

< 기술논문 >

자동변속기용 토크컨버터 토러스 사이즈에 따른 팽창 현상

장재덕¹⁾ · 이웅철²⁾ · 성덕환³⁾

명지대학교 기계공학과¹⁾ · 한양대학교 기술경영전문대학원 · 수원과학대학교 자동차과

A Ballooning Phenomenon of Torque Converter Torus Size for Automatic Transmissions

Jaeduk Jang¹⁾ · Woongcheol Lee²⁾ · Dukhwan Sung³⁾

¹⁾Department of Mechanical Engineering, Myongji University, Gyeonggi 17058, Korea

²⁾Technology and Innovation Management, Hanyang University, Seoul 04763, Korea

³⁾Department of Automobile, Suwon Science College, Gyeonggi 18516, Korea

(Received 28 March 2016 / Revised 6 August 2016 / Accepted 28 September 2016)

Abstract : The torque converter is deformed according to the rotating speed and control pressure when engine power is transferred to the transmission. This deformation, which is called ballooning phenomenon, occurs mainly at the outer side by the centrifugal force of the automatic transmission fluid (ATF) and the control pressure from the valve body. Although the torque converter is slightly deformed when rotating, the ballooning phenomenon affects fluid performance, efficiency and durability. Thus, expansion characteristics analysis is important in determining torus size, control pressure and structure. In this paper, an analysis equation and FEM model was developed to investigate the expansion characteristics. Using this model, structural analysis was performed to investigate the relationships between deformation and the torus diameter. The results were confirmed by comparing with the test results.

Key words : Torque converter(토크 컨버터), Ballooning phenomenon(팽창 현상), Automatic transmission fluid(자동변속기 오일), Torus(토러스), Lock-up clutch(록업 클러치), Efficiency(효율)

Nomenclature

- g : gravity, m/s^2
- h : height, m
- p : pressure, Pa
- r : radius, m
- v : velocity, m/s
- ρ : density, kg/m^3
- ω : rotational speed, rad/s
- P_{apply} : apply pressure, Pa
- P_{static} : static pressure, Pa
- $P_{dynamic}$: dynamic pressure, Pa

1. 서론

토크컨버터(torque converter)는 엔진에서 발생한 동력을 변속기에 전달하는 장치로써 자동차의 부드러운 출발, 토크증배, 연속적인 변속 및 정지시 엔진 시동꺼짐 방지 등의 기능을 수행하는 등 자동변속기에서 가장 중요한 역할을 담당하고 있다. 특히 연료 저감과 전달효율증대는 최근 자동차 산업의 가장 중요한 과제이므로 토크컨버터의 성능개선은 매우 중요한 문제로 인식되고 있다. 토크컨버터 성능개선을 위해서는 시작품 제작 및 시험평가를 통해 설계 데이터를 확보하는 반복적인 과정이 필수적이며, 반복 횟수를 최소화 하는 작업이 필요하다. 본 연구에서는 고객 요구사항을 반영한 토크컨버터 개

*Corresponding author, E-mail: dhsung@ssc.ac.kr

넘설계 절차 중 토러스 사이즈를 결정하는 단계에서 토크컨버터의 팽창(ballooning) 현상,¹⁾ 다시 말해 토크컨버터 내부유체의 관성력에 의해 팽창되는 특성에 대해 연구하고자 한다. 이는 토크컨버터 팽창으로 인해 내부 부품이 벌어져서 내구성과 유체성능에 영향을 주기 때문에 반드시 확인할 필요가 있다. 토크컨버터가 작동시 자동변속기 오일(ATF : Automatic Transmission Fluid)의 다양한 압력변화 및 엔진회전속도 변화에 의해 토크컨버터 팽창현상이 발생하게 되는데 이는 토크컨버터 설계형상 결정시 고려하여야 하는 중요한 인자중 하나이다. 따라서, 토크컨버터 토러스 설계기준으로 활용할 수 있도록 자동변속기 오일 압력에 따른 토러스 사이즈 별 토크컨버터 팽창현상에 대한 구조해석과 분석이 필요하고, 이를 반영하여 설계할 필요가 있다.

2. 토크컨버터 설계 및 개발

최근 토크컨버터에 대한 요구 성능과 토러스 사이즈는 기존의 설계 사양과 많은 변화를 보이고 있으며, 새로운 개념의 토크컨버터 토러스 개발이 요구되기도 한다. Fig. 1은 토크컨버터의 단면을 도시한 것이며, 여기서 토러스는 펌프와 터빈으로 구성되는 유체클러치의 외부 형상을 의미한다. 현재 신규 토크컨버터의 설계는 기존의 유사 사양을 참조하여 설계자의 경험에 의하여 설계되고 있다. 하지만 축소된 토러스 사이즈와 증대된 엔진토크를 충족시켜야 하는 신개념 토크컨버터는 참고할 수 있는 유사한 제품사양이 없어 제품설계에 어려움이 있다. 이로 인해 주어진 공간 내에서 요구 성능을 만족하는 토러스 최적형상을 찾기 위한 소모적인 재설계와 설계변경이 반복되며, 유동성능을 평가하기 위한 복잡한 상세모델의 해석과 시험과정으로 인하여 많은 비용과 시간이 소요되고 있다.²⁾

토크컨버터의 유동성능예측과 평가를 위한 방법으로 실제 제품의 시험과 해석이 주로 이루어지고 있다. 하지만 토크컨버터는 금형제작이 필요한 부품이기 때문에 1대를 제작하는데 많은 비용과 시간이 소요되므로 많은 수의 토크컨버터를 제작하여 성능을 확인하기에는 어려움이 있다. 이러한 문제를 해결하기 위해 유체와 열에 대한 연구방법인

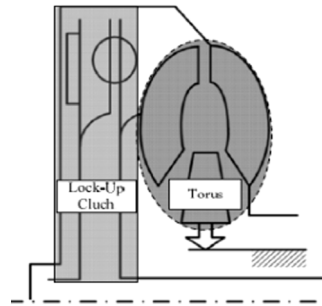


Fig. 1 Cross-section of torque converter



Fig. 2 Components of torque converter

CFD(Computational Fluid Dynamics) 해석이 널리 사용되고 있다.

토크컨버터의 유동성능은 CFD 해석을 이용해 예측할 수 있으나, 토크컨버터를 구성하는 주요 부품인 임펠러, 터빈, 스테이터 블레이드의 입출구 각도, 토러스 형상 및 날개형상과 같은 파라미터가 상세설계를 통해 모델링 되어야 가능하다. 또한 상세설계 이후 해석과 시험을 통해 유동성능을 평가하고 설계자의 요구조건을 만족하지 않는 경우, 토크컨버터의 반복되는 설계로 성능평가를 위한 상세모델의 해석과 시험과정에 많은 비용과 시간이 소요된다.³⁾ 특히 경험이 없는 설계자의 경우에는 더 많은 재설계를 필요로 하고 있다. Fig. 2는 토크컨버터의 각 부품을 도시한 것이다.

일반적으로 엔진동력을 변속기에 전달하기 위하여 드라이브 플레이트가 사용되며, 드라이브 플레이트는 엔진의 크랭크축과 토크컨버터에 용접 부착되어 있는 러그에 각각 볼트로 결합된다. 이에 따라 엔진의 회전력은 드라이브 플레이트에 의해 토크컨버터에 전달되고, 엔진이 고속으로 회전하게 되면 토크컨버터 내부의 오일 또한 고속으로 회전하게 된다. 이 때, 토크컨버터 내부 유체에는 원심유압이 발생하며 이 외에도 밸브바디로부터 전달되는 작동압력이 동시에 작용하여 토크컨버터는 내압에 의해

팽창하게 된다. 토크컨버터 설계 사이즈는 엔진 및 변속기 크기에 의해서 주로 결정되나 토크컨버터 팽창현상도 토크컨버터 설계 사이즈 결정에 영향을 주는 대표적인 요소라 할 수 있다.

본 연구에서는 토크컨버터 팽창에 영향을 미치는 내부유체 회전력에 따른 압력을 산출하기 위한 방법으로 베르누이 방정식 등을 활용하여 압력 값을 산출하였으며, 이로부터 토크컨버터 팽창현상의 해석적 검증을 위한 모델을 개발하였다. 이 모델을 이용하여 토러스 사이즈별 구조 해석을 실시하고, 실제 시험결과와 비교를 통해 토크컨버터 팽창 해석 결과의 상관성을 검토하였다.

3. 구조 해석

본 절에서는 토크컨버터의 팽창현상을 검토하기 위하여 유동압력 방정식 및 해석모델을 개발하였다. 또한 이 모델을 이용한 구조해석을 통해 토러스 압력에 의해 팽창된 토크컨버터의 러그 및 펌프 드라이브에 대한 변위량을 해석하였다. 러그 위치 및 펌프 드라이브 허브 형상변화에 대한 실제 측정 방법과 위치는 Fig. 3에 도시되어 있다. 토크컨버터 러그 및 펌프 드라이브 허브는 팽창에 의해 엔진 또는 변속기 장착 방향으로 움직이게 되며, 엔진회전수 및 변속기 작동유압 특성에 따라 팽창량이 변하게 된다.⁴⁾

3.1 압력방정식

토크컨버터 내부에 채워진 유체는 엔진에 의한 토크컨버터 회전속도 및 밸브바디에서 공급되는 제어압력에 따라 토크컨버터 내부 작용면에 다르게 압력이 가해지는데 이에 기초가 되는 베르누이 방정식은 식 (1)과 같다.

$$\frac{1}{2}\rho v^2 + \rho gh + p = const \quad (1)$$

여기서, ρ 는 유체 밀도, v 는 유체흐름의 속도, h 는 유체흐름선의 높이이다. 베르누이 방정식은 흐르는 유체에 대해서 유선상의 모든 에너지의 합은 일정하다는 것을 의미한다. 이를 이용하기 위해서는 유체가 정상상태이고, 점성력이 존재하지 않아야 하며 비압축성이어야 한다는 가정을 포함한다.

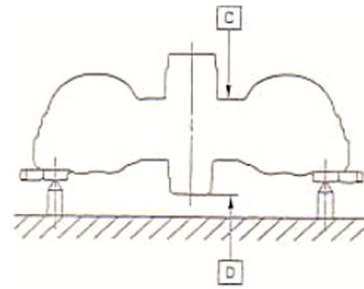


Fig. 3 Ballooning deformation guide

토크컨버터 내부는 자동변속기의 오일펌프에서 발생된 압력이 밸브바디를 통해 제어된 상태로 가해진다. 이 압력은 항상 일정한 압력으로 작용하는 정압(P_{static})이며, 이 외에도 엔진 회전속도에 따라 나타나는 원심력의 영향을 받는 동압($P_{dynamic}$)이 동시에 작용하게 된다. 식 (2)는 정압과 동압에 의해 작용하는 전체 압력을 나타낸 것이다.

$$\begin{aligned} P_{total} &= P_{static} + P_{dynamic} \\ &= P_{apply} + \frac{1}{2}\rho v^2 \\ &= P_{apply} + \frac{1}{2}\rho r^2 \omega^2 \end{aligned} \quad (2)$$

여기서, P_{apply} 는 제어압력, ρ 는 자동변속기 오일의 밀도, v 는 오일 유선속도를 나타낸다. 각 운전 조건에서 발생하는 정압 및 회전속도에 의해 발생하는 동압에 따라 토크컨버터는 축 방향 변형이 발생되며, 변형량이 과다할 경우 변속기와의 간섭으로 인해 케이스와 토크컨버터가 파손되는 등 심각한 문제가 발생할 수 있다. 각 운전 조건에 따른 토크컨버터 변형량을 분석하기 위하여 위 식으로부터 토크컨버터 내부에 발생하는 압력방정식을 행렬식으로 구성하였으며, 해석에는 ANSYS[®]를 사용하였다.⁵⁾ 압력방정식은 유체가 토크컨버터 내부에 충전되었을 때, 토크컨버터 회전속도에 따른 압력 분포를 고려하였으며, 중력가속도 항은 중심축을 기준으로 동일하게 유압이 구성된다는 가정하에 생략시켰다. 이러한 행렬식 변환 과정을 거쳐 ANSYS[®] 입력용 행렬식을 도출하고, 이를 활용하여 토크컨버터 내부에 인가되는 초기압력, 속도에 따른 가변 압력을 명령식으로 입력할 수 있게 구성하였다. 토크컨버터 록업 클러치 온/오프 조건에 따라 인가되는

초기 압력조건은 해석 조건으로 반영하여 토크컨버터 작동 상태 별 가압 해석을 진행하였다.

3.2 해석 모델링

본 절에서는 토크컨버터 팽창해석 시 사용하는 3D 모델링을 개발하였다. Fig. 4는 Pro/E® 3D CAD 프로그램을 이용하여 구성된 팽창해석용 모델이며, 임펠러 어셈블리 및 프론트 커버 어셈블리 2개의 파트로 구성되어 있다. 3D 구성은 토크컨버터의 러그를 기준 위치로 선정하여 어셈블리의 1/3 절단 모델을 적용하였다.⁶⁾

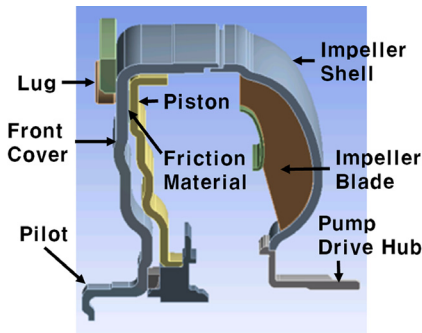


Fig. 4 Torque converter ballooning assembly

토크컨버터 팽창 유한요소 모델은 Fig. 4의 3D 모델에서 굴곡부 및 절단부 등을 단순화 하여 CAD 솔리드 모델로 구성하고, IGES 파일로 변환한 후 ANSYS®로 옮겨 메쉬(mesh)를 구성하였다. 유한요소 모델은 해석 대표기종 기준으로 총 144,629개의 노드(node)와 76,589개의 요소로 나누고 정사면체 방식으로 메쉬를 구성하였다. 유한요소 모델에 사용한 재료의 밀도는 7.850 kg/m^3 , 영계수 E(Young's Modulus)는 210 GPa, 포와송 비(Poisson's ratio)는 0.29이다. 또한 러그 및 임펠러 블레이드 접촉부 메쉬 구성 시 접촉사이즈(contact size)를 1 mm 단위로 적용하여 좀 더 세밀하게 요소를 구성하였다.

3.3 해석 조건

일반적으로 토크컨버터의 러그는 엔진 측 드라이브 플레이트와 볼트로 결합되어 있으며, 엔진 측의 높은 토크 및 회전력을 견딜 수 있게 토크컨버터 프론트 커버에 용접되어 있는 형태를 가지고 있다. 본

연구에서는 각 단품별 접촉조건은 임펠러 셸~프론트 커버 용접조건, 러그~프론트 커버 용접조건 및 임펠러 블레이드~임펠러 셸 간의 용접조건은 'Bonded'를 적용하였다. 프론트 커버와 피스톤 마찰재 접촉 조건은 상대 회전 및 록업 클러치 작동시 변위 등을 고려하여 비 분리조건을 적용하였다. 해당 모델의 구속조건으로는 토크컨버터 어셈블리 최종 조립 시 엔진측 드라이브 플레이트와 러그가 볼트로 결합된다는 점을 감안하여 러그면에 대한 고정조건을 적용하였다.

토크컨버터 회전력에 따른 유압 조건은 내부압력이 고려되어야 하므로 3.1절의 베르누이 방정식을 활용한 압력방정식을 해석 틀에 적용 가능한 행렬식으로 변환하여 커맨드(command)식으로 대입하였다.

3.4 해석결과 검토

Fig. 5는 토러스 사이즈 260 mm인 초편평형 토크컨버터에 대하여 정적압력 및 동적압력을 고려한 변위해석을 수행한 결과를 도시한 것이다. 회전속도 7,000 rpm, 내압 7.5 kgf/cm^2 기준 최대 변형량은 파이롯트 측 0.09 mm, 펌프 드라이브 허브 측 1.15 mm이며, 변형량은 원심력의 영향으로 인하여 회전속도 증가에 따라 선형으로 증가하지 않고 2차 곡선 형태로 증가하는 것을 확인할 수 있다. 그리고, 7000 rpm 일 때의 변형량은 토크컨버터 작동시 팽창량 허용기준안에 들어가는 수준으로 차량 장착 후 운행 및 내구 시 문제가 없을 것으로 예상되는 범위이다.

Fig. 6은 토크컨버터 팽창에 대한 정적해석 결과

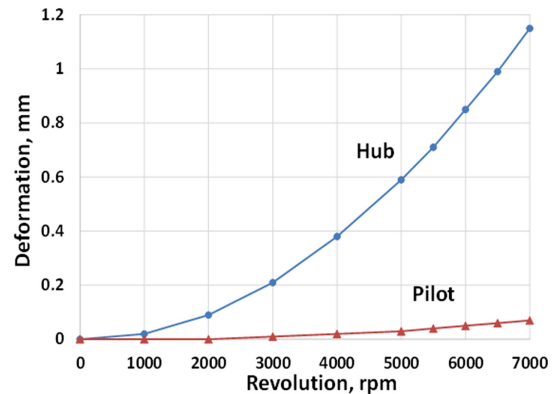


Fig. 5 Simulation Results of Torque Converter

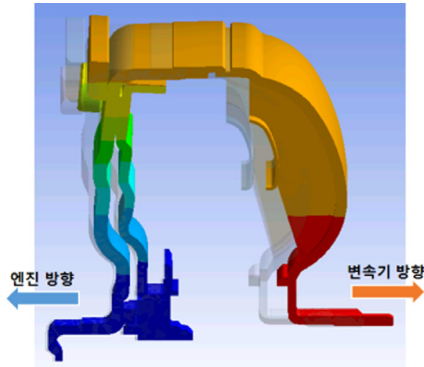


Fig. 6 Deformation of torque converter

팽창하는 방향을 나타낸 것이다. 파이롯트(pilot) 부는 엔진측으로, 펌프 드라이브 허브(pump drive hub)는 자동변속기 측으로 변형되어 양방향으로 모두 팽창하지만, 그 변형량은 변속기 방향이 엔진 방향보다 약 16.7배 크게 나타났다. 이것은 프론트 커버의 두께가 임펠러 셸 보다 두꺼워 변형되기 어렵고, 프론트 커버의 러그에 장착되는 드라이브 플레이트가 엔진 쪽으로 이동하지 못하도록 막아주는 역할을 하기 때문인 것으로 판단된다. 그리고, 임펠러 셸의 펌프 드라이브 허브는 오일펌프에 연결되지만 변속기 쪽으로 이동을 막아주는 부분이 없기 때문에 변형이 더 쉬운 구조를 가지고 있다. 또한 토크컨버터 형상이 편평도가 높을수록 임펠러 셸 부분의 형상이 변형되기 쉬운 구조가 되기 때문에 이에 따른 영향으로 허브 쪽 변형량이 크게 나타난 것으로 판단된다.

Fig. 7은 일반적으로 상용화 되어있는 토크컨버터 토러스 사이즈를 나타낸 것이다. 토크컨버터는 다양한 차량 특성 및 엔진 성능, 요구되는 연비특성 등에 따라 엔진과 변속기를 매칭하는 부품으로 사용되고 있으며, 요구되는 차량성능을 만족시키기 위하여 여러 가지 유체 성능을 필요로 하고 있으나, 요구되는 용량계수(capacity factor)의 편차가 큰 경우 하나의 토러스로 모두 구현하기 어렵기 때문에 토러스 사이즈를 변경하여 유체성능을 구현해야만 하는 경우가 있다. 따라서, 토러스 사이즈 별로 구현 가능한 유체 성능의 범위에 대하여 검토가 필요하며, 토러스 사이즈에 따라 팽창특성도 달라지기 때문에 이에 대한 검토도 필요하다.

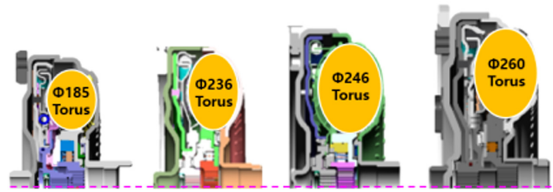


Fig. 7 Torus size of torque converter

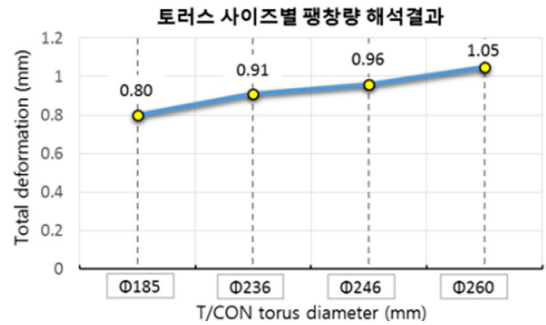


Fig. 8 Analysis result of deformation by torus size

Fig. 8은 4가지 토러스 사이즈에 대하여 팽창특성을 알아보기 위한 구조해석결과를 도시한 것이다. Fig. 8의 팽창량은 양방향 변위량을 합한 값이며, 엔진 회전수 7,000 rpm, 토크컨버터 작동 압력 7.5 kgf/cm², 해제 압력 0.25 kgf/cm² 기준으로 해석한 결과이다. 해석결과 토러스 사이즈와 토크컨버터 팽창량에는 양(+)의 관계가 있음을 알 수 있다. 토크컨버터 안에 공급되는 제어압은 록업 클러치를 작동시키는 압력을 공급 압력(apply), 록업 클러치 작동을 해제시키는 해제 압력(release)으로 구분되고, 공급 압력과 해제 압력의 차이에 따라 록업 클러치가 작동하거나 해제된다. 따라서, 실제 록업 클러치 작동시 팽창량은 공급 압력과 해제 압력의 차이에 의해 정적압력이 결정된다.

4. 시험결과 및 검토

Fig. 9는 토크컨버터 토러스 사이즈에 따른 팽창량 시험 결과를 나타낸 것이며, 토러스 사이즈가 증가할수록 토크컨버터 전체 팽창량이 증가하는 것을 알 수 있다. Fig. 10은 시험결과와 해석결과를 비교 도시한 것이다. 시험과 해석결과 모두 토러스 사이즈가 증가하면 팽창량도 증가하는 결과를 보이고 있으나, 팽창량이 증가하는 수치는 시험결과와 해

석결과에 약간씩 차이가 있음을 알 수 있다. 이는 토크컨버터가 40 ~ 50여종의 부품을 포함하고 있기 때문에 부품들의 결합방식, 형상, 유체 흐름 구조 등 팽창량에 영향을 주는 요소가 다양하기 때문에 발생한 것으로 예상된다. 또한, 토러스가 185, 236인 경우 해석결과의 팽창량이 시험결과 보다 크지만, 토러스가 246, 260인 경우는 반대로 시험결과의 팽창량이 해석결과 보다 크게 나타나고 있다. 이것은 시험에 사용된 토크컨버터의 편평비가 동일하지 않기 때문에 나타난 것으로 토러스 185, 236 토크컨버터는 편평비가 커서 시험결과의 팽창량이 해석결과 보다 작고, 토러스 246, 260 토크컨버터는 편평비가 작아서 팽창량 시험결과가 해석결과 보다 크게 나온 것으로 판단된다. 이것은 앞서 설명한 바와 같이 토크컨버터 부품들의 영향 요소를 모두 고려하기 어렵기 때문에 발생하는 것으로 해석결과와 시험결과의 비교를 통한 해석모델 보정이 필요한 이유이기도 하다.

토크컨버터는 완성차 업계에서 차량성능과 연비를 결정하는 중요 부품으로 인식되고 있으며, 차량의 최종 매칭 단계에서 토크컨버터의 성능에 따라 연비와 동력성능이 좌우되는 경우가 증가하고 있다. 이러한 중요성으로 인해 완성차 업체에서는 신차 개발 시 차량 성능해석을 통하여 토크컨버터 성능곡선을 결정하고 있으며, 결정된 성능곡선을 만족하는 토크컨버터를 개발하기 위한 추가적인 해석을 실시하고 있다. 그러나, 해석 시 토크컨버터 작동 압력, 회전속도에 따라 팽창량이 달라지기 때문에 해석 신뢰성 검증이 필요하며, 이를 위해 시험을 통한 확인이 병행되고 있다.

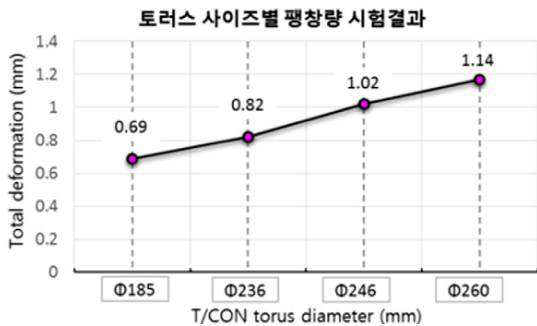


Fig. 9 Test result of deformation by torus size

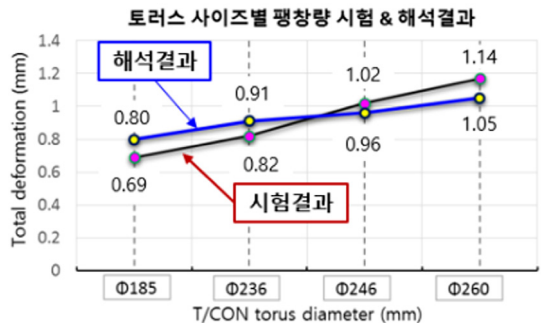


Fig. 10 Test & CAE result of deformation by torus size

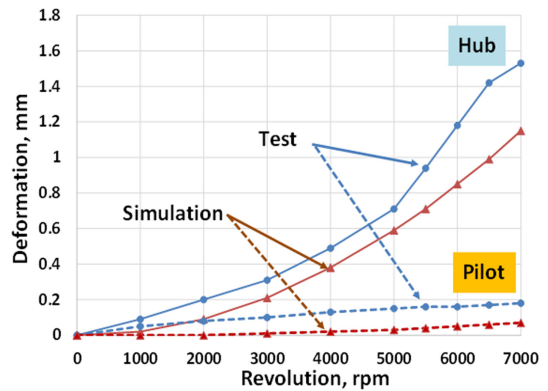


Fig. 11 Simulation & test results for revolution

Fig. 11은 초편평형 토크컨버터에 대한 팽창량 해석결과와 시험결과를 비교 도시한 것이다. 토크컨버터 허브쪽 변형량은 원심력의 영향으로 인하여 회전속도 증가에 따라 2차 곡선 형태로 증가하는 경향을 보이며, 2000 rpm ~ 5000 rpm 구간에서 변형량의 차이가 거의 일정한 수준을 보이다 5000 rpm 이후 급격히 증가하고 있다. 반면, 해석결과의 변형량은 5000 rpm 이후에 완만하게 상승하는 추세를 보이고 있다.

허브 쪽의 경우 팽창량 시험결과와 해석결과의 차이가 평균 0.21 mm이며, 파이롯트 쪽은 평균 0.1 mm 이지만, 전체 변형량 대비 시험결과와 해석결과의 차이를 나타내는 편차율은 변형량이 큰 허브 쪽이 34.7 %, 변형량이 적은 파이롯트 쪽이 80.5 %로 파이롯트 쪽의 편차율이 큰 것을 알 수 있다. 이것은 파이롯트 쪽 강성이 커서 2000 rpm 이하에서 시험결과의 변형량이 매우 작으며, 드라이브 플레이트로 인해 엔진쪽으로 이동이 제한되고 있어 해석으로

구현하기 어렵기 때문에 나타난 현상이다. 해석으로는 이런 부분에 대한 상세한 반영이 어려워 2000 rpm 이하에서 변형량이 0인 것으로 나왔으며, 이런 차이를 보완하기 위해서 해석결과와 시험결과의 비교를 통한 모델 보완과 수치적인 보정이 필요하다. 모델 보완 및 수치보정을 위해서는 실제 토크컨버터를 이용한 성능시험결과가 필요하며, 대부분의 토크컨버터 제작사에서는 프로토 제품에 대한 성능 시험결과와 해석결과 비교를 반복 수행하면서 해석 모델에 대한 보정을 실시한다. Fig. 11에서 회전속도 2000 rpm 이상 상승하면 해석결과에서도 변형이 발생하며, 시험결과와 해석결과의 차이가 일정 수준을 유지하고 있기 때문에 해석모델에 대한 약간의 보완만으로도 해석결과의 정확도를 높일 수 있을 것으로 예상된다.

5. 결 론

본 연구에서는 토크컨버터의 팽창에 대한 해석모델을 개발하였고, ANSYS®를 이용하여 회전속도 및 작동유체 압력에 따른 팽창량을 예측하였다. 또한, 해석을 통한 토러스 사이즈 별 팽창량 구조해석, 초편평형 토크컨버터에 대한 팽창량 해석 및 시험결과를 분석한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 토크컨버터 팽창현상 연구를 위한 최적 모델링을 위하여 실제제품과 유사한 3D 모델을 개발하고 접촉조건 및 경계조건 등에 대해 실제 거동에 근사화된 유한 요소 모델을 개발하였다.
- 2) 엔진 회전수 및 적용 압력에 따른 변위량 구조해석결과 최대 회전수 및 압력조건 기준 파이롯트는 엔진 쪽으로 팽창, 펌프 드라이브 허브는 변속기 쪽으로 팽창되며, 프론트 커버의 두께와 드라이브 플레이트의 영향으로 허브 쪽으로의 팽창량이 파이롯트 쪽으로의 팽창량보다 약 16.7 배 크게 나타났다.
- 3) 토크컨버터 토러스 외경 사이즈 별 팽창량 해석 결과 토러스 외경 사이즈와 토크컨버터 팽창량은 양(+)의 상관관계로 증가하며 시험을 통해 해석 결과와 동일한 양(+)의 상관관계가 있음을 확인하였다.
- 4) 초편평형 토크컨버터에 대하여 회전속도별 팽창량 해석 및 시험을 실시하였으며, 비교 결과 허브쪽과 파이롯트쪽 모두 일정 수준의 오차를 가지고 있으나 약간의 모델 보완으로 해석결과의 정확도를 높일 수 있을 것으로 예상된다.

References

- 1) K. Kwon, A. R. Kim, B. K. Park, W. Choi, J. D. Jang, I. S. Joo and J. J. Kim, "Development of a Conceptual Design Assistance System for Torque Converters Using Hydrodynamic Performance Database," Journal of the Korea Society for Power System Engineering, Vol.16, No.1, pp.12-18, 2012.
- 2) T. H. Kim, Function-based Design for Tori of Torque Converters by Statistical Analysis on Shapes and Performance, M. S. Thesis, Hanyang University, Seoul, 2013.
- 3) H. Y. Kim, J. M. Kim, J. D. Jang and I. S. Joo, "Lightweight Vehicle Developed for the Torque Converter Torus Reduction and High Torque," KSAE Annual Conference Proceedings, pp.546-550, 2012.
- 4) W. D. Pilkey, Formulas for Stress, Strain and Structural Matrices, Wiley-Interscience, pp.495-591, 1994.
- 5) ANSYS, ANSYS Mechanical APDL Structural Guide, 15th Edn., ANSYS Inc., Canonsburg, 2013.
- 6) A. Kotwicki, "Dynamic Models for Torque Converter Equipped Vehicles," SAE 820393, 1982.