

# 작동 조건 변화에 대한 토크 컨버터의 성능 특성 분석

장욱진\*, 이진원\*, 임원식\*\*, 박영일\*\*, 이장무\*\*\*

## An Investigation on the Torque Converter Characteristics at Various Operating Conditions

Wookjin Jang, Chinwon Lee, Wonsik Lim, Yeongil Park and Jangmoo Lee

**Key Words :** Torque Converter(토크 컨버터), One-dimensional Performance Model(일차원 성능모델), Three-dimensional Internal Flow Analysis(3 차원 내부 유동 해석), Operating Fluid(작동 유), Torque Ratio(토크비), Capacity Factor(용량 계수)

### Abstract

The one-dimensional performance model of a torque converter has been widely used to analyze and predict the performance and dynamic behavior of a torque converter. But this model doesn't include the information of the operating fluid properties. Therefore, to precisely predict dynamic performance of a torque converter, the effect of operating conditions must be considered through experimental coefficients such as friction loss coefficient and shock loss coefficient. And these coefficients cannot be achieved without experiments or internal flow analysis. In this study, the effects of varying material properties of operating fluid according to various operating temperatures are clarified with flow analysis of a torque converter. And these results are verified by comparing with those of performance experiment.

### 1. 서 론

본 논문에서는 토크 컨버터의 일차원 성능 모델을 이용하여 승용차용 토크 컨버터의 성능 해석을 수행하였고 운전 온도가 변화하면서 생기는 작동유의 점도와 밀도 등의 특성 변화 중 밀도 변화가 토크 컨버터의 성능 특성에 미치는 영향을 분석하였다. 그리고, 상용 유동 해석 프로그램인 Fluent 를 이용하여 토크 컨버터의 삼차원 내부 유동 해석을 수행하였으며 이로부터 작동유의 특성 변화가 토크 컨버터의 성능에 미치는 영향을 분석하였다. 또한, 여러 가지 작동 상황에 대한 토크 컨버터의 성능 특성을 분석하기 위하여 승용차용 토크 컨버터 전용 성능 시험기를 제작하고, 동일한 속도비에서 임펠러의 속도가 바뀌는 경우와 작동유의 온도가 변화할 경우 이로 인한 토크 컨버

터의 성능 변화를 고찰하였다. 그리고, 이러한 성능 실험 결과를 일차원 성능 모델을 이용하여 예측한 성능 및 3 차원 내부 유동 해석 결과와 비교, 검증하고 작동 조건의 변화가 토크 컨버터의 성능에 미치는 영향에 대해 분석하였다.

### 2. 일차원 정상 상태 성능 모델

토크 컨버터의 성능을 해석하고 예측하기 위하여 Ishihara 및 Tobler 등은 토크 컨버터의 삼차원 내부 유동장이 하나의 유선에 집중되어 흐른다는 가정에 의해 식 (1)-(4)에 나타낸 바와 같이 네 개의 비선형 미분방정식으로 표현되는 모델을 수립하였다.<sup>[1][2]</sup>

$$I_p \dot{\omega}_p + \rho S_p \dot{Q} = -\rho Q \left( (R_{po}^2 \omega_p + \frac{R_{po} \cot \beta_{po}}{A_{po}} Q) - (R_{so}^2 \omega_s + \frac{R_{so} \cot \beta_{so}}{A_{so}} Q) \right) + T_p \quad (1)$$

\* 서울대학교 대학원

\*\* 서울산업대학교

\*\*\* 서울대학교

$$I_p \dot{\omega}_p + \rho S_p \dot{Q} = -\rho Q \left( (R_{pv}^2 \omega_p + \frac{R_{pv} \cot \beta_{pv}}{A_{pv}} Q) - (R_{pv}^2 \omega_p + \frac{R_{pv} \cot \beta_{pv}}{A_{pv}} Q) \right) - T_p \quad (2)$$

$$I_s \dot{\omega}_s + \rho S_s \dot{Q} = -\rho Q \left( (R_{sv}^2 \omega_s + \frac{R_{sv} \cot \beta_{sv}}{A_{sv}} Q) - (R_{sv}^2 \omega_s + \frac{R_{sv} \cot \beta_{sv}}{A_{sv}} Q) \right) + T_s \quad (3)$$

$$S_p \dot{\omega}_p + S_s \dot{\omega}_s + S_v \dot{\omega}_v + L_f \dot{Q} = \left( \frac{R_{pv} \cot \beta_{pv}}{A_{pv}} - \frac{R_{sv} \cot \beta_{sv}}{A_{sv}} \right) Q \omega_p + \left( \frac{R_{sv} \cot \beta_{sv}}{A_{sv}} - \frac{R_{pv} \cot \beta_{pv}}{A_{pv}} \right) Q \omega_s + \left( \frac{R_{sv} \cot \beta_{sv}}{A_{sv}} - \frac{R_{pv} \cot \beta_{pv}}{A_{pv}} \right) Q \omega_v + R_{pv}^2 \omega_p^2 + R_{sv}^2 \omega_s^2 + R_{sv}^2 \omega_v^2 - R_{pv}^2 \omega_p \omega_s - R_{sv}^2 \omega_s \omega_v - R_{sv}^2 \omega_p \omega_v - \frac{P_{LOSS}}{\rho Q} \quad (4)$$

위 식은 시간에 대한 미분항을 포함한 것으로 토크 컨버터의 과도 상태를 예측할 수 있는 장점이지만, 일반적으로 토크 컨버터의 성능은 속도비에 대한 토크비와 용량 계수 등으로 이루어지는 정상 상태 특성으로 나타내게 된다. 토크 컨버터의 정상 상태 모델은 식 (1)~(4)에서 시간에 대한 미분항을 제거한 식으로 이루어지며 식 (5)~(8)과 같다.

$$T_p = \rho Q \left( (R_{pv}^2 \omega_p + \frac{R_{pv} \cot \beta_{pv}}{A_{pv}} Q) - (R_{sv}^2 \omega_s + \frac{R_{sv} \cot \beta_{sv}}{A_{sv}} Q) \right) \quad (5)$$

$$T_s = \rho Q \left( (R_{sv}^2 \omega_s + \frac{R_{sv} \cot \beta_{sv}}{A_{sv}} Q) - (R_{pv}^2 \omega_p + \frac{R_{pv} \cot \beta_{pv}}{A_{pv}} Q) \right) \quad (6)$$

$$T_v = \rho Q \left( (R_{sv}^2 \omega_s + \frac{R_{sv} \cot \beta_{sv}}{A_{sv}} Q) - (R_{pv}^2 \omega_p + \frac{R_{pv} \cot \beta_{pv}}{A_{pv}} Q) \right) \quad (7)$$

$$\begin{aligned} & \left( \frac{R_{pv} \cot \beta_{pv}}{A_{pv}} - \frac{R_{sv} \cot \beta_{sv}}{A_{sv}} \right) Q \omega_p \\ & + \left( \frac{R_{sv} \cot \beta_{sv}}{A_{sv}} - \frac{R_{pv} \cot \beta_{pv}}{A_{pv}} \right) Q \omega_s \\ & + \left( \frac{R_{sv} \cot \beta_{sv}}{A_{sv}} - \frac{R_{pv} \cot \beta_{pv}}{A_{pv}} \right) Q \omega_v \\ & + R_{pv}^2 \omega_p^2 + R_{sv}^2 \omega_s^2 + R_{sv}^2 \omega_v^2 \\ & - R_{pv}^2 \omega_p \omega_s - R_{sv}^2 \omega_s \omega_v - R_{sv}^2 \omega_p \omega_v = 0 \end{aligned} \quad (8)$$

## 2.1 1차원 모델을 이용한 성능 해석

앞에서 기술한 1차원 성능 모델을 이용한 토크 컨버터의 성능 해석을 수행하였다. 토크 컨버터의 실측 자료나 도면 자료를 바탕으로 기하학적 형상에 대한 정보와 식 (5)~(8)로부터 임의의 속도비에 대한 토크 증대비와 용량 계수를 예측할 수 있다.

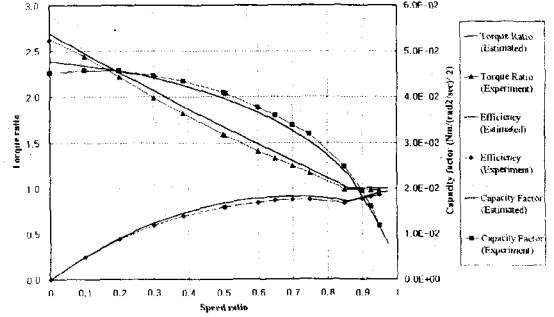


Fig. 1 Estimated and experimental results of torque converter characteristics

Fig. 1은 본 논문에서 1차원 성능 모델을 이용하여 승용차용 토크 컨버터의 성능을 예측한 결과를 성능 시험 결과와 비교한 것이며 두 경우가 잘 일치하는 것을 알 수 있다.

## 2.2 작동유 특성 변화에 의한 성능 변화

자동변속기용 작동유는 Table 1과 같이 운전되는 온도에 따라 밀도와 점도 등의 특성이 민감하게 변화하게 되며, 토크 컨버터의 내부를 흐르게 되는 작동유의 온도는 섭씨 60 도에서 140 도까지 매우 많이 변화한다. 따라서, 토크 컨버터의 특성이 작동 온도에 많은 영향을 받을 것이라는 것을 예측할 수 있다.

Table 1 Material properties of ATF(automatic transmission fluid) at various temperature

Temperature (°C)	Kinetic Viscosity(cSt)	Density (kg/m <sup>3</sup> )
0	270.75	879.5
25	62.85	863
40	33.87	853
60	25.00	840
80	16.00	828
100	7.10	816
150	3.33	787.9

본 논문에서는 운전 온도가 변화하면서 생기는 작동유의 점도와 밀도 등의 특성 변화 중 밀도 변화가 토크 컨버터의 성능 특성에 미치는 영향을 분석하였으며 이러한 작동유의 온도 변화가 토크 컨버터의 성능에 미치는 영향을 분석하기 위하여 세 가지 작동 온도에 해당하는 밀도를 이용하여 일차원 성능 해석을 수행하였으며 그 결과는 Fig. 2와 같다. 토크 컨버터의 일차원 모델 중 식 (5)와

(6)으로 나타나는 임펠러 토크와 터빈 토크의 비로 나타나는 토크비는 두 식에 모두 나타나는 유체의 밀도가 서로 상쇄된다. 따라서, 일차원 모델이 작동유의 밀도에 대한 정보를 포함하고 있지만, 밀도 변화가 토크비에 미치는 영향을 예측하지 못하는 것을 알 수 있으며 Fig. 2와 같이 토크비는 동일하게 나타나는 것을 알 수 있다. 한편, 작동유의 온도가 증가하면서 밀도가 감소하게 되면 동일한 속도비에서도 용량 계수가 2.9% 정도 감소하는 것을 확인하였으며 이는 식 (5)에서 알 수 있듯이 임펠러에 가해 주어야 하는 토크가 작동유 밀도의 감소로 인하여 작아지기 때문이다.

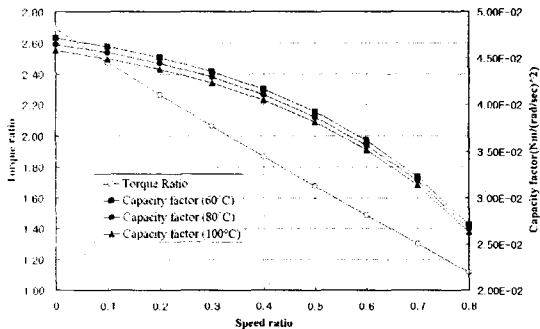


Fig. 2 Effects of operating temperature on the torque converter performance

### 3. 토크 컨버터의 3 차원 유동 해석

본 논문에서 3 차원 내부 유동 해석을 이용하여 토크 컨버터의 성능을 해석한 전체적인 과정을 나타내면 Fig. 3과 같다.

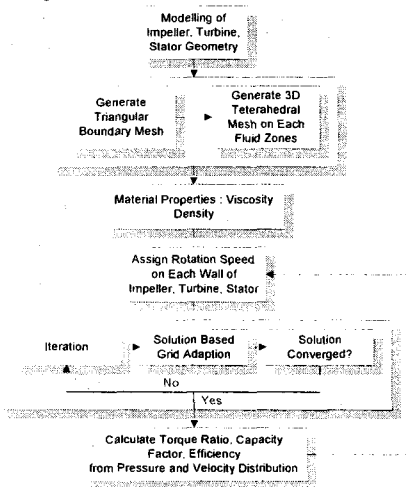


Fig. 3 Overall procedure of estimating torque converter performances through flow analysis

해석 대상 토크 컨버터의 기하학적 형상을 모델링 하는 과정을 거쳐 사면체 격자를 생성하고

작동유의 점도와 밀도 등 물성치를 대입하며, 반복계산을 통해 주어진 경계조건에 해당하는 속도 분포 및 압력 분포를 구한다. 이를 이용하여 압력 및 점성에 의해서 토크 컨버터의 세 요소에 작용하는 토크를 구할 수 있으며 이로부터 토크비, 용량 계수 및 효율을 예측할 수 있다.

#### 3.1 토크 컨버터의 성능 예측

Fig. 4는 위와 같은 과정을 거쳐 임펠러 회전수가 2000rpm 일 경우 터빈 회전수를 0rpm 에서 1700rpm 까지 변화시켜 가면서 유동 해석한 결과로부터 토크 컨버터의 토크비와 용량 계수를 예측한 것을 나타내고 있으며 성능 실험 결과와 잘 일치하는 것을 알 수 있다.

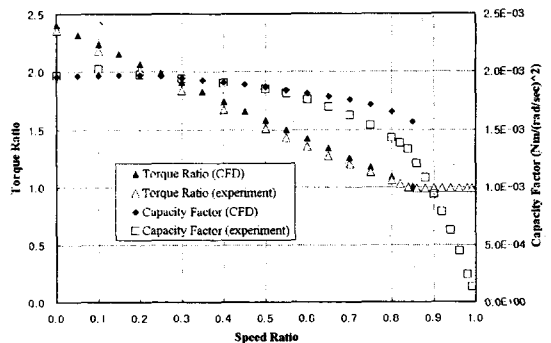


Fig. 4 Comparison of torque converter characteristics of the result of experiment and that of 3 dimensional internal flow analysis

#### 3.2 작동유 온도 변화에 의한 토크 컨버터의 성능 변화

본 절에서는 Table 1에서와 같이 온도 변화에 의한 작동유의 특성 변화가 토크 컨버터의 성능에 미치는 영향을 분석하기 위하여 60 도, 80 도, 100 도 등 세 가지 온도에 해당하는 물성치를 이용하여 유동 해석을 수행하였다. Fig. 5는 온도 변화가 토크 컨버터의 토크비, 용량계수에 미치는 영향을 유동 해석을 이용하여 예측한 결과이다.

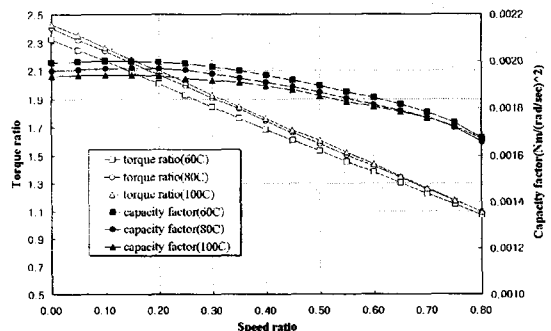


Fig. 5 Effects of operating temperature on the torque converter performance : results of 3 dimensional flow analysis

위 결과로부터 온도 상승에 따라 토크비는 4.5% 증가하며 용량계수는 3% 감소하는 것을 알 수 있고, 토크비의 변화는 일차원 성능 모델로는 예측할 수 없었던 결과이다. 이와 같이 온도 변화에 의한 작동유의 특성 변화가 토크 컨버터의 성능 특성에 미치는 영향을 분석하는 방법은 작동유 종류가 바뀔 때 따라 그 물성치가 변화하는 영향에 의해 토크 컨버터의 성능에 미치는 영향을 분석할 경우에도 이용될 수 있다.

#### 4. 토크 컨버터 성능 시험을 통한 특성 분석

본 논문에서는 전술한 바와 같이 여러 가지 작동 상황에 대한 토크 컨버터의 성능 특성을 분석하기 위하여 승용차용 토크 컨버터 전용 성능 시험기를 제작하였고, 동일한 속도비에서 임펠러의 속도가 바뀌는 경우와 작동유의 온도가 변화할 경우 이로 인한 토크 컨버터의 성능 변화를 분석하였다. 또한, 앞에서 일차원 성능 모델과 3 차원 유동 해석을 이용하여 토크 컨버터의 기본 성능 및 작동유의 온도 변화에 의한 성능 특성 변화를 예측한 결과를 실험결과와 비교, 검증하였다.

##### 4.1 토크 컨버터 성능 시험기

토크 컨버터의 토크비, 효율, 용량계수 등의 성능을 추출하기 위하여 임펠러 축에 동력을 공급하고 터빈 축에 부하를 가할 수 있는 장치가 필요하다. 따라서 본 논문에서는 동력원으로 50 마력급 직류 모터를 사용하고 부하장치로는 100 마력급의 와전류형 동력흡수장치(eddy-current type dynamometer)를 사용하였다.

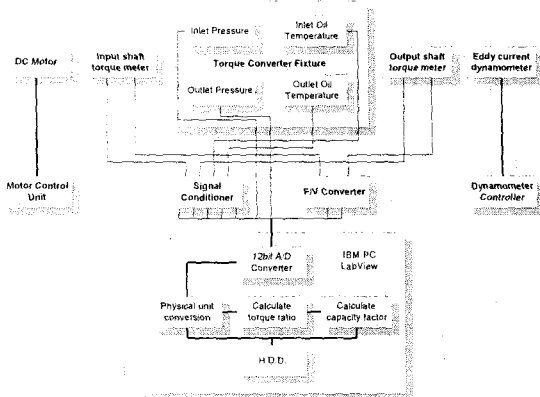


Fig. 6 Schematic layout and signal flows of the torque converter test dynamometer

한편, 토크 컨버터에 자동변속기용 작동유를 공급해 줄 수 있도록 유압 과외팩을 이용하였으며

회전하는 터빈 축 내부로 작동유를 공급하고, 임펠러 하우징 축과 스테이터 축 사이로 나오는 작동유를 회수하기 위하여 임펠러 하우징 축을 고정하면서 작동유를 공급시키는 연결부로 이루어져 있는 장치를 별도로 설계하여 제작하였다. 이 고정 장치에는 토크 컨버터로 공급되는 작동유의 온도와 압력을 측정하는 센서들을 부착함으로써 온도 및 압력의 변화가 토크 컨버터의 성능에 미치는 영향을 분석할 수 있도록 하였다.

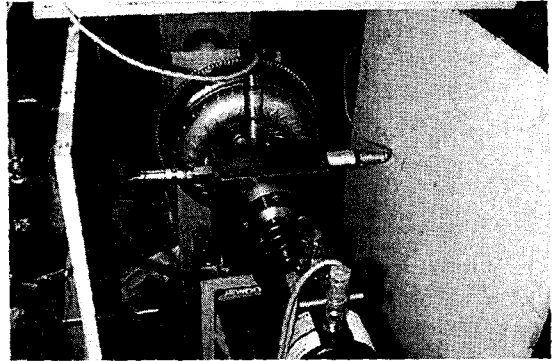


Fig. 7 Pressure sensors and thermocouples installed in converter fixture

##### 4.2 성능 시험 결과 및 분석

본 논문에서는 앞에서와 같이 제작된 토크 컨버터 시험기를 이용하여 실험을 수행한 결과와 함께 이를 분석하여 시험대상 토크 컨버터의 성능을 추출하였다. 또한, 입력 속도 및 작동 온도의 변화에 따른 토크비와 용량 계수 등 성능 계수의 변이를 추출할 수 있는 실험을 수행하여 이를 분석하였다. Fig. 8은 임펠러의 속도는 1400rpm으로 고정하고 터빈의 속도를 0~1400rpm으로 제어하여 토크비와 용량 계수를 추출한 실험 결과이다. 1 차원 성능 모델을 이용하여 예측한 기본 성능 특성이 실험 결과와 잘 일치함을 알 수 있으며 전술한 바와 같이 Fig. 4로부터 유동 해석을 이용한 성능 예측 결과도 실험 결과와 거의 일치함을 알 수 있다.

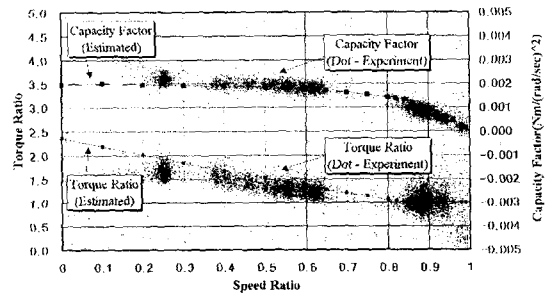


Fig. 8 Experimented performance of torque converter

##### 4.2.1 입력 속도에 대한 성능 특성 분석

토크 컨버터의 여러 작동상태에 대한 성능특성

을 분석하기 위하여 임펠러의 속도가 서로 다를 경우 같은 속도비에 대한 토크비의 값이 어떠한 거동을 나타내는지 실험적으로 추출하기 위하여 터빈 축을 베드에 고정된 상태로 모터의 토크를 증가시키면서 임펠러의 회전수에 대한 스톨 토크비(stall torque ratio)를 구하였다.

이 실험에서 작동유의 온도 변화에 의한 성능 변화를 배제시키기 위하여 입구 온도는 섭씨 40도가 유지되도록 하였으며 출구 온도는 토크 컨버터 내부의 열 발생에 의해 동일하게 유지하지는 못하였지만 섭씨 60도가 되는 순간의 임펠러, 터빈의 토크를 측정하여 이로부터 토크비와 용량계수를 추출하였으며 그 결과를 임펠러의 속도에 대하여 그래프로 나타내면 Fig. 9와 같다.

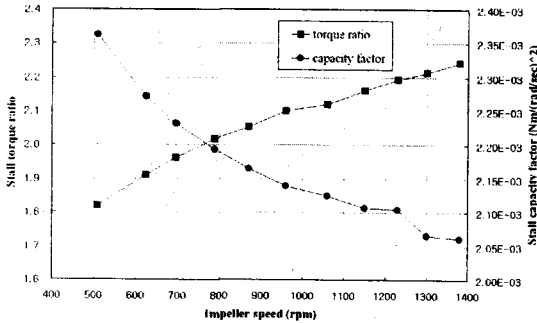


Fig. 9 Comparison of stall torque ratio with respect to input speed

여기에서 임펠러의 속도가 증가할수록 스톨 토크비는 증가하고 용량 계수는 감소하며 그 변화량이 토크비는 18.9%, 용량계수는 14.6%로서 굉장히 크다는 것을 알 수 있다. 이와 같이 토크 컨버터의 성능 특성이 임펠러의 속도에 의존한다는 것은 지금까지 정상 상태 성능을 단지 무차원 변수인 임펠러와 터빈의 속도비로만 표현하던 방법이 정량적으로 정확한 성능 예측을 하기에 적합하지 않은 것임을 의미한다.

따라서, 본 논문에서 수행한 성능 시험으로부터 확인된 바와 같이 토크비와 용량 계수 등 토크 컨버터의 성능 특성을 임펠러 속도와 터빈의 속도에 대한 함수로 나타내는 것이 보다 정확한 성능 예측을 위해서 필수적이라는 것을 알 수 있다.

#### 4.2.2 작동 온도에 대한 성능 특성 분석

1 차원 성능 모델과 3 차원 유동 해석을 통하여 예측한 바와 같이 작동 온도의 변화가 토크 컨버터의 특성에 미치는 영향을 실험적으로 확인하고 검증하기 위하여 비교적 온도 상승이 급격하게 이루어지는 스톨 상태에 대하여 약 10 분간에 걸친 실험을 수행하였다.

Fig. 10은 토크 컨버터로 공급되는 작동유의 온

도를 40°C 로 유지하고 임펠러의 속도를 1380rpm 으로 고정한 상태에서 스톨 상태로 작동시켰을 경우 작동유의 출구 온도가 40°C 에서 110°C 까지 증가하는 과정을 실험한 후 출구 온도에 대한 토크 컨버터의 성능 변화를 추출한 것이다.

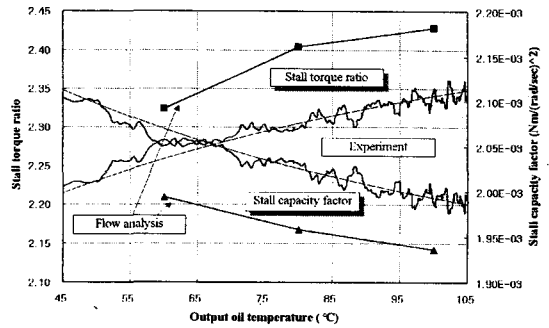


Fig. 10 The effect of temperature on the torque converter characteristics : the result of experiment and that of 3 dimensional internal flow analysis

여기에서 알 수 있듯이 작동 온도가 60°C 에서 100°C 까지 변화할 경우 토크비는 2.26 에서 2.34 까지 약 3.5% 증가하며, 용량 계수의 경우 0.00207 에서 0.00199 로 약 3.9% 감소하고 있다. 이는 작동유의 온도가 증가할수록 토크 컨버터의 토크 증대효과가 커지며, 동일한 속도비에서 동력 원과의 매칭점이 더 높은 회전수에 존재하게 되는 것을 의미한다.

이로부터 지금까지 임펠러와 터빈의 속도비만의 함수로 표현된 성능 곡선으로 토크 컨버터의 성능을 나타내던 것은 정략적으로 많은 오차를 포함하고 있음을 알 수 있으며, 토크 컨버터의 초기 설계나 선정, 동력원과의 매칭 시에 작동 온도 변화에 의한 성능 변화를 고려하여야 하는 것을 알 수 있다.

한편, 토크 컨버터의 삼차원 내부 유동 해석을 통하여 작동유의 온도 변화가 토크 컨버터의 성능에 미치는 영향을 분석한 결과는 실험결과와 동일하게 온도가 증가할수록 토크비는 증가하며 용량 계수는 감소하고 있음을 알 수 있다. 실험 결과와 유동 해석 결과를 정량적으로 비교하기 위하여 Fig. 10에 스톨 상태에서의 실험 결과와 유동 해석 결과를 함께 나타내었다. 여기에서 토크비가 증가하거나 용량 계수가 감소하는 비율은 잘 일치하고 있지만 실험과 해석 결과가 각 온도에 대하여 비슷한 양만큼의 차이를 나타내는 이유는 4.2.1절의 실험 결과를 고려할 때 실험에서의 스톨 속도는 1380rpm 인 반면 유동 해석은 임펠러의 속도를 2000rpm 으로 수행하였기 때문이라고 할 수 있다

## 5. 결론

본 논문에서는 자동 변속기의 동력 전달 장치인 토크 컨버터의 일차원 성능 모델 및 삼차원 내부 유동 해석을 통하여 승용차용 토크 컨버터의 성능 해석을 수행하였고 작동 조건의 변화에 의해서 생길 수 있는 토크 컨버터의 성능 특성 변화를 분석하였다. 또한, 그 결과를 토크 컨버터의 성능 실험을 통한 실험 결과와 비교, 검증하였다. 이상의 연구 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 토크 컨버터의 일차원 성능 모델을 이용하여 승용차용 토크 컨버터의 성능 해석을 수행하였고 밀도 변화가 토크 컨버터의 성능 특성에 미치는 영향을 분석하였으며 일차원 성능 모델이 밀도 변화에 의한 용량 계수의 변화는 예측하지만 토크비의 변화는 예측하지 못하는 것을 확인하였다.
2. 작동유의 온도 변화가 토크 컨버터의 성능에 미치는 영향을 분석하기 위하여 세 가지 온도에 해당하는 밀도를 이용하여 일차원 성능 해석을 수행하였으며 그 결과, 작동유의 온도가 섭씨 60 도에서 100 도까지 증가하게 되면 용량 계수는 전 속도비 영역에서 약 2.9% 정도 감소하는 것을 확인하였다.
3. 상용 유동 해석 프로그램인 Fluent 를 이용하여 승용차용 토크 컨버터의 삼차원 내부 유동 해석을 수행하여 토크비 및 용량 계수 등 기본 성능을 예측하였다.
4. 작동유의 온도 변화가 토크 컨버터의 성능에 미치는 영향을 분석하기 위하여 60 도, 80 도, 100 도 등 세 가지 온도에 해당하는 물성치를 이용하여 유동 해석을 수행하였으며 온도 상승에 따라 토크비는 4.5% 증가하며 용량계수는 3% 감소하는 것을 확인하였다.
5. 일차원 성능 모델을 이용하여 성능을 예측하기 어려운 상황에 대해서 토크 컨버터의 성능 특성을 분석하기 위하여 승용차용 토크 컨버터 전용 성능 시험기를 제작하고, 동일한 속도비에서 임펠러의 속도가 바뀌는 경우와 작동유의 온도가 변화할 경우 이로 인한 토크 컨버터의 성능 변화를 고찰하였으며 이로부터 일차원 성능 해석 및 삼차원 내부 유동 해석을 통하여 예측한 성능을 비교하고 검증하였다.

## 참고문헌

- (1) T. Ishihara, "Selected Papers on Automatic Power

- Transmission", Publishing Committee for Selected Papers of Professor Tomoo Ishihara, 1985, pp.3-55.
- (2) D. Hrovat and W. E. Tobler, "Bond Graph Modeling and Computer Simulation of Automotive Torque Converter", J. of Franklin Institute, Vol.391, No.1/2, pp.93-114, Jan/Feb, 1985.
- (3) Design Practices : Passenger Car Automatic Transmission", Third Edition, AE-18, SAE, pp.103-118, 1994.
- (4) H. Shoji and T. Ishihara, "Numerical Calculation of the Internal Flow of a Torque Converter", Turbomachinery, Vol.9, No.11, 1981, pp.7-12.
- (5) T. Ishihara, "An Experimental Analysis of Fluid Flow in a Torque Converter", SAE Technical Paper Series 830571, 1983.
- (6) Katsuro Fujitani and Ryutaro Himeno and Michitoshi Takagi, "Computational Study on Flow through a Torque Converter", SAE 881746.
- (7) T. W. von Backstrom and B. Lakshminarayana, "Perspective: Fluid Dynamics and Performance of Automotive Torque Converters: An Assessment", Journal of Fluids Engineering, Vol.118, pp.665-676, Dec, 1996
- (8) Kiyoyuki Minato, Kenichi Sakamoto, Michitoshi Takagi and Katsuro Fujitani, "A Performance Prediction of Hydrodynamic Torque Converter", SAE 900555
- (9) Ken-ichi Abe, Tsuguo Kondoh, Kagenori Fukumura and Masahiro Kojima, "Three-Dimensional Simulation of the Flow in a Torque Converter", SAE 910800
- (10) Masaaki Kubo, Eiji Ejiri, Haruo Kumada and Yoshihiko Ishii, "Improvement of prediction accuracy for torque converter performance: One-dimensional flow theory reflecting the stator blade geometry", JSAE Review 15, 1994, pp.309-314