

3차원 유동해석을 통한 토크 컨버터의 성능분석

Performance Analysis of a Torque Converter with Three Dimensional Flow Simulation

신 세 현*, 안 회 학**, 이 태 경***
S. Shin, H. H. Ahn, T. K. Lee

ABSTRACT

A three dimensional simulation of the fluid flow in an automotive torque converter was conducted adopting the mixing plane model implemented in the computational fluid dynamics program CFD-ACE. The present numerical results for performance characteristics showed a good agreement with the experimental results. In the flow fields of the torque converter, recirculating flow regimes were found mostly at the suction side of each element, which caused the performance decrease. The recirculating flow can be minimized by the optimization of the blade geometries.

주요기술용어 : Torque Converter(토크 컨버터), Mixing Plane Model(혼합면 모델), Torque Ratio (토크비), Input Capacity Factor(입력용량계수), Performance Charactristic Curve (성능특성곡선)

1. 서 론

최근 자동차산업의 발달과 함께 자동변속기의 수요증가 및 기술수준이 크게 향상되고 있다. 토크 컨버터는 자동차 엔진과 자동변속기 사이에서 연속적으로 부드럽게 토크를 전달해주는 유체기계로서, 일반적으로 대부분의 토크 컨버터는 록업 클러

치를 내장한 2상 3요소 방식을 채택하고 있다. 구성요소로는 펌프, 터빈 스테이터가 있고 내부에는 작동유체로서 트랜스미션 오일이 채워지게 된다. 이들 각 요소는 삼차원 형상을 갖고 있으며 각각의 방향과 배치에 따라 토크 전달 성능이 크게 바뀌게 되어 설계하는데 있어 큰 애로기술로 부각되어 왔다. 토크 컨버터의 내부유체는 펌프-터빈-스테이터 순으로 각 요소를 통과하면서 엔진의 회전에 의한 펌프요소의 회전이 내부 유체에 원심력을 제공하게 되고 이에 따라 유체는 펌프 블레이드와 고정하우징에 의해 안내되어 반경방향의 운동량을

* 정회원, 경북대학교 기계공학부
** 경북대학교 대학원
*** 한국파워트레인

갖고 펌프를 떠나게 된다. 이에 인접해 있는 터빈 블레이드는 이를 적절한 각도로 운동량을 전달받게 되어 이를 차량의 구동력으로 전달해 준다. 터빈에서 구동력을 전달한 내부 유체는 다시 펌프로 들어갈 수 있도록 잘 안내해 주는 스테이터를 통과한다. 이와 같이 내부를 순환하는 유동이 동력전달의 매체로서 작동하기 때문에 유동에 영향을 주는 펌프 및 터빈의 회전속도, 블레이드의 입출구 각 및 두께, 유량, 내부 유동저항 등이 중요 설계인자로 분석되고 있다. 이러한 토크 컨버터의 특성을 지배하는 내부 유동은 3차원적이며 강한 난류현상과 이차유동 및 세 요소 사이의 비정상적인 상호간섭 현상을 수반한다.

자동차 엔진의 특성과 부합하는 토크컨버터의 설계개발이 점차 중요 쟁점으로 부상되면서, 세계 굴지의 자동차 업계에서는 독자적인 설계기술 및 생산 기술을 개발하여 세계시장을 선점하고 있다. 최근 들어, 자동차 관련 선진국에서는 토크 컨버터에 관한 관심이 집중되어 활발한 실험적 연구가 이루어지고 있다. 토크 컨버터에 관한 연구가 80년대에는 대략적인 1차원 성능해석에 그치던 것이 90년대 중반에 들어와서는 고도의 실험기법과 수치해석 기법을 이용하여 3차원 해석을 시도하고 있다. Brun과 Flack^{1~3)}은 LDV를 이용하여 토크 컨버터의 터빈과 펌프의 회전속도비가 각각 0.065 및 0.800일 때, 터빈의 입구, 중간 및 출구지점에서의 속도를 측정하고 이를 저장하여 터빈과 펌프 및 스테이터 사이의 상호 간섭 관계를 가시화 하였다. 한편 Marathe^{4,5)}은 5공 피토포를 이용하여 스테이터 및 터빈 출구에서의 정상 및 비정상 유동을 측정하였다.

이와 같은 실험에 비해 토크 컨버터의 내부유동 해석은 매우 복잡하고 모델링 구축이 어려워 이에 관한 수치해석이 실험에 비해 매우 적은 편이고, 아직 그 수준이 만족할 정도가 못된다. 그러함에도 불구하고 기존의 실험결과를 이용하여 수치해석을 하려는 시도들이 최근들어 활발히 진행중이다. 또한 Marathe 등⁶⁾은 스테이터 출구부근에서의 유동장을 측정하여 실제 작동조건을 실험적으로 얻은 후, 이를 수치해석에 대입하여 유동장을 비교하였다.

Schulz⁷⁾은 토크 컨버터의 내부유동을 3차원적으로 정상유동 및 비정상 유동에 대해 비압축성 및 점성유동으로 간주하여 SIMPLE 알고리즘을 이용, 계산하고 이를 1단-1상(one stage-single phase)의 토크 컨버터에 대해 해석하였다.

Fujitani⁸⁾은 각 요소의 유동모델을 다음 요소의 입구면까지 연상하고 출구 경계위치에 Neumann 조건을 적용하여 각 요소에 대한 유동계산을 한 후, 이 결과를 다음요소의 입구조건으로 이용하여 계산하였다. Abe⁹⁾은 각 요소의 익렬 후연 위치에 출구경계면을 설정하고 속도에 대하여 Neumann조건을 적용한 후, 정상간섭(steady interaction)기법을 이용하여 내부유동장을 계산하였다. Cigarini¹⁰⁾은 상용코드인 STAR-CD를 이용하여 $k-\epsilon$ 난류모델을 적용한 3차원 정상유동에 대해 해석하였다. 정상간섭기법을 적용하기 위해 각 요소간에 가상의 혼합면(mixing plane)을 설정하고 속도 및 압력 정보를 상호 교환하도록 했다. 久保¹¹⁾은 STAR-CD를 이용하여 터빈의 바이어스각 변화에 따른 토크 컨버터의 성능해석을 하였다. 한편, 국내에서는 박과 조¹²⁾가 요소간 혼합면 모델을 사용하여 스톨속도비와 설계속도비를 포함한 8개의 속도비에 대해 성능해석을 하고 이를 실험치와 비교하여 잘 일치함을 보고하였다.

본 연구에서는 위에서 제시된 혼합면 모델을 이용한 3차원 난류유동에 대하여 수치 해석적으로 해석하고 이에 대한 설계기준 마련을 연구하고 이러한 연구결과를 관련 산업체로의 기술이전을 목적으로 한다. 따라서 기술이전에서의 신속성 및 용이성을 고려하여 본 연구는 최근 개발된 상용코드 CFD-ACE¹³⁾를 토대로, 선행 연구된 혼합면 모델을 삽입, 수정한 후 이를 본 연구의 주 해석용 전산코드로 개발하여 사용하고자 한다. 이 때 토크 컨버터 성능해석에서 주로 사용되는 펌프 및 터빈의 입출력 토크(T_i , T_o)와 순환유량(Q)은 본 계산과정을 통해 얻게 되며, 다양한 터빈/펌프의 회전 속도비(speed ratio)에 대해 터빈내부에서의 속도 및 압력을 가시화하고 이를 통하여 터빈, 펌프 및 스테이터 사이의 상호관계를 규명하고 성능해석을 이루고자 한다.

2. 수치해석 모델 및 기법

본 연구에서 해석하고자 하는 토크 컨버터는 펌프, 터빈, 스테이터의 3개 요소로 구성되어 있으며, 펌프 단에서 29개의 블레이드, 터빈 단에서 31개의 블레이드, 그리고 스테이터 단에서는 16개의 블레이드를 각각 갖는다. 각 요소의 블레이드와 이웃 공간에 대해 하나의 반복 단면(repeatable section)을 취해 모델을 구성하였다. 즉, 하나의 블레이드와 이를 중심으로한 양편의 유체 부분을 취하여 주기 경계조건(cyclic boundary condition)으로 모델링 하였다. 이러한 기하학적 모델이 Fig. 1에 도시되어 있다. 펌프와 터빈의 블레이드는 일정한 두께를 지닌 박판(sheet metal)으로 되어 있는 반면 스테이터 블레이드는 상당한 두께와 갭, 트위스트를 지니고 있다.

회전하는 요소가 포함된 토크 컨버터의 내부 유동장을 해석하기 위하여 각 요소간에 Denton¹⁴⁾이 제안한 혼합면 모델을 삽입하여 해석하였다. 혼합면 모델은 일반적으로 서로 다른 속도를 갖는 다단 회전 기계에 주로 사용되며 익렬 사이에 혼합면을 설정하고 혼합면을 통해 회전방향으로의 평균화된 변수들이 데이터로서 상류와 하류방향으로 전달되는 것이다.

이러한 혼합면 모델의 단점으로는 혼합면이 하

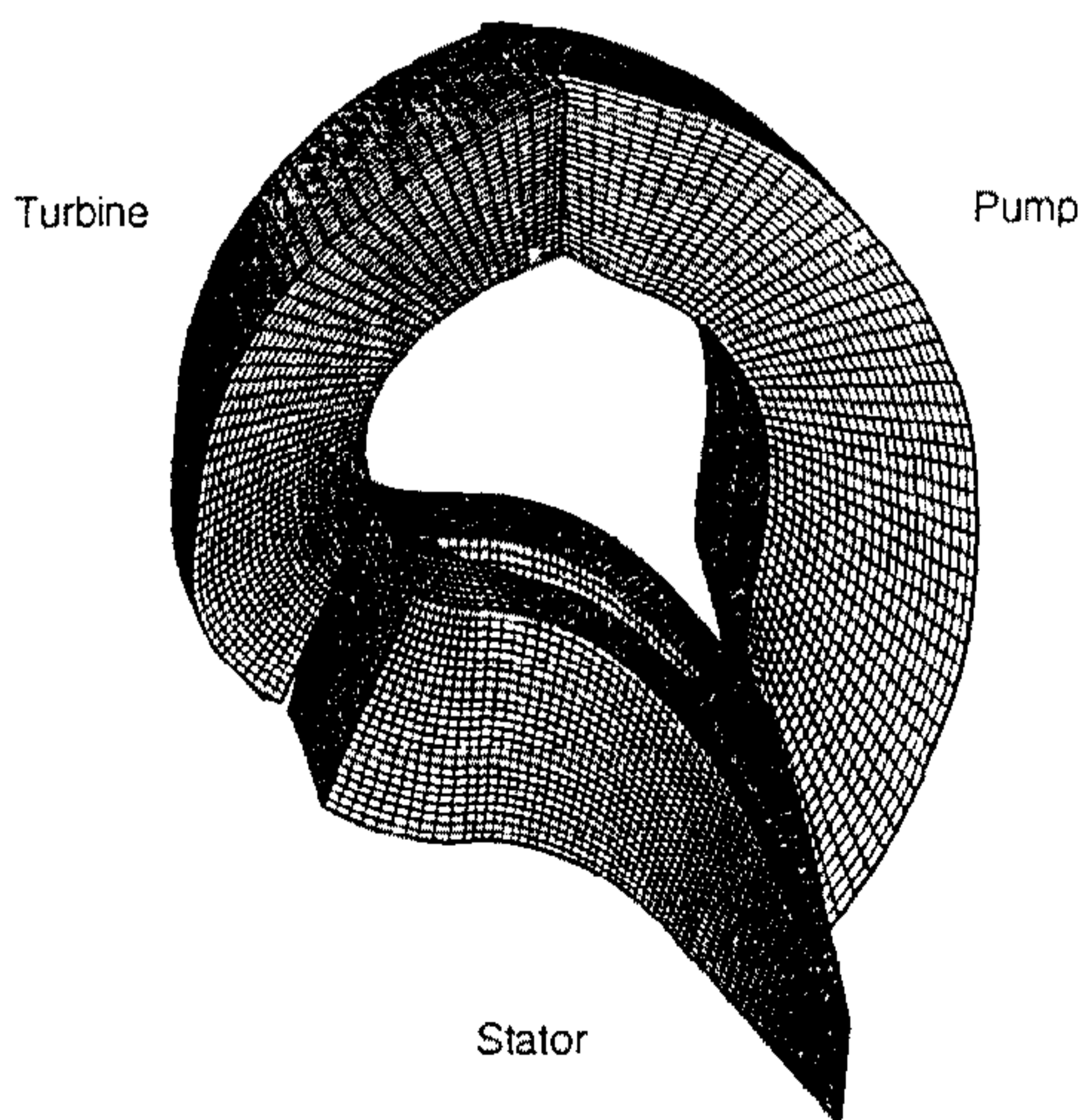


Fig.1 The geometry of computational model

류의 익렬에 너무 가까이 놓여 있으면 회전방향으로의 균일화된 유동이 하류 익렬 존재에 따른 적용을 할 수 없게 되어 비실제적인 유동장을 전달하게 된다. 이러한 문제점의 크기는 후익렬의 선단 두께 및 혼합면과의 거리 등에 좌우된다. 본 연구에서는 펌프와 터빈 사이의 간격이 매우 좁기 때문에 펌프 요소를 지나와 혼합면에서 회전방향으로 평균화된 유동이 근접해 있는 하류의 터빈 요소 선단에 전달되기 때문에 수치해석상의 정확도가 떨어지는 손해를 감수하여야 한다. 그러나 이러한 접근 방법은 상호 간섭을 효과적으로 설명할 수 있으며, 또한 다단 회전 기계 문제를 해결하는데 있어 충분한 정확도를 갖는 매우 실용적인 방법이다.

이와 같은 혼합면을 통한 평균화 및 정보 교환하는 방식에 있어 다양한 수식화가 제안되었으며 사용되고 있다. 이러한 혼합면 수식화는 Fig.2에 나타난 바와 같이 Denton의 모델을 본 연구에 도입하여 적용하였으며 다음과 같다.¹³⁾

$$\begin{aligned} \phi_{mix} &= \phi_{mix-1} \left(\frac{\bar{\phi}_{mix}}{\phi_{mix-1}} \right) \\ \phi_{mix} &= \phi_{mix+1} \left(\frac{\bar{\phi}_{mix}}{\phi_{mix+1}} \right) \end{aligned} \quad (1)$$

여기서 ϕ 는 유동변수로서 속도, 압력 및 κ 와 ε 등을 포함한다. 이러한 혼합면에서의 상호 경계조

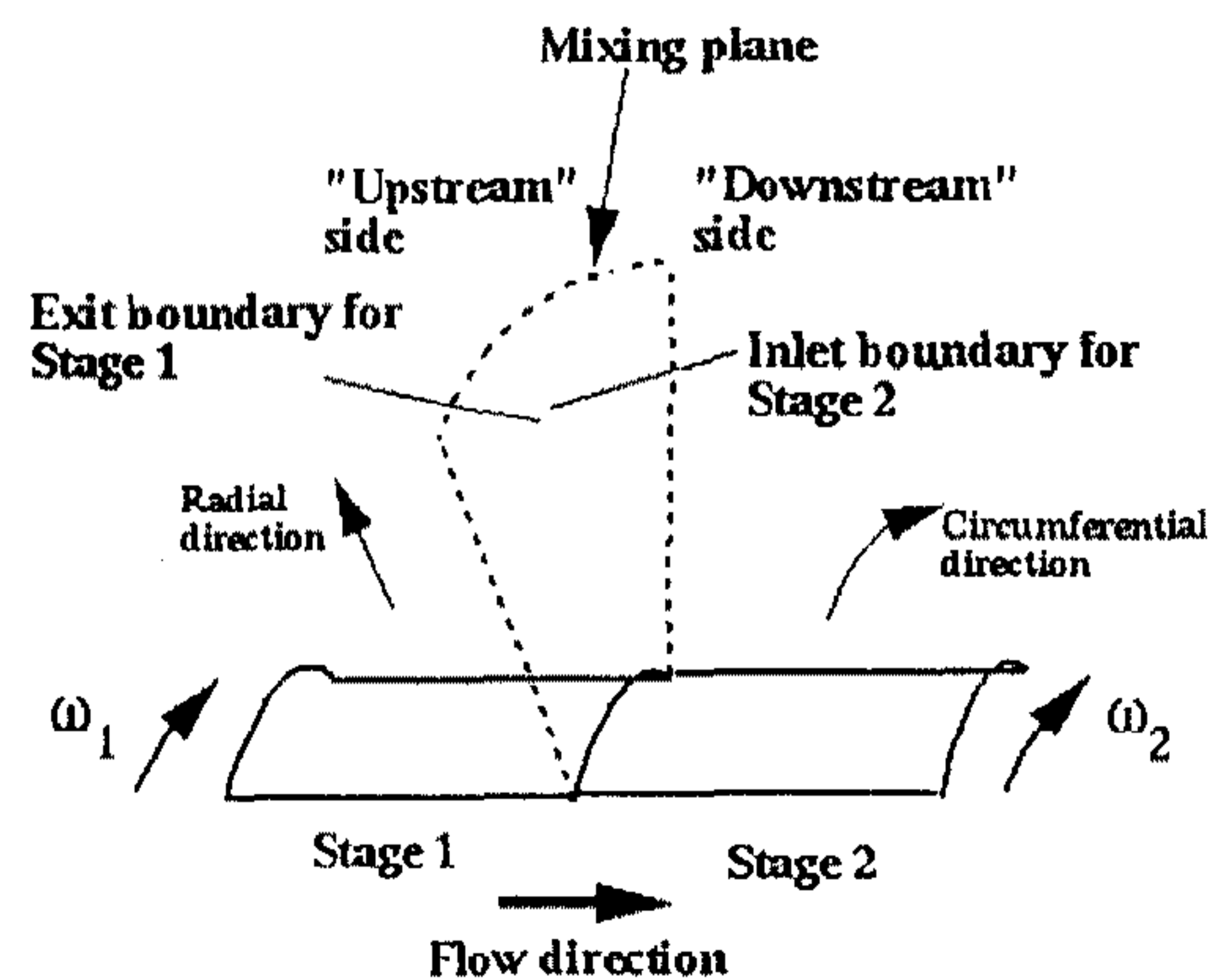


Fig.2 Concept of mixing plane model

건은 수치해석의 해가 수렴되어감에 따라 매번의 반복계산마다 수정된다.

정상, 비압축성, 난류 유동장을 수치적으로 해석하기 위하여 연속방정식, 운동량방정식, 난류운동에너지 방정식, 난류운동에너지 소멸방정식 등의 지배방정식을 유한체적법으로 차분화하였으며 이때, 난류모델로 표준 $k-\epsilon$ 모델을 적용하였다. 계산과정에서 종속변수인 속도 및 k, ϵ 의 경계조건은 소위 벽함수(wall functions)로 주어졌다. 또한 벽에서의 첫 번째 격자점이 $y^+=100$ 이내로 들어가도록 격자를 생성시켰다.

본 연구의 수치 계산에 앞서 어떠한 격자수가 적합한지를 검증해 보았다. 일정한 격자로 격자수를 늘려 가면서 토크컨버터의 내부유동 박리와 성능변수 중 토크비, TR 값을 비교하였다. 유동방향의 단면에서 21×21 격자수 이상에서 TR 값이 점근적으로 격자수의 증가에 상관없이 거의 동일한 값을 나타내고 있다. 따라서 본 연구의 모든 수치 계산은 덕트의 한 단면에서 21×21 격자수를 사용하였다. 유동 방향으로는 41개의 격자수(리액터에는 51개)를 생성시켜 계산을 실행하였다. 수치계산은 SIMPLE-C 알고리즘과 압력기준 해석방법을 사용하였다. 압력기준방법(pressure-based method)은 연속방정식과 운동량방정식을 결합한 것으로 이를 위해서 속도와 압력의 적합한 커플링이 필요하게 되는데 구체적 관계식은 기타의 문헌에서 찾아볼 수 있다.¹³⁾ 대류 확산항은 일반적으로 많이 사용되는 2차 Upwind scheme을 사용하여 처리하였다.

3. 토크 컨버터의 성능변수

토크 컨버터의 각 요소에 작용하는 변수(회전수, 토크)들을 이용하여 다음과 같은 성능해석 파라미터를 정의한다. 먼저 속도비, SR은 아래의 식(2)에서와 같이 펌프와 터빈간의 회전속도비로 정의한 것으로 이것을 매개변수로 하여 성능 특성을 나타낸다.

$$SR = \frac{N_o}{N_i} \quad (2)$$

여기서 하첨자 i 는 입력측, 즉 펌프를 나타내며, 하첨자 o 는 출력측, 즉 터빈을 뜻한다. 특별히 출력속도(N_o)가 "0"일 경우를 스톱(stall) 상태라고 하여 브레이크를 밟은 상태에서 엔진을 구동할 때의 경우에 해당한다. 또한 차량이 타성주행(coasting)하고 있을 경우에는 터빈과 펌프의 역할이 서로 바뀌어 속도비가 1이 넘는 경우도 발생한다. 특정의 속도비(대략 0.7부근)를 설계점으로 설정하고 이 때의 각종 성능 파라미터에 대하여 다른 사양과 비교하게 된다.

토크 컨버터의 중요 기능 중의 하나가 바로 토크 증배기능인데, 이 특성을 나타내기 위해 펌프 토크와 터빈 토크의 비, TR을 아래와 같이 정의한다.

$$TR = \frac{T_o}{T_i} \quad (3)$$

일반적으로 토크비는 스톱 시에 가장 크게 나타나고 속도비가 증가할수록 감소하여 속도비가 약 0.8 이상이 되면 토크비는 대략 1이 되고 이때부터는 토크 컨버터가 단순히 유체 커플링 역할을 하게 된다. 한편 컨버터의 효율은 입출력되는 동력의 비로 식(4)와 같이 정의되는데 일반적으로 토크 증배구간에서는 속도비가 0.6~0.8 구간에서 최대값을 보이다가 커플링 구간에서는 속도비에 따라 다시 단조 증가한다.

$$\eta = \frac{\text{출력 동력}}{\text{입력 동력}} = \frac{N_o T_o}{N_i T_i} = SR \cdot TR \quad (4)$$

토크 컨버터의 성능 특성을 가장 잘 나타내는 것으로 알려진 입력용량계수(Input Capacity Factor)를 식(5)와 같이 정의하며 이와 유사하게 출력용량계수를 식(6)과 같이 정의한다.

$$C_i = \frac{T_i}{N_i^2} (kg_f \cdot m / rpm^2) \quad (5)$$

$$C_o = \frac{T_o}{N_o^2} = \frac{TR}{SR^2} \cdot C_i (kg_f \cdot m / rpm^2) \quad (6)$$

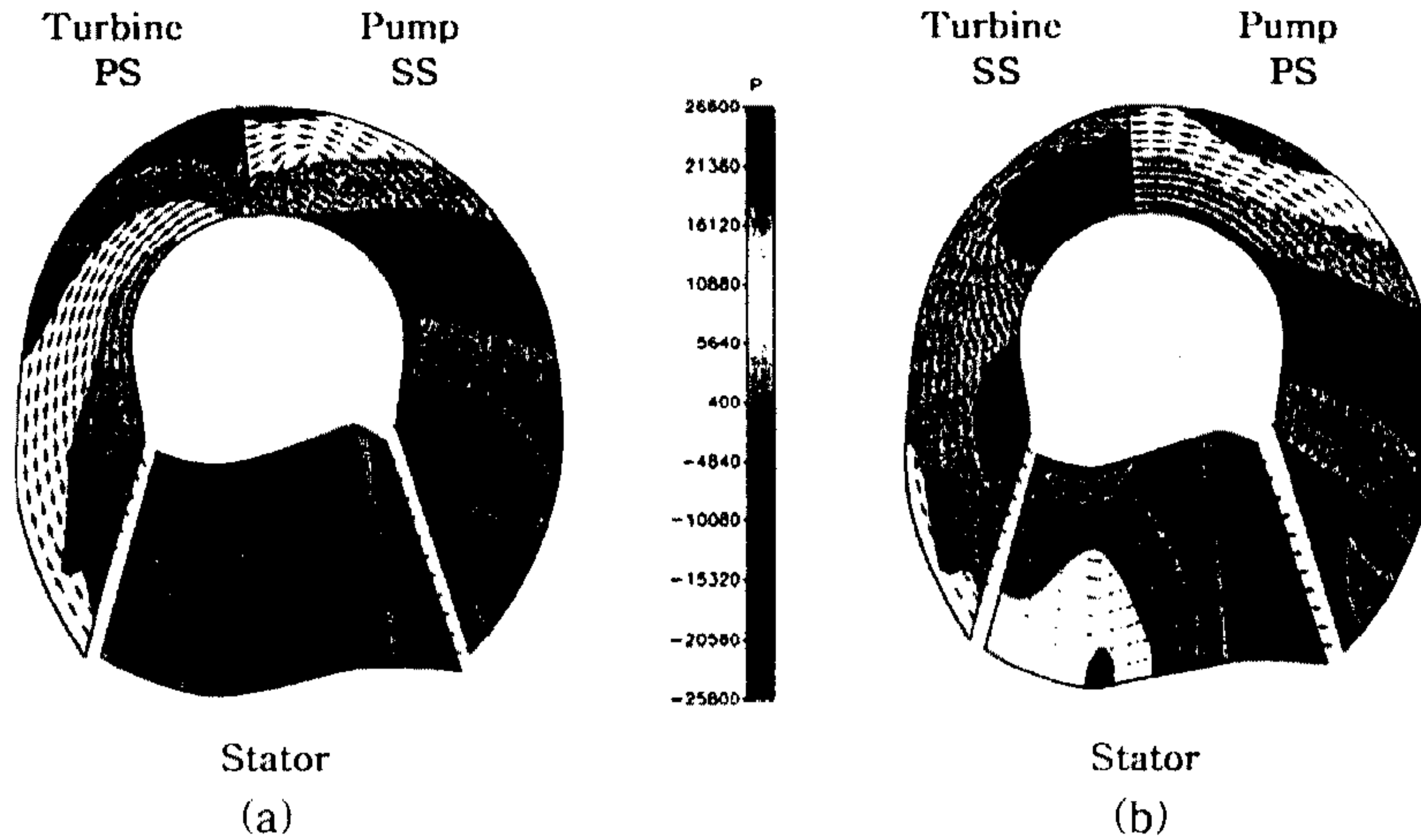


Fig.3 Pressure and vector plot for SR=0.3 (PS : Pressure side, SS : Suction side)

4. 내부유동 수치해석 결과

두 종류의 수치해석이 실행되었다. 첫째는 펌프의 회전속도가 1,000rpm으로 고정되고 터빈의 속도는 속도비가 0인 정체 조건에서부터 설계점인 0.7까지를 체계적으로 변화시키었다. 설계점 0.7 이상에서는 록업클러치에 의하여 스테이터가 자유회전을 시작하게 되는데 설계점 이후의 속도비에 대한 해석은 현재 연구 진행중이다. 두 번째 경우의 계산에서는 펌프 토크, 즉 입력 토크가 10kgf·m (98.1Nm)을 유지하도록 하고 속도비를 0에서부터 0.7까지 변화시키면서 계산하였다.

유동해석의 결과로 먼저 속도와 압력장을 펌프 속도가 1,000rpm이고 터빈속도가 300rpm인 속도비(SR)가 0.3인 경우에 대해 Fig.3에 나타내었다. 여기서 각 요소의 회전은 지면 안쪽 방향으로 회전하게 된다. 이와 같은 회전방향에 따라 Fig.3(a)에서는 펌프의 흡입면(suction side, SS)쪽에서와 터빈의 압력면(pressure side, PS), 그리고 Fig.3(b)에서는 반대면에서의 속도 벡터와 압력 분포를 나타내었다.

Fig.3(a)의 펌프의 흡입면(SS)에서는 출구근처의 코어(core) 부분에서 유동박리(flow separation)와 함께 강한 재순환유동(recirculating flow)을 볼 수 있다. 이와 같은 유동박리와 선회유동은 토크 컨버터의 성능 저하를 초래하는 것으로 알려져

있다. 펌프의 흡입면의 압력분포는 입구에서 출구 쪽으로 진행하면서 회전중심의 반경거리에 비례하여 완만하게 증가하며 코어와 셸(shell)부분의 압력이 거의 동일한 분포를 보이다가 펌프의 출구 쪽에서 약간 큰 압력차를 볼 수 있다. 여기서 회전 중심은 세 요소들이 회전하는 중심으로서 Fig.3에서는 스테이터로부터 일정거리의 하부에 위치한다. 한편, 터빈의 압력면에서는 특별한 재순환 유동 영역이 나타나지 않는 반면, 압력은 터빈의 입구면에서 높은 압력분포를 갖으며 등압선 분포가 속도벡터에 평행한 분포를 보여 코어와 셸 사이의 큰 압력차를 나타내고 있다.

Fig.3(b)에서는 속도비가 0.3인 경우 펌프의 압력면과 터빈의 흡입면에 대해 속도 및 압력장을 나타내었다. 강한 유동박리와 역류가 터빈의 흡입면 쪽의 입구 코어 근처에서 발생하였으며 펌프의 압력면에서는 유동박리가 나타나지 않는다. 펌프의 압력면에서의 압력분포는 흡입면에서의 압력분포와 거의 유사한 분포를 갖는 반면에 터빈의 흡입면은 터빈의 압력면과는 매우 다른 분포를 갖으며 재순환 영역과 일부 영역을 제외하고는 대체적으로 균일한 분포를 나타내고 있다.

Fig.4는 속도비가 0.7인 경우의 내부 유동장에 대해 압력장과 속도벡터를 도시하였다. 속도비가 설계점인 0.7에서는 펌프의 흡입면 쪽에 커다란 재순환 영역(recirculation regime)이 상당한 크기로

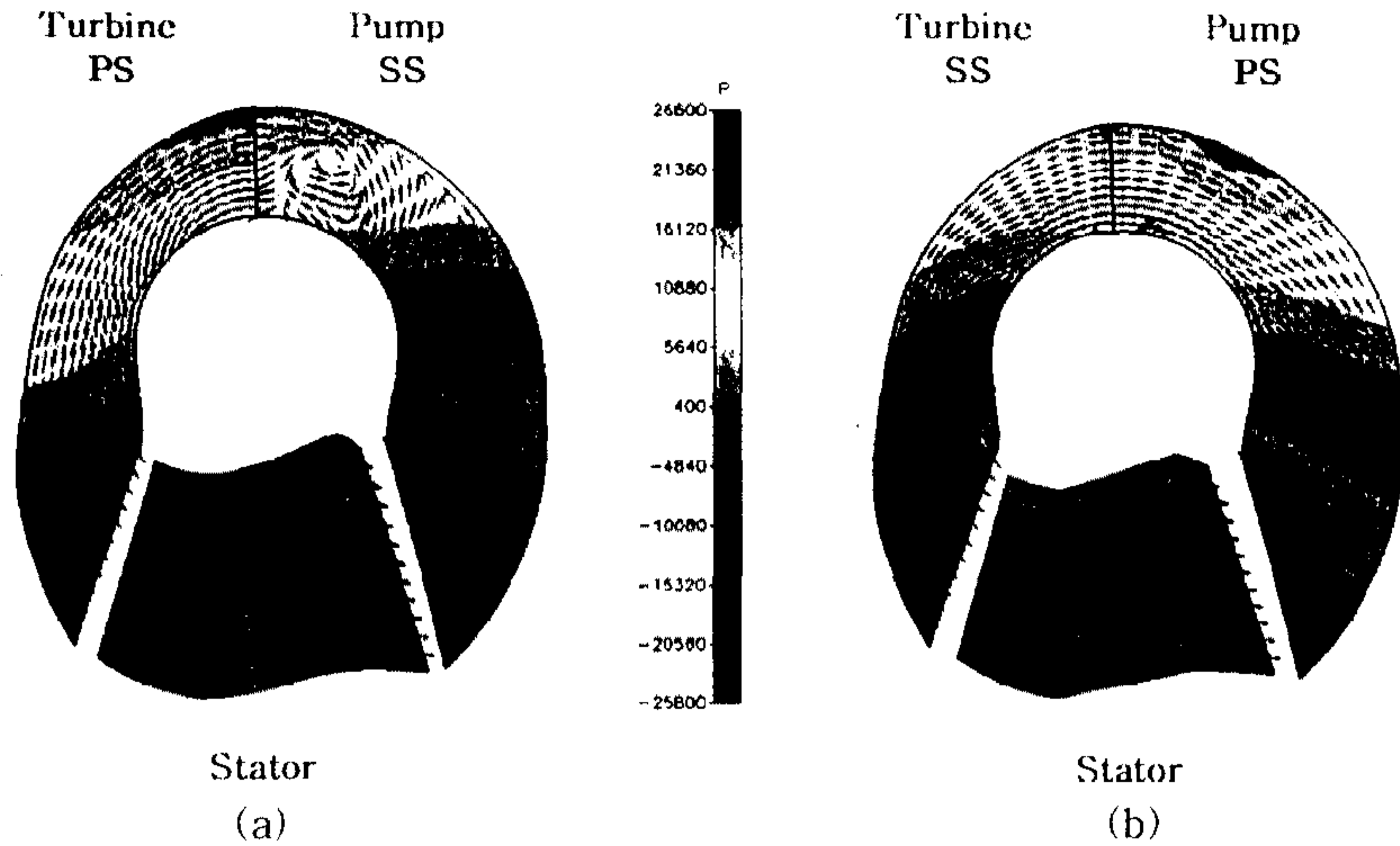


Fig.4 Pressure and vector plot for SR=0.7 (PS : Pressure side, SS : Suction side)

존재하는 것을 Fig.4(a)에서 볼 수 있다. 이 재순환 유동 영역은 블레이드의 수직 방향으로도 상당한 두께를 가지고 있어 강한 3차원 재순환 유동이 펌프 블레이드의 흡입면의 코어 근처의 유체 부분에서 크게 발생하는 것을 볼 수 있다. 속도비가 0.3인 Fig.3(a)에서는 재순환 유동이 주로 펌프 흡입면의 출구부근의 작은 영역에 걸쳐 발생하는 반면, 속도비가 0.7인 Fig.4(a)의 펌프 흡입면에서는 코어쪽 부근의 커다란 영역에 걸쳐 강하게 일어나며 입구 쪽에서는 강한 역류와 이로 인해 반경방향의 속도 벡터 및 유로가 매우 작아짐을 볼 수 있다. 속도비가 큰 경우의 유동장에서는 커다란 재순환 영역의 발생으로 성능을 저하시키는 영향을 주게 되어 추후 논의될 효율의 국부적 감소와 입력용량계수의 급격한 감소를 초래한다. 압력분포는 재순환 영역에도 상관없이 회전 반경에 비례하는 형태의 입력 분포를 나타내고 있어 펌프와 터빈의 출입구 부위의 셀 쪽이 가장 큰 값을 보이고 있다.

한편, Fig.4(b)의 터빈의 흡입면과 펌프의 압력면에서는 유동의 박리 또는 재순환 유동을 볼 수 없으며 다만 터빈의 출구 부근에서 속도 벡터가 코어 쪽으로 방향이 전환되는 것을 볼 수 있다. 또한 분포는 전반적으로 반경방향에 비례하는 형태로 나타나 있다.

5. 성능 분석 비교

이와 같은 내부 유동장 해석을 통해 앞서 정의한 토크 컨버터의 각종 성능을 나타내는 파라미터에 대하여 분석하였다. 유동해석을 통하여 얻은 결과를 통하여 각 요소의 블레이드 격자셀 표면에 작용하는 힘을 반경방향의 거리와 곱한 후 이를 적분하여 정미 토크(net torque)를 계산하였다. 본 계산 결과와의 비교를 위해 같은 모델에 대한 실험 보고서¹³⁾를 구하여 비교하였다. 이 때의 실험 오차는 $\pm 5\%$ 의 오차를 수반하여 재현성에도 $\pm 5\%$ 이내임을 보고하였다.

Fig.5에는 먼저 토크비를 속도비에 따라 나타

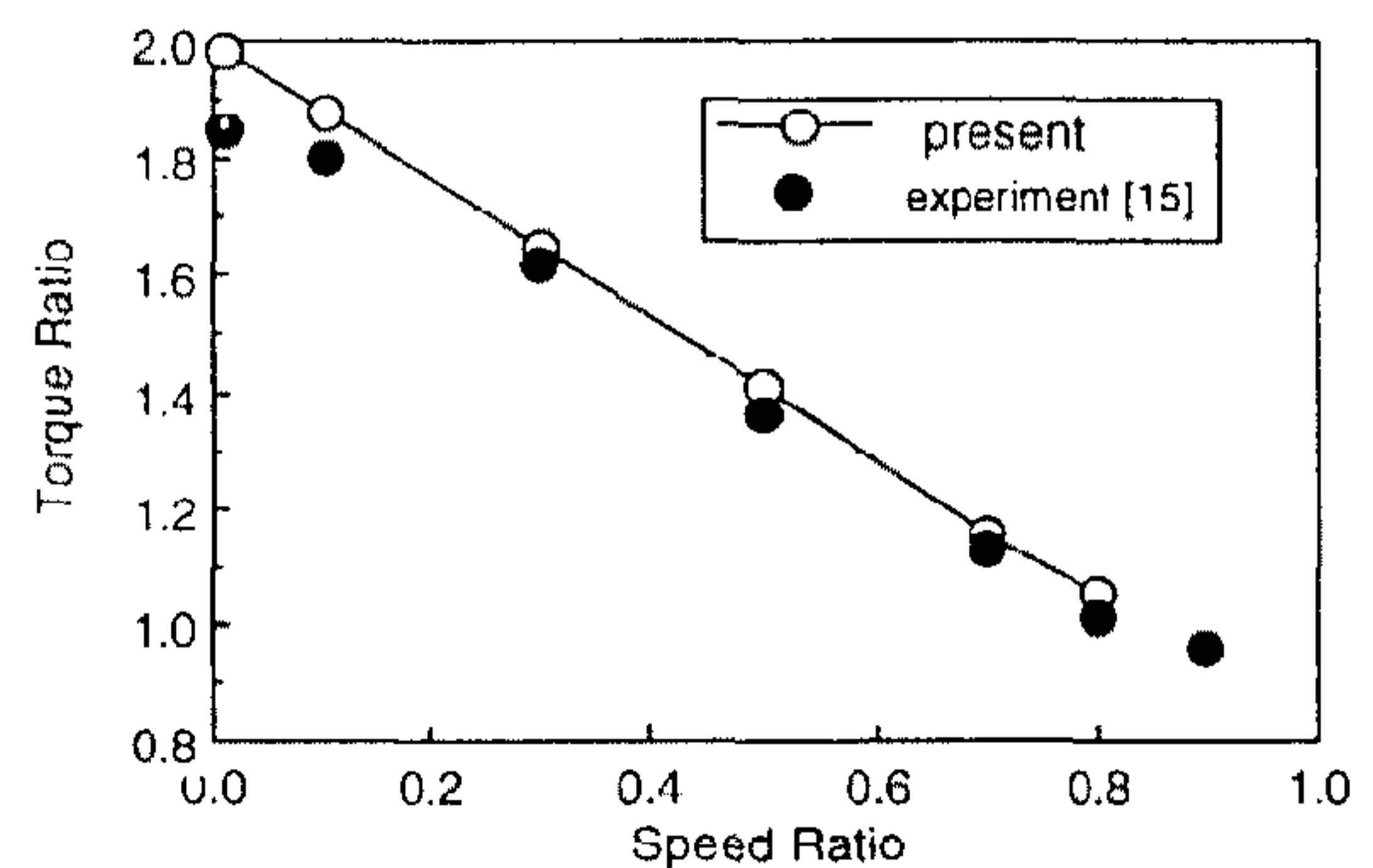


Fig.5 Torque ratio vs. speed ratio for $T_i=10\text{kg}\cdot\text{m}$

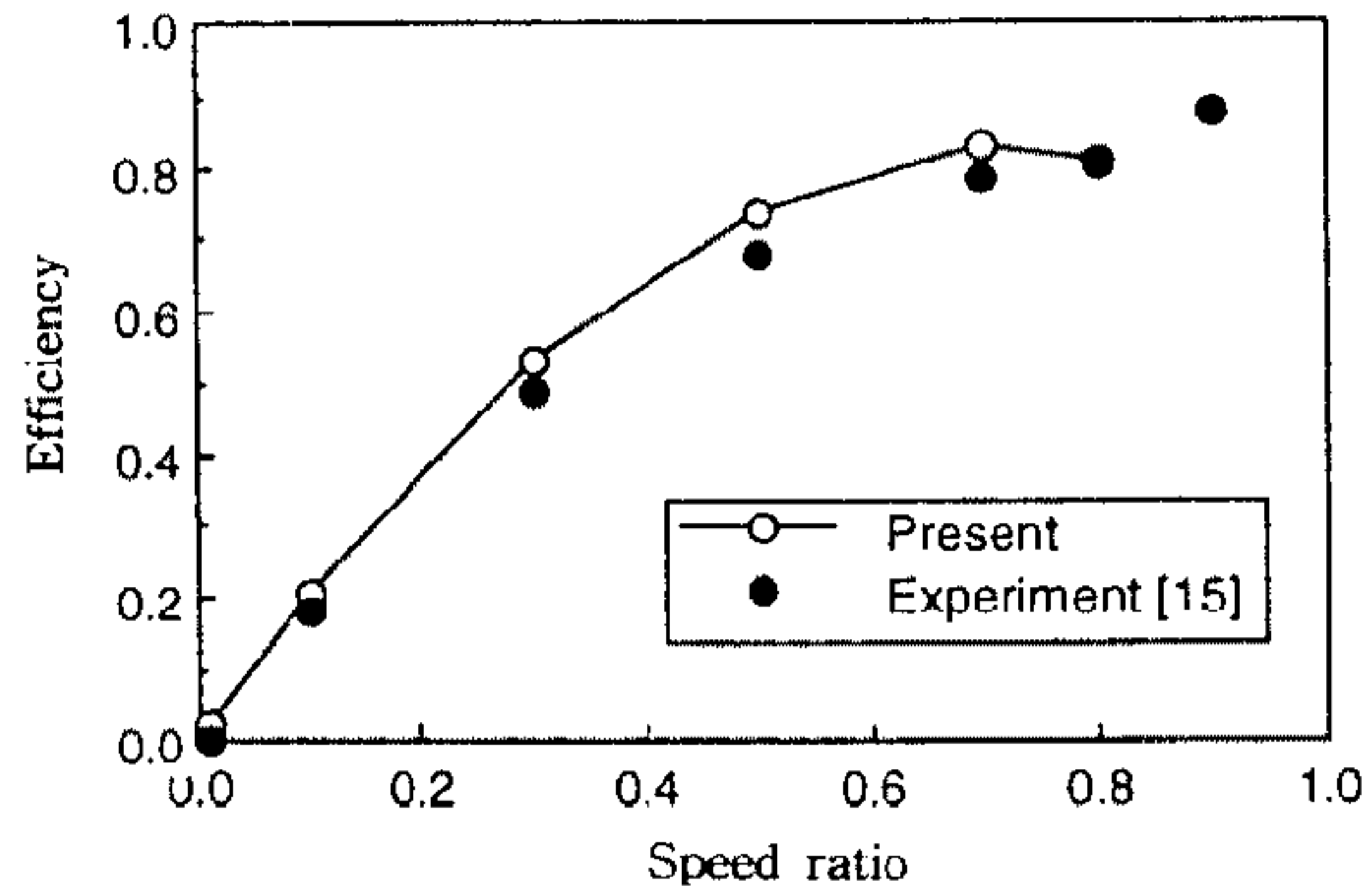


Fig.6 Efficiency versus speed ratio for $T_i=10\text{kgf}\cdot\text{m}$

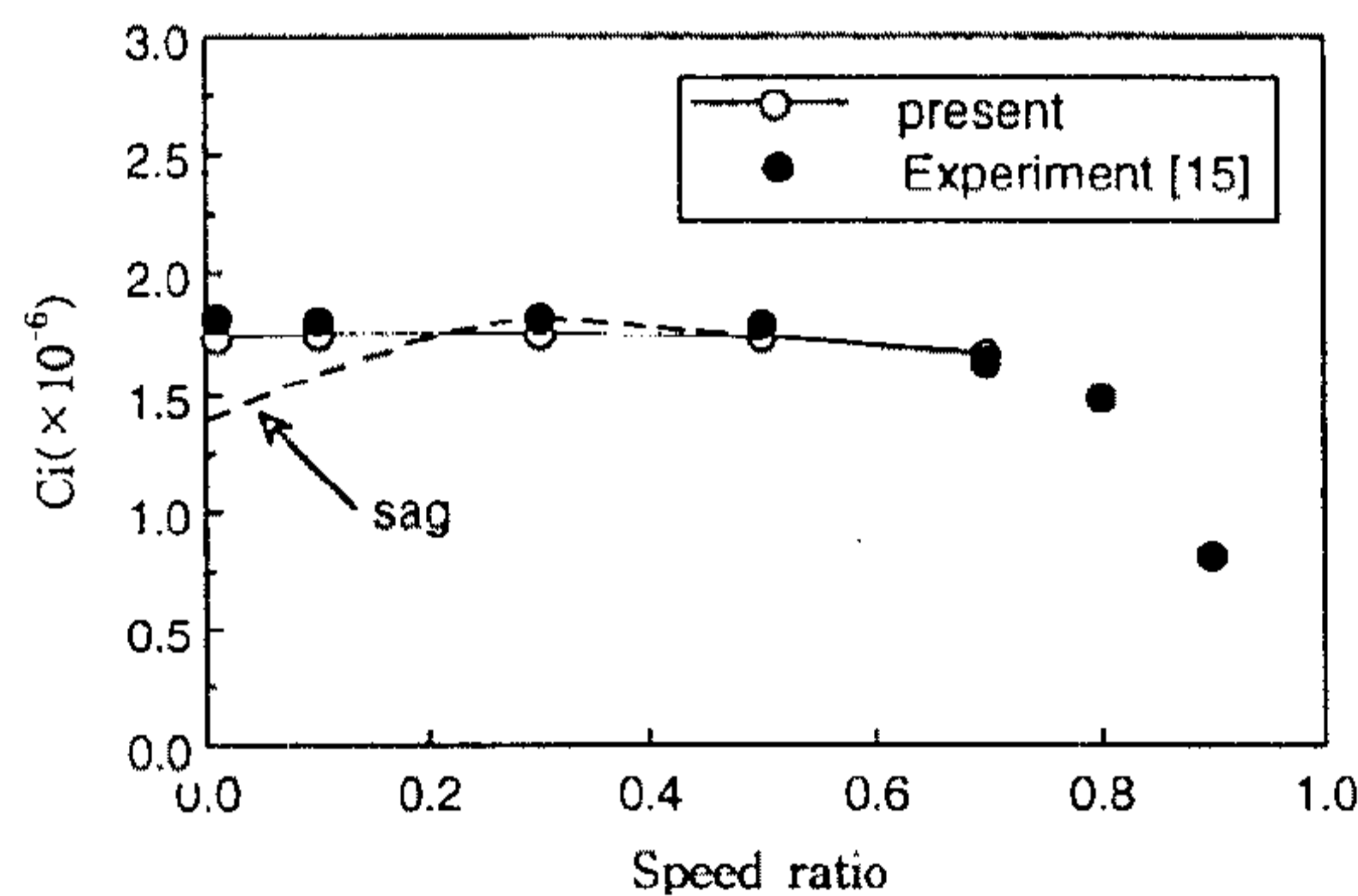


Fig.7 Input capacity factor versus speed ratio for $T_i=10\text{kgf}\cdot\text{m}$

내었다. 낮은 속도비에서는 입력 토크보다 큰 출력 토크가 발생하여 토크 증배기능이 뚜렷하게 나타나고 있으며 속도비가 약 0.7에서 0.8 사이에서 토크 증배기능은 없어지고 단지 유체 커플링 기능만이 존재하게 되어 단순 동력 전달을 하게됨을 알 수 있다. 속도비가 0인 스톨의 경우, 토크비가 본 수치계산에서는 1.98을 갖는 반면, 실험에서는 1.86을 갖는다. 속도비가 점차 증가함에 따라 수치 계산의 결과는 실험결과와 근사한 값을 보이고 있다.

스톨 시에 실험치와 계산치의 토크비가 가장 큰 차이를 보이는 원인으로는 본 수치계산에 도입한 혼합면 모델의 한계와 난류모델에 기인하는 것으로 추정된다. 즉, 펌프와 터빈사이의 작은 간극에 설정된 혼합면 모델의 한계성과 강한 역류 및 재순환 유동에 대한 난류모델의 미흡으로 수치해석의 스톨에서의 성능변수값이 실험치와 차이를 보이는 것이다. 따라서, 토크컨버터의 내부유동장에

적합한 난류 모델의 평가에 대한 수치적 연구가 추후 요구된다.

Fig.6은 속도비에 따른 토크 컨버터의 효율(η)을 나타낸 그림으로써 실험과 수치계산의 결과가 비교적 잘 일치함을 볼 수 있다. 속도비가 증가함에 따라서 수치계산의 토크 컨버터 효율은 0.7부근에서 최대점을 보인 후 속도비가 0.8에서는 약간 감소함을 보이고 있다. 실험 결과에서도 0.7부근에서 곡선의 기울기가 최소값을 보인 후 속도비가 0.7 이상의 구간에서 다시 증가하는 형태를 보이고 있다. 효율이 국부적으로 최대점이 되는 속도비 이후에서는 록업 클러치(lockup clutch) 기능이 작동되어 스테이터를 자유회전시키면 속도비가 0.7 이상의 구간에서 효율을 계속 증가시킬 수 있다. 속도비가 0.7 이상의 실험 결과는 이러한 록업 클러치 기능이 작동되어 스테이터가 자유 회전을 하도록 한 실험결과이다. 현재 수치계산의 결과는 스테이터가 고정된 상태에서의 내부유동을 해석한 경우로서 속도비가 0.7 이상의 구간에 대해서 해석하기 위해서는 스테이터와 펌프 및 터빈 사이에 혼합면 모델을 추가하여야 한다. 이러한 계산의 확장은 추후 연구하기로 한다.

토크 컨버터의 성능계산에서의 핵심 변수인 입력용량계수(C_i)에 대해 속도비 변화에 따른 변화양상을 Fig.7에 도시하였다. 이 때, 입력측 토크는 $10\text{kgf}\cdot\text{m}$ 이고 이에 상응하는 입력측(펌프)의 회전수는 $2,400 \pm 50\text{rpm}$ 정도에 해당한다. 이는 입력토크를 속도비에 상관없이 일정한 값으로 유지하기 위해서는 펌프의 회전수가 약간씩 달라지기 때문이다. Fig.7에 나타난 입력용량계수 C_i 는 스톨을 포함한 낮은 속도비 구간에서는 비교적 평평한 곡선을 보이다가 0.7 이상에서 급격히 감소함을 볼 수 있다. 만일 C_i 가 점선의 형태를 띄게 되면 이를 흔히 sag 현상이라 하여 토크 컨버터의 성능이 좋지 않은 판정인자로 사용되고 있다. 즉, sag 현상은 용량계수가 정체속도에서 낮은 값을 보이다가 속도비가 증가함에 따라 약간의 증가를 보이는 현상으로서 성능특성상 스톨시에 최대 용량계수를 갖는 것이 설계요건으로서 사용되고 있다. 따라서 sag 현상을 나타내는 점선 형태의 특성은 바람직하지 못한 것으로 설계시 피해야 하는 특성

곡선이며, 이를 극복하기 위해서는 다양한 형상 설계변수들의 최적화가 요구된다. 본 연구모델에서는 이와 같은 sag 현상이 펌프 회전수가 2,400rpm의 경우에는 나타나지 않으나 1,000rpm인 경우 약간의 sag 현상이 관찰된다.

6. 결 론

본 연구는 lock-up 클러치가 장착된 2상 3요소로 구성된 토크 컨버터의 내부유동장에 대하여 3차원 수치계산을 통해 성능해석을 하였다. 펌프 및 터빈 사이의 상대속도 발생으로 인한 수치해석상의 어려움을 혼합면 모델을 도입하여 해석한 결과, 실험과 매우 근사한 결과를 나타내었다. 내부유동장의 속도 및 압력장 분포 해석을 통해 속도비에 따른 내부 유동의 형태를 파악할 수 있었고 특히 성능저하에 큰 영향을 끼치는 재순환 유동을 관찰할 수 있었으며 추후 재순환유동을 최소화하는 설계기준에 대한 연구가 요구된다. 토크 컨버터는 낮은 속도비에서 뚜렷한 토크 증배기능을 나타내고 있으며, 속도비의 증가에 따라 토크비는 거의 선형적으로 감소하고 속도비가 0.7과 0.8 사이에서 유체 커플링 기능으로 바뀐다. 입력 용량계수는 낮은 속도비 구간에서 비교적 일정한 값을 보이다가 속도비가 0.6 이상에서 급격히 감소하는 형태로 나타났다. 이러한 성능해석을 종합해보면 본 연구에서 고려한 모델은 비교적 우수한 성능을 나타내며 이러한 성능을 좀더 개선하기 위해서는 내부 유동장에서 재순환 영역을 최소화하는 블레이드 설계가 추후 요구된다.

후 기

본 연구의 일부는 산학협동재단과 한국파워트레인의 지원에 의해 수행되었으며 관계 제위께 깊은 감사의 뜻을 표합니다.

참 고 문 헌

1. Brun, K., and Flack, R.D., "Laser velocimeter measurement in the turbine of

an automotive torque converter, part II -average measurements", ASME paper 96-00265, pp. 1~10, 1995.

2. Brun, K., and Flack, R.D., "Laser velocimeter measurement in the turbine of an automotive torque converter, part I -unsteady measurements", ASME paper 96-00266, pp. 1~11, 1995.

3. Brun, K., and Flack, R.D., "Transient velocity measurements in a turbomachine with independently rotating components", Proceedings of Society of Photo-optical Instrumentation Engineers, International Society of Optical Engineers, Vol. 2052, pp. 419~426, 1993.

4. Marathe, B.V., Lakshminarayana, B., and Maddock, D. G., "Experimental investigation of steady and unsteady flow field down stream of an automotive torque converter turbine and inside the stator part I : flow at the exit of turbine", ASME paper 96-00286, pp. 1~14, 1995.

5. Marathe, B.V., Lakshminarayana, B., and Maddock, D. G., "Experimental investigation of steady and unsteady flow field down stream of an automotive torque converter turbine and inside the stator part II : unsteady pressure on the stator blade surface", ASME paper 96-00285, pp. 1~16, 1995.

6. Marathe, B.V., Lakshminarayana, B., and Dong, Y., "Experimental and numerical investigation of stator exit flow field of an automotive torque converter", ASME paper 96-00226, pp. 1~13, 1994.

7. Schulz, H., Greim, R., and Volgmann, W., "Calculation of three-dimensional viscous flow in hydrodynamic torque converters", ASME paper 94-00500 pp. 1~15, 1994.

8. Fujitani, K., Himento, R., and Takagi, M.,

- “Computational study on flow through a torque converter”, SAE Technical Paper, #881746, 1988.
9. Abe, K., Kondoh, T., Fukumura, K. and Kojima, M., “Thre-dimensional simulation of the flow in a torque converter”, SAE Technical Paper, #910880, 1991.
 10. Cigarini, M. and Jonnavithula, S., “Fluid flow in an automotive torque converter : Comparison of numerical results with Measurements”, SAE Technical Paper, #950673, 1995.
 11. 久保 賢明, 江匂 英治, 青木 生夫, “自動車用トルクコンバータの 流體性能解析”, 自動車技術會學術講演會前別集, 印刷中.
 12. 박재인, 조강래, “익렬간 혼합면 모델에 의한 토크 컨버터의 특성해석”, 한국자동차공학회 1996년도 추계학술대회, #96380169, 1996.
 13. Denton, J. D., “The calculation of three dimensional viscous flow through multistage turbomachines”, ASME paper 90-GT-19, 1990.
 14. CFD-ACE, version 2.1 manual, CFDRC.
 15. 한국파워트레인, “토크 컨버터 230 ϕ 성능실험 보고서”, 1995.