

Torque Converter의 설계 및 유동해석

박 재인(연세대 대학원), 조 강래(연세대 기계공학과)

Design and Flow Analysis of Torque Converter

J. I. Park(Yonsei Graduate School), K. R. Cho(Yonsei Univ.)

ABSTRACT

The situation frequently occurs in which the input torque capacity of the torque converter should be changed. It is known that the modification of the outlet blade angles of the torque converter elements is suitable for such situation with the diameter of flow path of the converter maintained. But so far it has been difficult to predict correctly the converter characteristics as well as the effects of outlet torque capacity in the past numerical methods. In the present numerical analysis, by introducing the interrow mixing planes, the torque capacity was satisfactorily predicted and it was shown that the torque capacity could be effectively changed by the outlet blade angles of pump and stator.

주요기술용어 : Torque Converter (토크 컨버터), Blade Angles(날개각), performances (성능), Torque Ratio (토크비), C-factor, Numerical Analysis (수치해석), One-dimensional Analysis (일차원 해석)

1. 서론

자동차용 토크 컨버터는 일반적으로 엔진의 크랭크축에 연결된 펌프와 변속기에 연결된 터빈 그리고 고정하우징에 일방향 클러치와 함께 고정된 스테이터의 세가지 요소로 구성되어 있다. 토크 컨버터의 입력축 토크용량은 유로의 외경치수가 정해지면 각 요소에 주어진 날개각도의 조합에 의해 결정된다. 그러나 원래의 설계시에 설정되었던 토크 컨버터 또는 엔진의 특성에 차이가 생겼을 때 또는 실속 회전속도 변경의 필요성이 발생했을 때 입력축 토크용량을 조정할 필요가 생긴다. 이와 같은 경우 효율, 실속 토크비 등에 대한 영향을 최소화하고 토크용량만을 바꾸기 위해 펌프 임펠러 또는 스테이터의 출구날개각을

바꾸는 경우가 있다. 특히 펌프 출구각의 변화는 입력축 토크용량을 상당히 크게 조정할 수 있다. 일반적으로 입력축 토크용량은 펌프의 출구날개각을 회전차와 같은 회전방향으로 기울게하면 증가하고 실속 토크비는 약간 저하하며, 반면에 회전차의 회전방향과 반대방향으로 기울게 하면 입력축 토크용량은 감소하면서 실속 토크비는 약간 상승한다.

Jandasek⁽¹⁾는 15년간 토크 컨버터의 실험적인 연구를 수행하여 많은 설계데이터를 축적하였다. Jandasek은 펌프 출구각에 대한 실속 점에서의 토크비 및 토크용량과의 관계를 포함한 속도비에 따른 토크비, 효율, 입력 회전 속도, 토크용량에 관한 실험결과를 제시하였다.

Mercure⁽²⁾는 자동차용 토크 컨버터에 대해 전반적인 고찰을 수행하였다. Mercure는 펌프 출구각을 수정함으로써 실속 K-factor를 약 15%정도 조정할 수 있다고 하였다. 실속 K-factor가 250인 Borg-Warner사의 9in 토크 컨버터의 펌프출구각을 -45로 수정하였을때 실속 K-factor는 290으로 상승하였으며, +33 수정하였을때는 217로 감소하였다. 또한 이러한 출구각의 변화를 깃출구부근에서 급격하게 주었을때와 상류쪽에서부터 점진적으로 날개 각을 주었을때를 비교해 보면 급격하게 주었을때는 약 3%정도의 효율감소를 보였다.

Ishihara⁽³⁾는 입력축 토크용량의 조정을 위한 회전차 출구각도의 수정은 미끄럼계수를 단위로서 생각하는 것이 편리하다고 밝혔다.

최근에는 전산유체역학적으로 토크 컨버터의 성능을 예측하고 내부유동장을 해석하기 위한 연구들이 활발하게 진행되고 있다. 예를 들어 Fujitani 등⁽⁴⁾과 Abe 등⁽⁵⁾의 연구가 있으나, 토크 컨버터의 유로는 토러스형상이므로 그들의 연구와 같이 경계면위치를 익렬의 상류와 하류로 임의로 연장하여 경계조건을 적용하기가 곤란하며, 토크용량의 예측에 있어서 정확하지 못하다는 문제가 있다 Cigarini 등⁽⁶⁾은 토크용량까지 포함해서 좋은 결과를 예측하였으나 경계값을 주는데 실험치를 사용해야 한다는 문제가 있다. 이와 같이 경계면 또는 경계치상의 문제를 그대로 둔 채 토크 컨버터의 날개각 변화가 토크 컨버터의 성능에 미치는 영향을 예측하기에는 오차가 클 것으로 예상된다.

본 연구에서는 토크 컨버터의 날개각이 토크 컨버터의 성능에 미치는 영향을 연구한다. 이를 위해 토크 컨버터의 성능예측에 좋은 결과를 얻은 바 있는 저자들⁽⁷⁾의 계산방법을 사용한다.

본 연구목적을 위해 어느 기준 토크 컨버터, 즉 기준 토크 컨버터의 세개 요소가 갖는 날개각도의 조합을 기준으로 하여 펌프 임펠러와 터빈회전차 및 스테이터의 입출구 날개각이 실속 토크용량에 미치는 영향을 수치계산법에 의해 예측하고 이들 결과를 실험치와 비교하여 본 연구에 의한 수치계산방법의 타

당성을 검증한다. 본 연구의 수치해석은 토크 컨버터의 유동장을 정상, 비압축성, 난류유동이라는 가정아래 시간평균된 Navier-Stoke 방정식을 유한체적법을 이용하여 이산화하고 난류모델로서 표준 k-ε 모델을 적용하여 수행하였다.

2. 수치해석기법

본 연구의 수치해석기법은 1996년에 발표된 토크 컨버터의 성능예측에 좋은 결과를 얻은 바 있는 익렬간 혼합모델을 이용한 저자들의 계산방법을 사용하였으며, 본 논문에서는 지면관계상 생략하기로 한다.

3. 결과 및 고찰

3.1 일차원 해석

토크 컨버터의 날개각이 성능변화에 미치는 영향을 연구하기 위해 기준이 되는 토크 컨버터로서 Table 1의 A를 택하였다. 각 요소의 입출구각은 자오면 단면내에서 자오면방향을 기준으로하여 각 요소의 입구와 출구의 접선방향이 반회전방향으로 자오면방향과 이루는 각을 양(+)으로 하였다.

각 요소의 날개각이 토크 컨버터의 특성에 미치는 영향을 개략적으로 파악하기 위해 기준 토크 컨버터의 각 요소의 입구 및 출구날개각 6개 중에서 각각 1개의 날개각만을 변화시켜 실속점에서의 토크비와 토크용량(C-factor)을 일차원 이론에 의해 계산하였다 그 결과는 Fig. 1과 같다. 그림중에서 한 점으로 표시된 각도가 기준 토크 컨버터 A의 날개각들이다. Ishihara⁽³⁾는 날개각이 크면, 제조의 어려움과 아울러 과도한 유동편차가 발생하므로 모든 요소의 날개각의 최대값은

$|\tan \beta|_{\max} = 2.0 - 2.5$ (여기서, β 는 각 요소의 날개각)로 제한하는 것이 좋다고 하였다. 따라서, Fig. 1에서의 날개각 범위는 모두 $-6^\circ \sim +65^\circ$ 로 한정하였다. Fig. 1에서 알 것드시 3개요소의 모든 입구각과 터빈의 출구각은 상당히 넓은 범위에서 변화하여도 실속

접에서의 토크비와 토크용량의 크기에 큰 영향을 미치지 않음을 알 수 있다. 그러나, 펌프의 출구각의 경우 반회전방향으로 각도가 커지면 실속 토크비는 증대하고 토크용량은 크게 감소함을 알 수 있다. 한편 스테이터의 출구각은 펌프 출구각의 경우와 반대의 경향으로 토크비 및 토크용량에 큰 영향을 미침을 알 수 있다.

이상의 일차원 해석의 결과로부터 펌프 출구각과 스테이터의 출구각이 실속접에서의 토크비와 토크용량에 가장 큰 영향을 미치는 것으로 나타났다. 이 결과는 펌프의 운동량이론으로도 예측이 가능한 결과이다. 따라서 본 연구에서는 펌프 출구각과 스테이터 출구각을 연구대상으로 택하였으며 이들의 각도가 수정된 토크 컨버터는 Table 1의 B, C, D와 같다. 그러나 토크 컨버터 D의 경우 기준 토크 컨버터에 대해 스테이터 출구각만을 변경한 실험 결과가 없었으므로 스테이터의 입구각도 크지는 않지만 동시에 변경된 것을 연구대상으로 하였다.

Table 1 Mean dimensions and b angles at inlet/outlet of torque conver

	elemen	A	B	C	D
inlet angle (degree)	pump	38.48	38.48	38.48	38.48
	turbine	-30.37	-30.37	-30.37	-30.37
outlet angle (degree)	pump	0	* 17.6	* 52.5	* 52.5
	turbine	49.78	49.78	49.78	49.78
	stator	-59.50	-59.50	-59.50	* -67.1

** inlet radius of pump = 0.066 m
 ** outlet radius of pump = 0.108 m
 ** inlet radius of turbine = 0.108 m
 ** outlet radius of turbine = 0.067 m
 ** inlet radius of stator = 0.059 m
 ** outlet radius of stator = 0.059 m
 ** Flow area = 0.00958 m²

* : 토크 컨버터 B와 C는 펌프 출구각만을 수정한 것이고 D는 C와 펌프 출구각을 C와 같게 하고 스테이터의 입구각과 출구각을 변경한 것이다.

** : 토크 컨버터 A, B, C, D 모두에 동일하다.

3.2 토크 컨버터의 성능

토크 컨버터의 각 요소에 작용하는 토크 T_{ele} 는 익면에 작용하는 압력을 식(1)과 같이 적분하여 구할 수 있다.

$$T_{ele} = M_{ele} \left(\sum_i \sum_k \dot{p}_{p,i} r_{ik} dS_{ik} \hat{\theta}_{ik} + \sum_i \sum_k \dot{p}_{s,i} r_{ik} dS_{ik} \hat{\theta}_{ik} \right) \quad (1)$$

토크가 구해지면 토크비(torque ratio), 효율(efficiency), 토크용량(torque capacity C-factor) 등의 토크 컨버터의 성능은 식(2)~(4)에 의해 구할 수 있다.

$$\text{Torque ratio } \tau = \frac{T_{turbine}}{T_{pump}} \quad (2)$$

$$\text{Efficiency } \eta = \frac{N_{turbine} T_{turbine}}{N_{pump} T_{pump}} = e \cdot \tau$$

$$e = (N_{turbine} / N_{pump}) \quad (3)$$

Torque capacity or C-factor(C.F.)

$$C.F. (C-factor) = \frac{T_{pump} (kgf \cdot m)}{N_{pump}^2 (rpm^2)} \times 10^6 \quad (4)$$

Table 1에 제시된 토크 컨버터들에 대해 수치계산과 1차원 해석으로 성능을 계산한 결과를 실험결과와 함께 Fig.2~5에 도시하였다. Fig.2, 3, 5의 토크 컨버터 A, B, D에 대한 치계산은 입력축 토크를 10kgf·m로 일정하게 유지하여 실험한 펌프와 터빈의 회전속도를 이용하였으며, Fig.4의 토크 컨버터 C의 경우에는 실험값이 없기 때문에 펌프 회전속도를 1000rpm으로 고정하여 계산하였다. 일차원 해석결과는 Fig.2,3에 제시된 토크 컨버터 A와 B의 토크비와 효율에서 실험결과 및 계산결과에 근접하고 있으나, 펌프 및 스테이터의 출구각을 기준 토크 컨버터로부터 상당히 크게 수정한 Fig.5의 토크 컨버터 D의 경우에는 큰 차이를 보이고 있을뿐만아니라 토크용량(C.F.)은 대상 토크 컨버터 모두에서 실험결과와 상당한 정량적인 차이를 보인다. 따라서, 일차원 이론은 날개각의 수정에 의한 토크 컨버

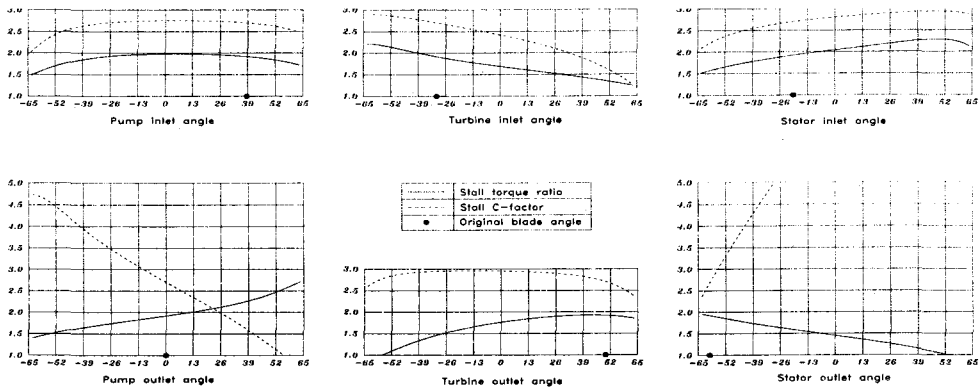


Fig.1 Stall torque ratio and C-factor variation by changing a blade angles w blade angles unchanged

터의 성능변화를 효과적으로 예측하는데 한계가 있음을 알 수 있다. 이에 비하여 수치계산 결과에서는 토크비 및 효율과 토크용량곡선의 모양이 정성적정량적으로 실험결과와 좋은 일치를 보이고 있다. Fig.3에 제시된 토크 컨버터 B의 경우의 토크용량은 계산결과가 실험결과와 약간의 차이를 보이고, 계산결과가 실험결과보다 헤지테이션(hesitation: 토크용량곡의 모양이 불룩해지는 현상으로서 자동차의 가속성능 및 주행승차감을 떨어뜨린다)을 약간 과다하게 예측하고 있다.

Fig.6은 토크 컨버터 B에 대한 입력축 토크를 10kgf·m와 17kgf·m로 일정하게 유지하여 실험한 결과와 각 입력축 토크조건하에서의 펌프 및 터빈 회전속도를 이용하여 계산한 결과를 함께 도시한 것이다. 실험결과는 입력축 토크에 따라 약간의 차이를 보이며, 토크용량(C.F.)에서는 좀 더 차이가 크게 나타나고 있다. 반면에 수치계산결과는 입력축 토크의 크기에 따른 차이는 그림상에서는 확인할 수 없는 정도로 작다. 입력축 토크의 크기에 따라 나타나는 실험결과와 수치계산결과에 대한 이와 같은 차이는 앞으로 규명되어야 할 것이다. 수치계산결과와 실험결과 사이에서 차이가 크다고 볼 수 있는 토크용량의 경우 17kgf·m의 입력축 토크조건하에서의 실험결과는 헤지테이션이 발생하는 것이 분명하게 나타나고 있고, 이 결과는 수치계산결과에 더욱 근접하고

있음을 알 수 있다.

Fig. 7에서는 펌프 출구각의 수정에 따른 성능의 변화를 알기 위해 Fig.2, 3, 4에 제시된 토크 컨버터 A, B, C의 성능값들 중에서 계산 결과만을 발췌하여 도시하였다. 이 그림에서 토크비와 효율은 펌프 날개각을 수정하여도 전체 속도비영역에서 변화하지 않음을 알 수 있다. 그러나, 토크용량은 펌프 출구각의 조정에 의해 속도비영역 전체에서 크게 변화하며, 토크용량은 A, B, C 순으로, 즉 펌프 출구각이 반회전방향으로 증대할수록 감소함을 알 수 있다. 이 경향은 일차원 해석결과에서도 예측된 바와 같고, 펌프의 운동량이론에서도 예측될 수 있는 결과이다.

Fig.8은 스테이터의 입출구각만이 서로 다른 토크 컨버터 C와 D의 계산결과를 비교한 것으로 펌프 출구각의 조정과 마찬가지로 토크용량에서 차이를 나타낸다. 기준 토크 컨버터 A에 대한 실속점에서의 토크비와 토크용량의 변화율을 다음식(5)에 따라 구한 결과 Table와 같다.

$$\Delta \tau \text{ or } \Delta C.F. (\%) = (\tau_{B,C,D} - \tau_A) / \tau_A \times 100$$

$$\text{or } (C.F._{B,C,D} - C.F._A) / C.F._A \times 100 \quad (5)$$

토크 컨버터의 펌프출구각만을 펌프출구부근에서 반회전방향으로 급격히 수정한 B와 C의

A에 대한 실속 토크비의 변화율은 수치계산결과에 따르면 약 5.2%이내로 증대하고 있는 것에 비해 실속 토크용량은 36.5%정도로 상당히 크게 감소하고 있음을 알 수 있다. 이들의 수치계산결과로부터 펌프 출구각의 반회전방향으로의 증대는 실속토크비에는 그다지 영향을 미치지 않으면서 실속토크용량을 크게 감소시킨다고 할 수 있다. 한편 실험결과는 C에 대한 데이터가 없기는 하지만 B의 실험결과에 의해서도 수치계산의 결과가 타당함을 뒷받침하고 있다고 볼 수 있다. 펌프 출구각만을 조정한 토크 컨버터 C와 스테이터의 입출구각도 동시에 수정한 토크 컨버터 D의 두 경우를 비교할 때 실속 토크비는 C에 대해 약 1%정도밖에 감소하고 있지 않았으나 실속 토크용량은 약 6%의 감소를 보였다. 이것은 스테이터의 입출구각이 실속토크비에는 별 영향없이 실속토크용량에만 큰 영향을 미친다고 할 수 있다. 이와 같은 결과는 B와 D의 실험결과에서 실속토크용량이 B보다 D의 것이 훨씬 크게 변하고 있는 것으로 보아도 타당하다고 할 수 있다.

이상의 결과로부터 토크 컨버터의 토크용량의 조정은 펌프출구부근에서 날개의 출구각을 수정함으로써 가능하고 이 수정방법은 제작과정에서도 쉽게 이뤄질 수 있다. 이러한 수정은 입력축 토크용량을 상당히 광범위하게 조정할 수 있으면서 토크비와 효율에 미치는 영향은 상대적으로 작았다. 한편 본 연구의 스테이터의 경우 입구각도 출구각과 함께 변경되고 익형에서도 차이가 있었으나 일차원해석의 결과 스테이터 입구각의 실속특성에 미치는 영향이 작았으므로 실험에서나 수치계산에서의 결과는 주로 스테이터 출구각의 영향이라고 생각할 수 있을 것이다. 따라서 스테이터 출구각의 수정도 토크용량을 조정하는데 큰 효과를 기대할 수 있다. 그러나 이 경우 날개의 형상도 동시에 고려해야하는 점에 유의해야한다.

3.3 정압계수분포

토크 컨버터내부의 순환유동은 펌프와 터빈의 서로 다른 회전속도로 인해 발생하는 원심력의 수두차이로 발생한다. 토크 컨버터 A,

Table 2 Variations of torque ratio C-factor from reference torque converter

		Cal.(%)	Exp.(%)	1-Dim.(%)
$\Delta \tau$ (at stall)	B	+1.6	+5.8	+7.0
	C	+5.2	.	+29.9
	D	+4.1	+0.5	+63.9
$\Delta C.F.$ (at stall)	B	-19.4	-18.0	-18.0
	C	-36.5	.	-58.7
	D	-42.4	-39.0	-64.9

B, D의 수치계산결과로부터 각 요소를 통과하는 유동방향으로 나타나는 한 피치사이의 평균 압력계수의 분포와 속도비 $e=0.0, 0.4,$ 에서의 각 요소의면의 정압분포는 각각 Fig.9과 Fig.10와 같다. 압력계수(C_p)의 정의는 음의 식(6)과 같다.

$$C_p = \frac{P - P_{ref}}{\rho r_2^2 \omega^2 / 2} \quad (6)$$

여기서, P_{ref} 는 펌프입구에 해당하는 격자점에서 택한 기준정압, r_2 는 펌프출구에서의 설계반경(=0.108m), ρ 는 80 °C에서의 작동유 밀도(=834kg/m³), ω 는 펌프의 회전수

기준 토크 컨버터 A와 펌프의 출구날개각이 출구부근에서 급격히 조정된 토크 컨버터 B의 경우에 유동방향의 평균 C_p 분포는 Fig.9(a) (b)에서 도시된 바와 같이 속도비별로는 상당히 다양하게 변하지만 펌프의 출구각을 조정하여도 같은 속도비에서 평균 C_p 분포는 큰 차이가없음을 알 수 있다. 또한, 각 요소의 두 익면상의 C_p 분포를 제시한 Fig.10(a), (b) (c)에서 알 수 있드시 토크 컨버터 A와 B의 압력분포에서 터빈과 스테이터의 것은 거의 변화를 보이고 있지 않으나 펌프의 압력분포는 펌프출구각의 변화로 인해 출구부근에서 국부적으로 차이가 나타나고 있다. 이것으로 인해 토크비나 토크용량의 특성이 변화한 것으로 해석된다. 이에 비하여, 스테이터의 입출구각을 펌프의 출구각과 함께 변경한 토크 컨버터 D의 경우는 스테이터의 압력분포에는

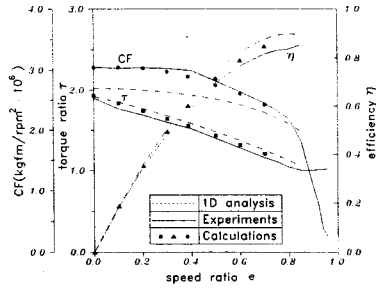


Fig. 2 Performance of torque converter A

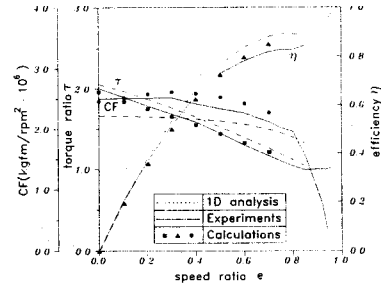


Fig. 3 Performance of torque converter C

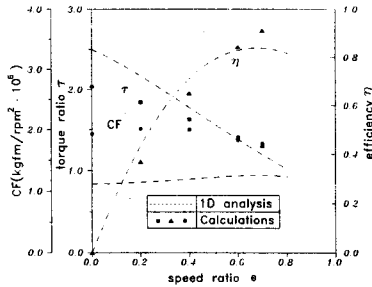


Fig. 4 Performance of torque converter C

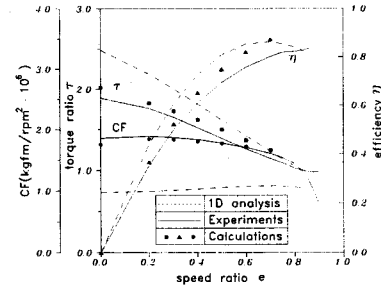
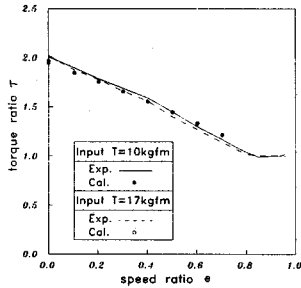
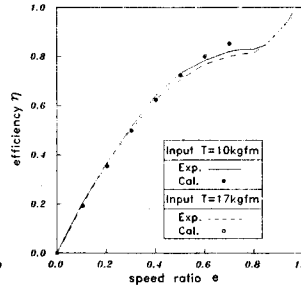


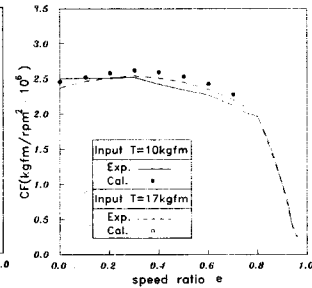
Fig. 5 Performance of torque converter D



(a) Torque ratio



(b) Efficiency



(c) Torque capacity

Fig.6 Performance variations according to constant input torques (torque con

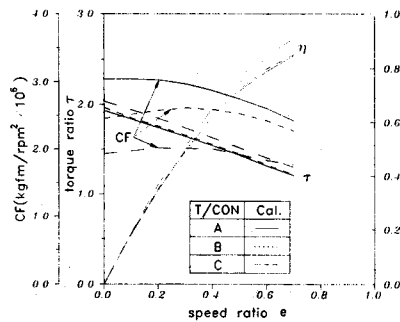


Fig.7 Performance variations by modifica in exit blade angle of pump

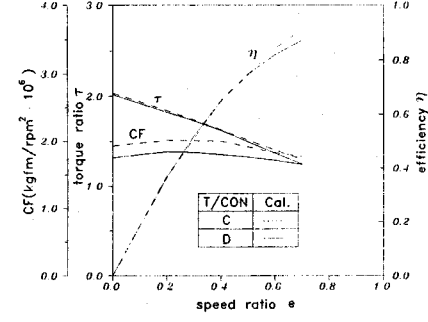


Fig.8 Performance variations by modification in exit blade angle of st

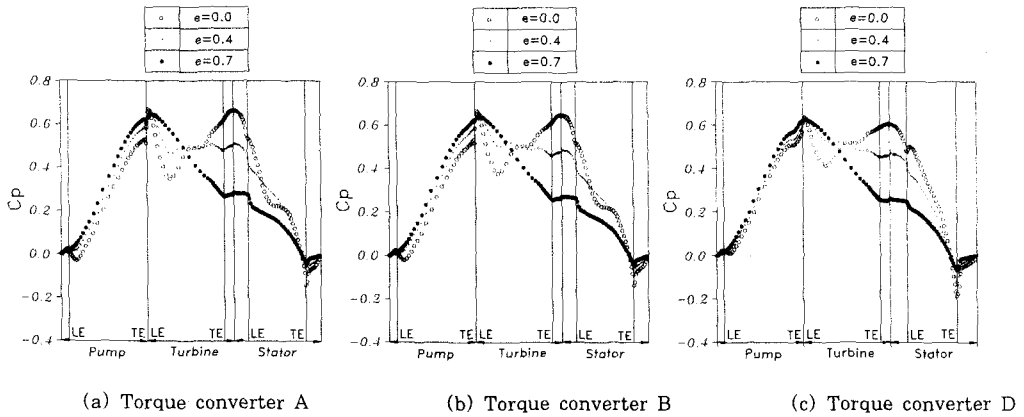


Fig.9 Distributions of mean C_p along meridional direction

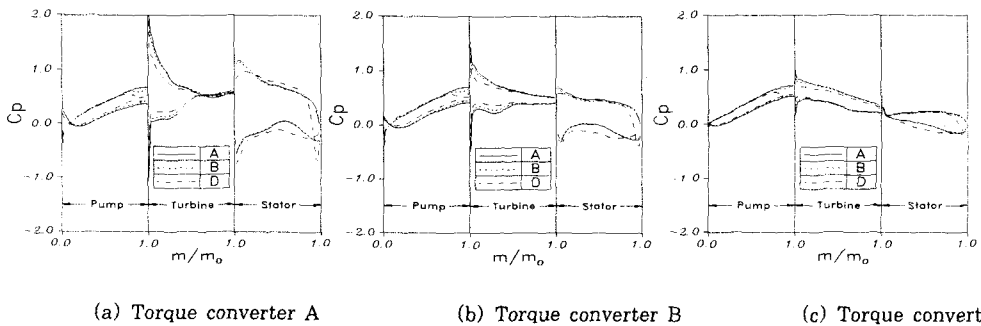


Fig.10 Distributions of C_p on blade surfaces along meridional direction

물론 펌프 및 터빈의 압력분포에도 상당한 영향을 미치고 있음을 알 수 있다. 이와 같은 결과가 토크용량의 특성에 영향을 미친 것으로 해석된다.

3.4 상대속도벡터 및 유선

기준 토크 컨버터 A에 대한 설계 속도비 $e=0.7$ 에서의 자오면상의 상대속도분포와 유선을 Fig.11에 제시하였다. 펌프의 압력면에서는 유동이 코어를 향하고 부압면에서는 약간 셸 쪽으로 치우치는 것을 제외하면 유동은 전체적으로 부드럽다고 할 수 있다. 펌프와 스테이터의 출구각을 변경한 토크컨버터 D의 경우에도 Fig.12에 도시된 바와 같이 펌프의 부압면에서 유동이 더욱 셸 쪽으로 편향되는 것을 제외하면 기준 토크컨버터 A와 매우 유사한 유동양상을 나타내고 있다. 기준 토크 컨버터 A와 펌프 출구각만을 변경한 토크 컨버터 B에 대한 실속 속도비 $e=0.0$ 에서의 상대속도분포와

유선은 각각 Fig.13, Fig.14과 같다. 두개의 토크 컨버터의 전체적인 유동양상은 유사하다고 볼 수 있다. 이상으로, 토크 컨버터의 특성변화를 위해 펌프출구부근 또는 스테이터의 입출구부근에서 이들의 각도를 수정하여도 자오면상의 속도장에는 큰 영향을 주지 않을 수 있다.

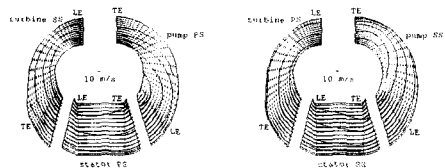


Fig.11 Relative velocity vectors and streamlin $e=0.7$ of torque converter A

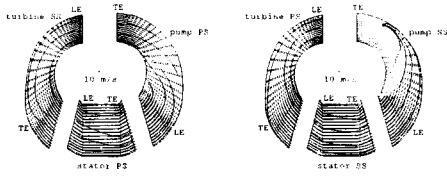


Fig.12 Relative velocity vectors and streamlin $e=0.7$ of torque converter D

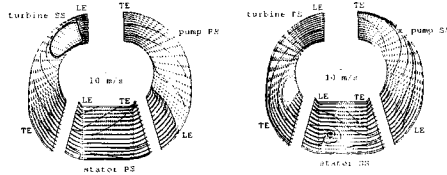


Fig.13 Relative velocity vectors and streamlin $e=0.0$ of torque converter A

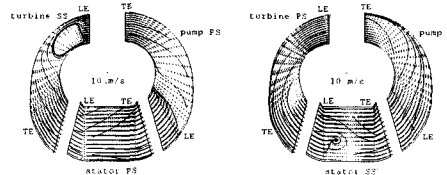


Fig.14 Relative velocity vectors and streamlin $e=0.0$ of torque converter B

4. 결론

본 연구에서는 토크 컨버터의 각 요소의 출구부근에서 이들의 날개출구각의 수정이 실속토크비와 실속토크용량에 미치는 영향을 연구하였다.

1. 펌프출구각을 토크 컨버터의 반회전방향으로 0에서 약 52.5정도로 급격히 수정하였을 때 실속 토크비의 변화량은 약 5.2%밖에 변화하지 않음에도 불구하고 실속 토크용량은 약 36.5%정도로 상당히 크게 변화하였다. 따라서 실속점에서의 토크용량을 펌프의 출구각을 수정함으로써 효율적으로 수행할 수 있다.

2. 스테이터 출구각을 -59.50에서 -67.13로 경하였을 때 도 역시 실속 토크비는 약 1%밖에 변화하지 않지만 실속 토크용량은 약 6% 정도로 상대적으로 크게 변했다. 그러나, 스테이터의 날개각 수정은 날개의 형상도 동시에 고려

해야하는 점에 유의해야한다.

3. 수치해석결과 펌프와 스테이터의 입구각을 변경하여도 자오면상의 속도장은 크게 변하지 않으며, 이러한 변경은 요소들의 부하특성을 국부적으로 달라지게 함으로써 토크비나 토크용량의 토크 컨버터의 특성이 변화된다.

후기

본 연구는 1997년도 교육부 기계공학 연구비(ME97-B-06)지원으로 수행되었으며, 이에 감사를 드립니다.

참고 문헌

- [1] Jandasek, V.J., The Design of a Single Stage Three-Element Torque Converter, SAE Design Practices-Passenger Car Automatic Transmission, Vol.1, 1962.
- [2] Mercure, R.A., Review of the Automotive Torque Converter, SAE Technical Paper #790046, 1979.
- [3] Ishihara, T., A Study of Hydraulic Torque Converters, Rep. of the Industrial Science University of Tokyo, Vol.5, No.7, pp.150-202, 1955
- [4] Fujitani, K., Himento, R., and Takagi, M., "Computational Study on Flow through a Torque Converter," SAE Technical Paper, #881746, 1988.
- [5] Abe, K., Kondoh, T, Fukumura, K, and Kojima, M., "Three-Dimensional Simulation of the Flow in a Torque Converter," SAE Technical Paper #910880, 1991.
- [6] Cigarini, M., and Jonnavithula S., "Fluid Flow in an Automotive Torque Converter : Comparison of Numerical Results with Measurements," SAE Technical Paper, #950673, 1995.
- [7] 박 재인, 조 강래, 익렬간 혼합면 모델에 의한 토크 컨버터의 특성해석, 한국자동차공학회 1996년도 추계학술대회, #96380169, 1996.