

船舶間의 相互作用과 安全操船에 關한 研究

尹 点 東*

A Study about the Interaction between Two Vessels And Safe Maneuvering

Jeom-Dong Yoon

〈 目 次 〉

I. 序 論	1. 深海(deep sea)에서의 試驗 및 自力操 船 限界檢討
II. 相互作用의 原因	2. 淺水域 航走船舶間의 相互作用 및 自 力操船限界 檢討
1. 航走船體 주위의 流線分布	
2. 移動船體 주위의 水壓分布	
III. 模型試驗 結果로부터 操船限界에 對한 數值計算可能性 檢討	IV. 結 論

I. 序 論

대부분의 큰 商船들은 吃水와 비교하여 대단히 수심이 깊은 大洋을 장시간 航海하게 된다. 이러한 곳에서는 장시간 거의 같은 針路上을 航走하게 되고 다른 船舶과 지근거리를 두고 航過하지도 않는다.

그러나 이러한 船舶들도 航海의 시작과 끝맺음에는 연안수로에서 다른 선박과 가까운 거리를 두고 항과하게 되고 얕고, 좁은 水路를 航走하게 된다. 이러한 곳에서는 操船者는 大洋上에서보다 훨씬 곤란한 操船上의 어려움을 겪게 된다. 어떤 船舶들은 그들이 行하는 작업의 성질상 다른 船舶에 가까이 접근하게 되는데, 예를 들면 조선보조용 예선, 도선선 및 해상 보급선 등을 들 수 있다. 이러한 船舶들은 경우에 따라서 정도의 차이는 있겠지만 相互作用이라고 하는 流體力學의인 현상을 경험하게 된다.

本 論文의 目的은 이미 이루어진 여러가지 流體力學의인 研究成果를 利用하여 船舶間에 생기는 相互作用을 검토하고 이해하기 쉽게 說明을 加하면서, 操船上 相互作用에 留意하여야 할 空間的인 범위를 定하는데 있다.

* 正會員, 韓國海洋大學

II. 相互作用의 原因

1. 航走船體 주위의 流線分布

船體가 水中에서 航行할 때는 V 라는 큰 침하용적이 水中을 진행하게 되므로 船首部에서 계속하여 물이 배제되어 나오며 선미부에서는 계속하여 물이 공적을 따라 흘러 들어가게 된다. 이러한 경우에 유체역학적인 이론접근방법은 정선수에 있는 수면하부 한 點에서는 계속하여 물이 용출하고 선미부의 한 點에서는 물이 흡입되어 들어간다고 생각하는 것이다. 용출점을 Source, 흡입점을 Sink 라고 한다. 그것을 표시한 것이 그림 1이다.

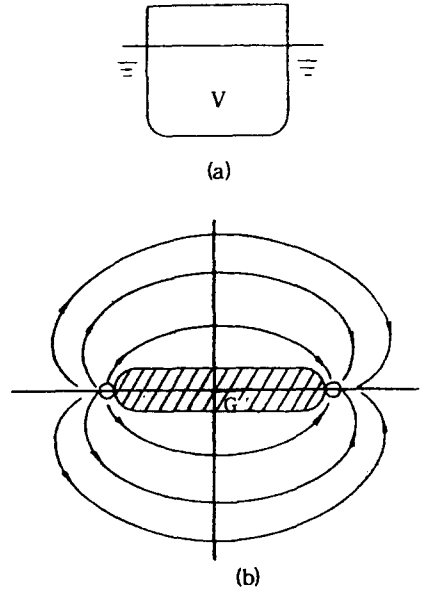


그림 1

그림 1은 좌표의 원점을 이동선체의 G 점에 잡고 전진속도 u 는 무시하고 침하용적이 이동하여 갈 때 흐름의 모양을 그린 것이다. 그러나 선체는 실제로 물에서 u 라는 속력으로 전진하고 있으므로 G 점을 좌표의 원점으로 취하고 용출류를 무시하고 이 흐름만을 보면 그림 2(a)와 같다. 그러므로 선체주위를 흐르는 물의 실제 흐름은 이들 두가지

흐름을 합성한 것이 되고 그림 2(c)와 같이 된다. 따라서 선수부와 선미부 부근의 흐름은 $\vec{u}-\vec{v}_c$ 가 되어 유속이 느리고 선체 중앙부는 $\vec{u}+\vec{v}_c$ 가 되어 유속이 빠르게 된다.

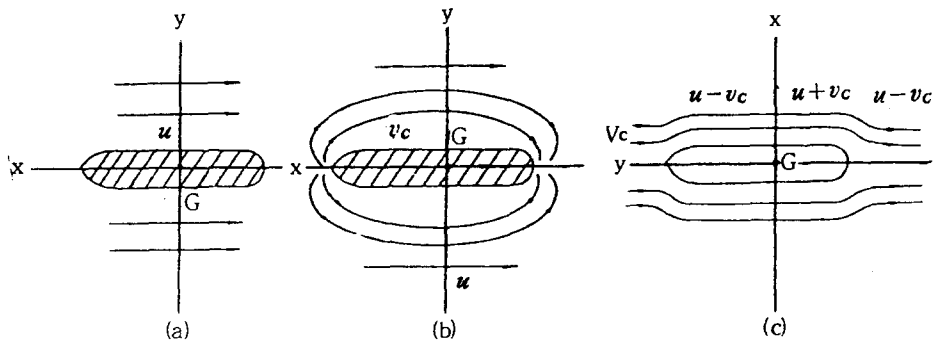


그림 2

2. 移動船體 주위의 水壓分布

가속도가 없는 定常流에 있어서 베르누이 정리는 $p + \frac{1}{2}\rho v^2 + \rho gh = C$ 로 表示된다.

그림 2(c)의 경우는 ρgh (浮力項)는 고려할 필요가 없으므로 $p + \frac{1}{2}\rho v^2 = C$ 로 된다. 유속이 상대적으로 느린 선수부 주위의 水中壓力은 높으며 선체중앙부 주위의 그것은 낮고 선미부 주위에서는 다시 높아진다. 그것을 알기 쉽게 표시하면 그림 3과 같다. 이러한 압력분포의 차이 때문에 선수부, 선체중앙부 및 선미부 부근의 水面은 융기하강 및 융기의 상태로 나타나며 속력이 빨라지면 橫波의 형태가 뚜렷이 나타난다.

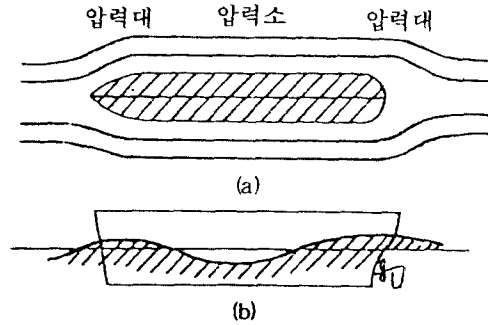


그림 3

3. 近接 航行 船舶間에 生기는 流體力

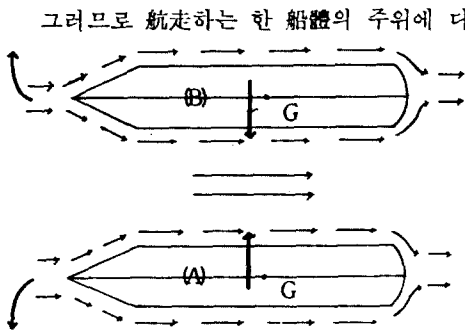


그림 4 반발하면서 접근

그러므로 航走하는 한 船體의 주위에 다른 또 하나의 船舶이 近접하여 航走하면 이들 사이에는 상호 간섭작용이 생기게 된다. 예를 들면 똑같은 크기의 선박이 같은 속력으로 나란히 航走하는 경우를 생각하여 보자.

선수부와 선미부의 壓力은 평균수면의 그것보다 높으나 선수부의 壓力이 선미부보다 높고 양 선박의 사이에는 강한 流速이 있으므로 두 선박은 서로 반발하면서 接近된다 (그림 4 참조).

다음에 만약 A船이 앞서 航走하고, B船이 A船의 右舷에 가깝게 航走하면서 B船의 船首가 A船의 中間쯤에 놓여 있는 경우를 생각하여 보자(그림 5 참조).

이 때는 A船의 中間부와 B船의 船首部 사이에는 물의 흐름이 빨라지고 A船의 선미는 B船의 中央部쪽으로, B船의 船首는 A船의 中央部쪽으로 끌리게 되고, A船은 B船의 反對쪽으로 회두하게 되나, B船은 A船을 향하여 회두하게 될 것이다.

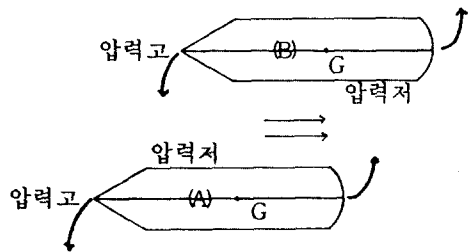


그림 5

여기에서 유의할 사항은 두 船舶이 接近하면 회두우력이 생길 뿐만 아니라 종방향 流體力에도 변화가 생기고 있다는 것이다. 그림 5에서 보면 A船 선수부의 壓力은 변하지 않았는데 선미부의 壓力은 떨어져 있으므로 선체는 더욱 큰 저항을 받고 속력은 떨어질 것이며, B船의 경우는 선수부의 압력은 떨어져 있는데 선미부의 압력은 변하지 않고 있으므로 저항은 떨어지고 선체는 增速된다.

이와 같이 두 선박이 서로 접근하면 종방향힘, 횡방향힘 및 회두우력이 생겨서 操船上의 곤란이 생기게 된다.

Ⅲ. 模型試驗 結果로부터 操船限界에 對한 數值計算 可能性 檢討

通航船間의 相互作用은 두 선박의 종방향거리, 횡방향거리 및 각 선박이 갖는 Yaw angle ψ_1, ψ_2 의 함수가 된다. 육상의 조선 공학자들은 오래 전에 이미 몇가지 model case를 設定하고 선박의 상호작용에 대한 시험 및 計測을 정밀하게 행하였다. 그러나 어떤 이유에서 그렇게 되었는지는 알 수 없으나 그들은 이러한 좋은 결과로부터 실제 船舶의 自力操縱에 관한 限界 검토는 행하지 않았다.

그러한 이유는 그들이 실제 操船의 진행 사항에 대하여 특별한 체험이 없었기 때문에 操船문제에의 소재를 파악할 수 없었기 때문이 아닌가 생각된다. 두 선박이 병항하거나 항과하는 때의 조전은 해상보급, 충돌방지 또는 제한수로에서의 항해 등의 견지에서 볼 때 대단히 중요하다는 것은 전술한 바와 같다.

1. 深海(deep sea)에서의 試驗 및 自力操船 限界檢討

이러한 것에 대하여 Silverstein은 이론적으로 연구하였고 Newton은 실험적으로 연구하였다. 그들의 연구결과는 그림 6 및 7과 같다. 두 병항선의 치수는 <표 1>과 같다.

<표 1> 길이는 ft 단위이나 ()속은 m이다

선박	L	B_V	d_n	▽(톤)	C_B	scale ratio
A	740(226)	103(31)	29(9)	36,890	0.6	1/50
B	567(173)	70(21)	30(9)	23,570	0.7	1/50

그림 6 위부분의 자료를 얻기 위한 실험방법은 다음과 같다.

A, B 두 모형선을 추진기 없이 일정한 정척거리(여기서는 50 ft, 즉 15m)를 두고 평행 직선상에 항주시킨다. 이때 타각 δ 나 편각 β 는 주지 않으며 매 실험때마다 종주거리를 달리하여 실험하고 각각의 선박에 생기는 횡력 및 모멘트를 측정한다. 이 실험에서는 속력범위를 10~20 kt로 한 것이다.

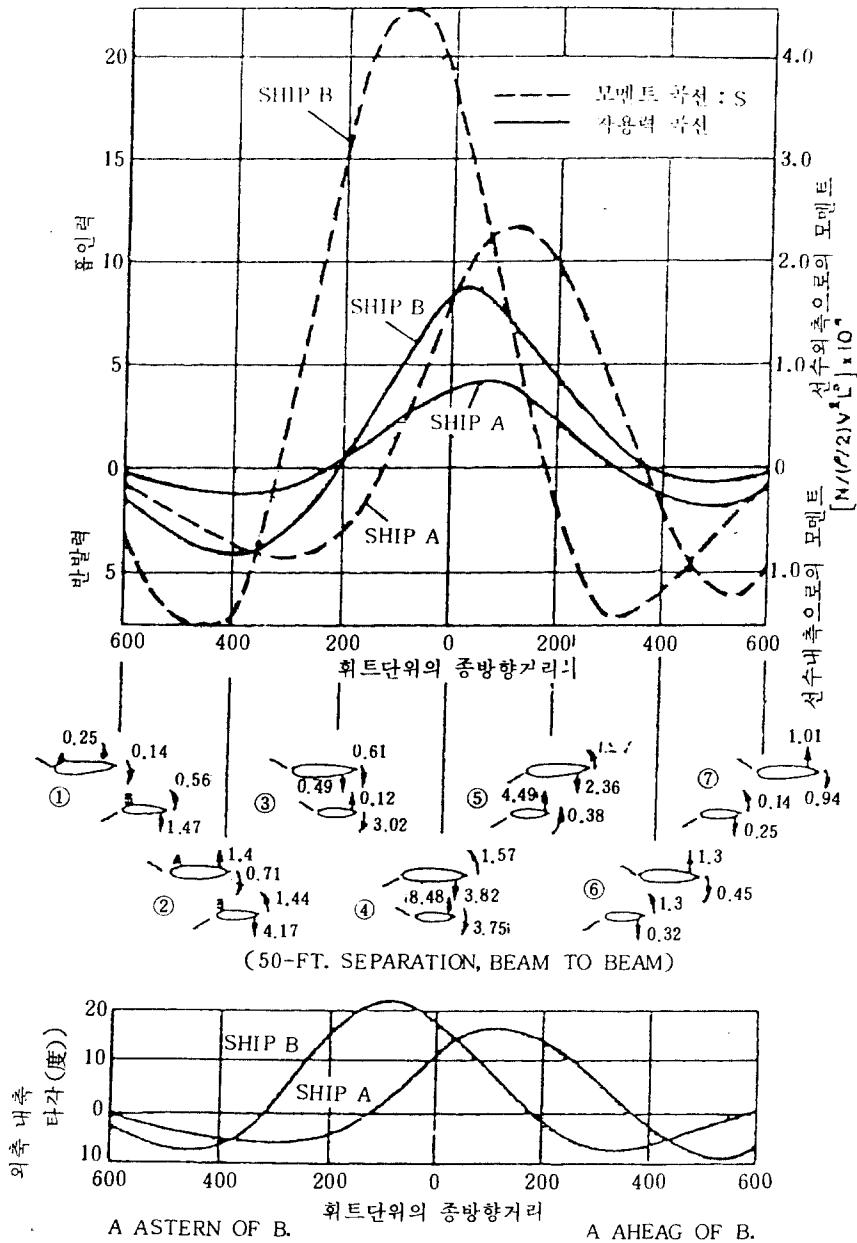


그림 6 A, B 두 선박을 정회거리 55ft(15m)에 두고 평행선상을 항주시키면서 큰 A선이 작은 B선을 추월할 때 그들 사이에서 일어나는 상호작용 때문에 각 선박에 생기는 횡력 및 모멘트를 실험제측한 것이다. 타각은 그 모멘트를 상쇄시키기 위하여 잡아야 할 대응타각이고, 선박의 중간에 붙어 있는 수치는 그림 위부분의 해당종거리에서 생기는 종축의 눈금이다.

그림 6의 횡축에 표시한 종방향 거리는 두 선박 縱中心間의 거리이다. 그림에는 없지만 횡방향거리는 현측과 현측의 거리를 의미한다. 동 그림의 하부에 있는 타각은 선박이 각기의 위치에서 그가 받는 모멘트를 상쇄하기 위한 대응타각이고 계산에 의하여 얻은 값이다.

그리고 이 계산에서는 다음의 가정을 하였으며 그 가정의 일부는 자항모형선 시험에 의하여 확인된 것이다.

1. 이系の 전체 운동을 하나의 연속적인 운동으로 취급할 수 있다.
2. 상호 작용에 의한 횡력 및 모멘트는 푸로펠러 작용이나, 평형상태를 유지하기 위한 작은 타각이나 편각에 의하여 영향을 받지 않는다.

그림 6에 나타난 최대 흡인력은 흥미를 끄는 점이 있다. 두 선박 사이의 정횡거리를 50ft (15m)로 유지하면서 선속을 10kt로 할 때 A선에 발생하는 최대횡력은 26톤이고 B선의 그것은 35톤이다. 이 힘은 선박이 정횡으로 완전하게 나란히 되는 위치 4에 매우 가깝게 있을 때 생긴다.

이 힘은 같은 조건하에서는 선박의 속력을 20kt로 하면 각각 4배로 증가하였다. 그리고 그림 7에 의하면 정횡거리를 100fts(30m)로 증가시키면 이 힘은 40% 감소하였다.

그림 6을 보면 상호작용 때문에 생기는 흡인력과 모멘트가 합세하여 한 선박을 다른 선박에 접근시키는 불리한 위치가 있음을 알 수 있다.

그러한 위치는 A선에 대하여는 3의 위치가 되고 B선에 대하여는 5의 위치가 된다. 이러한 위치에서는 타각에 의한 모멘트는 흡인력에 의한 모멘트를 상쇄하기 위하여 필요한 것

이지만 이러한 타각 때문에 생기는 타압력은 흡인력에 보태지는 방향으로 작용한다. 그러므로 이러한 위치에서는 충분한 타각을 주어서 흡인력에 의한 모멘트를 극복할 뿐만 아니라 편각 β 가 커져서 선체에 생기는 양력이 흡인력과 타압력을 극복할 수 있도록 하여야 한다.

이러한 방법으로 두 선박은 3과 5의 위치에서 충돌을 면할 수 있겠지만 두 선박 사이의 정횡거리가 너무 가까와져서 타압 모멘트가 흡인력에 의한 모멘트를 이기지 못하면 충

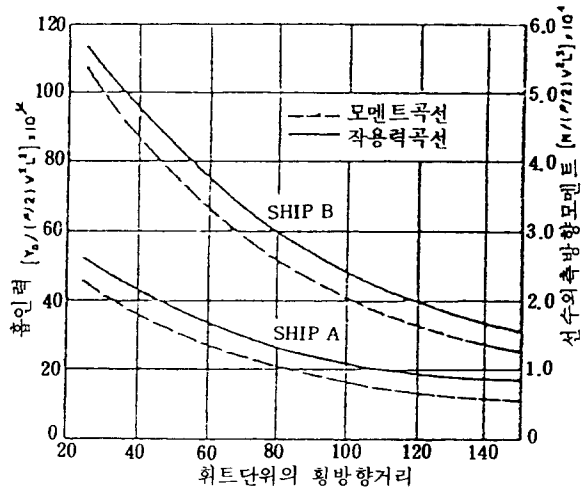


그림 7 두 선박이 정횡거리를 달리하여 항주하면서 두 선박의 중심점이 정횡으로 나란히 되었을 때 생기는 상호작용에 의하여 각각의 선박이 받는 횡력 및 모멘트

돌하는 것이다.

3의 경우는 선박이 정횡으로 나란히 되기 직전에 생기고 5의 경우는 정횡으로 나란히 된 직후에 생긴다. 그리고 이때 A 및 B선이 평행한 침로를 유지하기 위하여 사용하여야 할 타각의 방향은 서로 정반대이다.

그리고 짧은 시간 동안에 A선은 3과 4위치 사이에서 큰 좌타각으로부터 우타각으로 타각을 바꾸어야 한다. 그러나 이러한 타각교체의 정확한 시간을 알기란 어려운 일이다. 따라서 두 선박은 3과 5위치 사이에서 가장 큰 충돌의 위험을 갖게되며 바다가 거칠거나 바람이 강하면 더욱 위험해진다.

3의 위치에서 충돌이 임박하여지면 A선은 감속을 하고 B선은 증속을 하는 것이 좋고, 5의 위치에서 충돌이 임박하면 B선은 감속을 하는 것이 좋고 A선은 증속을 하는 것이 좋다.

정반대 침로상에서 항과하는 경우에 대하여는 그림 6과 같은 실험자료가 없으나, 이와 비슷한 상호작용이 있을 것은 확실하다. 그러나 이러한 경우는 상호작용이 일어나는 시간이 짧기 때문에 충돌의 위험은 주월의 경우보다 훨씬 적다고 볼 수 있다.

(1) 흡인력 및 반발 모멘트 계산

그림 6의 4의 위치에서 A선과 B선이 받는 흡인력 및 반발 모멘트를 계산하여 보면 다음과 같다. 두 선박의 정횡거리는 50 ft(15m)이고 속력은 공히 10 kt 내외이다.

① A선

㉑ 흡인력

$$\begin{aligned}
 [Y_o / (1/2) \rho v^2 L^2] \times 10^4 &= 3.82 \\
 Y_o(\text{lbs}) &= \frac{3.82 \times \frac{1}{2} \times 2 \times (0.514 \times 3.28 \times 10)^2 \times 740^2}{10^4} \\
 &= 59,457 \text{ lbs} \\
 &= 59,457 \times 0.4535924 = 26,969 \text{ kgw} \\
 &= 26,969 \div 1,000 = 27 \text{ ton}
 \end{aligned}$$

㉒ 반발 모멘트

$$\begin{aligned}
 [N / (1/2) \rho v^2 L^3] \times 10^4 &= 1.57 \\
 N(\text{lb}\cdot\text{ft}) &= \frac{1.57 \times \frac{1}{2} \times 2 \times (0.514 \times 3.28 \times 10)^2 \times 740^3}{10^4} \\
 &= 18,082,926 \text{ lb}\cdot\text{ft} \\
 &= \frac{0.4535924 \times 18,082,926}{3.28} \\
 &= 2,500,694 \text{ kg}\cdot\text{m}
 \end{aligned}$$

$$= 2,501 \text{ ton} \cdot \text{m}$$

㉔ B선

a. 흡인력

$$[Y_o / (1/2)\rho v^2 L^2] \times 10^4 = 8.48$$

$$Y_o (\text{lbs}) = \frac{8.48 \times \frac{1}{2} \times 2 \times (0.514 \times 3.28 \times 10)^2 \times 567^2}{10^4}$$

$$= 77,488 \text{ lbs}$$

$$= 77,488 \times 0.4535924$$

$$= 35,148 \text{ kg} \cdot \text{W} = 35 \text{ ton}$$

b. 반발 모멘트

$$[N / (1/2)\rho v^2 L^2] \times 10^3 = 3.76$$

$$N (\text{lb} \cdot \text{ft}) = \frac{3.76 \times \frac{1}{2} \times 2 \times (0.514 \times 3.28 \times 10)^2 \times 577^2}{10^4}$$

$$= 19,480,984 \text{ lb} \cdot \text{ft}$$

$$= \frac{19,480,984 \times 0.453524}{3.28}$$

$$= 2,694,032 \text{ kg} \cdot \text{m}$$

$$= 2,694 \text{ ton} \cdot \text{m}$$

(2) 대응타각 계산 및 충돌위험 검토

위의 반발 모멘트를 상쇄하기 위한 대응타각을 A선 및 B선에 대하여 구하고 충돌위험을 검토하여 보면 다음과 같다(단, 타면적비는 1/60)

① A선

$$\text{a. 타면적 } (226 \times 9) / 60 = 34 \text{ m}^2$$

b. 타압 모멘트

$$M_t = 2.2 \times \frac{1}{2} \rho A v^2 \sin \theta \cos \theta \times \frac{L}{2}$$

$$= 2.2 \times 0.5 \times \frac{104.6}{1,000} \times 34 \times (0.514 \times 10)^2 \times 0.5 \times 226 \times 0.5 \sin 2\theta$$

$$= 5,840 \sin 2\theta$$

c. 대응 조타각도

$$2,501 = 5,840 \sin 2\theta$$

$$\theta = 12.7^\circ$$

② B선

$$\text{a. 타면적 } (173 \times 9) / 60 = 26 \text{ m}^2$$

㉒. 타압 모멘트

$$M_t = 2.2 \times \frac{1}{2} \rho^2 \sin \theta \cos \theta \times \frac{L}{2}$$

$$M_t = 2.2 \times 0.5 \times \frac{104.6}{1.000} \times 26(0.514 \times 3.28 \times 10)^2$$

$$\times 0.5 \times 173 \times 0.5 \sin 2\theta = 3,418 \sin 2\theta$$

㉓. 대응 조타각도

$$2,694 = 3,418 \sin 2\theta$$

$$\theta = 26^\circ$$

㉔. 충돌위험 및 한계 접근거리

그림 6에 있는 대응 타각과 비교하여 계산에 여러가지 오차가 있어서 생기는 타각오차를 $\pm 5^\circ$ 범위로 생각하더라도 이러한 대응타각은 너무 크고 이 정도 크기의 선박이 15m(현측 사이)의 정횡거리를 두고 병행한다는 것은 충돌의 위험이 너무나 크다. 따라서 적어도 30m 이상의 거리는 있어야 조선이 가능할 것으로 판단된다.

그림 6 및 7을 참고하여 대양상에서 A, B 두 선박이 병행시 충돌을 피하면서 접근할 수 있는 최소의 거리(한계접근거리)를 횡방향 및 종방향으로 구하고, 횡방향은 두 선폭의 배수, 종방향은 두 선체길이의 배수로 표시하면 다음과 같다.

단, 속력은 공히 약 10kt로 하고, 안전하게 접근할 수 있는 거리는 최대 대응타각 5° 를 사용하여 상호작용에 의한 모멘트를 상쇄시킬 수 있는 거리로 하였고 기상 및 해상조건은 공히 3이하인 경우를 가정하였다.

㉕. 종방향거리

그림 6의 대응타각을 보면 5° 의 타각으로 침로제어가 가능한 거리는 $(L_1 + L_2)/2$ 정도 이상의 거리다.

㉖. 횡방향거리

그림 7을 보면 B선에서 모멘트 계수가 1이 되는 정횡거리는 약 165ft 정도이다. 이 때의 대응타각을 계산하여 보면 다음과 같다.

$$N = \frac{\frac{1}{2} \rho v^2 L^3}{10^4} \text{ lb} \cdot \text{ft}$$

$$N = \frac{1}{2} \times 2 \times (0.51 \times 3.28 \times 10)^2 \times 567^3 \times 10^{-4}$$

$$= 5,181,113 \text{ lb} \cdot \text{ft}$$

$$= \frac{5,181,113 \times 0.454}{3.28}$$

$$= 717,142 \text{ kg} \cdot \text{m}$$

$$= 717 \text{ ton} \cdot \text{m}$$

$$\therefore 717 = 3,418 \sin 2\theta \quad \theta = 6^\circ$$

그러므로 정횡거리는 170 ft(52m) 정도로 두면 5°이내의 대응타각으로 침로제어가 가능한 것으로 보인다.

$B_1 + B_2 = 31 + 21 = 52\text{m}$, 그러나 이 거리는 현측과 현측 사이의 거리이므로 두 선박의 중선선간의 횡방향 거리는 $B_1 + (1/2)B_1 + B_2 + (1/2)B_2 = 1.5(B_1 + B_2)$ 의 거리에 해당된다.

③ 한계 접근 거리에 대한 결론(유체역학적인 관점)

횡방향으로 띄워야 할 거리 Y_0 는

$$Y_0 = 1.5(B_1 + B_2)$$

종방향으로 띄워야 할 거리 x_0 는

$$x_0 = (1/2)(L_1 + L_2) \text{이다.}$$

2. 淺水域 航走 船舶間의 相互作用 및 自力操船 限界檢討

英國의 National Maritime Institute에서 행한 천수 항주중인 선박간의 상호작용에 대한 시험결과는 그림 8, 9 및 10과 같다. 이곳에서 행한 시험에서 사용된 모형은 통상 크기의 선박에 대한 모형으로서 이러한 모형에 대한 실선은 통상의 항구에 출입하는 보통 크기의 船舶이다.

Model A는 상당히 날씬한 상선 선체의 모형으로 C_b 는 0.70인데 반하여 Model B는 C_b 가 0.76인 소형 유조선의 모형이다. 모형 A의 길이는 모형 B의 그것보다 약간 짧고 B길이의 84%에 해당되는 것이다.

(1) 그림 8에 대한 說明(병항시)

그림 8은 A선과 B선이 나란히 같은 방향으로 航走하는 경우를 시험한 것이다. 여기서 사용된 주된 無次元 Parameter는 다음과 같다.

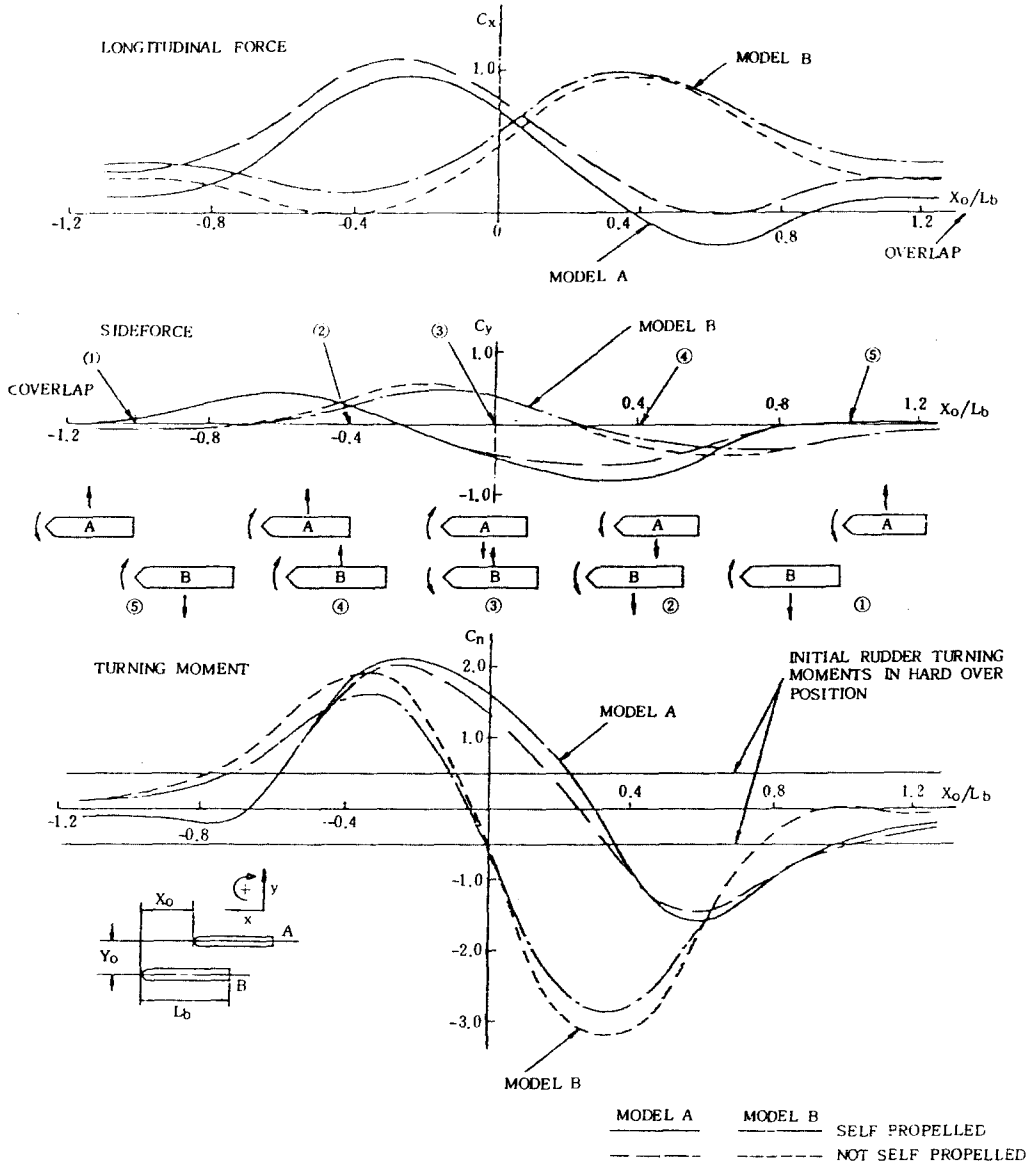
$$\left\{ \begin{array}{l} F_{nk} = v \sqrt{gh} \\ C_x = X / \frac{1}{2} \rho B d v^2 \\ C_y = Y / \frac{1}{2} \rho B d v^2 \\ C_n = N / \frac{1}{2} \rho B d^2 v^2 \end{array} \right. \quad \begin{array}{l} \text{단, } v: \text{선속} \quad g: \text{중력가속도} \quad h: \text{수심} \\ X: x \text{ 방향의 힘} \quad \rho: \text{물의 밀도} \quad B: \text{선폭} \\ Y: y \text{ 방향의 힘} \\ d: \text{흘수} \\ N: \text{연직축 주위의 회두 모멘트} \end{array}$$

처음에 A선이 B선의 우현 선미로부터 접근해서 B선을 향과한 후 B선의 우현 선수를 떠날 때까지 제측한 것이다.

① 종방향 힘

처음에 A선은 앞서가는 B선의 방향으로 끌리고 B선은 뒤따라 오는 A선의 방향으로 받

대로 끌어 당겨진다. A선이 B선보다 약간 앞서게 되면 이번에는 A선은 뒤로 당겨지고, B선은 앞으로 끌리게 된다. 이것은 한 선박이 다른 선박을 가까이 추월하는 것이 얼마나 위험한가를 잘 보여주고 있다. A선이 B선을 추월해서 상호작용 때문에 최대의 저항이 생



Measured interaction forces & moments on models A & B—
 steady velocity=9.1 knots full size; $Y_o/L_B=0.252$;
 water depth/draught model B=1.30

그림 8

겼을 때는 A船의 추진기는 빨라진 흐름속에서 작동하게 되므로, 회전수는 그대로 있는데 물의 유입 입사각이 적어지게 되므로 추진기에서 나오는 추력이 떨어지게 되고 A선은 후방으로 더욱 큰 힘을 받게 되는 것이다.

2. 횡방향힘

선수가 나란히 되었을 때 서로 끌어 당기게 되나 한 船舶의 선수와 다른 선박의 Quarter가 나란히 되었을 때는 앞서 있는 선박이 뒤에 오는 선박을 피해서 멀리 떨어지려고 한다. 횡방향의 힘은 선체 주위에 생기는 압력의 상호 간섭작용이 주된 원인이기 때문에 추진기의 회전상태는 큰 영향을 미치지 않는다고 생각된다.

③ 회두 모멘트

처음 A선이 B선의 선미에 있을 때는 A선은 B선쪽으로, B선은 A선쪽으로 회두한다. 다음에 A선이 B선의 중앙부를 통과하면 A선과 B선은 공히 좌현으로 회두한다. A선과 B선이 나란히 되었을 때 A선과 B선은 서로 외측으로 회두되고 거리가 대단히 가까우면 양선은 서로 선미끼리 충돌하게 될 것이다.

그러나 여기에서 주의할 것은 그림 8의 ①의 위치에서 B선은 Port rudder를 주게 되는데 잠시후 상호작용에 의한 회두 모멘트는 반대로 바뀌어서 이것과 합세할 수 있다는 점이다. 이러한 우려는 Deep sea에서는 타압으로 제어되지만 천수에서는 타압으로 제어할 수 없을 정도로 커지고 위험을 수반하게 된다. 그러므로 해상보급은 가능하면 상호작용이 약하게 생기는 Deep sea에서 행해져야 할 것이다.

(2) 그림 9에 對한 說明

그림 8에서는 선박이 나란히 달릴 때를 생각하였으나 그림 9에서는 A선이 빠른 속력으로 B선과 반대방향에서 B선을 향과할 때 B선에 작용하는 상호작용을 계측한 그림이다.

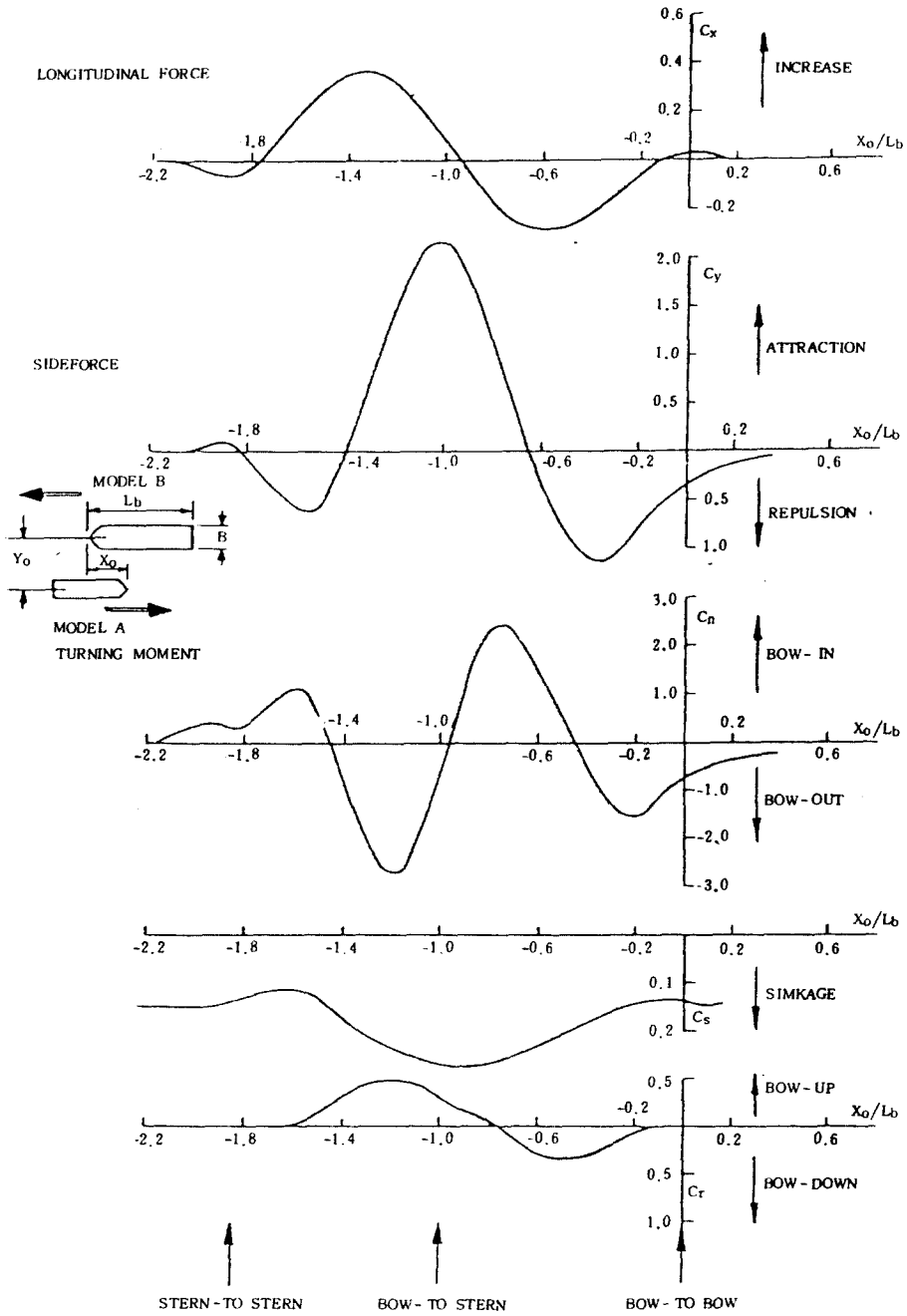
이 경우는 향과의 시간이 대단히 짧으므로 상호작용이 크게 생기지 않는다고 생각된다. 처음 두 선박의 선수가 마주칠 때는 高壓部가 서로 밀게 되므로 침로 외측으로 이탈되는 모멘트가 작용한다.

서로 중간부위가 향과할 때는 상호 흡인되고 선미끼리 향과할 때는 서로의 선미를 멀리하는 작용이 생기게 된다. 그러나 향과하는 시간이 극히 짧으므로 이 때는 큰 천수효과를 발휘할 수 없게 나타난다.

(3) 그림 10에 對한 說明(큰 속력차이로 추월하는 경우)

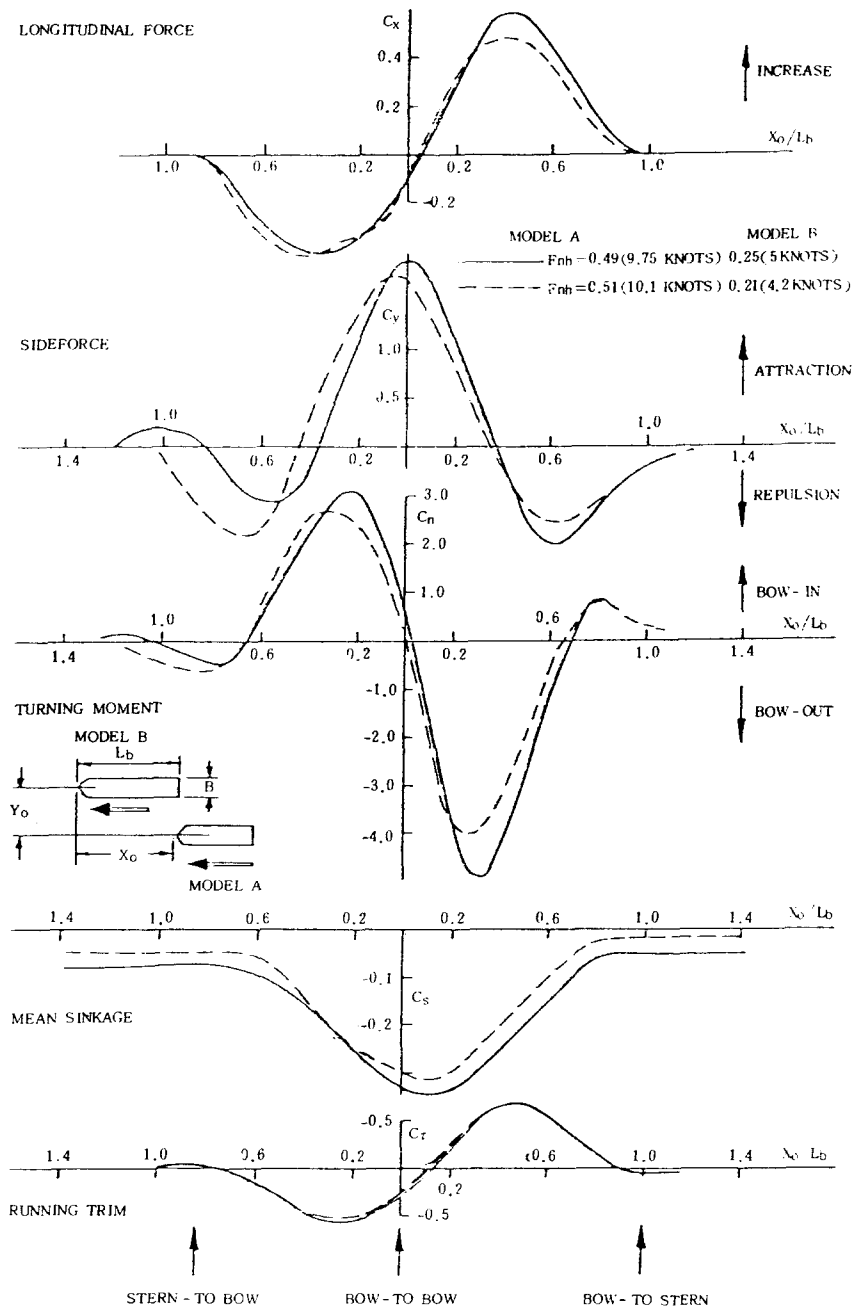
그림 10에 있는 값은 A선과 B선이 같은 방향으로 航走하나 A선이 큰 속력으로 향과할 때 B선이 받는 힘과 모멘트를 계측한 것이다. 그림에서 알 수 있는 바와 같이 이 경우는 상당히 격렬한 회두 모멘트가 생기게 된다.

<표 2>는 힘이나 모멘트 계수를 실제의 힘이나 모멘트로 환산할 수 있도록 특별히 주어진 값들이다.



Interaction in a head-on encounter
 measurements on model B when passed by model A
 F_{nh} (model A=0.459(9knots) depth/draught model B=1.19 $Y_o/B=1.3$
 (model B=0.250(5knots)

그림 9



Interaction in an overtaking encounter
 Effect of relative velocity
 depth/draught model B=1.19; $Y_0/B=1.3$

그림 10

<표 2> 힘 및 모멘트 계수를 차원이 있는 힘이나 모멘트로 계산할 수 있도록 주어진 값

Model	Ship Length (m)	$C_r=0.5$			$C_s=1.0$			$C_n=3.0$		
		Force-Tonnes			Force-Tonnes			Moment-Tonnes-Metres		
		6 knots	8 knots	10 knots	6 knots	8 knots	10 knots	6 knots	8 knots	10 knots
A	140.2	35	62	97	70	124	194	4180	7429	11610
B	167.2	48	85	133	96	170	266	6129	10892	10723
C	30.5	—	—	—	11.4	20.3	31.7	269	478	747
D	30.5	—	—	—	10.6	18.7	29.3	281	500	781
Small Tanker	167.2	—	—	—	96	170	266	6129	10892	10723

Ranges of Coefficients: To give an indication of the forces, moments and speeds in dimensional quantities some typical values are given in the tables above where water density of 1025 kg/m³ has been assumed.

(4) 淺水域에서의 自力操船限界에 對한 數值計算

자력조선헌제에 대하여는 상호작용에 의하여 발생한 횡방향 흡인력 및 반발 모멘트를 自力으로 제어할 수 있느냐 없느냐가 決定的 기준이 될 것이나 횡방향 흡인력에 의한 선체의 이동은 극히 미소한 것이니 결국 반발 모멘트를 自力操船에 의하여 제어할 수 있느냐 없느냐에 따라서 自力操船의 한계는 決定될 것이다. 이때 使用舵角의 범위는 그때 그때의 사정에 따라서 5°~15° 정도 以下가 되어야 한다.

① 최대 회두 모멘트 制御可能性에 對한 檢討

우선 다음을 가정한다.

$$L/B \approx 7, \text{ 타면적} \approx L \times d/65, B/d \approx 2.5$$

$$\text{Deep sea 에서의 타압 모멘트} \approx 2.2 \times \frac{1}{2} \rho \frac{L \times d}{65} v^2 \sin \theta \cos \theta \times \frac{1}{2} L$$

$$\text{Shallow water 에서의 타압 모멘트} \approx 1.6 \times (\text{Deep sea 에서의 타압 모멘트})$$

$$\text{그림 8, 9 및 10 에서 } C_N = N / \frac{1}{2} \rho B d^2 v^2 \text{ 이므로}$$

$$C_N \times \frac{1}{2} \rho B d^2 v^2 = 1.6 \times 2.2 \times \frac{1}{2} \rho \frac{7}{65} B d v^2 \times \sin \theta \cos \theta \times \frac{1}{2} (7 \times 2.5 d)$$

$$C_N = 1.6 \times 2.2 \times \frac{7}{65} \sin \theta \cos \theta \times \frac{1}{2} \times 7 \times 2.5 \approx 1.7 \sin 2\theta$$

$$C_N \approx 1.7 \sin 2\theta \dots \dots \dots (1)$$

가 된다. 안전을 확실하게 하기 위하여 사용타각을 5° 정도라고 하면 式(1)에서 $\theta \leq 5^\circ$ 가 計算되면 自力操船이 가능하다고 判定할 수 있다. 그러므로 그림 8, 9, 10에 對한 判別式은

다음과 같다.

$$\left. \begin{aligned} 3 &= 1.7 \sin 2\theta \text{ (그림 8로부터)} \\ 2.7 &= 1.7 \sin 2\theta \text{ (그림 9로부터)} \\ 5 &= 1.7 \sin 2\theta \text{ (그림 10으로부터)} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(2)$$

式(2)로부터 $\theta \leq 5^\circ$ 가 算出되어야 自力操船이 可能하나, 모든 경우 θ 의 값이 없으므로 自力操船이 不可能하다,

② 修正된 橫方向距離에 對한 對應操舵角計算

그림 7을 보면 두 선박간의 횡방향 거리가 2배로 증가하면 흡인력은 약 40% 감소되고, 거리가 3배로 증가하면, 흡인력은 약 60% 감소되며, 4배로 증가하면 70% 감소된다.

이것은 deep sea에서 그렇다는 것이고 淺水가 되면 減少率은 더욱 커진다고 보는것이 옳다. 淺水에서의 감소율은 다음과 같이 가정할 수 있을 것이다.

$$\text{淺水減少率} = 1 - \left[1 - \text{深海減少率} \times \frac{1}{(\text{거리배수})^{\frac{2}{3}}} \right] \dots\dots\dots(3)$$

$$\therefore F_2 = F_1 \times \text{감소율} \times \frac{1}{(\text{거리배수})^{\frac{2}{3}}}$$

그러므로 정횡거리에 따른 천수에서의 흡인력 및 모멘트의 감소율은 다음과 같다.

$$\left\{ \begin{aligned} \text{횡거리를 2배로 할 때의 감소율} &: 62\% \\ \text{횡거리를 3배로 할 때의 감소율} &: 81\% \\ \text{횡거리를 4배로 할 때의 감소율} &: 88\% \end{aligned} \right.$$

그러므로 그림 8, 9, 10에서 A, B 船間의 횡방향 거리를 4배로 증가시켰을 때의 대응타각 계산식은 다음과 같다.

$$\left. \begin{aligned} 3 \times (1 - 0.88) &= 1.7 \sin 2\theta \text{ (그림 8 정횡거리 } 7B) \\ 2.7 \times (1 - 0.88) &= 1.7 \sin 2\theta \text{ (그림 9 정횡거리 } 5.2B) \\ 5 \times (1 - 0.88) &= 1.7 \sin 2\theta \text{ (그림 10 정횡거리 } 5.2B) \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(4)$$

(단, B는 B船의 선폭)

(4)式에서 계산된 舵角은,

$$\left\{ \begin{aligned} \theta_1 &= 6.1^\circ \text{ (그림 8)} \\ \theta_2 &= 5.5^\circ \text{ (그림 9)} \\ \theta_3 &= 10.3^\circ \text{ (그림 10)} \end{aligned} \right.$$

와 같이 된다. 여기서 유의할 사항은 추월의 경우는 정횡거리가 5.2B이상 이 되더라도 대응타각이 10.3° 정도로 크게 된다는 사실이다.

③ 縱方向距離와 對應舵角

종방향으로는 대응타각이 5° 정도가 되려면 다음의 式이 성립되어야 할 것이다.

$$\left. \begin{aligned} C_N &= 1.7 \sin 2\theta \\ C_N &= 1.7 \sin 10^\circ \\ C_N &= 0.3 \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(5)$$

(5)式에 의하여 그림 8, 9, 10에서 $C_N=0.3$ 의 거리를 찾아 보면 대략,

$$\left. \begin{aligned} X_{O_1} &= 1.2 L_B (\text{그림 8}) \\ X_{O_2} &= 2.0 L_B (\text{그림 9}) \\ X_{O_3} &= 1.0 L_B (\text{그림 10}) \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(6)$$

정도이다.

그러므로 A 및 B船의 크기가 대략 비슷하다고 보고 A船의 길이와 폭을 L_1, B_1 , B船의 그것들을 L_2, B_2 라고 하면 10 knot 내외의 속력을 갖이면서, 5° 내외의 對應舵角으로 상호작용에 의한 회두 모멘트를 상쇄시킬 수 있는 거리는,

$$\left. \begin{aligned} y_o &= 3(B_1 + B_2) \\ x_o &= L_1 + L_2 \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(7)$$

이상이 되어야 할 것이라는 것을 알 수 있다.

Ⅵ. 結 論

1. Deep sea 에서 船舶間の 相互作用을 효과적으로 自力으로 制御하고 安全하게 操船하기 위한 限界接近距離는 통상의 속력에서,

$$\left. \begin{aligned} y_o &= \frac{1}{2} (L_1 + L_2) \\ x_o &= 1.5 (B_1 + B_2) \end{aligned} \right\} \text{정도이다.}$$

2. Shallow water 에서 船舶間の 相互作用을 효과적으로 自力 判卸하고 安全하게 操船하기 위한 限界接近距離는 10 knot 내외의 속력에서,

$$\left. \begin{aligned} x_o &= L_1 + L_2 \\ y_o &= 3(B_1 + B_2) \end{aligned} \right\} \text{정도이다.}$$

3. 相互作用이 유발하는 회두 Moment 는 反航의 경우 보다 추월의 경우가 강하게 나타나므로 Overtaking 時는 操船에 特別히 유의하여야 한다.