

전자력 가속에 의한 부분 캐비테이션 감소화 연구

김 시 영

부산수산대학

(1989년 10월 30일 접수)

Decreasement of Partial Cavitation with Electro-Magnetic Accelerator

Si-Young KIM

National Fisheries University of Pusan

(Received October 30, 1989)

The author suggested control method of partial cavitation with electro-magnetic accelerator and showed that the cavity shape decreased with this suggestion which compared with the theoretical ones. Using the cavity flow method proposed by the author in this paper, it is predicted that cavitation volume of the shape is less than the previous type one.

Comparisons were performed in order to verify these facts, using both shaps which calculated by the method. It was found that the difference of cavitation performance between the two shape of volume were decreased, because of the new method accelerated of flow more than previous theoreticals ones.

서 론

선박 추진기의 추진효율을 증가시키기 위해서는 추진익 주위에 발생하는 캐비테이션을 감소시켜야 한다. 물체의 표면에 발생하는 각종 캐비테이션은 경계층의 층류박리 및 난류천이 영역에서 발생하여, 난류 경계층의 와 중심부에서 기포가 성장한다고 알려져 있다¹⁾. Arikari등²⁾의 실험에서는 층류 박리 또는 난류 천이 영역에서 미소한 기포핵이 물체의 표면에 부착하여 압력이 낮으면 그것이 배제 두께까지 급격히 성장한다고 알려져 있다. 이상에서 캐비테이션의 발생은 경계층 특성과 관계가 있으며 이들 경계층을 제어하는 것에 의해서 캐비테이션의 발생 또는 성장 상태를 변화시킬 수 있다고 생각된다. 현재까지의 경계층 제어법으로서, 경계층을 난류 천이시키는 tripping wire method³⁾, 물체 표면에 영각

이 작은 판을 붙여서 박리를 방지 하는 vortex generator method⁴⁾, 케이싱의 내면에 다수의 요철을 붙여서 벽면의 유동 박리를 방지하는 casing treatment method⁵⁾, 벽면을 다공질체로 만들어 그곳으로 부터 추기를 행하여 경계층 발달을 지연 시키는 방법⁶⁾, 벽면 근방에 작은 slit를 만들어 운동량이 작은 흐름을 흡입 시켜서 층류 박리를 방지하는 slit 흡입 방법⁷⁾, slit로부터 유체를 분출 시켜 경계층 발달을 방지하는 slit 분출 방법⁸⁾, 익배면의 액압 구배가 큰 영역에서 보조익을 붙여 압력을 조정하는 slotted익 방법⁹⁾, 다듬질벽으로부터 가벼운 휘발성 가스 및 유체를 분출시키는 이송가스 분출법¹⁰⁾, 흡입 또는 통수에 의한 캐비테이션 억제법¹¹⁾, 접선 분류에 의한 층류 박리 제어법¹²⁾, slot¹³⁾로 부터 물 분출에 의한 층류 박리 제어법¹⁴⁾, 벽면 냉각에 의한 경계층 제어법¹⁵⁾, 벽면 냉각에 의한 경계층 제어법¹⁵⁾ 등의 연구가 있다. 그러나 지금까지

대부분의 경우는 물체 자체에 홈이나 구멍등을 가공하여 유체 분출 또는 흡입에 의한 경계층 제어법이었으나, 최근에 선박 추진에 전자력¹⁶⁾이 이용되므로 본 연구에서는 이전자력의 원리를 익형에 발생하는 부분 캐비테이션을 감소화 하는데 이용한 결과, 그 효과가 있음을 알 수 있었다.

기본 이론

Fig.1과 같이 x축상에 익형의 수미선을 맞춘 익형의 형상을 가정하고 어떤 영각으로 균일흐름이 흘러 들어 올 때 그주위에 발생하는 부분 캐비테이션에 대하여 익형의 전연부 부근에서 전자력에 의하여 흐름을 가속시켜 부분 캐비테이션 감소화를 강구한다.

1. 전자력에 의한 유동 가속도

Fig.1과 같이 (iii)의 위치에서 익형의 폭방향으로 환상의 전극을 가정하고, 익표면의 법선 방향으로 설치한 코일에 의하여 해수에 직류 전류 및 자장을 걸면 해수는 전자력을 받아 접선 방향으로 운동량 변화를 일으키게 된다. 그러므로 익형의 수미선 방향으로 변화되는 전운동량의 총화가 유체력을 가속 시키게 된다. 해수에 작용하는 전자력 가속은 익형 주위의 유동 속도, 쌍방의 속도에 의존하므로 실제의 계산에서는 영각으로 유입하는 균일 유속을 초기 속도로 설정하여 반복 계산으로 구한다. 그리고 전장 분포¹⁶⁾는 다음의 식(1)로 주어진다.

$$j = \sigma \{E + (v-U) \times B\} \quad (1)$$

그리고 자장력 분포는 전자석의 코일에 흐르는 전류에 의하여 다음 비오-샤바르 법칙을 이용하여 구한다.

$$B = \frac{\mu I}{4\pi} \cdot \frac{(R-x) \times dl}{(R-x)^3} da \quad (2)$$

또 식(1)의 전장력 분포 E는 익형의 폭방향으로 평행하게 설치하여 통전한 전극에 의하여 얻어진다. 그리고 전자력 분포는 식(3)에 의하여 구해진다.

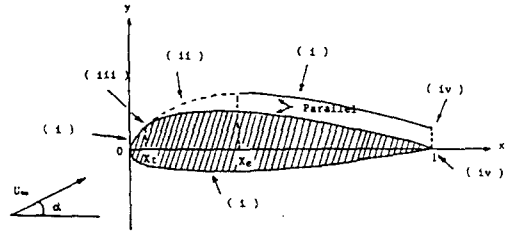


Fig. 1 Coordinate system and cavity model.

$$f = j \times B \quad (3)$$

그리고 식(3)의 전자력에 의한 유체력의 속도는 다음의 N.S.방정식을 풀어서 구한다.

$$\frac{f}{\rho} = \frac{1}{\rho} grad P + u \Delta V \quad (4)$$

2. 익형 주위의 유체 속도¹⁷⁾

Fig.1에서의 흐름은 비점성, 비압축성의 2차원 정상 유동이라 가정하고 Fig.2와 같이 분할한 익형의 미소 선분상에 불균일강도의 싱크 및 소오스 q를 분포하면 점 z에 있어서 복소 속도 포텐셜 W(z)는 식(5)와 같다.

$$W(z) = \frac{q}{2\pi} \frac{|z_2 - z_1|}{z_2 - z_1} \ln \frac{z - z_1}{z - z_2} \quad (5)$$

그리고, 또 균일강도의 보오텍스 k가 있을 경우에는 점 z에 있어서 복소 속도 포텐셜 W(z)는

$$W(z) = \frac{k}{2\pi i} \frac{|z_2 - z_1|}{z_2 - z_1} \ln \frac{z - z_1}{z - z_2} \quad (6)$$

로 나타낼 수 있다. 그리고, 축 x축상에 어떤 영각으로 유입할 경우에 이에 대한 복소 속도 포텐

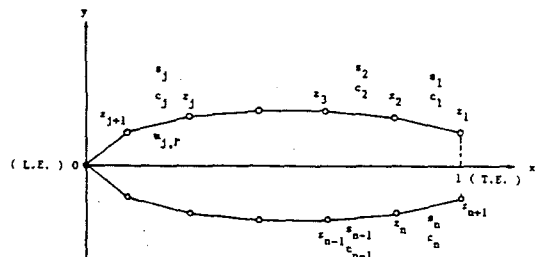


Fig. 2 Discretization of boundary.

살 $W(z)$ 는

$$W(z) = U_{\infty} e^{-i\alpha} \quad (7)$$

로 나타낼 수 있다.

3. 좌표계와 익면 분할¹⁷⁾

Fig.2와 같이 익형을 익후연-부압면-익전연-정압면-익후연의 순서로 n 개의 선분으로 분할한다. 여기서 정점의 복소 좌표를 z 라 하면

$$z_k = x_k + iy_k \quad (8)$$

$$S_j = z_{j+1} - z_j \quad (9)$$

$$c_j = \frac{1}{2}(z_{j+1} + z_j) \quad (10)$$

가 된다.

4. 경계조건¹⁷⁾

식(4), (5), (6) 및 (7)을 익형상의 각영역에서 접선류 조건, 그리고 캐비테이션이 초기발생하는 점에서는 캐비테이션 전연조건, 유속 일정 조건 및 Kutta의 유출조건 등을 각각 다음과 같이 만족토록 한다.

4.1 접선 흐름 조건

층류 박리 이전의 익형의 전연 근방에서는 접선 방향의 흐름만이 있다고 보고 법선 방향의 유속은 없다고 하여 다음을 만족토록 한다.

$$I_m\{W_{(c_j)} \times S_j\} = 0 \quad (11)$$

4.2 유속 일정 조건

층류 박리 및 난류 천이를 시작하여 부분 캐비테이션이 발생하는 부분 캐비테이션의 영역에서는 유속의 크기가 일정하다고 보고 다음의 조건을 만족토록 한다.

$$-R_e\{W_{(c_j)} \times \frac{S_j}{|S_j|}\} = U_c \quad (12)$$

4.3 캐비테이션 전연 조건

캐비테이션은 익면에 대해서 접선 방향으로 발생하고, 발생을 시작하면 압력이 일정한 것으로 하여 식(11), (12)를 동시에 만족토록 한다.

4.4 Kutta의 유출 조건

익 후연의 상하면에서는 유속이 같다고 보고 다음의 식을 만족토록 한다.

$$-R_e\{W_{(c_1)} \times \frac{S_1}{|S_1|}\} = +R_e\{W_{(c_n)} \times \frac{S_n}{|S_n|}\} \quad (13)$$

4.5 캐비테이션 수

캐비테이션 수는 전자력 가속에 의한 N.S방정식 및 복소 속도 포텐셜 식을 경계조건식(11), (12), (13)에 맞추어서 익형의 중점에서 만족토록 하여 미지수 m, r, u 를 구하고 이로부터 유속 u, v 를 구한다. 그리하여 익면상의 캐비테이션 수는 다음식으로 부터 구한다.

$$\sigma = \frac{P_{\infty} - P_v}{1/2\rho U_{\infty}^2} = \left(\frac{U}{U_{\infty}} - 1\right) \quad (14)$$

그러나 여기서 자유 유선의 형상이 미지수이기 때문에 그대로는 각선분의 위치가 결정되지 않으므로 다음의 반복 계산에 의해 자유 유선형상을 구하고 그로부터 유속을 구한다.

5. 자유 유선 형상

Fig.3과 같이 초기에는 캐비테이션 두께가 없다고 보고 접선흐름 및 Kutta의 유출 조건만 만족토록 하여 각선분의 중점에서 x, y 방향의 유속 u, v 를 구한다. 다음에 v/u 가 되도록 새로운 선분을 만들고 다시 이를 선분 분할한다. 이것을 자유 유선의 초기치라 하고, 다시 이를 재분할하여 속도를 구한다. 그리고 $r+1$ 의 유선의 형상은 식(15)를 이용하여 계산한다.

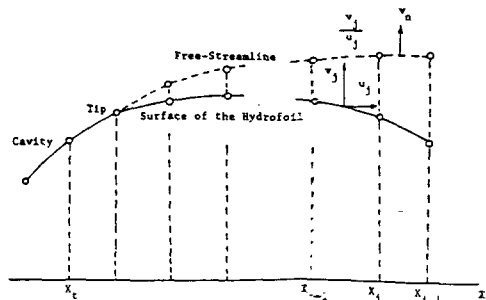


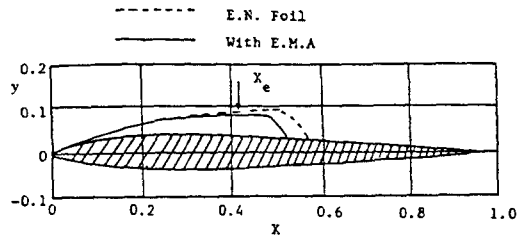
Fig. 3 Shape of free stream line.

$$y_f(x) = W y_f^{(n)}(x) + (1-W) y_f^{(r-1)}(x) \quad (15)$$

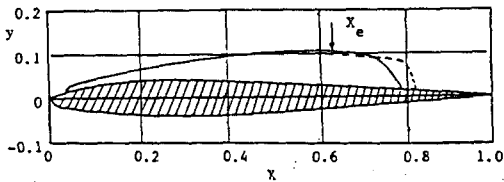
이렇게하여 수렴할 때까지 반복하여 계산하고 초기 익형은 off set로 부터 익두께의 회귀 방정식을 식(16)에 의하여 만들고 이를 cosine분할 방식에 의하여 원하는 요소 수만큼 분할한다.

$$Y_{ij} = C_0 x + C_1 x + C_2 x^2 \quad (16)$$

그리고 압력 계수는 베르누이 방정식으로 부터 구하고 층류 박리 및 난류천이 는 Thwaite⁹⁾에 의하여 $k=0.09$ 로 하고, 천이점은 Ossanen¹³⁾의 판

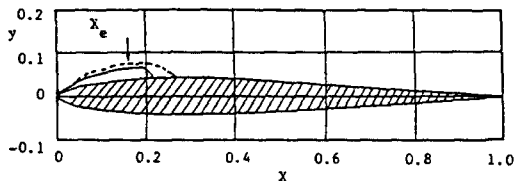


(i) $\alpha=4.2, \sigma=0.68, l_e=0.57, l_{max}=0.52$

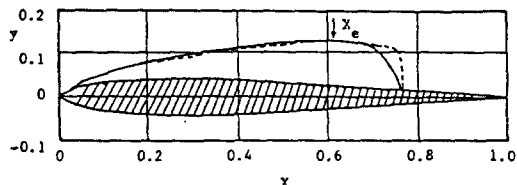


(ii) $\alpha=4.2, \sigma=0.49, l_e=0.81, l_{max}=0.78$

Fig. 4 Comparison of cavity shapes: E.N.Foil, Attack angle 4.2.



(i) $\alpha=6.3, \sigma=1.47, l_e=0.27, l_{max}=0.23$



(ii) $\alpha=6.3, \sigma=0.72, l_e=0.76, l_{max}=0.75$

Fig. 5 Comparison of cavity shapes: E.N.Foil, Attack angle 6.3.

정법을 사용하였으며 난류 경계층은 Karman의 적분 방정식⁵⁾, 캐비테이션 후연 위치는 구형의 기포, 성장 및 붕괴에 관한 Rayleigh방정식¹⁷⁾을 풀어서 R'가 0이 되는 위치를 x_e 로 하고, 캐비테이션의 최대 길이는 붕괴 위치에서 포락선을 구하여 작도하였다.

결 론

이상으로부터 부분 캐비테이션이 발생하는 익형에 대하여 지금까지 사용된 경계층 제어법과는 달리 전자력 가속에 의하여 익형의 전연 부근에서 흐름을 가속시킨 결과 경계층의 억제에 의해 부분 캐비테이션의 두께 및 길이가 다소 감소하였음을 알 수 있었다. 앞으로의 연구는 캐비테이션의 종류 및 조건들에 맞는 최적의 유동속도 가속장치 설계가 이루어 져야 할 것으로 생각된다.

참고문헌

- 1) Yoshiak, K. (1979): Study on Cavitation Inception (-Sheet Cavitation-). Japan Naval Architecture Transaction 146.
- 2) Arakeri, V.H. (1976): Cavitation Inception Observation on Axisymmetric Bodies at Supercritical Reynolds Numbers. J. Ship Research 20(1).
- 3) Kraemer, K. (1962): Die Potential strömung mit Totwasser an einer geknickten Wand. Aero Dynamische Versuchsanstalt 62AO2, Göttingen.
- 4) Wallis, R.A (1965) : Wind Tunnel Studies of Leading Edge Separation Phenomena on a Quarter Scale Model of the outer Panel of the Handly page Victor Wing with and without Nose Droop. Ministry of Aviation, R&M 3455.
- 5) 生井武文(1978): 粘性流體力學. 理工學社, 175.
- 6) Chang, P.K. (1976): Control of Flow Separation. Hemisphere Publication Corporation,

- 242.
- 7) 榮田義才(1977) : 吸込み通水するキヤビテーションの制御關する研究, 日本機械學會 第886回 講演論文集 770-8.
 - 8) Prandtl, L, (1925): Maynuseffekt und Windkraftschiff. Naturwissenschaften 13(93).
 - 9) 井上俊可(1982) : 二次元 翼のキヤビテーションに吸はず前縁補助翼の影響, 東京大學 船舶工學科 卒業論文.
 - 10) Smith, A.M. (1975): Transition, Pressure Gradient, and Stability Theory. Proc. 9th Int. Congress of Applied Mechanics(4).
 - 11) Huang, T.T. (1979): Cavitation Inception Observation on Six Axisymmetric Headforms. Int Symp. on ASME, 51-61.
 - 12) Levinsky, E.S. (1975): Analysis of Separation Control by Means of Tangential Blowing. J. Aircraft 12(1).
 - 13) Schlichting, H. (1968): Boundary - Large Theory. 7th Edition, McGraw-Hill co.
 - 14) Kodama, Y. (1979): The Effect of Nuclei on the Inception of Bubbles and Symp. Cavitation on Axisymmetric Bodies. Int. Symp. on Cavitation.
 - 15) Acosta, A.J. (1979): Cavitation Inception and Internal Flow with Cavitation. DTNSR-DC-79/011.
 - 16) Hummert, G.T. (1979): An Evaluation of Direct current Electromagnetic Propulsion in Sea-water. Office of Naval Research Report ONR-CR168.
 - 17) 山口一等(1983): 翼型に發生する 部分キセビテーションの非線形 理論, 日本造船學會誌, 152.