구동축의 주요부 치수는 구동축의 직경 17mm, 구동폴리와 구동축의 접촉길이 20mm, 관통길이 5mm,

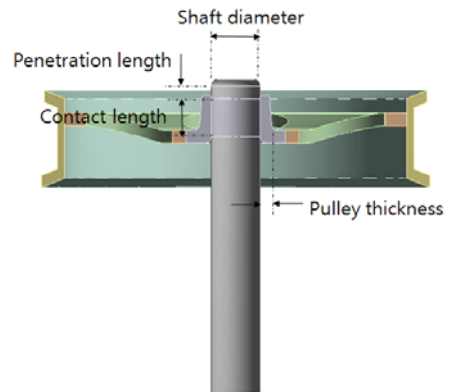


Fig. 4 Schematic view of monolith type power steering pump pulley

풀리 폭 6.8mm, 접촉부의 공차 0.02mm이다. 그리고 구동풀리의 재질은 열간압연강판(SPHC)을 사용하였고, 구동축의 재질은 구조용강을 사용하였다.

본 연구에서는 외부부하와 압출력에 대한 안전성을 해석하기 위하여 유한요소 해석방법을 이용하였다. 먼저, 구동풀리의 조립조건과 부하조건을 반영하여 구동풀리에 벨트의 장력이 작용하는 경우를 대하여 풀리의 안전성을 평가하였고, 다음으로 풀리를 구동축에 압입한 후 외부에서 하중을 가하여 압출하중의 안전성에 대하여 검토하였다.

2.2 벨트장력에 대한 안전성 평가

해석 대상인 일체형 구동풀리의 기하학적 형상 모델링 데이터를 Fig. 5(a)에 나타내었다. 또한, Fig. 5(b)에 유한요소해석을 위한 메시(mesh) 작업결과를 나타내었으며 노드(Node)수는 35,481개이고 요소(Element)수는 17,590개이다. 또한, Table 1에 본 연구의 해석에서 사용한 재료의 물성치를 나타내었다. 해석에 사용한 부하조건은 Fig. 6에서와 같이 구동축은 고정지지(fixed support) 조건을 이용하였

고, 조립된 구동풀리에 2,345N (B방향)의 벨트장력을 가하였다. 이와 같은 부하조건을 이용하여 해석한 등가응력과 전체변형량 계산결과를 Fig. 7에 나타내었다.

해석결과, 최대 등가응력은 58MPa로 나타났으며, x,y,z방향의 변형량의 합계는 0.87mm로 나타났다. 여기서, SPHC 소재의 항복강도는 285MPa이고, 해

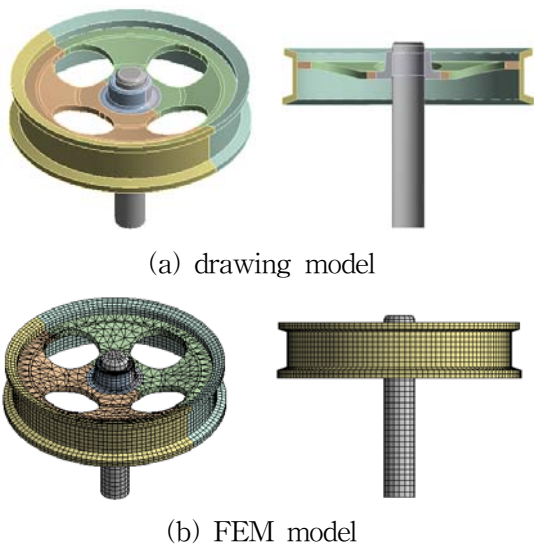


Fig. 5 Drawing and FEM model of monolith type power steering pump pulley

Table 1 Simulation parameters

Parameter	Pulley	Shaft
Material	SPHC	Structure steel
Young's modulus	216 x 10 ³ MPa	200 x 10 ³ MPa
Poisson's ratio	0.29	0.3
Yield strength	285MPa	350MPa

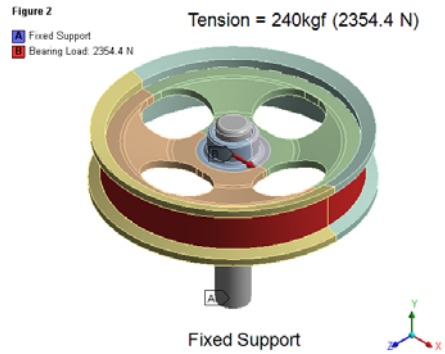


Fig. 6 Boundary conditions of FEM analysis for the belt tension analysis

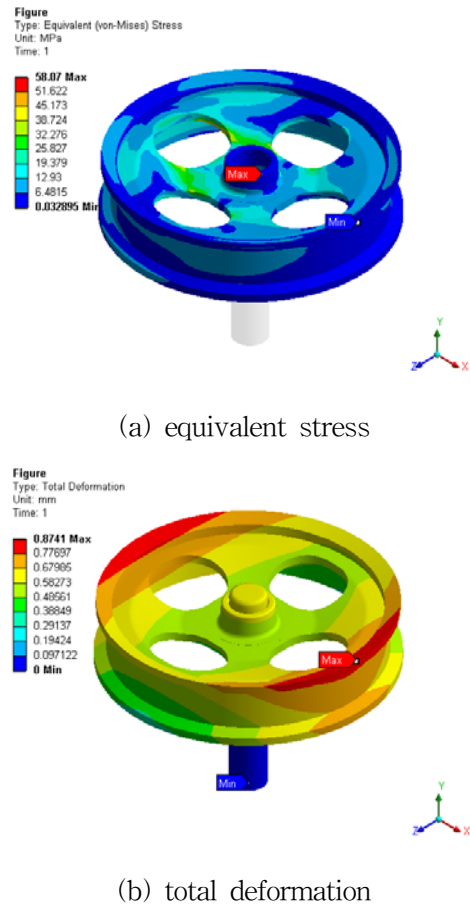


Fig. 7 Simulation results of equivalent stress and total deformation

석결과 나타난 구동폴리의 최대 등가응력은 58MPa 이므로 주어진 부하조건에 대하여 안전한 것으로 평가 할 수 있다.

2.3 압출하중에 대한 안전성 검토

압출하중에 대한 안전성을 검토하기 위한 해석 모델을 Fig. 8에 나타내었다. 본 연구에서 사용한 최대허용 압출하중의 설계기준은 압출하중이 9,810N (=1,000kgf)을 초과하도록 설계되어야 한다. 이와 같은 설계기준을 Table 2에 나타내었다. 따라서 이와 같은 설계기준에 대한 안전성을 검토하기 위하여 초기에 구동폴리가 Y방향으로 20mm 이동하여 구동축에 끼워지고, 구동폴리가 구동축에 끼워진 후 최종적으로 구동폴리에 끼워져 있는 구동축을 Y방향으로 -20mm 이동하여 구동폴리와 분리하여 빼내는 것으로 설정하였다. 또한, 해석에 사용한 구동폴리와 구동축의 접촉면의 마찰계수는 0.34를 적용하였다. 먼저, 이러한 경계조건을 이용하여 계산한 등가응력 해석결과를 Fig. 9에 나타내었다. 해석은 0.2 단계(step)에서 구동축과 구동폴리의 접촉이 시작되고, 0.8단계에서 구동축과 구동폴리가 완전히 결합된다. 이후 압출구간을 거쳐 해석이 완료된다. 계산 결과 최대 등가응력은 약 232MPa로 나타났으며, 폴리의 항복강도에 비해 안전한 것으로 평가되었다. 또한, 최대 등가응력 구간(1.0 step)일 때 구동폴리

와 구동축의 접촉면에서의 응력분포를 Fig. 10에 나타내었다.

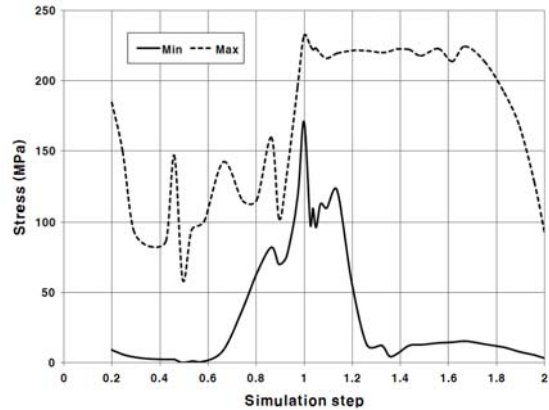


Fig. 9 Simulation results of equivalent stress

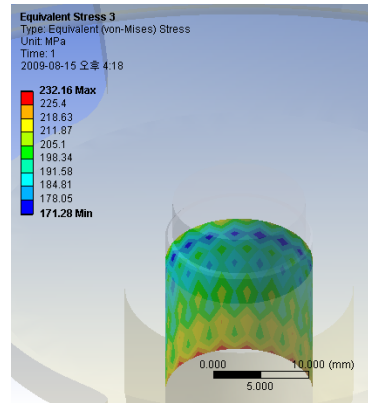


Fig. 10 Simulation result of equivalent stress distribution (at simulation step 1.0)

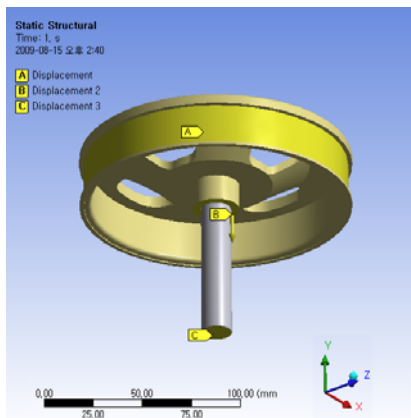


Fig. 8 Boundary conditions of FEM model for the extracting force safety analysis

Table 2 Design criteria

Fixed type	Monolith
Inserting force	7,357N (750kg _f)
Extracting force	More than 9,810N (1,000kg _f)

다음으로, 압출하중에 대한 안전성을 검토하기 위하여 등가응력 해석에서와 동일한 하중조건에서 해석한 결과를 Fig. 11에 나타내었다. 해석 결과, 최대 압입력은 구동폴리와 구동축이 완전히 결합되는 0.8단계에서 7,200N으로 나타났고, 최대 압출력은 압출구간인 1.0구간에서 16,200N이 발생함을 알 수 있다. 따라서 Table 2의 설계기준에서와 같이 압출하중은 9,810N을 초과하여야 빠짐하중에 대하여 안전하므로, 해석결과인 16,200N의 압출하중은 설계기준을 만족하여 압입 후 구동축의 빠짐 현상이 발생하지 않는다. 그리고, 구동축의 관통길이에 대한 압출력의 변화를 Fig. 12에 나타내었다. 여기서 관통길이는, 구동축이 구동폴리의 접촉면을 지나 이동한 길이를 나타낸다. 그림에서와 같이 관통길이에 따른 최대 압출력의 변화는 거의 없으며, 다만 관통길이가 길수록 압출 시 반력이 일정한 힘으로 유지되는 시간이 길어짐을 알 수 있다.

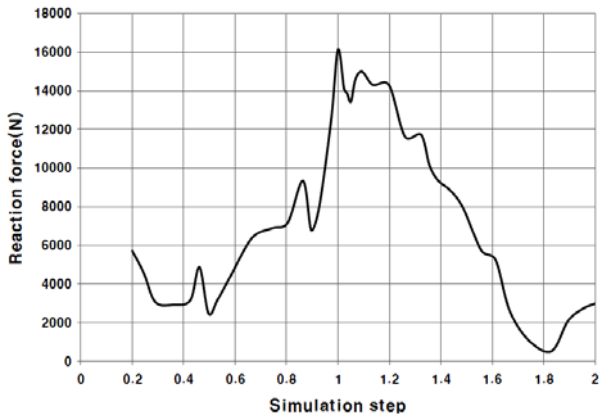


Fig. 11 Simulation result of reaction force of monolith type driving pulley

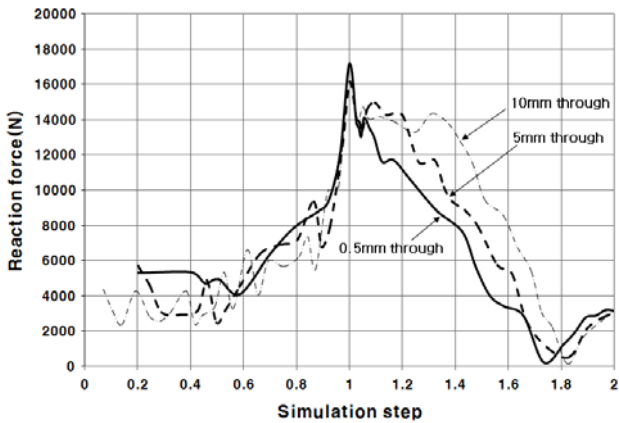


Fig. 12 Simulation results of reaction force for the variations of penetration length

3. 실험장치의 구성 및 방법

3.1 압입 및 압출하중 측정시험

일체형 구동폴리의 해석결과 나타난 압입하중과 압출하중을 검증하기 위하여 Fig. 13과 같이 실험장치를 구성하여 해석결과를 검증하였다. 그림에서와 같이 실험장치는 실험을 위한 일체형 구동폴리, 압입 및 압출하중 측정을 위한 로드셀, 데이터 획득장치 그리고 제어장치 등으로 구성되어 있다. 이와 같은 실험장치를 이용하여 실험한 결과를 Fig. 14와 15에 나타내었다. Fig. 14에서와 같이 압입시험에서는 약 0.65sec 동안 압입하중을 가하였고, 최대 압입하중은 약 7,100N로 나타났다. 압입시험 이후, 시편의 방향을 바꾸어 압출시험을 수행하였으며, 약 0.7sec 동안 압출하중을 가하여 최대 압출하중은 약 16,930N으로 나타났다. 이상의 실험결과는 이론해석에서의 값과 비교적 잘 일치함을 알 수 있다. 압출

시의 시험데이터 중 0.8sec 이전에 나타나는 약 2,100N의 힘은 시험을 위해 시험기에서 폴리 구동축에 가한 초기 접촉력이다.

3.2 굽힘 및 비틀림 내구시험

본 연구에서는 일체형 구동폴리의 압출력에 대한



(a) test apparatus (b) data acquisition system

Fig. 13 Test apparatus and data acquisition system for the reaction force test

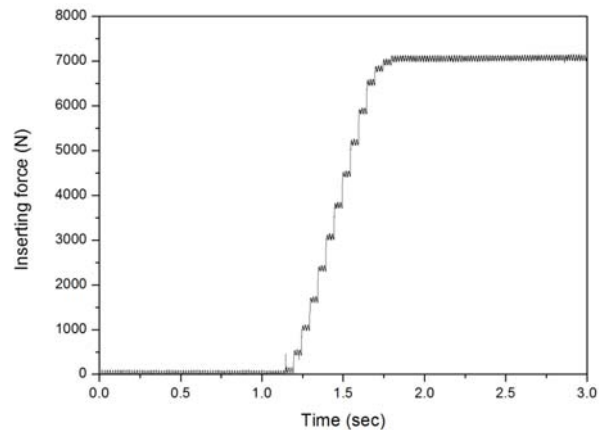


Fig. 14 Test result of inserting force

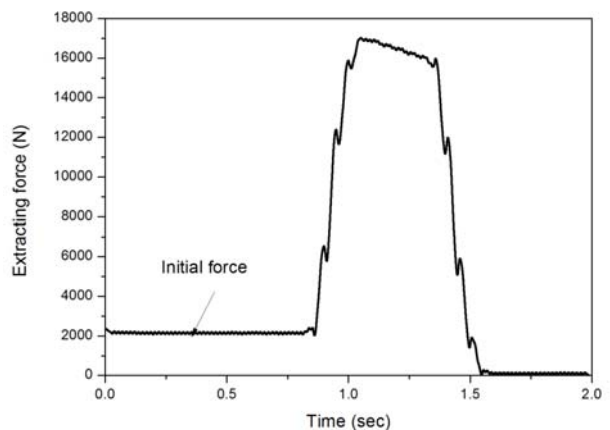


Fig. 15 Test result of extracting force

안전성 해석과 함께 구동폴리에 가해지는 외부진동에 대한 안전성을 평가하기 위하여 굽힘 및 비틀림 내구시험을 수행하였다. 일체형 구동폴리의 굽힘 내구시험은 Fig. 16(a)와 같이 0.47kg의 불균형질량(unbalance weight)을 구동폴리의 외부에 부착하고, 폴리를 수직방향에 대하여 45도의 경사로 설치하며 전자식 진동시험기를 이용하여 가진주파수 180Hz, 가진가속도 25G로 15.4시간 가진하여 실험을 실시하였다. 비틀림 내구시험은 Fig. 16(b)와 같이 0.47kg의 불균형질량을 구동폴리에 부착하고, 구동폴리를 수직방향으로 설치하였으며, 전자식 진동시험기로 가진주파수 180Hz, 가진가속도 20G로 15.4시간 가진하여 실험하였다. 설계기준은 두 가지 실험 모두 실험 후 구동폴리에 변형이나 파손이 없어야 한다. 또한, 실험에 사용한 전자식 가진장치의 가진 데이터를 Fig. 17에 나타내었으며, 실험결과 Fig. 18에 나타낸 바와 같이 두 가지 시험결과 모두,

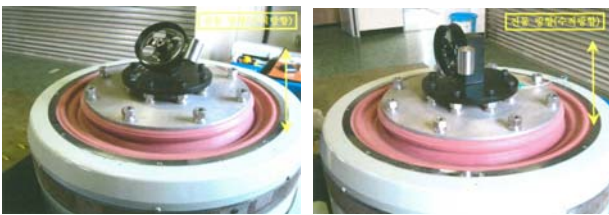
시험의 변화가 없었으며 시험 시작 전에 구동축과 구동폴리에 표시한 마킹 흔적에 변화가 없음을 확인할 수 있었다.

4. 결 론

본 논문에서는 유한요소 해석방법을 사용하여 일체형 구동폴리의 외부부하와 압출하중에 대한 안전성을 검토 하였다. 해석 결과, 본 연구에서 사용한 일체형 폴리는 통상의 동력조향장치에서 가해지는 외부부하 조건에 대하여 허용항복강도 이내의 등가응력이 발생하여 안정하였으며, 특히, 축빠짐하중 즉 압출하중을 검토한 결과, 설계기준인 9,810N 이상의 압출하중이 발생하여, 압입 후 구동축의 빠짐 현상이 발생하지 않는 것으로 평가 되었고, 실험을 통하여 검증하였다. 또한, 본 연구에서는 기본적으로 관통길이에 따른 압입, 압출력의 변화를 살펴 보았지만 향후, 구동축과 구동폴리를 구성하는 다양한 설계변수 변화에 의한 성능변화에 대한 연구가 진행되어야 하리라고 사료된다.

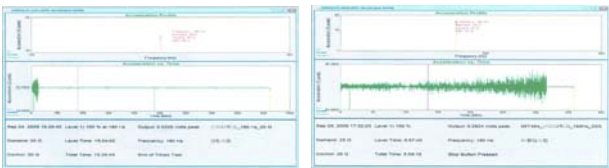
참고문헌

- 1) K. S. Edwards, R. B. Mckee, "Fundamentals of Mechanical Component Design", McGraw-Hill, pp. 630~643, 1991.
- 2) 이강수, 홍종해, 손종호, 이상현, "V 벨트용 폴리 설계/ 해석 시스템 개발", 한국자동차공학회논문집, 제10권, 제6호, pp.209~218, 2002.
- 3) 신보성, 최두선, 심국보, 송선호, "자동차 엔진폴리성형 공정 설계에 관한 연구", 한국정밀공학회 춘계학술대회논문집, pp. 630~634, 1997.
- 4) 오봉훈, 백재용, 이규봉, 김보현, 장재덕, "폴리 제조공정의 셋업조건 결정을 위한 프로그램 설계", 한국정밀공학회 2006년 춘계학술대회논문집, pp. 623~624, 2006.
- 5) 강민석, 전만수, 김진욱, 강상명, 전병윤, "단조 시뮬레이션 기술을 이용한 소형 폴리의 복합단조 공정의 개발", 한국소성가공학회지, 제12권, 제1호, pp. 66~71, 2003.
- 6) 심희진, 김정규, "파워스티어링 오일펌프용 폴리의 피로수명을 고려한 형상 최적화", 대한기계학회논문집 A권, 제30권, 제9호, pp. 1041~1048, 2006.



(a) bending test (b) twisting test

Fig. 16 Test apparatus of bending and twisting endurance test



(a) bending test (b) twisting test

Fig. 17 Excitation data of bending and twisting endurance test



Fig. 18 Test results of bending and twisting endurance test