

〈論 文〉

# 떡법칙 유동모델의 개선에 의한 선미 유동장내 속도분포 연구

김 시 영\*  
(1991년 1월 20일 접수)

## A Study on Velocity Distribution Around Ship Stern by Improved Power Law Flow Model

S.-Y. Kim

**Key Words :** Bilge Vortex(만곡와), Power Law(떡법칙), Crossflow(교차류), Resultant Velocity(합성속도), Streamwise Flow(유선방향유동), Reverse Flow(역류)

### Abstract

Improved power law flow model was suggested for the calculation of wake flow characteristics around the three dimensional ship stern in case of the formation of bilge vortex in the direction of stern. In comparison with the power law and Coles flow model, the flow velocity calculated based on this study was delayed around the boundary of inner layer and outer layer in reverse flow. More accurate results was obtained with this improved power law flow model by the velocity calculation around ship stern. Accuracy was validated with the comparison of other claculation results and experimental datas.

### 기 호 설 명

$C$	: 식 (5)의 미정계수	$u_{\infty}$	: 무한 균일 유속
$C_B$	: 방형계수	$v$	: 법선 방향 유속
$h_{1,2}$	: 척도 계수	$x, y, z$	: 선수미상의 직교 좌표계
$H$	: 형상계수	$\xi, \eta, \zeta$	: 유선상의 국부 좌표계
$H_E$	: Entrainment 양	$\beta$	: $u$ 와 $v$ 의 방향 교차각
$K_{1,2}$	: 식 (A-1, 2)	$\delta$	: 경계층 두께
$M_1$	: 식 (A-3)	$\delta_1$	: 배제 두께
$M_{11}$	: 식 (A-4)	$\theta_{11}$	: 유선방향 운동량 두께
$M_{21}$	: 식 (A-5)	$\theta_{21}$	: 법선 방향 운동량 두께
$n$	: $(H-1)/2$	$\tau_0$	: 점성 마찰력
$Q$	: 운동량 손실	$\rho$	: 유체 밀도
$u$	: 유선방향 주유속		
$U$	: 합성속도		

### 1. 서 론

선체 주위의 점성류에 관한 제 2회 The Swedish Maritime Research Centre (SSPA)의 Work

\*정회원, 부산수산대학교 기관공학과

Shop 보고<sup>(1)</sup>에 의하면 Chalmers Institute of Technology의 Dyne에 의하여 선미 부분의 만곡와 및 반류 분포를 어떻게 계산 모델화(simulation)할 것인가에 대한 제안이 있었다. 그 주된 내용은 대표적 탱커(tanker) 선형인 Hamburg Ship Model Basin(HSVA) 형상과 같이 선미 단면의 개량을 위하여 V 형상을 U 형상으로 변화시키면 선미 만곡와의 강도가 증가하여 반류 분포가 A 형태로부터 C 형태로 변화 함을 지적하였고, 이를 뒷받침하기 위하여 Kux의 계측치를 좋은 예로서 제시하였다. 그러므로 계측치에 합당한 정도 높은 계산을 위하여는 더욱 적합한 계산 유동모델이 사용되어야 한다. 그러나 이제까지의 여러 연구 보고들에 의하면 선미 주위의 유동상태를 계산할때에 유속 분포를 계산하기 위하여 멱법칙(power law)<sup>(2)</sup>과 Coles 유동모델<sup>(3)</sup>이 자주 이용되어 왔다. 그런데 U 형상과 같은 3차원 선미 부분 영역에서는 유선 방향과 그리고 그 직교 방향으로 밀려나는 교차류(cross-flow) 유속이 존재하고, 또 만곡의 정도에 따라 그 강도가 증가하므로 선미부분 속도분포의 불균형 정도를 나타내는 반류 특성을 정확하게 계산하기 위하여 더욱 구체적인 유동모델이 요구된다. 특히 교차류 성분의 증가에 의하여 선수미 방향에 만곡와의 영향에 의한 주유속 방향과 반대 방향 속도성분인 역류가 존재하고 있음에도 이를 고려치 않은 멱법칙과 Coles 유동 모델을 그대로 이용하여 그 영역의 속도분포를 과소 또는 과대적으로 계산하는 것은 그 물리적 의미가 없다.

그러므로 본 연구에서는 선형의 형상에 의하여 만곡부분이 존재하여 교차류의 성분이 증가하고, 이것에 의한 만곡와가 형성될 때에는 주유속 방향의 속도성분을 그것에 합당하게 개량해 줌으로서 더욱 유효한 속도분포 계산을 행할수 있으므로 Coles 유동모델보다도 우수한 멱법칙 유동모델의 개선을 시도하였다. 그 방법으로서는 합성속도를 멱법칙으로 가정하고 Okuno<sup>(2)</sup>의 교차류 모델을 이용하여 새로운 주유동 방향의 유속모델을 개선된 멱법칙의 식으로 표시하였다. 그리고 개선된 주유동 모델식을 이용한 계산값과 다른 모델식의 계산값<sup>(4)</sup>과 비교 검토하여 그 타당성을 조사하고, 또 만곡와의 현상이 나타나는 Series 60( $C_b=0.6$ )인 선형 선미 주위의 주유속 분포를 위치별로 계산하고 이를 다른 계산결과<sup>(4)</sup> 및 실험결과 값<sup>(5)</sup>과 각각 비교하여, 여기서 제안된 모델이 더욱 개선되었음

을 보이고, 또 그 타당성을 검토하였다.

## 2. 이론 해석

### 2.1 유동 모델 개선

현재 대부분이 반류분포가 있는 선미 유동장 계산에 이용되는 주유동 멱법칙 유동 모델<sup>(2)</sup>은 다음과 같다.

$$\frac{u}{U} = \eta^n \quad (1)$$

여기서  $\eta$ 는  $y/\delta$ 이다. 그리고 식(1)로부터 반류내의 속도 분포를 구하는데 유용하게 이용할 수 있다. 또 주유동의 법선 방향에는 다음의 Mager의 교차류 모델<sup>(6)</sup>이 자주 이용되어 왔다.

$$\frac{v}{U} = \frac{u}{U}(1-\eta)^2 \cdot \tan \beta \quad (2)$$

여기서  $\beta$ 는 교차류각이다. 식(2)는 만곡와의 영향이 포함되지 않아 세장선형의 경우에는 유효하다. 그러므로 식(1), (2)는 반류의 강도가 그다지 크지않아 압력기울기가 완만히 증가하는 경우에는 매우 유효한 식으로 알려져 있다. 그러나 HSVA와 Series 60( $C_b=0.6$ )와 같은 다소 비대 선형의 선미와 같이 만곡 부분이 법선방향으로 밀려남으로서 형성되는 만곡와의 영향을 고려하는 경우는 Mager의 모델보다도 Okuno의 모델<sup>(7)</sup>이 더욱 유효한 것으로 알려져 있다. Okuno 교차류모델은 만곡부분을 구체적으로 표현하는 경계조건인  $(v)_{\eta=1}=0$ ,  $\left(\frac{\partial v}{\partial \eta}\right)_{\eta=1}=0$ , 그리고  $\lim(v/u)=\tan \beta$ 를 만족하도록 Mager의 식을 수정하여 다음의 식(3)<sup>(7)</sup>과 같이 표현하였으므로 경계층의 내외층 경계에서 속도분포에 만곡와의 영향이 고려될 수 있는 장점이 있다.

$$\frac{v}{U} = \eta^n [(1-\eta)^2 \cdot (\tan \beta + C \cdot \eta)] \quad (3)$$

그리고 선미 주위의 3차원의 유속 분포를 계산하는 경우에 그 합성속도를 여러가지로 가정할 수가 있으나 여기서는 그 합성속도 분포를 식(4)<sup>(6)</sup>와 같이 가정한다.

$$\frac{V}{U} = \eta^n \quad (4)$$

그리고 Tai<sup>(4)</sup>는 Mager<sup>(7)</sup>의 교차류 유동모델을 이

용하여 주유속 유동모델을 구한 바 있다. 그러나 Mager 교차류 유동모델은 만곡와의 영향을 고려하고 있지 않으므로 그것으로부터 구한 주유속 유동모델은 만곡와의 영향이 있는 경우의 유속 분포 계산에는 적합하지 않다. 그러므로 이에 적합한 주유속 유동모델을 구하기 위하여 합성속도를 식(4)와 같이 가정하고 Okuno의 교차류 모델식(3)을 이용하여 유선방향의 주유속 분포를 떡법칙 식 형태로 구하고 이를 이항정리에 의하여 다시 정리하면 다음의 개선된 떡법칙의 유동모델 식(5)로서 표시할 수 있다.

$$\frac{u}{U} = \eta^n [1 - 0.5(1 - \eta)^4 \cdot (\tan \beta + C \cdot \eta)^2] \quad (5)$$

### 2.2 선미 속도분포 계산

선체 주위의 속도분포는 먼저 선형 좌표(Offset)를 Hess & Smith<sup>(9)</sup>의 방법을 이용하여 자유 유선에 따라 포텐셜을 구한다. 그리고 구해진 포텐셜값을 입력하여 난류 경계층 계산할 수 있다. 여기서의 난류 경계층 계산은 계산 프로그램 Version Two (V.II)<sup>(10,11)</sup>를 사용하였으며 그 개략은 다음과 같다.

선체 주위의 유속 분포를 계산하기 위하여 Fig. 1과 같이 유선상에 국부 좌표  $\xi, \eta, \zeta$ 를 취하면, 그 좌표상에 3차원 난류 경계층 방정식의 계산을 위하여 유선 방향과 법선 방향에 다음과 같은 운동량 모우먼트 방정식을 구성할 수 있다.

$$\frac{\partial}{h_1 \partial \xi} (U_\infty^2 \theta_{11}) + \delta_1 U_\infty \left( \frac{\partial}{h_1} \cdot \frac{U_\infty}{\partial \xi} \right) - K_1 U_\infty^2 \theta_{11} = \frac{\tau_0 \xi}{\rho} \quad (6)$$

$$\frac{\partial}{h_1 \partial \eta} (U_\infty^2 \theta_{21}) - 2K_1 U_\infty^2 \theta_{21} + K_2 U_\infty^2 (\theta_{11} + \delta_1) = \frac{\tau_0 \eta}{\rho} \quad (7)$$

여기서  $K_1, K_2$ 는 유선의 곡률로서 부록(A-1, 2)에 표시한 바와 같다. 그리고 식(6), (7)에 Ludwig-Tillman의 국소마찰식,<sup>(2)</sup> Entrainment 식(8), Okuno의 교차류식(3), 그리고 교차류 방향의 모우먼트 방정식(9)로부터 선체 주위의 유속 분포를 구할 수 있다.

$$\frac{\partial}{h_1 \partial \xi} (\theta_{11} H_E) + \theta_{11} H_E \left( \frac{1}{U_\infty h_1} \cdot \frac{\partial U_\infty}{\partial \xi} - K_1 \right) = F(H_E) \quad (8)$$

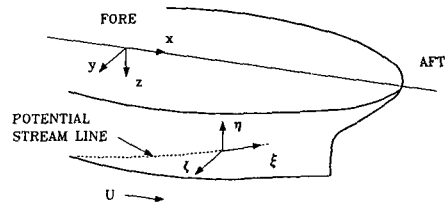


Fig. 1 Curvilinear orthogonal coordinates

$$\frac{\partial}{h_1 \partial \xi} (U_\infty^2 M_{21}) - 2K_1 U_\infty^2 M_{21} + K_2 U_\infty^2 (M_{11} + M_1) + U_\infty^2 Q = 0 \quad (9)$$

여기서  $M_1, M_{11}$  그리고  $M_{21}$ 는 각각 경계층방향, 유선방향 그리고, 법선방향의 운동량 모우먼트이며, 부록(A-3, 4, 5)에 표시한 바와 같다. 그리고 식(6)~(9)식으로부터  $\theta_{11}, H, \beta, C$ 에 관한 무차원의 상미분 방정식을 만들고 이를 연립하여 풀면 그 계수값들을 각각 구할 수 있다. 그리고 식(7) 및 식(9)에 식(3) 및 (5)를 각각 대입하여 선미부분의 유속 분포를 계산하였다.

### 3. 계산결과 및 검토

Mager<sup>(7)</sup>의 교차류 유동모델과 Tai의 떡법칙 주유속 모델에 의한 합성속도(Fig.에는 Mager로 표시)와 Okuno<sup>(8)</sup>의 교차류 모델과 본 연구에 의하여 수정된 떡법칙 유동모델에 의해 구해지는 합성속도(Fig.에는 Okuno로 표시) 분포와 그 기울기를 각각 경계층 두께 방향으로 교차류각의 증가에 대하여 Fig. 2, 3에 각각 비교하였다.

Fig. 2에서는 압력증가가 다소있는  $H=1.4$ 의 경우, 종와가 경계층의 내외층의 부근에서 존재할때인  $C$  값이  $-0.2134$ 로서 부착 유동(attach flow)의 경우를 비교하였다. Fig. 2에서 볼 수 있는 것처럼 Tai가 사용한 Mager 교차류 유동모델과 및 본 연구의 개선된 떡법칙과 Okuno의 교차류 모델을 이용한 결과 그 합성속도 모두 교차각  $\beta$ 가  $10^\circ$ 를 넘으면 합성속도의 속도 분포에서  $\eta$ 가 0.07의 값으로부터 그 값이 증가함에 따라 Okuno의 모델을 이용한 경우가 Mager의 모델을 이용한 경우보다도 그 합성속도의 값이 낮게 나타나는 경향이 있다. 또 각도의 증가에 따라 그 감소폭이 크게 나타났다. 여기서 Okuno의 식을 사용한 경우가 Mager의 식을 사용한 경우보다도 합성속도의 값이 약간

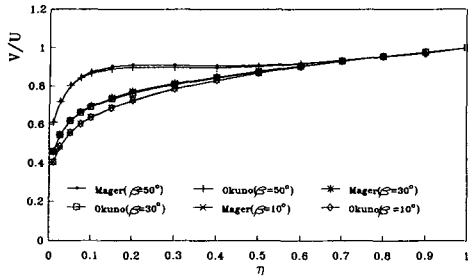


Fig. 2 Resultant velocity based on power law and crossflow ( $H=1.4, C=-0.2134$ )

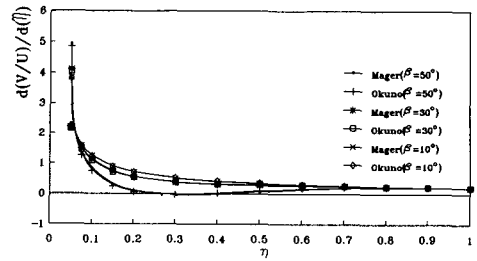


Fig. 4 Resultant velocity derivatives based on power law and crossflow ( $H=1.4, C=-0.2134$ )

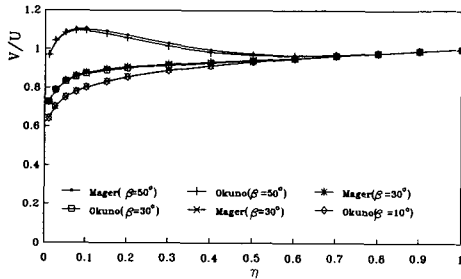


Fig. 3 Resultant velocity based on power law and crossflow ( $H=1.2, C=-0.2134$ )

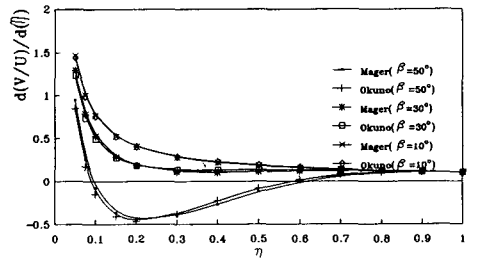


Fig. 5 Resultant velocity derivatives based on power law and crossflow ( $H=1.2, C=-0.2134$ )

낮게 나타난 경향은 만곡부 영향계수  $C$ 에 의하여 변화하는 경향을 볼 수 있다.

그리고 Fig. 3에서는 역류 성분이 존재하는 경우로서  $H=1.2$ 이고  $C$ 가  $-0.2134$ 인 그 강도가 다소 큰 경우에 대하여 각각 그 값의 비교를 나타낸 것이다. 여기서도 합성속도 값 차이의 경향은 Fig. 2와 거의 비슷하게 나타났다. 그러나 교차류 각  $\beta$ 의 증가에 따라 합성속도의 기울기값이 만곡와의 영향에 의하여  $C$ 의 값을 고려함으로써 더욱 크게 증가 하였으며 속도분포가  $\eta$ 의 증가에 따라 각도의 증가와 더불어 역류의 현상이 나타났으며  $C$ 를 고려한 경우가 약간 낮게 나타났다.

Fig. 4는  $H=1.4$ 이고  $C$ 가  $-0.2134$ 인 경우의 합성속도 변화 기울기를 교차류각의 증가에 따라 각각 비교한 것이다. 교차류 각  $\beta$ 의 값이  $10^\circ$ 를 넘으면 합성속도 기울기 값의 변화가 Okuno의 식을 사용한 경우가 Mager의 식을 사용한 경우보다도 다소 감소한 경향이 보였다. 이는 교차류 영향계수  $C$ 에 의하여 다소 속도 지연이 있었음을 나타낸다.

그리고 Fig. 5에서는  $H$ 가 1.2로서 역류 구배가 큰 경우이며  $\eta$ 의 값이 0.24를 경계로 하여 그보다 작은값에서는 Okuno의 교차류를 이용한 값이

Mager의 교차류를 이용한 값보다 낮게 나타났으나 그 이후의 영역에서는 오히려 증가해 가는 경향을 보이고 있다. 즉 교차류각이 증가할수록 경계의 내부영역보다도 외부영역의 기울기 값이  $C$ 의 영향에 의하여 그 값이 작게 나타났다. 즉 기울기의 값은 Okuno<sup>(7)</sup>의 식에 의한 것이 Mager<sup>(7)</sup>에 의한 것보다도 변화기울기가 감소하는 경향을 알 수 있다. 이상의 Mager<sup>(7)</sup>와 Okuno<sup>(8)</sup>의 교차류 및 벽법칙 유동모델에 의해 구해지는 합성속도 분포의 비교 결과로부터 같은  $C$ 에 대하여 경계층의 같은 위치에서 보면 합성속도의 지연이 교차류각이 증가할수록 다소 있음을 알 수 있다. 이는 경계층의 내외층의 경계부분에서 더욱 크게 나타났고 이 위치는 종와류위치와 거의 일치하므로 Okuno의 모델이 Mager의 모델보다도 선미부분의 곡률이 증가하여 종와의 영향이 있는 유동장에 더욱 유효함을 알 수 있다.

Fig. 6에서는 압력증가가 다소있는  $H=1.4$ 인 경우로서 벽법칙<sup>(6)</sup>식에 의한 결과와 Tai에 의한 식<sup>(4)</sup>과 본 연구에서 새로이 개선된 주유속의 유동모델을 이용하여 구한 유선 방향의 유속 분포식을 서로 각각 비교한 것이다. 벽법칙은 교차류각의 변수를

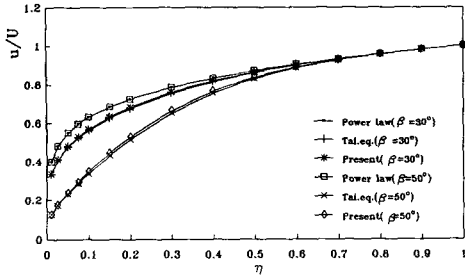


Fig. 6 Comparison of velocity profile in streamwise flow ( $H=1.4, C=-0.2134$ )

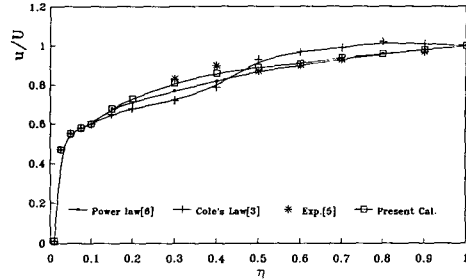


Fig. 8 Streamwise velocity profile (S.L. 4, S.S. 2.5,  $x=0.5$ )

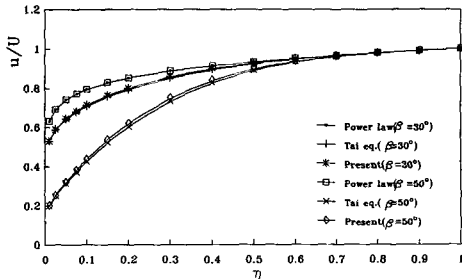


Fig. 7 Comparison of velocity profile in streamwise flow ( $H=1.2, C=-0.2134$ )

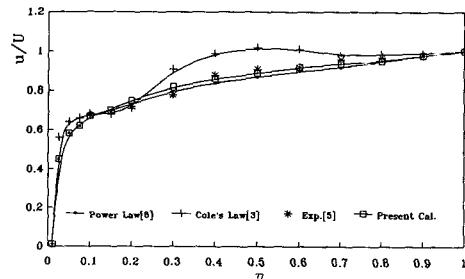


Fig. 9 Streamwise velocity profile (S.L. 4, S.S. 1.5,  $x=0.7$ )

포함하고 있지 않으므로 그 교차류각의 증가에도 불구하고 유속의 변화는 볼 수 없었다. 그러나 Tai의 식을 이용한 계산값은 교차류각의 증가에 따라 유속의 감소현상을 볼 수 있으며, 또 떡법칙의 계산값과 비교해 보면 그 교차류각이 증가할수록 같은 경계층내의 위치에서 크게 감소해 가는 것을 볼 수 있다. 그리고 본 연구에서 얻어진 개선된 떡법칙을 이용한 계산값과의 비교에서는 Tai의 계산값과 유사한 분포를 보이나 그 값보다도 다소 낮은 값인  $\eta$ 의 값이 0.05~0.7의 범위에서는 본 연구의 결과가 종와의 영향을 고려하지 않은 Tai의 계산 결과보다도 약간 높게 나타남을 볼 수 있다. 이러한 특성은 교차류각이 증가할수록 경계층의 내층에서 만곡와에 의한 영향에 의하여 그 영향이 고려되지 않은 주유속 모델식인 Tai의 결과보다도 속도 감소가 다소 있음을 알 수 있다.

그리고 Fig. 7에서는 역류 성분이 존재하는  $H=1.2$ 인 경우의 주유속 분포의 값을 비교한 것이다. 대체로 Fig. 6의 경우와 같은 경향을 나타내 보이나 그 속도 기울기 변화가 크게 증가하였으며 각도의 증가에 따른 그 계산값 차이로 증가하는 경향을 보였다. 그리고 같은 경계층내의 위치에서 속도 분

포값이 크게 증가하였음을 볼 수 있다. 이는 역류 성분이 존재하고 또 이와 더불어 만곡와에 의한 종와가 존재하는 경우에도 떡법칙은 교차류각의 증가에 대한 변화값을 볼 수 없었고 Tai의 계산 결과는 교차류각 증가에 대한 속도분포는 크게 감소하였으며 특히 종와가 고려된 본 연구 결과는 만곡와가 고려되지 않은 Tai의 결과보다도 다소 감소하였음을 비교에서 알 수 있다. Fig. 8~11에서는 Series 60,  $C_b=0.6$  모형선의 선미 반류내 주유속 분포를 임의유선(S.L. 4,  $x=-0.9, y=8.0, z=2.1$ )의 위치에서 선수미 방향위치(Sq. St., Square station)별로 다른 계산값<sup>(4)</sup> 및 실험값<sup>(5)</sup>을 본 연구의 개선된 모델을 이용한 계산결과값과 각각 비교한 것이다.

Fig. 8은 선수미 방향 Sq.St. 2.5의 위치( $x=0.5$ )에서 떡법칙 및 Coles의 분포를 본 모델의 계산결과와를 비교한 것이다. 여기서  $\eta$ 의 값이 0.6을 전후하여 Coles의 결과값은 실험치와의 비교에서 과소 또는 과대적으로 분포되었음을 알 수 있고, 떡법칙 분포는 실험치에 비교하여 대체로 약간 낮게 분포 되었음을 알 수 있다. 그러나 새로이 제안된 본 속도모델에 의한 계산분포는 떡법칙의 분포보다

도 약간 증가하여 실험치에 더욱 접근하고 있음을 알 수 있다. 이는 만곡와를 영향계수  $C$ 에 의하여 그값이 고려되어 더욱 개선 되었음을 알 수 있다.

Fig. 9는 선수미 방향 Sq.St. 1.5의 위치( $x=0.7$ )에서 본 계산결과를 멱법칙 및 Coles의 계산결과를 실험치와 각각 비교한 것이다.  $\eta$ 의 값을 0.23~0.8의 구간내에서 볼때 Coles의 분포는 실험치에 비하여 너무 과대하게 분포되었으며 본 새로운 모델에 의한 계산 결과는 멱법칙 분포보다도 증가하여 실험치에 더욱 접근함을 알 수 있다. 특히 만곡와 영향계수  $C$ 에 의하여 위와 같은 범위내에서 멱법칙보다도 더욱 실험치에 접근하고 있음을 알 수 있다.

Fig. 10에서는 선수미 Sq.St. 1.0의 위치( $x=0.8$ )에서 각각의 계산결과를 비교한 것이다.  $\eta$ 의 값이 0.23을 전후하여 Coles의 계산분포가 실험치와 비교하여 과소 또는 너무 과대하게 분포되어 있으나 새로운 계산모델에 의한 값은 멱법칙의 분포보다도 더욱 실험치에 접근하였으므로 보다 멱법칙이 개량 되었음을 알 수 있다.

Fig. 11은 선수미 위치 Sq.St. 0.5의 위치( $x=0.9$ ) Fig. 10에서처럼 대체로 비슷한 경향을 보이

나 만곡와 영향계수  $C$ 에 의하여 그 영향이 더욱 효과적으로 고려되어 멱법칙 및 Coles 유동모델<sup>(3)</sup>보다도 실험치에 더욱 접근함을 알 수 있다. 그리고 여기서 새로이 개선된 유동모델에 의한 계산결과가 어느 위치에서도 더욱 실험치에 접근하고 있음은 볼수 있고 선미쪽으로 갈수록 본 주유속 모델이 더욱 유효한 것으로 알 수 있다.

#### 4. 결론

만곡의 영향으로 교차류 및 만곡와의 영향이 나타나는 3차원 선미 유속 분포를 유효하게 계산하기 위하여 Okuno<sup>(8)</sup>의 교차류 유동모델을 이용하여 구한 개선된 주유동 멱법칙 유동모델에 의한 계산값과 다른 유속모델<sup>(4)</sup>을 이용하여 계산한 결과와 실험치를 비교, 검토한 결과 다음의 결론을 얻을수 있다.

(1) 교차류각이 작은 경우에는 개선된 유속모델과 멱법칙<sup>(2)</sup> 및 Tai 유동모델<sup>(4)</sup>을 이용한 합성속도 계산결과는 매우 유사한 계산결과를 얻었으나, 교차류각이 증가하여 만곡와를 고려하는 경우, 새로이 제안된 모델에 의한 계산결과가 다른 유속 분포와의 비교에서 각도의 증가에 따라 그 값이 약간씩 감소해 감을 알 수 있었다.

(2) 교차류각의 증가로 만곡와류가 존재하여 법선방향으로 유동성분이 존재하는 경우에도 개선된 주유속 분포모델을 이용한 경우가 압력증가가 약간 있거나 역류 성분이 존재하는 영역에서도 그 영향을 포함하는 계산결과가 얻어졌음이 다른 계산치<sup>(4)</sup>와의 비교에서 볼 수 있었다.

(3) 만곡와의 영향이 있는 선수미 위치 Sq.St. 2.5( $x=0.5$ ) 및 0.5( $x=0.9$ )에서 다른 계산결과<sup>(2)</sup> 및 실험치<sup>(6)</sup>와의 비교에서도 개선된 속도모델이 그 영향을 잘 수용하여 어느 위치에서도 실험치에 잘 근접하므로 만곡와 영향계수  $C$ 에 의한 만곡와의 영향이 큰 위치에서도 새로운 주유속 모델이 더욱 유효함을 알 수 있었다.

#### 후 기

본 연구는 외국인 석학(Dr. A.K. Lewkowicz, 리버풀 대학 기계공학과, 영국)의 일시유치(1991년 9월 15일부터 25일까지) 기간동안 저자와의 토론에 의하여 그 연구 동기가 주어졌으며 한국과학재단

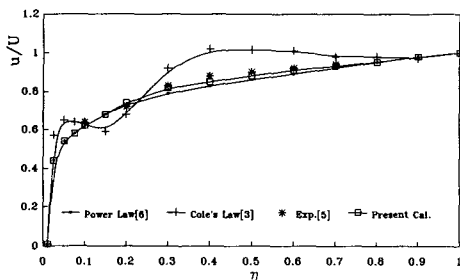


Fig. 10 Streamwise velocity profile (S.L. 4, S.S. 1,  $x=0.8$ )

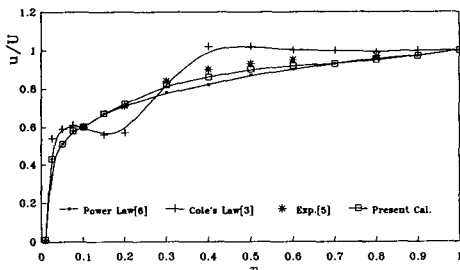


Fig. 11 Streamwise velocity profile (S.L. 4, S.S. 0.5,  $x=0.9$ )

(KOSEF)의 초청 경비지원에 심심한 감사를 드린다.

참고문헌

(1) Kodama, Y., 1991, "Attending Report of 2nd SSPA Workshop for Viscous Flow Around Ship-Hull." JSNA, Vol.739, pp. 39~44.  
 (2) Okuno, T., 1976, "Distribution of Wall Shear Stress and Cross Flow in Three-Dimensional Turbulent Boundary Layer on Ship Hull," JSNA, Vol.139, pp. 10~23.  
 (3) Coles, D.E., 1956, "The Law of the Wake in the Turbulent Boundary Layer," Journal of Fluid Mechanics, Vol.1, part 2, pp. 191~226.  
 (4) Tai, T.C., 1986, "Application of Two Dimensional Velocity Profile to Three Dimensional Boundary layer Flow," AIAA Journal, 24, No.3, pp. 370~376.  
 (5) White, F.M. 1974, "Viscous Fluid Flow," Mcgrawhill, paper. 551.  
 (6) Ikehata, M. and Maruo, H., 1982, "An Improved Method of Turbulent Boundary Layer Theory to Solve Viscous Flow Around Ship Stern," JSNA, Vol.152, pp. 44~54.  
 (7) Mager, A., 1952, "Generalization of Boundary Layer Momentum Integral Equations to Three-Dimensional Flow Including Those of Rotating

Systems," NACA Rept. 1067.  
 (8) Okuno, T., 1981, "Calculations Using Okuno's Method," Proc. SSPA ITTC Workshop on Ship Boundary Layers 1980, Nr. 90, Göteborg, pp. 173~181.  
 (9) Hess, J.L. and Smith, A.M.O., 1964, "Calculation of Non-Lifting Potential Flow About Arbitrary Three Dimensional Bodies," J. of Ship Research, 8, No.2., pp. 22~44.  
 (10) Kim, S.Y. and Lewkowicz, A.K., 1991, "The Surface Roughness Effects in Computation of the Turbulent Boundary Layer on Slender Ship-Hull," KSME Journal, Vol.5, No.2, pp. 65~70.  
 (11) Kim, S.Y. and Lewkowicz, A.K. 1992, "Computation of the Surface Roughness Effects on a Slender Ship-Hull," International Shipbuilding Progress, Vol. 39, No. 417, pp. 5~18.

부 록

$$K_1 = \frac{1}{h_1 h_2} \frac{\partial h_2}{\partial \xi} \tag{A.1}$$

$$K_2 = \frac{1}{h_1 h_2} \frac{\partial h_1}{\partial \eta} \tag{A.2}$$

$$M_1 = \int_0^\infty [1 - (\frac{U}{U_\infty})] \zeta d\xi \tag{A.3}$$

$$M_{11} = \int_0^\infty \frac{U}{U_\infty} (1 - \frac{U}{U_\infty}) \zeta d\xi \tag{A.4}$$

$$M_{21} = \int_0^\infty \frac{UV}{U_\infty^2} \zeta d\xi \tag{A.5}$$