

〈논 문〉 SAE NO. 97370106

## 토크 컨버터의 형상 분석

### Geometrical Analysis of a Torque Converter

임 원 식\*  
W. S. Lim

#### ABSTRACT

The performance of a torque converter can be expressed by the performance parameters such as flow radius and flow angle, on the mean flow path. The geometric analysis of the torque converter is required to determine these parameters for the modeling of the torque converter. In general, the blade shape is depicted by three dimensional data at the mid-surface of blade or those of the pressure and suction side. To generate three dimensional model of the blade using the data mentioned above, a consistent data format and a shape generation algorithm are required.

This paper presents a useful consistent data format of the blades and an algorithm for the geometrical shape generation. By the geometric analysis program to which the shape generation algorithm is embedded, the variation of blade angles in rotating element analyzed. Then finally, the analyzed results of geometric profile of a blade are compared with those of the blade design principle, so called forced vortex theorem.

주요기술용어 : Torque Converter(토크 컨버터), Mean Flow Path(평균 유선), Flow Radius(흐름 반경), Blade Angle(깃 각도), Forced Vortex Theorem(강제 와류 이론)

#### 1. 서 론

일반적으로 토크 컨버터의 성능은 1차원 성능 모델<sup>1)</sup>로 해석되는데, 성능 모델은 평균 유선(Mean Flow Path 또는 Design Path) 위에서의 흐름 반경 및 흐름 각도 등으로 표현된다. 평균 유선은 토크 컨버터의 토러스 단면에서 기하학적

으로 정의될 수 있는 대표 유선이며 흐름 반경은 평균 유선의 축 반경을 일컫는다. 흐름 각도는 평균 유선으로 지칭되는 3차원 곡면의 접평면에서 정의되는 평균 유동의 방향각을 의미하나 접평면에서의 깃 각도와 동일하게 고려되기도 한다. 흐름 반경은 설계 데이터로부터 쉽게 계산될 수 있으나, 깃 각도는 개념적인 접평면 위에 존재하는 3차원 곡선의 기술기로서 쉽게 결정하기 어렵다. 깃 각도와 깃의 윗셋량 및 축 반경과의

\*정회원, 기아자동차 연구부

관계는 SAE에서 발간된 설계 지침서<sup>2)</sup>를 비롯한 토크 컨버터 설계 자료들에서 제시되고 있으나, 이들은 주로 주어진 깃 각도와 축 반경을 이용하여 읍셋량을 수 계산(Manual Calculation)하려는 의도로 근사화된 결과이다. 깃 각도는 형상 치수(=길이 단위의 물리량)의 1차 미분의 차수를 가지는 무차원 물리량으로서 형상 변화에 의한 깃 각도의 변화 등을 고찰하기 위해서는 이러한 근사 계산식으로는 한계를 가진다고 할 수 있다.

본 연구에서는 토크 컨버터 성능 해석의 기본 단계이며 설계 자동화의 일부분인 기하학적 형상 분석 프로그램의 구체적인 알고리즘을 제시한다. 즉 셸, 코어의 3차원 형상이 주어지는 경우, 평균 유선 상의 모든 성능 파라미터들을 결정지을 수 있는 지배 방정식들을 유도하였고 이를 응용하는 과정에서 발생하는 제반의 오차 발생량을 분석 평가하였다. 또한 3차원 깃 형상을 구현하기 위하여 토크 컨버터 요소선들로 정의되는 3차원 곡면의 Interpolation Function을 제시하였고, 이들 알고리즘을 바탕으로 토크 컨버터의 형상 결정 및 기하학적 분석 프로그램을 개발하였다. 개발된 분석 프로그램을 이용하여 현재 중형급 승용차에 장착되고 있는 일본제 토크 컨버터의 형상 파라미터들을 분석하였으며 구체적으로는 회전 요소들의 셸, 코어, 평균 유선 및 Pressure Side, Suction Side 등에서의 깃 각도 변화에 대해 고찰하였다. 설계 기술 자립화를 위해, 도입/양산되고 있는 토크 컨버터의 기하학적 분석 결과를 바탕으로 토크 컨버터 깃의 기본적인 설계 기준인 Forced Vortex Theorem<sup>2)</sup>의 실제 적용 여부를 검토하였다.

## 2. 토크 컨버터 형상 분석 알고리즘

### 2.1 토크 컨버터 좌표계 및 형상 데이터

토크 컨버터의 내부 유량이 임펠러에서 터빈으로 흐르는 경우(임펠러가 구동요소로 작동하는 상태)를 Positive Torus Flow라고 명명할 때 토크 컨버터의 조립 상태를 나타내는 토러스 단면

의 2차원 좌표계  $i, i_r$ 를 Fig.1과 같이 정의한다. 토크 컨버터 세 회전 요소의 상대적인 조립 위치를 정의하기 위하여 각각의 z 좌표값들이  $z_p, z_s, z_t$ 인, 회전 요소에 부착된 세 기준점들( $Z_p, Z_s, Z_t$ )을 고려한다. 이들 세 점은 Positive Torus Flow를 기준으로 한 회전 요소 입구에서의 셸과 깃과의 교점들로 정의하며 이들 세 기준점들에 의하여 각 회전 요소에 부착되는 국소 좌표계,  $x^{(k)}-y^{(k)}-z^{(k)}$ 와  $r^{(k)}-\phi^{(k)}-z^{(k)}$ (k는 회전요소 번호)가 정의된다. 각 회전 요소들의 3차원 깃 형상 데이터는 이러한 국소 좌표계를 기준으로 표현되는데, 기준점  $Z_p, Z_s, Z_t$ 의  $x^{(k)}, z^{(k)}, \phi^{(k)}$ 의 값은 0이 되도록 한다. Fig.2는 터빈의 국소 좌표계를 나타내고 있다.

승용차용 토크 컨버터의 경우 일반적으로 스테이터는 깃 두께의 변화량이 크기 때문에 깃의 양면(Pressure Side와 Suction Side)에 대한 3차

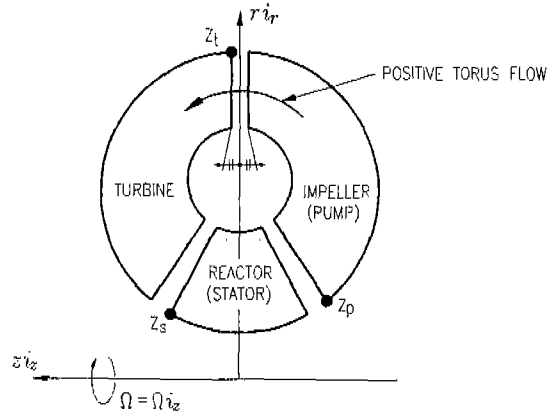


Fig.1 Coordinate System of a Torus Section

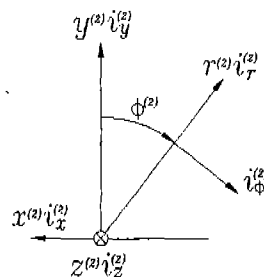


Fig.2 Coordinate System of  $x^{(k)}-y^{(k)}$  and  $r^{(k)}-\phi^{(k)}$  (Turbine)

원 형상 데이터로 표현된다. 그러나 임펠러와 터빈의 깃은 그 두께가 일정하게 설계되기 때문에 깃 형상은 깃 두께 중심점에 대한 3차원 데이터로 표현되며 깃 두께에 대한 정보가 첨부된다. 즉, 토크 컨버터의 형상 데이터는 두 종류의 형태로 입력되어야 한다고 생각할 수 있다. 본 연구에서는 이러한 데이터 파일의 형태를 표준화하였으며, 데이터 항목들 중 주요 항목을 설명하면 다음과 같다.

- ◆ TYPE NUMBER OF ELEMENT : 회전 요소들의 구분 번호(ex : 1=임펠러, 2=터빈, 3=스테이터)
- ◆ DATA FORMAT : 회전 요소의 깃 형상 데이터 파일의 입력 형식을 나타내는 번호  
 (1 : 깃 두께 중심점에 대한 데이터 입력, 깃 두께 입력)  
 (2 : 깃 양면(Pressure Side, Suction Side)에 대한 데이터 입력)
- ◆ ROTATE DIRECT : 회전 요소의 정상적인 회전 방향(Fig.1로 정의된  $\Omega$ 의 부호)  
 (회전방향 =  $i_z : ' + 1'$ ,  
 회전방향 =  $-i_z : ' - 1'$ )

2.2 평균 유선 및 요소선의 결정

요소선(Element Line)과 평균 유선(Design Path)은 설계를 위한 개념으로서 먼저 요소선의 정의에 대해 고려한다. 요소선은 Fig.1의 토러스 단면에서 정의되며 요소선의 번호는 Positive Torus Flow 기준의 회전 요소 입구로부터 정의된다. 요소선은 토러스 단면( $z^{(k)}-r^{(k)}$  평면) 상의 셸과 코어 윤곽선을 등분한 후 셸과 코어의 각 등분점들을 이어 결정한다. 요소선의 개수는 일정하지 않으나 보통 20개 정도를 기준 한다. 평균 유선(Design Path)은 요소선에 의해 결정되는 토러스 유동 방향의 흐름 단면적을 이등분하는 점들의 연속으로 정의된다.

먼저 요소선을 정의하기 위하여 Fig.3과 같은 토크 컨버터 내부의 적당한 점  $O'$ 을 원점으로 하는 국소 회전 좌표계  $\delta - \theta$ 을 정의한다. 이때 국소 회전 좌표계의 원점  $O'$ 은  $i_z$ 축 상에 존재하며 그  $r$ 좌표값은 토크 컨버터 코어 점들의 최

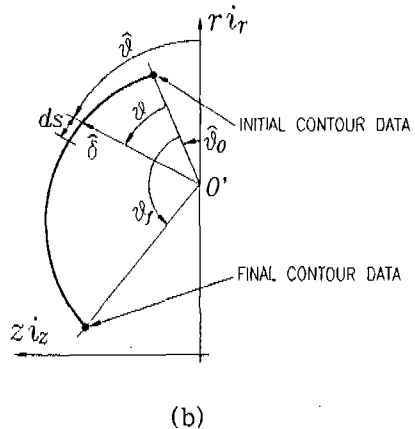
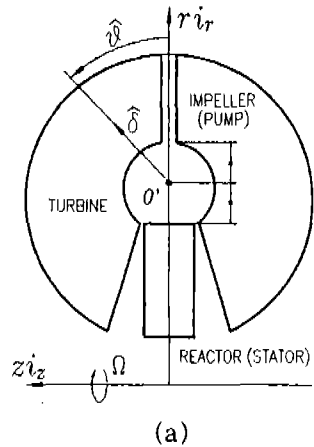


Fig.3 Coordinate System for Cubic Spline Interpolation of Contour

대 반경과 최소 반경의 평균값으로 정한다.

이상의  $\theta$  좌표계를 이용하면, 초기점( $\theta = 0$ )으로부터 최종점( $\theta = \theta_1$ )에 이르는 3차원 데이터 ( $x, y, z$ )는  $\theta$ 에 대한 함수로 생각할 수 있다.

$$x = x(\theta), y = y(\theta), z = z(\theta) \tag{1}$$

$\theta$ 에 대한  $x, y, z$  분포는 언제나 미분 가능하며  $\theta$ 에 대한 Explicit Function이 가능하므로  $\theta$ 에 대한 3차원 데이터  $x, y, z$ 의 Cubic Spline Interpolation이 언제나 존재한다. 이때 회전 요소 입구로부터 임의의 위치  $\theta$ 까지의 길이  $s$ 는 식 (2)와 같이 정리된다.

$$s = \int_0^{\theta_1} \sqrt{\left(\frac{x}{r} \frac{dx}{d\theta} + \frac{y}{r} \frac{dy}{d\theta}\right)^2 + \left(\frac{dz}{d\theta}\right)^2} d\theta \quad (2)$$

식 (2)에 의해 결정된 토러스 유선의 전체 길이를 결정할 요소선의 개수로 나눈 후, 유선의 등분점들을 구하면 요소선들을 결정할 수 있다. 요소선 상에 존재하는 셸, 코어, 평균 유선 점들을 각각  $P_s, P_c, P_a$ 라 하고, 각 점들의  $z, r$  좌표계를 다음과 같이 표시할 때

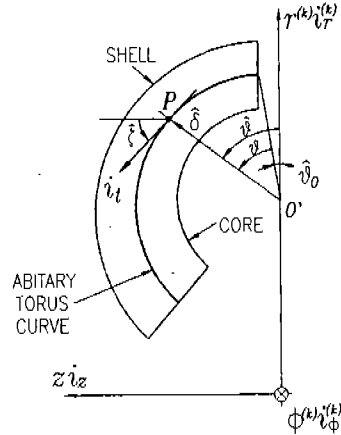
$$P_s = P_s(z_s, r_s), P_c = P_c(z_c, r_c), P_a = P_a(z_a, r_a) \quad (3)$$

평균 유선의  $z, r$  좌표값들은 다음에 의해 결정된다.

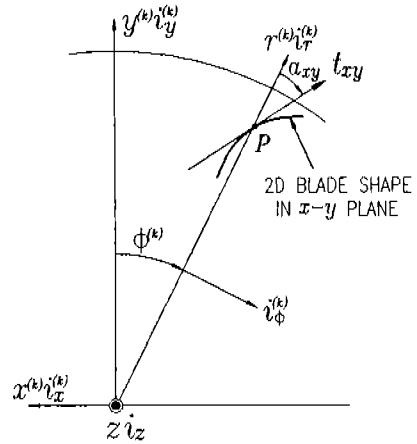
$$\begin{cases} \text{if } r_s = r_c: r_a = r_s = r_c, & z_a = \frac{z_s + z_c}{2} \\ \text{if } r_s \neq r_c: (r_a)^2 = \frac{(r_s)^2 + (r_c)^2}{2}, & z_a = \frac{(r_s - r_c)z_s + (r_s + r_c)z_c}{r_s - r_c} \end{cases} \quad (4)$$

### 2.3 깃 각도의 결정

토크 컨버터 깃은 3차원(이하 3D로 표기함) 곡면으로서 구형의 셸, 코어 또는 어떤 유면(Stream Surface)과 만나면 3D 공간 상의 곡선을 결정짓는다. 셸, 코어의 깃 각도는 결국 이러한 3D 곡선의 접선 방향을 뜻한다. 3D 측정 데이터와 깃 각도와와의 관계를 고찰하기 위해 Fig.4의  $k$ 번째 회전 요소 토러스 단면의 임의의 토러스 유선을 고려한다. 토크 컨버터 깃 각도는 Fig.4(a)에서와 같이 토러스 단면 상의 임의의 토러스 유선(=  $s$ ) 위에서 정의된다. 토러스 유선은 Positive Torus Flow와 같은 방향으로 정의되며 셸, 코어, 평균 유선 등으로 분류될 수 있다. 또한 Fig.4(a)에서와 같이 토러스 유선 상의 임의의 점  $P$ 에서 토러스 유선에 접하는 단위 접선 벡터  $i_s$ 의 방향도 토러스 유선의 방향과 동일하게 정한다. 이때  $i_s$ 는 다음과 같이 나타낼 수 있다(회전 요소에 대한 첨자  $k$ 는 생략하기로 하며  $ds$ 는 Fig.3에 나타난 바와 같이 임의의 토러스 유선의 미소 길이를 뜻한다).



(a) Torus Curve in Torus Section



(b) Axial View of Blade

Fig.4 Schematic View of Torus Curve and Blade

$$i_s = \frac{dz}{ds} i_z + \frac{dr}{ds} i_r \quad (5)$$

다음으로 3D 깃의 접선 벡터를 고려한다. 깃은 3D의 곡면으로서 토러스 단면에서의 토러스 유선으로 표현되는 3D 곡면과의 교선은 3D의 깃 곡선으로 나타나며, 3D 깃 곡선의 3D 접선 벡터  $t_b$ 는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$t_b = dx i_x + dy i_y + dz i_z \quad (6)$$

이러한  $t_b$ 는  $i_t$ 와  $i_\phi$ 로 표현되는 접평면(Tangential Plane)에서 Fig.5와 같이 표현될 수 있다.

토크 컨버터의 깃 각도는 Fig.5의 접평면에서 정의되는데 이를 3차원 깃 각도로 명명한다. 이러한 3차원 깃 각도는 Fig.5의 각도  $a$ 의 Tangent 값으로서 다음과 같이 정리된다.

$$\tan a \equiv \frac{t_b \cdot i_\phi}{t_b \cdot i_t} = \frac{-y dx + x dy}{r ds} = \frac{r d\phi}{ds} \quad (7)$$

위식은 3D 깃 각도에 대한 최종식이나 수치적인 계산을 위해서는 좌표값들의 점 미분을  $\theta$ 에 대한 미분으로 고려한다. 다음으로는 깃 각도의 또 다른 표현을 고려한다.  $ds$ 는 토러스 유선의 미소 길이를 뜻하는데, 깃의 3차원 윤곽선의 미소 길이를  $dl$ 이라 할 때  $dl$ 은 다음과 같이 정리될 수 있으므로

$$(dl)^2 = (dx)^2 + (dy)^2 + (dz)^2 = (ds)^2 + (rd\phi)^2 \quad (8)$$

식 (7)은 다음과 같이 정리될 수 있다.

$$\tan^2 a = \left(\frac{rd\phi}{ds}\right)^2 = \left(\frac{dl}{ds}\right)^2 - 1, \frac{dl}{ds} = \cos a > 0 \quad (9)$$

즉, 위식은 깃의 각도를 토러스 유선의 길이와 깃의 Cord Length로 표현한 것이라 할 수 있다. 다음으로는 깃의 3D 각도와 2D 각도와의 관계를 고찰하기 위해 Fig.4(b)를 고찰한다. Fig.4(b)의  $x-y$  평면에서의 2D 깃 각도를  $a_{xy}$ 라 표

시하고  $x-y$  평면에 대한 깃 윤곽선의 접선 벡터를  $t_{xy}$ 라 할 때  $t_{xy}$ 의 정의와  $a_{xy}$ 의 Tangent Value는 다음과 같다.

$$t_{xy} \equiv \frac{dx}{d\theta} i_x + \frac{dy}{d\theta} i_y, \tan a_{xy} \equiv \frac{t_{xy} \cdot i_\phi}{t_{xy} \cdot i_r} \quad (10)$$

위식을 정리하여 깃의 3D 각도와 2D 각도를 비교하면 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \tan a &= \frac{rd\phi}{ds} = \frac{dr}{ds} \frac{rd\phi}{dr} = \frac{dr}{ds} \tan a_{xy} \\ &= -\sin^2 \xi \cdot \tan a_{xy} \end{aligned} \quad (11)$$

즉 깃 각도의 3차원 측정치  $\tan a$ 와 2차원 측정치  $\tan a_{xy}$ 는 서로 다른 값을 가지며 극한점( $\sin^2 \xi = 0$ 인 점)에서  $\tan a_{xy}$ 는 정의되지 않을 수 있음을 알 수 있다.

$$\text{if } \tan a < \infty, \lim_{\sin^2 \xi \rightarrow 0} \tan a_{xy} = \infty \quad (12)$$

#### 2.4 3차원 요소선과 2차원 요소선의 비교

요소선은 토러스 단면의 셸과 코어를 잇는 선분으로 정의되나 일반적으로 3D 공간 상의 셸과 코어점을 잇는 선분과는 일치하지 않는다. 먼저 2D 평면( $z-r$ 평면)에서 요소선이 직선일 때 3D 공간( $x^{(k)}-y^{(k)}-z^{(k)}$ )에서도 2D의 요소선이 직선의 형태가 되어야 하는 조건에 대해 살펴본다. 이를 위하여 먼저 임의의 회전 요소의 토러스 단면을 나타내는  $z-r$ 평면 상의 직선의 요소선을 고려한다. 셸, 코어 및 평균유선과 같은 토러스 유선과 요소선이 교차하는 점들을  $P_s, P_c, P_b$ 라 할 때 이들 각 점의 좌표를 다음과 같이 나타내기로 한다.

$$P_s = P_s(z_s, r_s), P_c = P_c(z_c, r_c), P_b = P_b(z_b, r_b) \quad (13)$$

요소선은 원칙적으로 토러스 단면에서 정의되는 직선이므로 이에 대한 식은 다음과 같이 나타낼

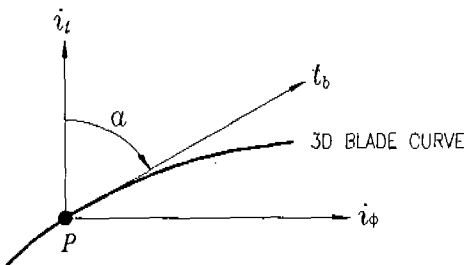


Fig.5 Definition of Blade Angle

수 있다.

$$\frac{z_b - z_c}{z_s - z_c} = \frac{r_b - r_c}{r_s - r_c} = c_1 = \text{constant}, (0 < c_1 < 1) \quad (14)$$

또한 2D의 요소선이 3D 공간에서 직선이기 위해서는 다음의 식이 성립하여야 한다.

$$\frac{x_b - x_c}{x_s - x_c} = \frac{y_b - y_c}{y_s - y_c} = \frac{z_b - z_c}{z_s - z_c} = c_2 = \text{constant}, (0 < c_2 < 1) \quad (15)$$

위의 두 식에서  $x_b, y_b, z_b, r_b$ 를 소거하고, 2D의 요소선이 3D 공간에서 직선이기 위한 조건식  $c_1 = c_2$ 를 적용하면 2D의 요소선과 3D의 요소선이 모두 직선이기 위한 조건식은 다음과 같다.

$$(x_s - x_c)^2 + (y_s - y_c)^2 = (r_s - r_c)^2 \text{ or,} \\ \frac{y_s}{x_s} = \frac{y_c}{x_c} = \text{constant} \quad (16)$$

위 식에서 세번째 조건은 요소선을 정의하는 3D의 두 점이  $x-y$  평면상에 투영되었을 때 그 두 점을 이은 직선이 원점을 지나는 경우를 뜻한다. 이런 경우는 특수한 경우라 할 수 있으므로 결국 이상의 고찰에 대한 결론은 다음과 같다.

“2D 평면에서 정의되는 요소선은 3D 공간에서는 일반적으로 곡선이 되며,  $x-y$  평면상에서 세 점이  $x-y$  좌표계의 원점을 지나는 직선 상에 나열되어 있는 경우에만 3D 공간에서도 직선이 된다.”

다음으로는 3D 공간( $x^{(k)}-y^{(k)}-z^{(k)}$ )상에서 직선의 형태를 갖는 요소선이 2D에서 어떤 형태의 곡선으로 나타나는가에 대해 고찰한다. 먼저 요소선이 3D 공간에서 직선이기 위해서는 식 (15)가 성립하여야 하는데, 식 (15)를 이용하여  $x_b, y_b, x_c, y_c, x_s, y_s$ 를 소거하면 다음과 같은 관계가 도출된다(여기서  $r_b^{(3D)}$ 는 3D에서 직선인 요소선 상의 평균 유선 점의 반경을 뜻함).

$$(r_b^{(3D)})^2 = c_2^2 r_s^2 + (1 - c_2)^2 r_c^2 + 2c_2(1 - c_2)r_s r_c \cos(\phi_{sc}) \\ = c_2 r_s^2 + (1 - c_2) r_c^2 - c_2(1 - c_2) b_{sc}^2 \quad (17)$$

위 식에서  $\phi_{sc}$  및  $b_{sc}$ 는 다음과 같이 정의된다.

$$\phi_{sc} \equiv \phi_s - \phi_c, \quad b_{sc} \equiv \sqrt{(x_s - x_c)^2 + (y_s - y_c)^2} \quad (18)$$

식 (17)은 3D에서 요소선이 직선임을 가정할 때의 관계식으로서  $z$ 좌표값과는 무관하게 표현되어 있다. 토러스 단면에서의  $z_b$  값은 식 (15)에 의해 결정된다고 생각할 수 있다. 식 (15)의  $z_b$ 에 대한 정의를 고려할 때 3D에서의 평균유선 점은 쉘과 코어 점을 잇는 선분(3D 요소선)을  $1 - c_2 : c_2$ 의 비율로 내분하는 점으로 생각할 수 있는데, 이 내분점의  $r$ 좌표계(= $r_b^{(3D)}$ )가 식 (17)로 표현되었다고 생각할 수 있다. 2D의 토러스 단면에서 쉘과 코어 점을 잇는 선분을  $1 - c_2 : c_2$ 로 내분하는 점을  $r_b^{(2D)}$ 라 표시하고  $r_b^{(2D)}$ 와 식 (17)의 3D 평균 유선 점인  $r_b^{(3D)}$ 와의 오차를  $\epsilon_b$ 라 표시할 때  $r_b^{(3D)}, r_b^{(2D)}, \epsilon_b$ 들의 관계를 다음과 같이 정의한다.

$$\epsilon_b \equiv r_b^{(2D)} - r_b^{(3D)} \quad (19)$$

이 때  $\epsilon_b$ 는 (17)을 이용하여 다음과 같은 식으로 결정된다.

$$\epsilon_b^2 - 2\{c_2 r_s + (1 - c_2) r_c\} \epsilon_b \\ + 2c_2(1 - c_2)r_s r_c(1 - \cos\phi_{sc}) = 0 \quad (20)$$

$\epsilon_b$ 에 대한 2차 방정식인 식 (20)의 두 근은 언제나 서로 다른 0 이상의 실수값을 가짐을 알 수 있는데, 이상의 고찰을 통해 3D에서의 직선을 토러스 단면에 투영하는 경우 3D 직선상의 임의의 점의  $r$ 좌표값은, 동일한  $z$ 좌표계에 대해 고려할 때, 토러스 단면에서 쉘과 코어 점을 이은 선분의  $r$ 좌표값보다 작음을 알 수 있다. 이때 반경 방향의 오차 크기는 다음에 의해 결정된다.

$$\epsilon_b = r_b^{(2D)} - r_b^{(3D)} = c_2 r_s + (1 - c_2) r_c - \sqrt{D} \epsilon \geq 0 \quad (21)$$

위의 오차  $\epsilon_b$ 의 3D 반경 값에 대한 비율(= $\epsilon_b/r_b^{(3D)}$ )의 최대점을 고려한다. 이러한 반경 오차비의 최대값은 다음 방정식에 의해 결정된다.

$$\frac{d}{dc_2} \left( \frac{\epsilon_b}{r_b^{(3D)}} \right) = 0 \Leftrightarrow c_2 = \frac{r_c}{r_s + r_c} \quad (22)$$

반경 오차비는  $\cos\phi_{sc}$ 의 값에 따라 좌우되는데 Fig.6은 토크 컨버터 데이터 (임펠러 데이터)를 이용하여 반경 오차비의 최대값과  $\cos\phi_{sc}$ 의 분포를 1001개의 요소선에 대해 도시한 것이다. Fig.6으로부터  $\epsilon_b/r_b^{(3D)}$ 의 값은  $\cos\phi_{sc}$ 의 값이 작아질수록 커지나 그 크기는 약 1/400 이하임을 알 수 있다. Fig.7은 이러한 오차의 범위를 좀더 확실하게 알기 위하여  $\epsilon_{b, \max}$ 의 값의 분포를 도시한 것이다.

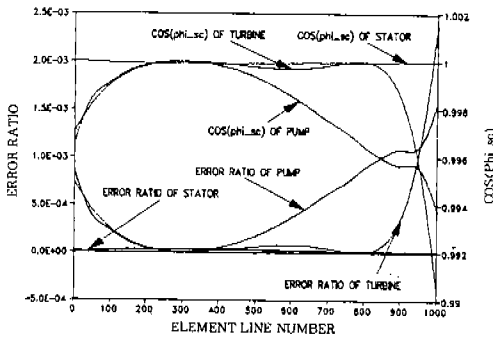


Fig.6 Relation of Maximum Error Ratio, ( $\epsilon_b/r_b^{(3D)}$ )<sub>max</sub> and Cosine Value (=  $\cos\phi_{sc}$ ), (ex : Impeller)

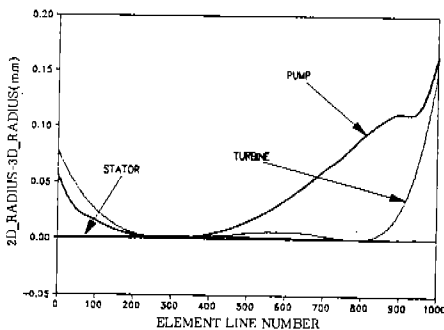


Fig.7 Error of 2-Dimensional Radius and 3-Dimensional Radius(ex : Impeller)

Fig.7에 의해 2D 반경과 3D 반경과의 오차는 약 0.2mm 이하인 것을 알 수 있는데 이러한 오차는 토크 컨버터 3D 데이터의 유효 숫자 범위 내의 값이므로 무시할 수 없다고 생각할 수 있다. 따라서 2D 반경과 3D 반경은 엄밀히 구분되어야 한다. 이러한 두 종류의 반경에 대한 구분은 평균 유선상의 깃 각도 등과 같은 파라미터를 계산할 때 필요한 것으로서, 두 종류의 반경값이 나타내는 위치에서의 파라미터 값은 오차를 포함하게 된다. 토크 컨버터의 해석 또는 설계에 있어 토러스 단면 내부의 깃 각도 등과 같은 파라미터는 평균 유선과 요소선과의 교점인 평균 유선점(Design Path Point)에서 정의하게 되므로 반경  $r_b^{(2D)}$ 인 점이 의미를 가진다고 할 수 있다.

### 2.5 3차원 접평면에서의 깃 각도 결정

대개의 3차원 깃 곡면은 토러스 단면에서 정의된 요소선의 양 끝점(셸, 코어점)을 직선으로 이은 형상으로 가공된다. 본 절에서는 3D 공간( $x^{(k)}-y^{(k)}-z^{(k)}$ )에서 2D의 요소선의 양 끝점을 직선으로 연결한 경우 2D 요소선 상의 임의의 점에서의 깃 각도의 계산 방법에 대해 고려한다. 먼저 토러스 단면 상의 임의의 요소선과 셸 및 코어와의 교점을 각각  $P_s, P_c$ 로 표시하기로 하며 깃 각도가 계산되는 요소선 상의 임의의 점을  $P_b^{(2D)}$ 로 나타내기로 한다. 이때 이를 세 점의 좌표값을 다음과 같이 나타내기로 한다.

$$P_s = P_s(z_s, r_s), P_c = P_c(z_c, r_c), P_b^{(2D)} = P_b^{(2D)}(z_b, r_b^{(2D)}) \quad (23)$$

토러스 단면에서 요소선은 직선이므로  $P_b^{(2D)}$ 점은 선분  $\overline{P_s P_c}$ 을  $1-c_2 : c_2$ 로 내분하는 점으로 생각한다.

$$z_b = c_2 z_c + (1-c_2) z_s, r_b^{(2D)} = c_2 r_c + (1-c_2) r_s \quad (24)$$

또한  $P_s, P_c$ 점을 3D 공간상에서 직선으로 연결하였을 때 선분  $\overline{P_s P_c}$ 을  $1-c_2 : c_2$ 로 내분하는 점을  $P_b^{(3D)}$ 로 나타내기로 하며  $P_b^{(3D)}$ 의 좌표값을 다음과 같이 나타내기로 한다.

$$P_b^{(3D)} = P_b^{(3D)}(z_b, r_b^{(3D)}) \quad (25)$$

이때 식 (24)에서 정의한  $r_b^{(2D)}$ 와 달리  $r_b^{(3D)}$ 는 식 (17)과 같이 결정되며 식 (24)과 식 (17)로부터 다음과 같은  $r_b^{(2D)}$ ,  $r_b^{(3D)}$ ,  $\phi_{sc}$ 의 관계가 도출된다.

$$(r_b^{(3D)})^2 = (r_b^{(2D)})^2 - 2c_2(1-c_2)r_r r_c \{1 - \cos(\phi_{sc})\} \quad (26)$$

이상의 식으로부터  $P_b^{(2D)}$ 와  $P_b^{(3D)}$ 는 3D 공간 상에서 서로 다른 점이며 그  $z$ 좌표값들은 동일하나  $x, y$ 좌표값들은 서로 다른 점임을 알 수 있다.

식 (21)에 의해  $r_b^{(2D)} \geq r_b^{(3D)}$ 이므로  $P_b^{(2D)}$ ,  $P_b^{(3D)}$ 의 위치 관계는 Fig.8과 같이 나타낼 수 있다. Fig.8에서와 같이 2D 요소선은 3D에서 곡선의 형태를 가진다. 3D에서 2D 요소선의 양 끝 점을 직선으로 이은 선분을 3D 요소선이라 명명할 때 이웃한 두 3D 요소선 사이에  $P_b^{(2D)}$ 점이 존재하는지 판단하거나  $P_b^{(2D)}$ 의  $x, y$ 좌표계를 구하기 위해서는 3D 곡면에 대한 Interpolation을 이용하여야 한다. 이를 위하여 Fig.9를 고려한다. Fig.9는 이웃한 두 3D 요소선들로 정의되는 곡면을 나타내고 있으며  $P_b^{(2D)}$ 점의 좌표값인  $z_b, r_b^{(2D)}$ 의 값을 알고 있는 값이라고 생각한다. Fig.9와 같이 이웃한 두 3D 요소선이 직선이므로 좌표계  $\hat{c}, \hat{\phi}, \alpha(0 < \hat{c} < 1, 0 \leq \hat{\phi} \leq 1)$ 를 이용하여 Surface Interpolation Function을 다음과 같이 가정한다. 여기서  $k$ 는 요소선 번호(Element Number)를 뜻한다.

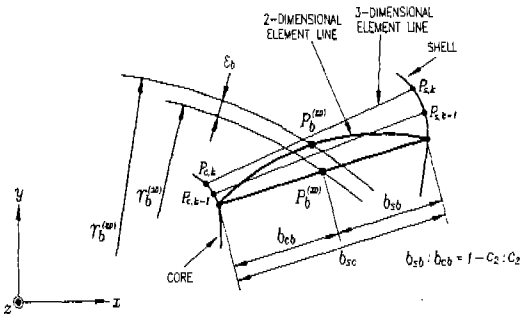


Fig.8 Positions of  $P_b^{(2D)}$ ,  $P_b^{(3D)}$  in Three-Dimensional Space

$$x_b^{(2D)} = (\hat{c}x_{k+1} + (1-\hat{c})x_{k-1})\hat{\phi} + (\hat{c}x_{k-1} + (1-\hat{c})x_{k+1})(1-\hat{\phi}) \quad (27)$$

$$y_b^{(2D)} = (\hat{c}y_{k+1} + (1-\hat{c})y_{k-1})\hat{\phi} + (\hat{c}y_{k-1} + (1-\hat{c})y_{k+1})(1-\hat{\phi}) \quad (28)$$

$$z_b^{(2D)} = (\hat{c}z_{k+1} + (1-\hat{c})z_{k-1})\hat{\phi} + (\hat{c}z_{k-1} + (1-\hat{c})z_{k+1})(1-\hat{\phi}) \quad (29)$$

위 식에서  $\hat{\phi}$ 가 고정된 경우  $x, y, z$ 는 모두  $\hat{c}$ 에 대해 1차 함수로 표현되므로  $\hat{\phi} = const$ 인 path는 3D에서 직선을 유지하며, 특히  $\hat{\phi} = 0$  또는  $\hat{\phi} = 1$ 인 경우  $\hat{\phi} = const$ 인 path는 3D 요소선과 동일함을 확인할 수 있다. 좌표계  $\hat{\phi}$ 는 회전 좌표계가 아니며 셸 또는 코어를 Boundary로 하는 일반적인 General Coordinate라고 생각한다. 위식들은  $\hat{\phi}, \hat{c}$ 에 대한 대수 방정식이며 ( $0 < \hat{c} < 1, 0 \leq \hat{\phi} \leq 1$ )를 만족하는 근은 단 한 쌍이 존재한다. 이상의 방법을 이용하여 토러스 단면에서의 임의의 유선 상의 점에 대한 3D 좌표계를 구한 후에는 2.3절에서 고찰한 방법에 의해 깃 각도를 계산할 수 있다.

Fig.10은 임펄러 데이터를 바탕으로, 평균 유선 상의 3D 요소선의 좌표값 및 그에 따른 깃 각도와 본 절에서 고찰한 방법을 이용하여 계산된 2D 요소선의 좌표값 및 그에 따른 깃 각도를 비교한 것이다. Fig.10에서 보여지듯이 3D 요소선과 2D 요소선에 대한 깃 각도에 대한 오차는 최대 1° 정도임을 알 수 있다. 토크 컨버터의 성능은 깃 각도의 Tangent 값에 의해 영향을 받으므로 이러한 각도 1°의 오차는 무시할 수 없는 양이라 할 수 있다.

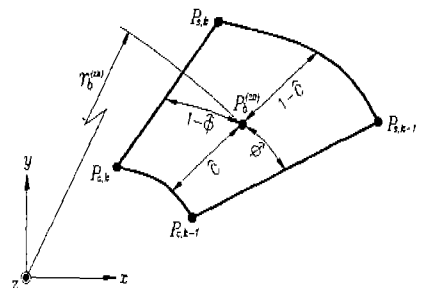


Fig.9 Schematic Diagram of Three-Dimensional Surface Interpolation Function



2.6 깃의 Pressure Side와 Suction Side 형상 결정

본 절에서는 2.1절의 DATA FORMAT=1인 깃 데이터가 주어질 경우 깃의 Pressure Side와 Suction Side의 형상을 결정짓는 방법에 대해 고찰한다. DATA FORMAT=1인 깃 데이터는 깃의 두께 중심점에 대한 데이터를 의미하며 함께 주어지는 깃의 두께는 주어진 형상 데이터로 생성되는 깃 두께 중심면의 법선 방향으로의 두께로 고려될 수 있다. 따라서 깃의 Pressure Side와 Suction Side의 형상을 결정짓기 위해서는 우선 깃 두께 중심면의 법선 벡터를 구해야 하며 이를 위해서는 두께 중심면에 접하는 접평면 위의 평행하지 않은 두 벡터를 먼저 결정하여야 한다. 두 벡터 중 하나의 벡터는 3D 깃 형상의 접선 벡터로서 식 (10)과 같이 결정될 수 있으며, 나머지 하나의 벡터는 요소선의 양 끝점(셀, 코어점)으로 정의되는 방향 벡터로서 고려될 수 있

다. 즉 깃 두께 중심면의 임의의 점  $P_0(x_0, y_0, z_0)$ 에서의 법선 벡터  $n_m$ 은  $P_0$ 를 지나는 요소선의 방향 벡터인  $\overline{P_c P_s}$ 를 이용하여 다음과 같이 정의될 수 있다.

$$n_m \equiv (t_b \times \overline{P_c P_s}) / |t_b \times \overline{P_c P_s}|, n_{m,\phi} = n_m \cdot i_\phi < 0 \quad (30)$$

DATA FORMAT=1의 깃 데이터가 주어지는 경우 깃의 Pressure Side와 Suction Side를 결정하기 위해서 본 연구에서는 깃의 Pressure Side 및 Suction Side 등과 같은 깃 표면 상에서 정의되는 법선 벡터의 회전 접선방향( $i_\phi$ ) 성분과, 회전 요소가 정상적인 회전 방향으로 운동하는 상태(엔진이 Drive인 상태 또는 Positive Torus Flow 상태)에서 회전 요소의 회전 방향을 감안하여 깃의 Pressure/Suction Side에 대한 판단 기준을 제시한다. 임의의 회전 요소의 깃에 대한 Pressure Side 및 Suction Side에서의 법선 벡터를  $n_b$ 라 하고  $n_b$ 의 회전 접선 방향 성분을  $n_{b,\phi}$ 라 할 때,  $n_{b,\phi}$ 는 식 (30)과 같이  $n_b$ 과  $i_\phi$ 와의 내적으로 정의될 수 있으며 회전 요소의 정상적인 회전 방향에 따라 다음의 Table 1과 같이 결정될 수 있다.

Table 1에서와 같이 같은 회전 방향과 같은 깃 표면에서  $n_{b,\phi}$ 의 부호는 회전 요소 별로 다르므로 이를 다음과 같은 변수로 표시하기로 한다.

$$M_{elem} = 1(\text{impeller, turbine}), M_{elem} = -1(\text{stator}) \quad (31)$$

또한 깃 두께 중심면 상의 임의의 점  $P_0(x_0, y_0, z_0)$ 에서의 깃 두께를  $t_b$ 라 하고 2.1절의 토크 컨버

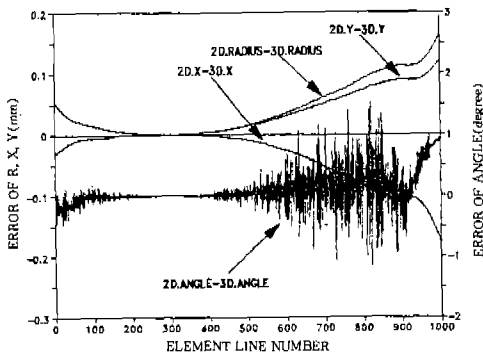


Fig.10 Error of 2D Element Line and 3D Element Line(Spatial Coordinates and Blade Angle of Pump)

Table 1 Sign of  $\phi$ -Direction Component of Surface Normal Vector,  $n_{b,\phi}$

sign of $\phi$ -direction component of surface normal vector, $n_b (= n_{b,\phi})$	when $\Omega > 0$		when $\Omega < 0$	
	pressure side	suction side	pressure side	suction side
impeller	-	+	+	-
turbine	-	+	+	-
stator	+	-	-	+

터 데이터 화일의 Data Index Label인 ROTATE DIRECT의 값을  $R_{elem}$ 이라 하면  $P_0$ 에 해당하는 Pressure Side의 점  $P_{prs}$ 와 Suction Side의 점  $P_{suc}$ 의 좌표값을 다음과 같이 결정할 수 있다(여기서  $\overrightarrow{OP_0}$ ,  $\overrightarrow{OP_{prs}}$ ,  $\overrightarrow{OP_{suc}}$ 은 위치 벡터를 의미한다).

$$\overrightarrow{OP_{prs}} = \overrightarrow{OP_0} - \text{sign}(n_m) \cdot R_{elem} \cdot M_{elem} \cdot \frac{t_b}{2} \cdot n_m \quad (32)$$

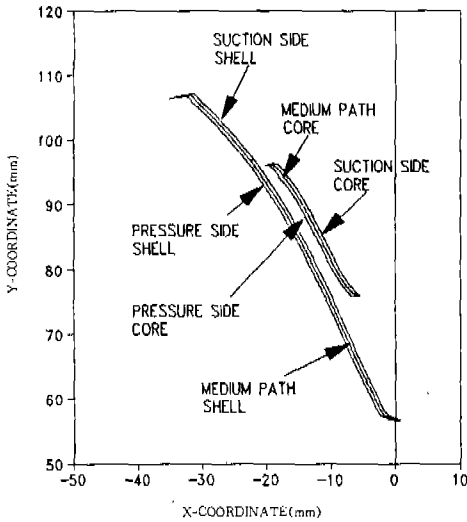


Fig.11 Generated Pressure/Suction Side of a Blade : Impeller

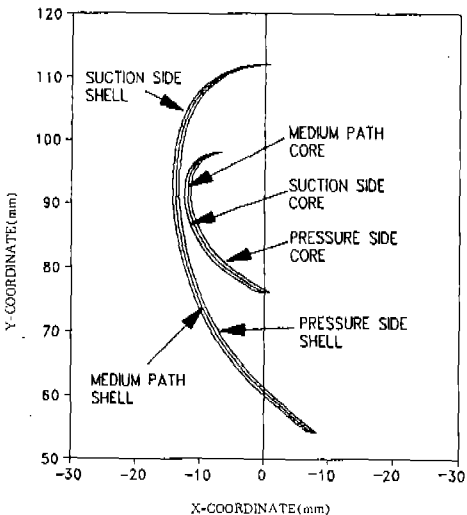


Fig.12 Generated Pressure/Suction Side of a Blade : Turbine

$$\overrightarrow{OP_{suc}} = \overrightarrow{OP_0} - \text{sign}(n_m) \cdot R_{elem} \cdot M_{elem} \cdot \frac{t_b}{2} \cdot n_m \quad (33)$$

이상의 방법을 통해 구한 Pressure Side와 Suction Side의 형상은 깃 두께 중심면에 대해 수직인 방향으로 구해진 것이기 때문에 깃 두께 중심면의 데이터 영역을 벗어날 수 있다. 따라서 생성된 두 형상을 Fig.9에서 정의한 Surface Interpolation Function을 이용하여 재 형상화 한다. 이에 대한 자세한 언급은 피하기로 하며 본 연구에서는 생성된 두 면에 대한 결과만을 제시하기로 한다. Fig.11, Fig.12는 임펠러와 터빈 데이터를 이용하여 생성한 깃 형상을 나타내고 있으며 Fig.13은 DATA FORMAT=2의 스테이터를 구체화한 결과이다. Fig.11~Fig.13의 결과에서 Medium Path는 깃 두께 중심선을 의미한다.

### 2.7 Multi-Stream Line의 생성

지금까지 고려한 토러스 단면의 내부(셸과 코어 사이의 영역)의 점은 평균 유선으로 정의되는 유선 상의 점들로 대변되어 고려되었다. 본 절에서는 이러한 토러스 내부의 점을 정하는 원칙으로서, 평균 유선의 정의에 대한 개념을 확장한 다유선(Multi-Stream Line) 결정 알고리즘에

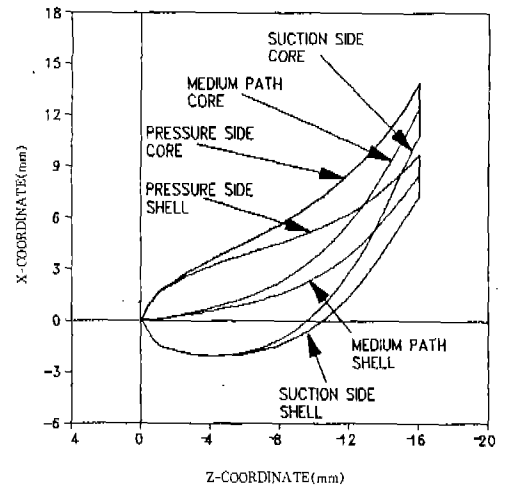


Fig.13 Generated Pressure/Suction Side of a Blade : Stator

대해 고찰한다. 토러스 내부의 점은 결국 헬과 코어를 잇는 임의의 요소선 상에 존재하는 점이므로 이에 대한 생성 알고리즘은 식 (4)로 정의되는 평균 유선의 정의를 확장하여 정의하는 것이 유용하다. 즉 임의의 요소선 상의 점을  $(z_0, r_0)$ 라 할 때 다음의 관계식이 가능하다.

$$\begin{cases} r_0^2 = (1-\alpha)r_c^2 + \alpha r_s^2, & (0 \leq \alpha \leq 1) \\ \frac{z_s - z_0}{z_c - z_0} = \frac{r_s - r_0}{r_c - r_0} = -\frac{1-\beta}{\beta}, & (0 \leq \beta \leq 1) \end{cases} \quad (34)$$

위 식에서  $\alpha$ 는 헬 점과 코어 점 사이의 반경의 제곱에 대한 내분비로 생각할 수 있으며, 고찰하는 임의의 한 유선에 해당하는  $\alpha$ 값은 일정하다고 생각한다.  $\beta$ 는 선분  $\overline{z_c z_s}$ 와  $\overline{r_c r_s}$ 를  $\beta : 1-\beta$ 로 내분하는 내분 비율이라고 생각할 수 있다. 이때  $\alpha$ 와  $\beta$ 의 관계식은 다음과 같다.

$$(1-\gamma)\beta^2 + 2\gamma\beta - \alpha(1+\gamma) = 0 \quad (35)$$

즉 평균 유선 점은  $\alpha=0.5$ 의 특정 상태이며, 각 곡면 위의 모든 점은  $0 \leq (\alpha, \beta) \leq 1$  범위에 존재하게 된다.

Fig.14~Fig.16은 토크 컨버터의 형상 데이터

를 바탕으로 계산된 임펠러, 터빈, 스테이터 등의 깃 형상 결과를 Medium Path 상의 5개의 Multi-Stream Line으로 나타낸 것이며 Fig.17은 이들 회전 요소를 조합한 토러스 단면 방향의 조립 형상을 나타내고 있다. 각 그림에서 Stream Line(0)는 Core Contour를, Stream Line(4)는 Shell Contour를, Stream Line(2)는 Design Path를 나타낸다.

### 3. 토크 컨버터 깃 각도 분석

본 연구에서는 지금까지 고찰한 알고리즘을 바

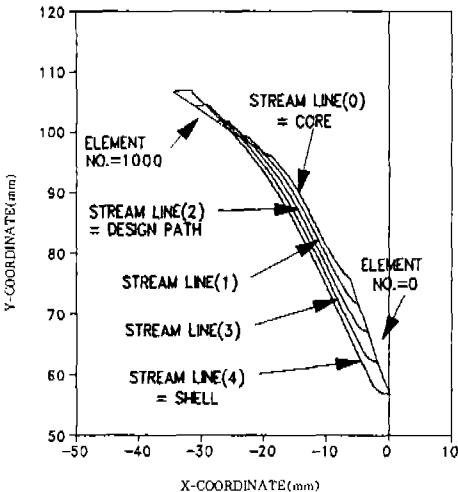


Fig.14 Generated Multi-Stream Line (Impeller)

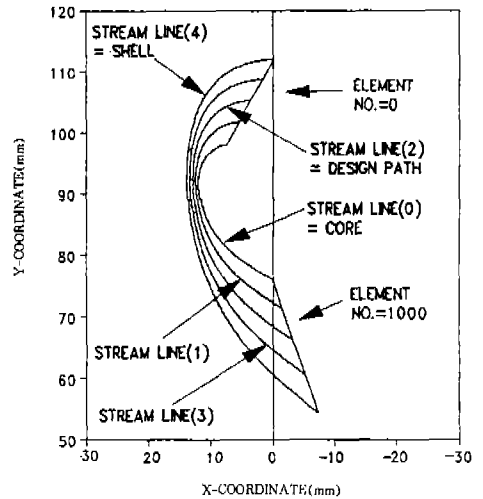


Fig.15 Generated Multi-Stream Line (Turbine)

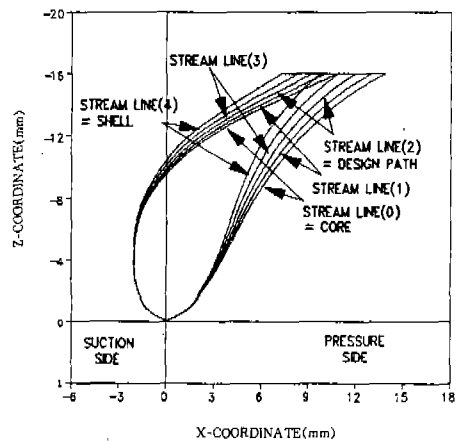


Fig.16 Generated Multi-Stream Line (Stator)

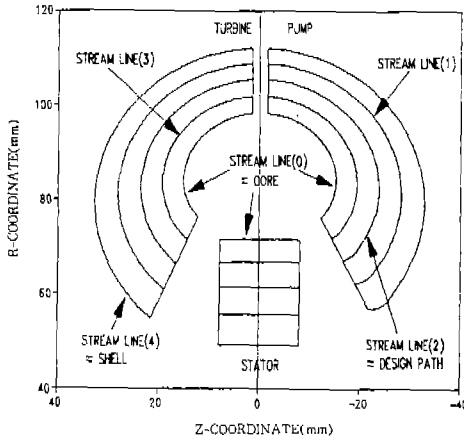


Fig.17 Torus Sectional View of Generated Multi-Stream Lines of a Torque Converter

탕으로 토크 컨버터의 깃 형상을 자동 생성하는 프로그램을 개발하였고 이를 이용하여 승용차용 토크 컨버터의 깃 형상을 분석하였다. 분석 결과로서 먼저 세 회전 요소 입출구에서의 깃 각도를 요약 정리하면 Table 2와 같다.

다음으로 깃 두께에 의한 깃 각도의 변화량에 대해 고찰한다. Fig.18~Fig.20은 토크 컨버터의 데이터를 이용하여 분석한 임펠러, 터빈, 스테이터의 셸과 코어에서의 깃 각도를 Pressure Side, Suction Side, Medium Path에 대해 나타내고 있다. 결과로부터 스테이터를 제외한 경우 두께 변

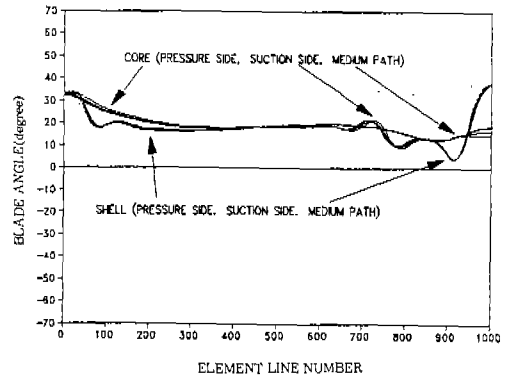


Fig.18 Blade Angles of Pressure/Suction Side and Medium Path(Impeller)

화에 의한 깃 각도 변화량은 전반적으로 미비함을 알 수 있다. Fig.18은 임펠러의 깃 각도 변화를 나타내고 있는데, 코어의 각도 분포에 비해 셸의 각도 변화가 심함을 알 수 있다. 특히 회전 요소 출구에서 이러한 거동이 심함을 알 수 있는데, 이는 Fig.14에 보이듯이 3차원 임펠러 깃의 출구 쪽 형상 변화가 심하기 때문이다. 실제로 토크 컨버터를 설계하는 경우, 목표 성능을 만족시키기 위해서는 몇 개의 설계 변경 안에 의한 제작-시험의 절차를 거치며 그 횟수를 줄이는 것이 중요한 문제로 인식되고 있다. 토크 컨버터의 기본 설계안이 정해진 후 성능을 향상시키는 방법으로서 회전 요소 입출구의 깃 각도를 변경하는 경우가 있는데, Fig.14 및 Fig.18의 임펠러

Table 2 Summary of Blade Angles of a Torque Converter

BLADE ANGLE(degree)		IMPELLER		TURBINE		STATOR	
		INLET	OUTLET	INLET	OUTLET	INLET	OUTLET
CORE	PRESSURE SIDE	32.34	18.50	-37.18	55.01	-63.78	-62.26
	MEDIUM PATH	32.71	16.62	-37.05	54.52	-5.36	-63.49
	SUCTION SIDE	33.07	14.69	-36.92	53.81	61.52	-64.63
DESIGN PATH	PRESSURE SIDE	34.07	34.34	-39.79	49.11	-63.54	-57.29
	MEDIUM PATH	34.39	33.99	-39.83	48.55	-4.81	-59.70
	SUCTION SIDE	34.71	33.64	-39.86	47.99	61.49	-61.81
SHELL	PRESSURE SIDE	32.69	37.91	-40.32	48.11	-63.24	-48.79
	MEDIUM PATH	33.00	37.90	-40.39	47.57	-4.15	-53.62
	SUCTION SIDE	33.30	37.89	-40.47	47.01	61.45	-57.55

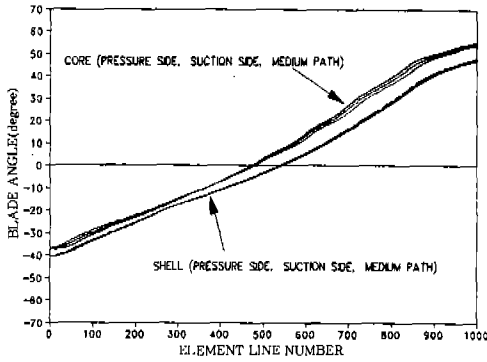


Fig. 19 Blade Angles of Pressure/Suction Side and Medium Path(Turbine)

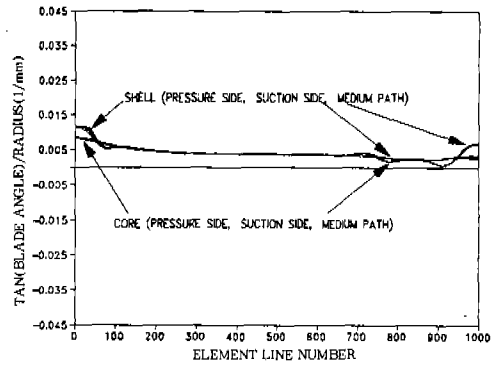


Fig. 21  $\frac{\tan a}{r}$  of Pressure/Suction Side and Medium Path(Impeller)

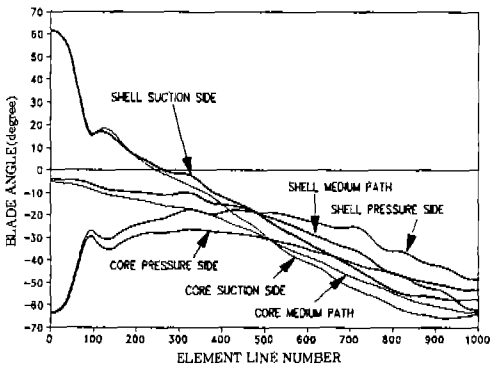


Fig. 20 Blade Angles of Pressure/Suction Side and Medium Path(Stator)

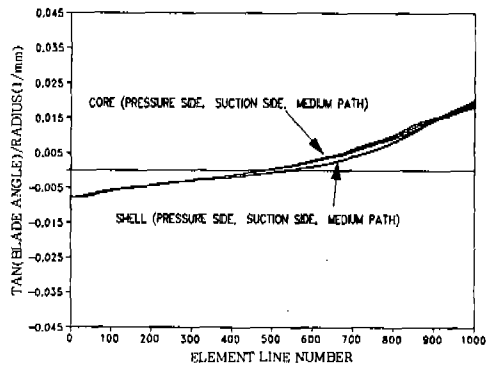


Fig. 22  $\frac{\tan a}{r}$  of Pressure/Suction Side and Medium Path(Turbine)

출구의 각도 변화는 이러한 설계 수정에 의한 성능 향상의 작업에 의한 결과라고 생각할 수 있다. Fig.19는 터빈의 깃 각도 변화를 나타내고 있는데, 회전 요소 내부의 전체적인 영역에서 부드러운 변화 양상을 보이고 있는데 이는 기본 설계 사양을 유지하고 있다고 생각할 수 있다. Fig. 20은 스테이터 내부 깃 각도의 변화량을 나타내고 있는데, 전체적으로 큰 변동량이 없음을 알 수 있다. 스테이터 두께 중심점으로 근사화하여 고려할 수 있는 Medium Path의 깃 각도 변화량은, Pressure Side 및 Suction Side 등과 비교하여 고찰할 때, 약간의 각도 차를 두며 단조로운 변화 추세를 보이고 있음을 알 수 있다. 스테이터의 경우 중요하게 고려해야 할 점은 Pressure Side의 깃 각도 변화량  $\approx 0^\circ$ 인 부근의 위치이다.

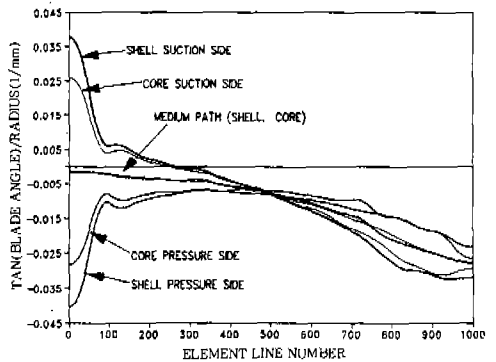


Fig. 23  $\frac{\tan a}{r}$  of Pressure/Suction Side and Medium Path(Stator)

이 점은 깃 각도의 변곡점에 해당하며, 이점의 위치가 출력 성능에 큰 영향을 미친다는 것이 알려져 있다.

다음으로는 깃 두께에 의한  $\frac{\tan\alpha}{r}$ 의 변화에 대해 고찰한다. 토크 컨버터의 셸, 코어 및 평균 유선에서의 깃 각도 설계는 대개의 경우 Force Vortex Theorem<sup>2)</sup>에 근거한 다음의 관계식에 의한다.

$$\left(\frac{\tan\alpha}{r}\right)_{shell} = \left(\frac{\tan\alpha}{r}\right)_{core} = \left(\frac{\tan\alpha}{r}\right)_{mean\ flow\ path} \quad (36)$$

Fig.21~Fig.23은 토크 컨버터 형상 데이터를 이용하여 분석한 임펠러, 터빈, 스테이터의 셸과 코어에서의  $\frac{\tan\alpha}{r}$  값을 Pressure Side, Suction Side, Medium Path에 대해 나타내고 있다.

Fig.21~Fig.23의 결과는 Fig.18~Fig.20의 결과와 유사한 거동을 보이고 있음을 알 수 있다. Fig.21의 임펠러의 분석 결과와 Fig.22의 터빈의 분석 결과를 비교할 때 임펠러는 회전 요소 중간 영역, 터빈은 회전 요소 입출구 영역, 스테이터는 전 영역에서 식 (36)의 Forced Vortex Theorem에 근거한 설계가 이루어졌음을 짐작할 수 있다. Fig.21~Fig.23의 종 축의 데이터 영역은 동일함을 감안할 때, 이러한 Forced Vortex Theorem이 상대적으로 잘 맞지 않는 요소는

Fig.22의 터빈입을 알 수 있다.

다음으로는 깃 두께 중심면을 기준으로 결정된 셸 윤곽선, 코어 윤곽선 및 평균 유선 상의 깃 각도들을 비교 고찰한다. 이에 대한 결과가 Fig.24~Fig.26에 나타나 있다. 앞에서 고찰한 바와 같이 Fig.24의 임펠러에 대한 결과에서도 셸 축의 각도 변화가 심함을 확인할 수 있다. 또한 이 결과로부터 평균 유선의 깃 각도는 반경이 큰 출구에서는 셸 각도에, 반경이 작은 입구에서는 코어 각도에 민감함을 알 수 있다. 이러한 반경과 깃 각도 민감도와와의 상관성은 Fig.25의 터빈에 대한 결과에서도 나타나고 있다. 그러나 임펠러, 터빈의 두 결과를 종합할 때 평균 유선의 깃 각도는 대체로 셸 각도에 의해 큰 영향을 받음을 알 수 있다. Fig.26의 스테이터에 대한 결과에서는 이

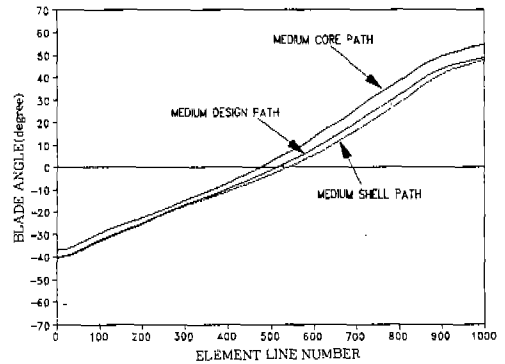


Fig.25 Blade Angles of Medium Path (Turbine)

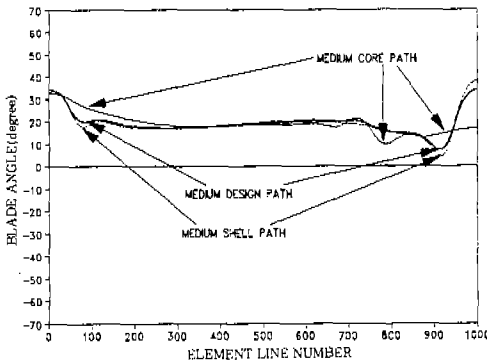


Fig.24 Blade Angles of Medium Path (Impeller)

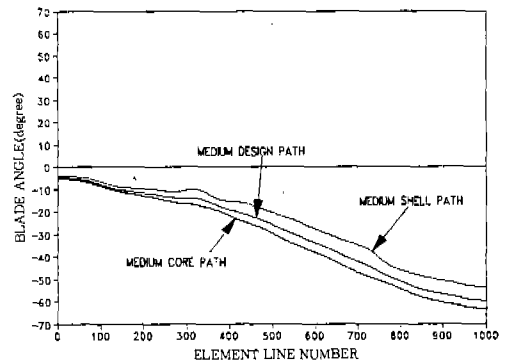


Fig.26 Blade Angles of Medium Path (Stator)

러한 셀, 코어의 평균 유선에 대한 영향도가 비슷한 정도로 나타나 있음을 알 수 있다. Fig.25, Fig.26의 결과를 비교할 때 유입구에서의 셀, 코어각의 차이보다 출구에서의 셀, 코어각의 차이가 더욱 큼을 알 수 있는데, 이는 유동의 방향을 따라 유도각의 율세 각도가 점점 심해지고 있음을 의미한다.

#### 4. 결 론

본 논문에서는 토크 컨버터의 성능 해석의 신뢰성 향상 및 설계 기술의 자립화를 위한 기초 연구를 통해 개발한 토크 컨버터의 형상 분석 프로그램의 주요 알고리즘 및 분석 결과에 대해 고찰하였다. 구체적으로 토크 컨버터의 3차원 깃 형상을 분석하기 위해 먼저 3차원 형상의 좌표계 및 형상 데이터의 형식을 정의하였고, 기하학적 형상 분석을 위한 수학적 알고리즘을 제시하였다. 상세히 고려된 알고리즘을 바탕으로 세 회전 요소를 가지는 토크 컨버터의 자동 형상 구현 및 깃 형상 분석을 위한 전용 프로그램을 개발하였다. 본 연구 대상은 현재 양산 공급 중인 중형급 승용차용 토크 컨버터로서, 깃 형상의 분석 결과를 통하여 몇 가지 유용한 설계 원칙을 확인할 수 있었다. 본 연구의 내용 및 결과를 요약하면 다음과 같다.

- 1) 본 연구에서 제시한 토크 컨버터 형상 데이터 형식은 깃 형상 설계 및 해석 과정의 자동화 측면에서 유용할 것으로 고려된다.
- 2) 토크 컨버터의 평균 유선, 요소선에 대한 개념을 규정하였고, 실제 설계 과정에서 나타나는 평균 유선점의 기하학적 오차의 정도를 분석하였다. 분석 결과로부터 평균 유선점에서의 형상 오차는 약 0.2mm 정도이고 깃 각도의 오차는 약 1° 정도임을 알 수 있었다. 평균 유선점의 깃 각도는 그 Tangent 값의 형태로 토크 컨버터의 성능에 영향을 미치므로 평균 유선점의 오차는 무시할 만한 양이라 할 수 없다.

- 3) 토크 컨버터 해석 결과의 신뢰성을 증가시키기 위한 한가지 방법으로서 형상 데이터의 정밀도를 높여야 하는데, 이를 위해 본 연구에서는 3차원 깃 곡면에 대한 Interpolation Function을 제시하였다.
- 4) 상세한 3차원 깃 형상의 재현을 위해 깃 두께를 고려한 Pressure Side 및 Suction Side 곡면의 자동 생성 알고리즘을 개발하였고 평균 유선의 개념을 확장한 Multi-Stream Line의 생성 방법을 제시하였다.
- 5) 개발된 형상 분석 프로그램을 이용하여 승용차용 토크 컨버터의 깃 형상을 분석한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.
  - 임펠러와 터빈의 경우, 깃 두께 변화에 의한 깃 각도의 변화량은 미미한 것으로 나타났다.
  - 임펠러 내부의 깃 각도 변화량이 다른 회전 요소 내부의 깃 각도 변화량보다 크며, 특히 임펠러 출구에서의 변화량이 매우 큼을 알 수 있었다. 이를 통해 회전 요소를 기본 설계한 후 성능을 향상시키기 위해 출구의 깃 형상 설계 사양을 수정 보완했음을 알 수 있었다.
  - 터빈의 깃 각도보다는 임펠러의 깃 각도에 대한 설계 변경을 통해 성능을 보완한다고 판단된다.
  - 임펠러의 중간 영역, 터빈의 입출구의 영역 및 스테이터의 전 영역에서 Forced Vortex Theorem를 근거로 한 설계 원칙이 지켜졌음을 알 수 있었다.
  - 임펠러의 경우 셀 측 깃 각도의 변화량이 크며 이에 따라 평균 유선의 변화량이 커짐을 알 수 있었다. 평균 유선의 깃 각도는 대체로 셀 깃 각도에 민감함을 알 수 있었다.

#### 후 기

본 연구에 도움을 주신 기아자동차 하용렬 부장, 박재성 과장, 최현영 대리에게 감사드립니다.

## 참 고 문 헌

1. T. Ishihara and R. I. Emori, "Torque Converter as a Vibration Damper and Its Transient Characteristics", SAE 660368.
2. E. W. Upton, "Application of Hydro-dynamic Drive Units to Passenger Car Automatic Transmissions", Design Practices-Passenger Car Automatic Transmissions, 1994.
3. D. Hrovat and W. E. Tobler, "Bond Graph Modeling and Computer Simulation of Automatic Torque Converter", J. of Franklin Institute, Vol.391, No.1/2, pp.93~114, Jan/Feb, 1985.
4. 임원식, 박영일, 이장무, "토크 컨버터의 모델링을 중심으로한 변속과도 특성해석", 대한기계학회논문집, 제19권, 제1호, pp.132~141, 1995.
5. 임원식, "토크 컨버터의 해석/설계와 자동 변속장치의 동특성에 관한 연구", 서울대학교 공학박사 학위논문, 1995.