

## 중부하 토크 컨버터의 실험적 성능분석

이해종<sup>†</sup> · 김세현\* · 이중섭\* · 이상철\* · 정효민\*\* · 정한식\*\*

### Experimental Investigation and Performance Test of Heavy Duty Torque Converter

Hae Jong Lee, Se Hyun Kim, Chung Seub Yi, Sang Chul Lee,  
Hyo Min Jeong and Han Shik Chung

**Key Words :** Torque converter(토크컨버터), Speed ratio(속도비), Torque ratio(토크비),  
Capacity factor(용량계수), Efficiency(효율)

#### Abstract

The present study is an investigation on the characteristics of heavy load torque converter by experimental process. To get the dynamic performance, the dynamometer was used with a parameters of speed, torque, oil pressure and oil flux, etc. The torque converter was tested for various input speed, output oil pressure and input oil flow rate. All experiments were investigated in case that the speed ratio is increased. The torque ratio and capacity factor was in inverse proportion to speed. Engine revolution had a more effects at region of low speed ratio. But, the opposite phenomena were represented increase of efficiency. In result of this experiments, the characteristics of torque converter were not influenced by oil pressure and oil flux.

기호설명

하첨자

i : Impeller

t : Turbine

N : 회전수(RPM)

T : 토크 (N/m)

Q, P : 유량( $L/M$ ,  $l/m^3$ ) P : 유압(bar)

$\Delta P$  : 입구압력 - 출구압력(bar)

SR : 속도비,  $\frac{\text{출력속도}}{\text{입력속도}}$

TR : 토크비,  $\frac{\text{출력토크}}{\text{입력토크}}$

CF : 용량계수,  $\frac{\text{출력토크}}{\text{입력속도}^2}$

EF : 효율,  $\frac{\text{출력동력}}{\text{입력동력}} = SR \times TR$

#### 1. 서론

자동차 산업이 발달함에 따라 높은 발전 효율과 사용의 편의로 인해 토크컨버터가 장착된 자동변속기를 사용하는 차량의 비율이 점차 높아 지고 있다.

토크컨버터는 엔진과 연결되어 엔진으로부터 동력을 전달 받는 임펠러, 임펠러로부터 유성기어 장치 등 변속장치로 동력을 전달하는 터빈, 그리고 외부 하우징과 일방향 클러치로 연결되어 있는 스테이터 등 세가지 요소로 구성되어 있다.

토크 컨버터의 작동은 엔진으로부터 동력을 전달 받은 임펠러의 회전에 의해 토크컨버터 내부의 유체에 펌프 수두를 발생시키고, 터빈은 이 수두를 전달 받아 회전하며, 변속기어부로 동력을 전달하게 된다.

이때, 터빈에 회전력을 전달한 유동은 스테이터로

<sup>†</sup> 경상대학교 대학원 정밀기계공학과  
E-mail : badamaru@chol.com  
TEL : (055)646-4766 FAX : (055)640-3188

\* 경상대학교 대학원 정밀기계공학과

\*\* 경상대학교 · 해양산업연구소

전달이 되고, 스테이터의 일방향클러치와 날개의 형상으로 인하여 임펠라에서 터빈으로 가는 유동과 합하여 다시 터빈으로 동력을 전달하게 된다. 이러한 내부 유동의 형성으로 토크컨버터는 토크를 증대시키는 효과를 나타나게 된다.

이러한 토크 증대효과는 최초 출발시에 가장 큰 토크 증대 효과를 나타나며 차량의 발진성능을 우수하게 하며, 속도비가 증가함에 따라 감소하게 되어, 출력속도가 입력속도의 80%정도 수준이 되면 더 이상의 토크 증가 없이 동력만 전달하는 커플링의 역할을 수행한다.

이러한 토크컨버터의 특성으로 인해 자동변속 장치를 장착한 차량은 수동 변속기 장착 차량보다 운전자의 피로를 경감시키고 운전 조작을 쉽게 하며 동력원과 변속 기어열(shifting gear train)사이 기계적인 연결이 없어 동력전달장치 각 부분에 가해지는 충격이나 진동을 흡수, 완화하여 동력의 전달을 원활히 한다는 장점 이외에, 구조가 복잡하고 가격이 고가인 점, 연료 소비율이 10% 정도 더 높다는 점등이 단점으로 되어 있다. 또한 복잡한 형상에 기인한 유동 해석의 어려움, 그리고 3차원 형상의 날개를 갖는 내부 형상의 제작은 아직도 해결해야 할 문제를 많이 남기고 있다. 이와 같은 이유로 토크 컨버터의 발명은 이미 수십 년 전에 이루어졌으나 그 연구 성과는 저조한 형편이며 단지 세계의 우수한 자동차 회사를 중심으로, 경험을 바탕으로 한 기술적 연구가 진행되어 올 뿐, 대부분의 노하우(know-how)가 공개되지 않고 있다. 한편, 최근에 컴퓨터의 고속화 및 대용량화가 이루어지면서 복잡한 경계를 가지고 있는 유체 기계에 대한 수치 해석이 활발하게 진행되고 있으며 토크 컨버터의 내부 유동 또한 수치 해석적으로 분석하려고 하는 연구들이 많이 진행되고 있다. 1980년대 초반부터 시작된 이러한 시도들은 현재 3차원 유동 해석을 통하여 토크 컨버터의 성능 특성인 토크비와 용량 계수를 예측할 수 있는 수준까지 왔지만 정량적으로 정확한 예측을 하지는 못하고 있다.<sup>1)</sup>

특히 궤도차량용 변속기에 사용되는 중부하 토크 컨버터의 경우에는 서방 선진국에서 개발한 것을 국내 도입하여 사용하고 있는 실정인어서, 부품의 국산화 실적이나, 또 이를 위한 제반 연구가 현재까지는 부족한 실정이다.

따라서, 본 연구에서는 궤도차량용 중부하 토크 컨버터를 설계하기 위한 기초연구로, 중부하 토크 컨버터의 기본 성능을 확인하기 위하여 중부하 토크 컨버터용 시험기를 활용하여 입력속도, 유량, 출구 압력등을 변수로 실험을 수행하였다.

## 2. 토크 컨버터의 성능 변수

토크 컨버터의 복잡한 내부형상으로 인하여 토크 컨버터에 대한 초기 연구는 컨버터 내부의 3차원 유동장의 거동을 임의의 평균 유선상에서 등가로 표현하는 등가모델링에 의해 이루어져 왔다. 이때의 연구는 동력손실량 및 평균 유선에 대한 자세한 검증보다는 정성적인 토크 컨버터의 거동을 주로 파악하는데 노력하였다.<sup>3)</sup>

그후 토크 컨버터의 정확한 성능을 예측하기 위하여 Isihara 에 의해 내부 유동의 등가 모델링이 체계화 되어 정상 상태<sup>4)</sup>와 비정상 상태<sup>5)</sup>에 대한 성능 모델을 구체화 하였다.

1980년대 이후에는 전산기의 발달과 전산유체역학의 발달에 힘입어 Robert R. By 와 John E. Mahoney, Fujitani, Abe 등에 의하여 내부 유동 해석이 수행되었다.<sup>1)</sup>

이런 여러 가지 연구들을 통하여 토크 컨버터의 성능을 나타내는 성능 변수들을 토크 컨버터에 작용하는 변수(회전수, 토크)를 이용하여 정의 한다.

먼저 속도비, SR 은 아래의 식(1)에서와 같이 임펠러와 터빈간의 회전속도비로 정의한 것으로 이것을 매개변수로 하여 성능특성을 나타낸다.<sup>6)</sup>

$$SR = \frac{N_i}{N_t} \quad (1)$$

출력속도가 "0"인 경우를 스톨(stall) 상태라고 하여 정지상태에서 움직이기 시작하거나, 브레이크를 밟은 상태에서 엔진을 구동할 경우에 해당한다. 다음은 토크비, TR 은 아래의 식 (2)에서와 같이 임펠러와 터빈간의 토크비로 정의하며, 토크 컨버터의 주요 성능인 토크 증배효과를 나타내주는 성능변수이다.

$$TR = \frac{T_t}{T_i} \quad (2)$$

토크비는 스톨상태에서 최대 값을 가지게 되며 이때의 토크비가 토크 컨버터의 최대 토크비가 되며 속도비가 증가함에 따라 토크비는 선형적 감소를 하게 된다. 속도비가 일정수준 이하로 감소하게 되면 토크비가 더 이상 감소하지 않고 "1"부근에서 일정한 값을 가지게 되는데 이는 토크 컨버터 내부의 스테이터(stator)가 회전을 시작하여 토크 컨버터의 토크 증배효과가 없어지

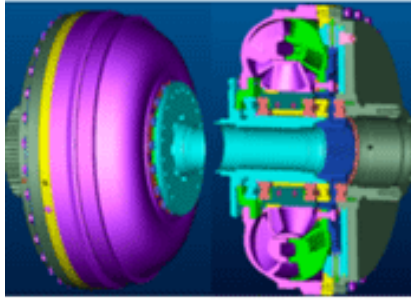


Fig. 1 Experimental test model of torque converter

게 되는데 이때의 속도비를 커플링점(coupling point)라 하며, 이 커플링점을 기준으로 하여 커플링점 이전까지는 토크 증배효과가 있는 컨버터 영역(converter range), 그 이후에는 토크 증배효과가 없이 단순히 유압 커플링으로만 작용하는 커플링 영역(coupling range)으로 구분한다. 토크 컨버터와 엔진의 매칭상태를 확인하기 위하여 용량계수를 사용하며 토크 컨버터의 용량계수는 다음과 같이 표시한다.

$$CF = \frac{T_i}{N_i^2} \quad (3)$$

토크 컨버터의 효율은 입출력되는 동력비로 식 (4)와 같이 정의되는데 일반적으로 컨버터 영역에서는 포물선형 증가하여 속도비가 0.6~0.8 구간에서 최대값을 나타낸 이후, 커플링 영역에서는 속도비에 따라 선형 증가한다.

$$EF = \frac{N_i \times T_i}{N_t \times T_t} = SR \cdot TR \quad (4)$$

### 3. 토크 컨버터의 성능 시험

#### 3.1 시험 대상 및 방법

실험대상 토크 컨버터는 1,200 마력급 전차용으로 최대토크비가 2.9이며, 이 차량의 동력원은 아이들(idle)회전수가 850rpm, 최대 회전수가 2,600rpm 인 디젤 엔진을 사용하고 있다.



a) Impeller      b) Stator      c) Turbine

Photo. 1 The parts of torque converter

Table 1 Specification of test dynamometer

Test Unit	Specification
Input	- Maximum Torque : 870 Nm - Maximum Speed : 2,500 rpm - Speed Limit : 1,600 rpm - Maximum Power : 230 kW
Output	- Maximum Torque : 2,500 Nm - Maximum Speed : 2,500 rpm - Speed Limit : 1,600 rpm - Maximum Power : 100 kW

기본성능 시험을 위하여 Photo.2 의 궤도차량용 토크컨버터 전용 시험기가 사용되었다. 시험방법은 한국 산업규격중 “자동차용 유체 토크컨버터의 성능시험방법 (KS R 1085-1988)” 의 일반 성능시험방법에 따라 수행하였으며, 전용 시험기에 대한 신뢰도는 선행 연구를 통하여 증명하였다<sup>7)</sup>.

#### 3.2 토크컨버터의 기본 성능

3.1 에서 설명한 전용시험기를 이용하여 대상 토크 컨버터에 대한 성능시험을 수행한 결과 최대 토크비는 속도비 0 에서 2.7 ~ 2.8 로 나타나, 전술한 최대 토크비인 2.9 에 근접하게 나타나고 있다.



(a) Test part

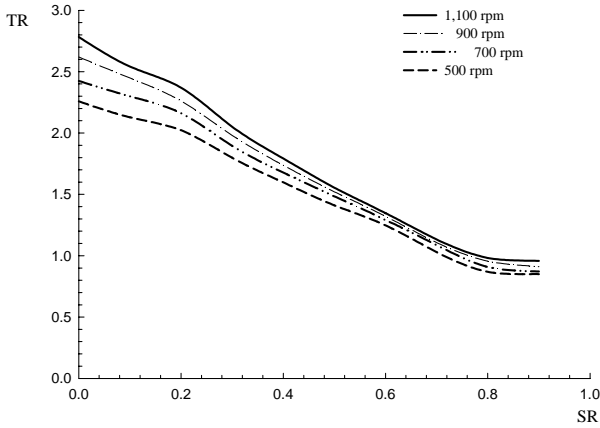


(b) Control part

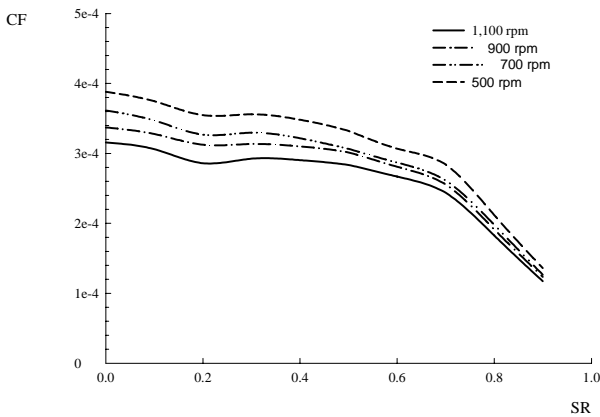
Photo. 2 Performance test dynamometer of heavy duty torque converter setup

### 4. 토크컨버터의 성능 분석

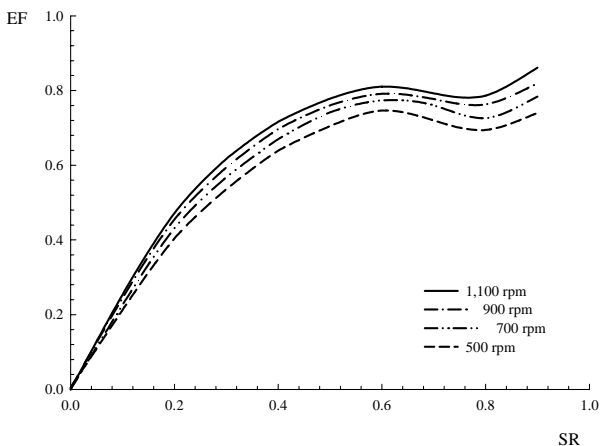
#### 4.1 입력속도 변화에 따른 성능 변화



**Fig. 2** Comparison of torque ratios at various input speed



**Fig. 3** Comparison of capacity factor at various input speed



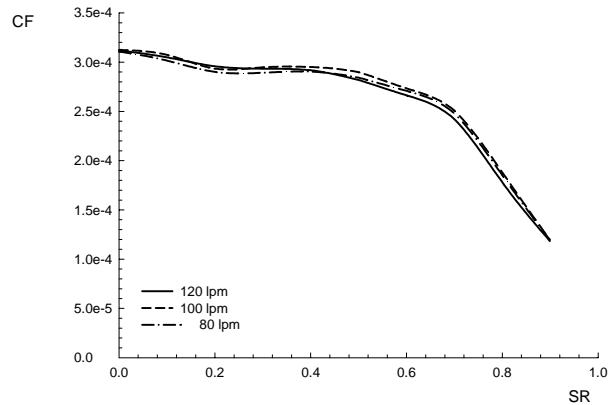
**Fig. 4** Comparison of efficiency at various input speed

실제 차량에서의 적용성을 확인하기 위하여 입력속도의 변화에 따른 토크 컨버터의 성능변화를 확인하기 위하여, 입력속도를 1,100 rpm 에서 500 rpm 까지 200rpm 씩 감소시켜 시험을 수행한 결과, 입력속도가 1,100rpm 에서 500rpm 으로 감소함에 따라 토크비는 약 14% 감소하고, 용량계수는 약 19% 증가하며, 효율은 약 13% 감소함을 확인하였다<sup>7)</sup>.

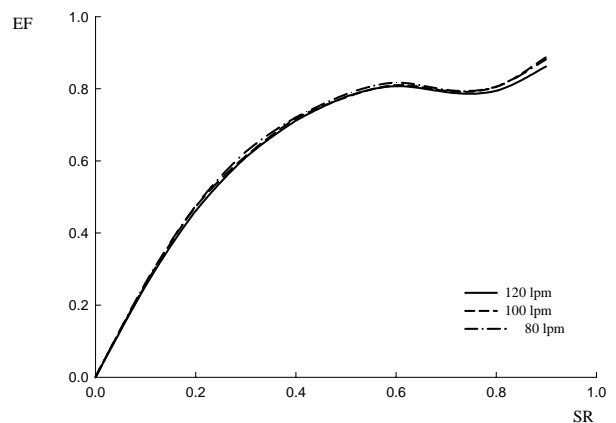
#### 4.2 유량변화에 따른 성능 변화

토크컨버터는 엔진으로부터 동력을 전달 받아 작동을 하며, 작동에 필요한 작동유 또한 외부의 펌프를 통하여 공급을 받는다.

펌프의 용량에 따른 토크컨버터의 성능변화를 확인하기 위하여 토크컨버터의 유입유량을 120 L/M , 100 L/M , 80 L/M 으로 감소시켜 시험을 수행한 결과 시험범위의 유량에서의 토크 컨버터의 성능에는 변화가 없음을 확인 하였다.



**Fig. 5** Comparison of capacity factor at various input oil



**Fig. 6** Comparison of efficiency at various input flow rate

4.2 압력변화에 따른 성능 변화

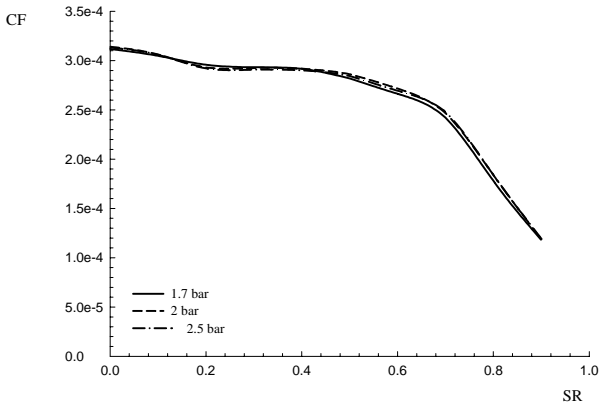


Fig. 7 Comparison of capacity factor at various output oil pressure

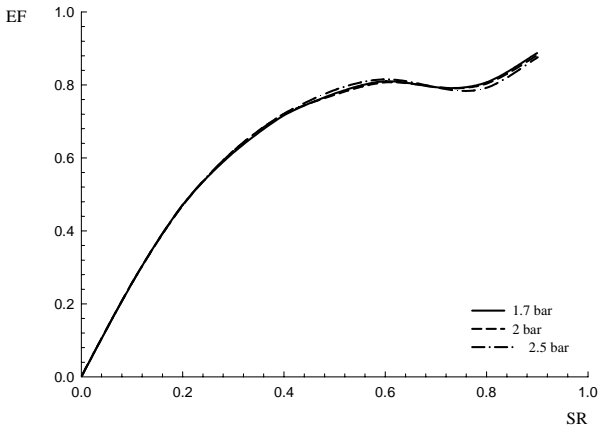


Fig. 8 Comparison of efficiency at various output oil pressure

압력변화에 따른 토크 컨버터의 성능변화를 확인하기 위하여 토크 컨버터의 출구압력을 각각 1.7 bar, 2 bar, 2.5 bar 로 증가시켜 시험을 수행하였으며, 그 결과 토크 컨버터의 성능변화에 영향을 주지 않았는데, 이는 시험에 사용된 압력이 토크컨버터의 최소 작동압력 이상이기 때문이라고 판단된다.

4.3 유량 및 압력 변화에 따른 내부 압력 강하

앞의 실험에서 토크 컨버터의 여러가지 작동 조건 중 입력속도외에는 작동 성능에 큰 영향을 주지 않음을 확인 했다.

유량과 유압이 내부유동에 미치는 영향을 확인하기 위하여 유량 및 유압의 변화에 따른 토크컨버

터 내부의 압력강하를 비교하였다.

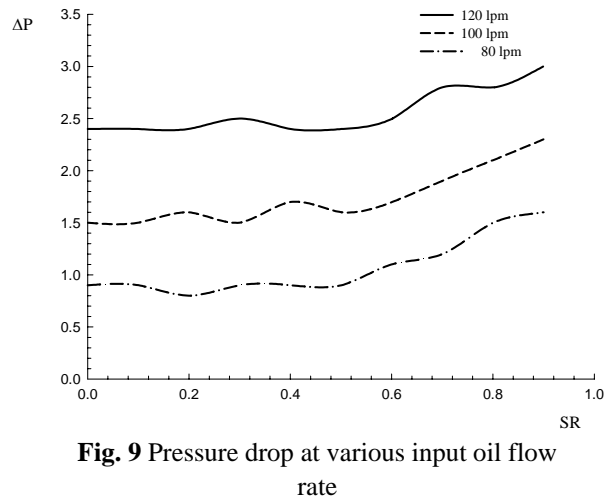


Fig. 9 Pressure drop at various input oil flow rate

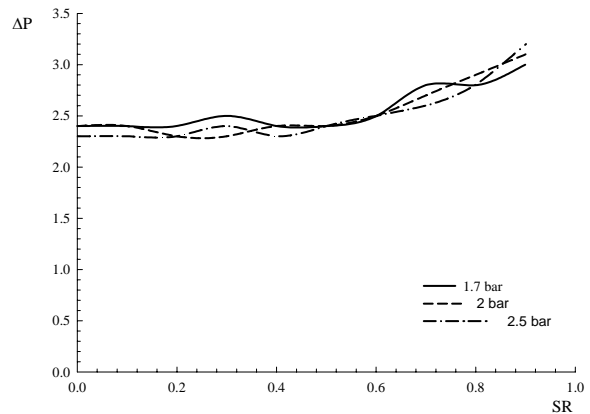


Fig.10 Pressure drop at various out oil flow rate

Fig. 9 은 유량에 따른 토크 컨버터 내부의 압력강하를 나타내고 있는데, 속도비가 0 에서 0.9 까지 변화하는 동안 유량 120 L/M , 100 L/M , 80 L/M 에서의 평균 압력강하 ΔP 는 각각 2.56 bar, 1.74 bar, 1.07 bar 로 유량이 감소함에 따라 내부의 압력강하의 폭도 작아졌다.

Fig. 10 은 출구 압력에 따른 토크 컨버터 내부의 압력 강하를 나타내고 있는데, 출구압력 1.7 bar, 2bar, 2.5bar 에서의 평균 압력강하 ΔP 는 각각 2.56bar, 2.51bar, 2.51bar 로 나타나 토크컨버터 내부의 압력강하는 출구 압력에 크게 영향을 받지 않았다.

또한, Fig. 9 와 Fig.10 를 살펴보면, 토크컨버터 내부의 압력강하 ΔP 가 속도비가 0 에서부터 0.5 까지 증가 하는 동안에는 비교적 일정한 값을 보이다가 속도비 0.5 이후부터 증가함을 확인하였다. 이는 속도비 0.5 이후 토크컨버터의 작동상태가 내부 스테이터가 회전을 하는 커플링 점을 포함하는

등의 변화로 내부의 유동형태가 속도비 0.5 이전과는 많은 차이가 있음을 실험을 통하여 확인하였다.

## 5. 결 론

(1) 실험에 사용된 토크 컨버터를 입력속도, 유량, 출구 압력등을 변수로 하여 성능분석을 위한 실험을 실시한 결과, 입력속도는 토크컨버터의 성능에 큰 영향을 미치지만, 실험에 사용된 유량과 출구 압력등의 영향은 나타나지 않았다.

(2) 실험을 통하여 입력속도가 토크 컨버터의 성능에 미치는 영향을 확인한 결과 입력속도가 1,100rpm 에서 500rpm 으로 감소함에 따라 토크비는 약 14% 감소하고, 용량계수는 약 19% 증가하며, 효율은 약 13% 감소하였으며, 그 영향은 토크비와 용량계수는 속도비가 작을수록, 효율은 속도비가 클수록 크게 나타났다.

(3) 유량과 출구 압력의 변화에 따른 토크컨버터의 성능변화를 확인하기 위하여 시험을 수행한 결과 실험에 사용된 레도차량용 토크컨버터의 경우 유량  $80 L/M \sim 120 L/M$  구간과 출구 압력 1.7 bar ~ 2.5 bar 구간의 변화는 토크 컨버터의 성능에 영향을 미치지 않음을 확인하였다.

(4) 유량과 출구 압력의 변화에 따른 토크컨버터 내부 압력 강하를 확인한 결과, 유량  $120 L/M$ ,  $100 L/M$ ,  $80 L/M$  에서의 평균 압력강하  $\Delta P$  는 각각 2.56 bar, 1.74 bar, 1.07 bar 로 유량이 감소함에 따라 내부의 압력강하의 폭도 작아졌으며, 출구 압력의 변화는 내부압력 강화에 큰 영향을 미치지 않았다.

(5) 유량과 출구 압력 변화에 따른 내부 압력강화를 확인한 결과 속도비 0 ~ 0.5 구간에서는 비교적 일정한 값을 가지다가, 속도비 0.5 이후에 증가추세를 보이고 있는데, 이는 토크컨버터의 작동상태에 변화가 생기며, 내부 유동 역시 변화하고 있음에 기인하는 것으로 판단된다.

(6) 따라서, 중부하 토크 컨버터의 설계를 위한 연구를 수행하기 위하여 실험적 방법으로는 시험에 사용된 입력속도, 유량, 압력등의 변수에 대하여 그 범위를 확장하여 다양한 시험의 수행이 필요하며, 실험대상의 특수성으로 인하여 기하학적 변수의 선택이 제한됨에 따라 수치해석을 통한 내부유동 해석이 필요하며, 이를 통하여 속도비 0 ~ 0.5

구간과 0.5 이후 구간의 내부 유동의 차이에 대한 정확한 해석이 필요하다.

## 후 기

본 연구는 BK21, NURI 및 산업자원부의 지역 혁신 인력양성사업의 연구 결과로 수행되었으며, 관계자 여러분께 감사드립니다.

## 참고문헌

- (1). Wookjin Jang, 2000, An Investigation on the Characteristics of Torque Converter through Internal Flow Analysis and Experiments, pp1 ~ 120, Seoul National University Graduated School.
- (2). Wonsik Lim, 1995, A study on the analysis/design of the torque converter and the analysis of the dynamic characteristics of the automatic transmission, pp1 ~ 207, Seoul National University Graduated School.
- (3). Mathias F. Brejcha, 1982, Automatic Transmission, pp39 ~ 41, Prentice-Hall.
- (4). T. Ishihara, 1985, Selected Papers on Automatic Power Transmission, p3 ~ 55, Publishing Committee for Selected Papers of Professor Tomoo Ishihara.
- (5). C. W. Lee, Design and Analysis of a Torque Converter Based on 3D Contour Parameters Sensitivity, pp116 ~ 117, Seoul National University Graduated School, 2002.
- (6). S. Shin, H. H. Ahn, T. K. Lee, 1998, Performance Analysis of a Torque Converter with Three Dimensional Flow Simulation, Transactions of the Korea Society of Automotive Engineers, Vol, 6, No.6, pp15 ~ 23.
- (7). Haejong Lee, Seukcheun Choi, Chungsub Yi, Hanshik Chung, Hyomin Jeong, 2003, An Investigation on the Characteristics of Heavy Duty Torque Converter for Tracked Vehicle, 2003 Autumn Conference Proceeding (Local : Pusan, Ulsan, Kyoung-nam), KSAE03-Y0027, pp88~94.