迎角의 변화에 대한 전개판의 靜的 安定性 硏究

朴倉斗 · 安熙琤

국립수산과학원

(2002년 7월 20일 접수)

A study on the static stability of the otter board in relation to the angle of attack

Chang-Doo PARK and Heui-Chun AN

National Fisheries Research & Development Institute

(Received July 20, 2002)

The static stability of the otter board in relation to the angle of attack (α) was studied analytically and experimentally from the moments of tensions and hydrodynamic force acting on it. Three flat plates of 0.5, 1.0, and 1.5 aspect ratios (λ) and four cambered plates of 5, 10, 15, and 20% camber ratios (*CR*) with the same aspect ratio (λ =1.5) were tested in a circulating water tank for measuring the hydrodynamic forces and moments relevant to the position of hydrodynamic center. And, center-of-pressure coefficients (C_p) and moment coefficients (C_M) of each plate as a function of the angle of attack were calculated for estimating the static stability from hydrodynamic forces.

The obtained results are summarized as follows ;

1. When the angle of attack for otter board is changed from equilibrium for some reason, moments depending upon tensions of warp and sweep line always act in order to have the static stability, respectively.
2. Position of center-of-pressure of each flat plate moves from leading edge to center of plate with the increase of the angle of attack. It means that the moment of hydrodynamic force acting on flat plates also increases the static stability of plate.
3. With the increase of the angle of attack for cambered plates, the positions of center-of-pressure move from trailing to leading edge, and then turn toward center of plate. As the camber ratios increase, the ranges of the angle of attack of the static unstability depending on moment of hydrodynamic force become wide.

Key words : Otter board, Trawl, Stability

서 론

트롤어업에 사용되는 전개판은 트롤 어구를 해중의 일정 수심까지 침강시키고, 망구를 수평방향으로 넓게 전개시키는 역할을 하는 중요한 장치이다. 따라서 현재까지 전개판의 성능 향상을 위하여 많은 연구가 수행되어 왔다.

고전적인 평판형 전개판에 관해서는 Crewe (1964) 등의 연구가 있고, 타원형 전개판에 관해서는 Dale and Moller(1964), 원형 전개판에 관해

서는 林 등(1988, 1989a, 1989b)의 연구가 있다. 또한 종만곡형 전개판에 관해서는 和田(1967) 및 小山 등(1981)의 연구가 있고, 종만곡V형 전개판에 관해서는 李 등(1987) 및 松田 등(1990)의 연구가 있다. 최근에는 權炳國(1993), 高冠瑞 등(1991)이 전개판에 대한 수치해석을 수행하였으며, 朴 등(1993a, 1993b, 1994)은 전개판의 유체력 특성에 미치는 저면의 영향을 연구하였고, 박 등(2001, 2002)은 전개판 주위의 유동장을 해석하였다.

지금까지 수행된 이들 연구의 대부분은 흐름 중에 놓인 전개판의 양·항력 특성에 관한 연구이며, 예망 중인 전개판의 자세 변화에 따른 안정성에 관한 연구는 적다. 따라서 본 연구에서는 전개판의 영각 변화에 따른 정적 안정성에 관하여 이론적인 해석을 행하고, 전개판의 형상에 따른 유체력에 의한 정적 안정성을 실험을 통하여 분석하였다.

전개판의 영각 변화와 정적 안정성

유체 중을 운동하는 물체의 안정성에 관하여 항공역학 분야에서는 정적 안정성과 동적 안정성으로 나누어 생각한다. 즉 운동하는 물체가 평형의 상태로부터 어떤 외력에 의하여 변위되었을 경우, 본래의 위치로 되돌아가려는 복원력이 작용할 경우를 정적으로 안정하다고 말하고, 감쇠력이 작용하여 물체의 운동이 시간의 경과와 함께 본래의 평형의 위치로 근접해 가는 것을 동적으로 안정하다고 말한다(牧野, 1989)

여기서 물체의 x, y, z축 방향으로 작용하는 각각의 힘을 X_i, Y_i, Z_i 라고 하고, 각축 방향에 대한 모멘트를 M_{xi}, M_{yi}, M_{zi} 라고 하면, 평형의 상태에서는 물체에 작용하는 힘과 모멘트의 합은 이하의 수식과 같이 0이 된다(Fridman, 1973 ; 牧野, 1989).

$$\sum X_i = 0, \quad \sum Y_i = 0, \quad \sum Z_i = 0 \quad \cdots\cdots\cdots\cdots(1)$$

$$\sum M_{xi} = 0, \quad \sum M_{yi} = 0, \quad \sum M_{zi} = 0 \quad \cdots\cdots(2)$$

또 평형의 상태로부터 각축 방향에 대하여 $d\varphi$, $d\phi$, $d\theta$ 만큼 각도가 변화하였을 경우, 정적 안정성의 조건은 복원 모멘트가 작용해야 하므로

$$\sum \frac{dM_{zi}}{d\varphi} < 0, \quad \sum \frac{dM_{xi}}{d\phi} < 0, \quad \sum \frac{dM_{yi}}{d\theta} < 0 \quad \cdots\cdots\cdots\cdots(3)$$

이다. 이와 같은 개념을 전개판의 영각의 변화에 따른 정적안정성 해석에 적용하였다.

예인 중인 전개판에 작용하는 힘은 끌줄의 장력(T), 후릿줄의 장력(T_h) 및 전개판에 작용하는 유체력(R) 등이 있다. 여기서 끌줄과 연직 방향의 z축과 이루는 각도를 σ라고 하면, z축 방향의 분력 T_z와 xy평면상의 분력 T_w는 각각 이하의 식으로 표현된다.

$$T_z = T\cos\sigma, \qquad T_w = T\sin\sigma$$

영각 α로 예인 중에 있는 전개판에 작용하는 각각의 힘을 Fig. 1에 나타내었다. Fig. 1의 좌표계는 전개판이 영각 α_1에서 평형상태를 이룬다고 가정하고, 이 때 전개판에 작용하는 압력 중심을 원점으로 하였다. 그리고 전개판의 현장과 평행한 방향을 x축, 수직한 방향을 y축, 연직한 방향을 z축으로 나타내었다. 그림에서 R은 유체력, L은 양력, D는 항력, V는 유속, α_w는 흐름(예인) 방향과 끌줄의 xy평면상의 분력 T_w와의 각도이며, α_h는 흐름의 방향과 후릿줄이 이루는 각도이다. 또한, 전개판의 전연(leading edge)과 원점까지의 거리를 b, 전개판의 전연에서 영각 α인 전개판에 작용하는 압력중심까지의 거리를 r, 전개판의 전면과 후릿줄이 연결되는 예행점 사이의 거리를 y_0, 후릿줄의 연결점과 y축과의 거리를 e로 나타내었다.

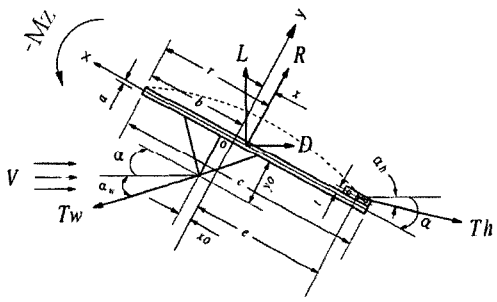

Fig. 1. The tensions and hydrodynamic forces on the otter board viewed from the top. Tw : tension of warp, Th : tension of sweep line, α : angle of attack, R : resultant force, L : lift, D : drag, c : chord, V : speed of flow, Mx : moment

Fig. 1로부터 전개판에 작용하는 유체력에 의한 모멘트 M_{zH}는

$$M_{zH} = Rx = R(b-r) \quad \cdots\cdots(4)$$

가 되며, 압력중심의 위치에 따라 부호가 결정된다. 또 유체력계수를 C_N, 유체 밀도를 ρ, 전개판의 현장(cord)을 c, 면적을 S, 압력중심계수를 C_p라고 하면

$$R = L\cos\alpha + D\sin\alpha = \frac{1}{2} C_N \rho S V^2 = f(\alpha)$$

$$M_{zH} = \frac{1}{2} C_M \rho S V^2 c = Rx = f_1(\alpha)$$

$$x = b-r = c(C_{p0} - C_p) = f_2(\alpha)$$

가 되므로 R, L, D 및 x는 영각 α에 의하여 변화한다. 여기서 C_{p0}는 영각 $\alpha = \alpha_1$일 때의 압력중심계수이다.

그림으로부터 끌줄과 후릿줄에 의한 모멘트를 각각 M_{zTw}, M_{zTh}라고 하면

$$M_{zTw} = T_w\{(y_0 + a)\cos(\alpha + \alpha_w) - x_0\sin(\alpha + \alpha_w)\} \quad \cdots\cdots(5)$$

$$M_{zTh} = T_h\{t\cos(\alpha - \alpha_h) - e\sin(\alpha - \alpha_h)\} \quad \cdots\cdots(6)$$

이 된다.

따라서 z축 주위에 작용하는 모멘트의 합 $M_z(\alpha)$는

$$M_z(\alpha) = M_{zH}(\alpha) + M_{zTw}(\alpha) + M_{zTh}(\alpha) \quad \cdots\cdots(7)$$

이다. 또 영각 $\alpha = \alpha_1$일 때에는 평형 상태로서 $M_{zH}(\alpha_1) = 0$이 되므로

$$M_z(\alpha_1) = T_w\{(y_o + a)\cos(\alpha_1 + \alpha_w) - x_0(\alpha_1 + \alpha_w)\} + T_h\{t\cos(\alpha_1 - \alpha_h) - e\sin(\alpha_1 - \alpha_h)\} = 0 \quad \cdots\cdots(8)$$

이 된다.

여기서 전개판의 영각 α가 외력에 의하여 $\alpha_1 + \varphi$로 변화하였을 경우, 전개판의 길이에 비하여 끌줄과 후릿줄의 길이는 매우 길므로 전개판의 영각 변화에 의한 α_w 및 α_h는 거의 변하지 않는다고 하면, 전개판에 작용하는 각각의 모멘트 변화는

$$\frac{dM_{zH}}{d\varphi} = R\frac{dx}{d\varphi} + x\frac{dR}{d\varphi} = \frac{1}{2}\rho S V^2 c \frac{dC_M}{d\varphi} \quad \cdots\cdots(9)$$

$$\frac{dM_{zTw}}{d\varphi} = -T_w\{(y_0 + a)\sin(\alpha_1 + \alpha_w + \varphi) + x_0\cos(\alpha_1 + \alpha_w + \varphi)\} \quad \cdots\cdots(10)$$

$$\frac{dM_{zTh}}{d\varphi} = -T_h\{t\sin(\alpha_1 - \alpha_h + \varphi) + e\cos(\alpha_1 - \alpha_h + \varphi)\} \quad \cdots\cdots(11)$$

가 된다.

따라서 영각의 변화에 대하여 전개판이 정적으로 안정될 조건은 식(3)에 나태낸 것과 같이 평형 상태로 되돌아가는 복원력이 작용하여야 하므로

$$\frac{dM_z}{d\varphi} = \frac{dM_{zH}}{d\varphi} + \frac{dM_{zTw}}{d\varphi} + \frac{dM_{zTh}}{d\varphi} < 0 \quad \cdots\cdots(12)$$

이 된다(牧野, 1989). 여기서 φ가 작은 범위에서는 $\cos\varphi = 1$, $\sin\varphi = \varphi$가 되므로 식(7) 및 식(8)을 전개하면

$$\frac{dM_{zTw}}{d\varphi} = -T_w[(y_o + a)\cos(\alpha_1 + \alpha_w) + x_0\cos(\alpha_1 + \alpha_w) + \{(y_0 + a)\cos(\alpha_1 + \alpha_w) - x_0\sin(\alpha_1 + \alpha_w)\}\varphi]$$

$$\frac{dM_{zTh}}{d\varphi} = -T_h[t\sin(\alpha_1 - \alpha_h) + e\cos(\alpha_1 - \alpha_h) + \{a\cos(\alpha_1 - \alpha_h) - e\sin(\alpha_1 - \alpha_h)\}\varphi]$$

가 된다.

트롤어업에 있어서 $\alpha_1 - \alpha_h > 0$, $\alpha_1 + \alpha_w > 0$ 이므로 식(10)와 (11)의 합에 식(8)을 대입하면

$$\frac{dM_{zTw}}{d\varphi} + \frac{dM_{zTh}}{d\varphi} = -T_w\{(y_0 + a)\sin(\alpha_1 + \alpha_w) + x_0\cos(\alpha_1 + \alpha_w)\} - T_h\{t\sin(\alpha_1 - \alpha_h) + e\cos(\alpha_1 - \alpha_h)\} < 0 \quad \cdots\cdots(13)$$

가 된다. 즉 장력에 의한 모멘트의 변화는 항상 정적으로 안정한 상태로 작용한다.

그러나 식(9)에서 알 수 있는 바와 같이 전개판

의 유체력에 의하여 작용하는 모멘트는 압력 중심의 이동에 따라 달라진다. 만약 영각의 변화 방향과 압력중심의 이동 방향이 상호 반대로 움직인다면, 유체력에 의한 모멘트는 복원력으로 작용하여 정적으로 안정하게 될 것이다. 영각의 변화에 따른 전개판의 압력 중심의 이동 및 모멘트의 변화는 전개판의 형상에 좌우되므로 실험을 통한 해석이 필요하다.

실험 재료 및 방법

본 연구에서는 유체력에 의한 전개판의 정적 안정성을 평가하기 위하여 형상이 다른 모형을 제작하고, 실험을 통하여 모형에 작용하는 유체력 및 모멘트를 측정하였다. 실험 모형은 종횡비(λ)가 각각 0.5, 1.0, 1.5인 평판(SUS, 두께 2*mm*)과 종횡비(λ=1.5)는 일정하고 만곡도가 각각 5%, 10%, 15%, 20%인 종만곡판(SUS, 2.5*mm*)을 사용하였다(Table 1).

Table 1. Specification of the flat plates and the cambered plates used in the experiment

No. of plate	span (*mm*)	chord *c* (*mm*)	thickness (*mm*)	camber *f* (*mm*)	aspect ratio λ	camber ratio *CR* (*f*/*c*) %
1	120	240	2.0	0	0.5	0
2	170	170	2.0	0	1.0	0
3	210	140	2.0	0	1.5	0
4	210	140	2.5	7	1.5	5
5	210	140	2.5	14	1.5	10
6	210	140	2.5	21	1.5	15
7	210	140	2.5	28	1.5	20

실험은 東京水産大學의 대형 회류수조(관측부 길이 7*m*, 수로폭 1.45*m*, 수심 1.2*m* ; 神田·深瀨, 1984)에서 유속 60~80*cm*/*s*의 범위에서 수행하였다(朴 등, 1993a, 1993b). 모형의 유체력(양력, 항력, 모멘트) 계측은 Fig. 2에 나타낸 것과 같이 모형의 상단에 지지봉(직경 16*mm*, 길이 30*cm*)을 연결하여 3분력계(電子工業株式會社, SV-303型)와 접속시키고, 지지봉의 외측에는 유선형의 덮개를 사용하여 모형의 유체력 계측시에 지지봉의 유체력이 함께 계측되지 않도록 하였다. 각 유속 및 영각에 따른 모형의 유체력은 50*Hz*의 샘플링 속도로 800개의 데이터를 컴퓨터에 입력한 후, 그 평균치를 구하였다(Fig. 2). 실험시의 수온은 18~22℃의 범위였다.

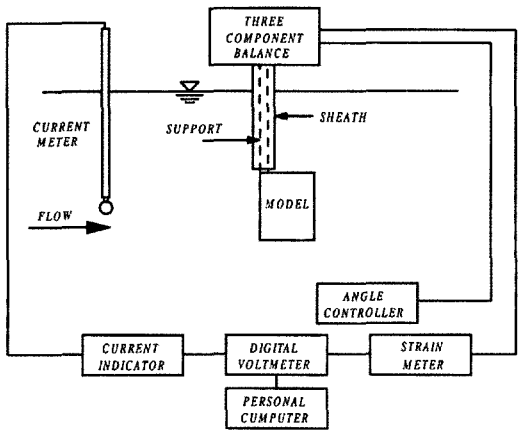

Fig. 2. Schematic diagram for measuring the hydrodynamic characteristics of models.

실험 결과 및 고찰

1. 종횡비가 다른 평판의 유체력에 의한 안정성

종횡비가 각각 0.5, 1.0, 1.5인 평판의 영각 변화에 대한 압력중심계수(C_p=*r*/*c*)의 변화를 Fig. 3에 나타내었다. 그림으로부터 평판의 압력중심계수는 영각의 증가에 따라 모형의 전연으로부터 중심(C_p=0.5) 방향으로 이동하는 것을 알 수 있다. 이것으로부터 영각이 증가할 경우에는 압력중심이 후연 쪽에 위치하고, 영각이 감소할 경우에는 압력중심이 전연 쪽에 위치하므로 영각의 변화에 따른 압력중심의 이동은 항상 복원력이 작용하는 방향으로 이동한다는 것을 알 수 있다.

종횡비가 각각 0.5, 1.0, 1.5인 이들 평판의 최대양력계수를 나타내는 영각(α_s)은 각각 40°, 25°, 20°이다(朴 등, 1993a). 전개판의 저항은 트롤 어구의 전체 저항에 비하여 적고, 종횡비가 낮으므로 급격한 실속이 일어나지 않으므로 전개판의 면적과 중량을 감소시키기 위하여 설계(상용) 영각은 최대양력계수가 얻어지는 영각 또는 이보다 약간 작은 영각으로 설정하는 경우가 많다. 따라서 Fig. 3으로부터 최대양력계수를 나타내는 영각에서의 압력중심의 위치를 구하고, 이들 위치에 대한 모멘트계수를 Fig. 4에 나타내었다. Fig. 4로부터 각 모형의 모멘트계수는 최대양력계

수를 나타내는 영각보다 큰 영각의 범위에서는 0보다 작고, 최대양력계수를 나타내는 영각보다 작은 영각의 범위에서는 0보다 크다. 이것은 영각의 변화에 대한 모멘트의 변화가 음수가 되므로 평판에 작용하는 유체력에 의한 모멘트는 항상 정적으로 안정하는 방향으로 작용한다는 것을 의미한다.

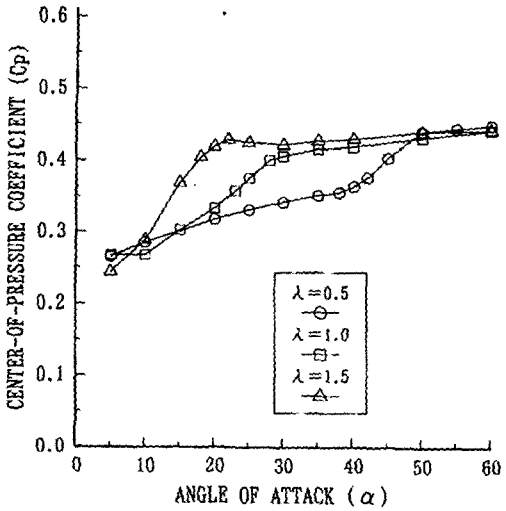

Fig. 3. Center-of-pressure coefficients of the flat plates in relation to angle of attack(α).

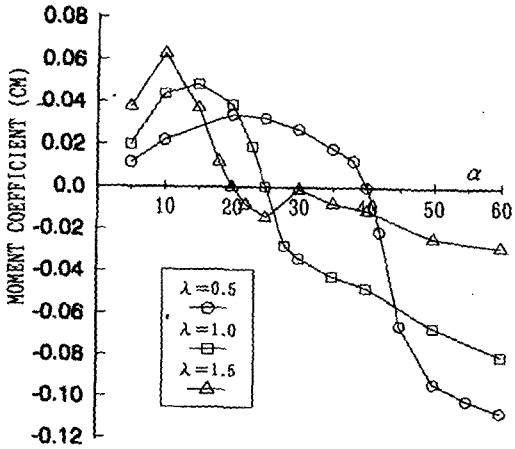

Fig. 4. Moment coefficients of the flat plates in relation to angle of attack(α).

2. 만곡도가 다른 종만곡판의 유체력에 의한 안정성

종횡비가 1.5로서 일정하고 만곡도가 각각 0%, 5%, 10%, 15%, 20%인 종만곡판의 영각 변화에 대한 압력중심계수($C_p=r/c$)를 Fig.5에 나타내었다. Fig. 5로부터 만곡도 5% 이상인 종만곡판의 압력중심은 영각이 작은 범위에서는 후연($C_p>0.5$)에 위치하고, 영각의 증가와 함께 전연($C_p<0.5$)으로 이동한 다음, 다시 중심($C_p=0.5$) 방향으로 이동한다. 또한 만곡도가 클수록 압력중심계수가 전연에서 후연으로 전환하는 영각은 커진다.

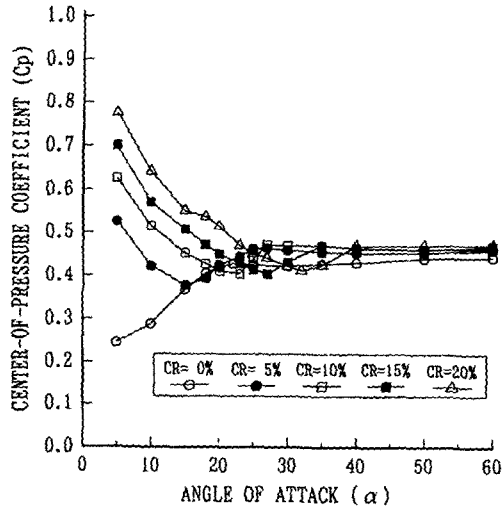

Fig. 5. Center-of-pressure coefficients of the cambered plates in relation to angle of attack(α).

Fig. 5로부터 각 모형의 최대양력계수(朴 등, 1993b)를 나타내는 영각(평판 이외에는 α_s=23°) 에서의 압력중심의 위치를 구하고, 이들 위치에 대한 모멘트계수를 Fig. 6에 나타내었다. Fig. 6으로부터 만곡도가 0%인 평판의 모멘트 계수는 모든 영각의 범위에서 영각의 변화에 따른 모멘트 계수의 변화가 0보다 작다. 그러나 만곡도가 커질수록 영각의 변화에 따른 모멘트 계수의 변화가 0보다 큰 범위가 증가한다. 즉 만곡도 5%인 경우는 $\alpha \leq 10°$, 만곡도 10%인 경우는 $\alpha \leq 23°$, 만곡도 15%인 경우는 $\alpha < 30°$, 만곡도 20%인 경우는 $\alpha \leq 40°$ 의 범위에서 정적으로 불안정하다. 이와 같은 결과는 만곡도가 커질수록 정적으로

불안정한 항공기의 날개(翼)의 경우와 비슷하다(牧野, 1989). 그러나 전개판의 경우에는 식(13)에 나타낸 끌줄과 후릿줄의 장력에 의한 복원 모멘트가 충분히 크므로 전개판에 작용하는 유체력에 의한 모멘트가 다소 불안정하더라도 시스템 전체로서는 정적으로 안정하다고 생각된다. 금후, 전개판에 작용하는 끌줄과 후릿줄의 장력에 의한 모멘트의 측정을 통하여 영각 변화에 따른 전개판의 정적안정성을 정량적으로 평가하는 것이 필요하다.

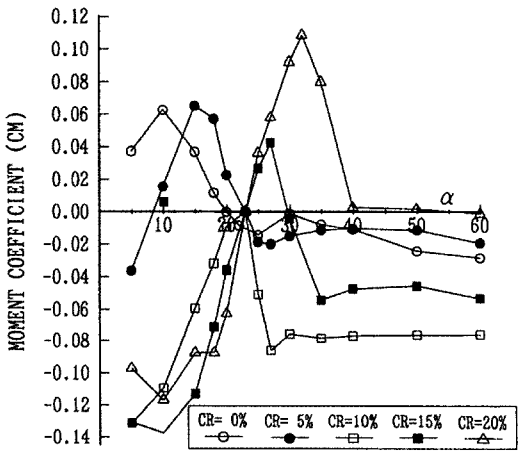

Fig. 6. Moment coefficients of the cambered plates in relation to angle of attack(α).

요 약

본 연구에서는 전개판의 영각 변화에 따른 정적 안정성에 관하여 이론적 해석을 하였다. 또한 전개판의 형상별 유체력에 의한 정적 안정성을 평가하기 위하여 종횡비가 다른 평판과 만곡도가 다른 종만곡판을 사용하여 회류수조에서 유체력 및 모멘트를 측정하고 형상별 압력중심계수와 모멘트 계수를 계산하였다. 본 연구에서 얻어진 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 전개판의 영각(α) 변화에 따른 끌줄의 장력과 후릿줄의 장력에 의한 모멘트 변화는 전개판을 항상 정적 안정성을 가지도록 작용한다.
2. 종횡비(λ)가 0.5, 1.0, 1.5인 평판의 압력중심계수는 영각의 증가와 함께 전연에서 중심쪽으로 이동한다. 이것은 유체력에 의한 모멘트는 항상 정적으로 안정하도록 작용한다는 것을 의미한다.
3. 종횡비가 일정(λ =1.5)하고, 만곡도(CR)가 5%, 10%, 15%, 20%인 만곡판의 유체력에 의한 압력중심계수는 영각의 증가와 함께 후연에서 전연쪽으로 이동한 다음, 다시 만곡판의 중심쪽으로 이동한다. 만곡판에 작용하는 유체력에 의한 모멘트는 만곡도가 커질수록 정적으로 불안정한 영각의 범위가 증가한다.

참고문헌

Crewe, P. R. (1964) : Some of the general engineering principles of trawl gear design, in "Modern Fishing Gear of the World Ⅱ", Fishing News (books) Ltd., London, 165-180.

Dale, P. and Moller, S.(1964) : The development of a midwater trawl, in "Modern Fishing Gear of the World Ⅱ", Fishing News (books) Ltd., London, 482-488.

林 俊辰・佐藤 修・梨本勝昭・山本勝太郎(1988) : キャンバーの違う圓型オッターボードの揚抗特性・日本水產學會誌, 54, 779-786.

林 俊辰・佐藤 修・梨本勝昭・山本勝太郎(1989a) : 迎角およびヒールアングル の變化による圓型オッターボードの性能と安定性・日本水產學會誌, 55, 295-300.

林 俊辰・梨本勝昭・山本勝太郎(1989b) : ブラケットを取り付けた圓型オッターボードの揚抗特性・日本水產學會誌, 55, 1915-1919.

和田光太(1976) : 實用トロール漁法, 成山堂書店, 東京, 105-119.

小山武夫・工藤孝雄・大場 修(1981) : オッターボードの抵抗および展開力について, 水工研報告, 2, 95-103.

李秉錡・高冠瑞・金龍海・朴璟鉉(1987) : 單純彎曲型과 슈퍼-V型 展開板의 流體力學的 性能에 관한 模型實驗, 한국수산학회, 20(2), 114-118.

松田 皎・胡 大祥・石澤 聰(1990) : 縱灣曲V型オッターボードの流體特性, 日本水產學會誌, 56, 1815-1820.

權炳國(1993) : 展開板의 流體力學的 特性에 관한 硏究, 수산학박사학위논문(부경대학교).

高冠瑞・權炳國・盧基德(1991) : 展開板에 대한 數値解析 - 2. 展開板의 形狀別 性能分析-, 한국어업기술학회지, 27(3), 163-169.

朴 倉斗・松田 皎・胡 夫祥・孫 滿昌(1993a) : 縱橫比の異なる平板の揚抗力特性に及ぼす底面の影響, 日本水產學會誌, 59, 79-84.

朴 倉斗・松田 皎・胡 夫祥・東海 正(1993b) : 反り比の異なる灣曲板の流體力特性に及ぼす底面の影響, 日本水產學會誌, 59, 627-632.

朴 倉斗・松田 皎・東海 正(1994) : 水素氣泡發生法による灣曲板の周りの流れの可視化, 日本水產學會誌, 60, 193-199.

박경현・이주희・현범수・배재현(2001) : 단일 슬롯 만곡형 전개판의 유체역학적 특성에 대한 연구, 한국어업기술학회지, 37(1), 1-8.

박경현・이주희・현범수・노영학・배재현(2002) : PIV를 이용한 만곡형 전개판의 유동장 계측에 관한 연구, 한국어업기술학회지, 38(1), 43-57.

牧野光雄(1989) : 航空力學の基礎. 產業圖書, 東京, 79-226.

Fridman, A.L. (1973) : Theory and Design of Commercial Fishing Gear, Israel Program for Scientific Translation, Jerusalem, 270-281.

神田獻二, 深瀨 彊(1984) : 吸込裝置付回流水曹の特性について, 東京水產大學研究報告, 71(2), 91-101.