

平坦氷에서 船舶의 模擬實驗에 關한 研究

朴 命 圭* · 高 尙 龍**

A Study on the Simulation of the Ship in Level Ice

Myung-Kyu Park* · Sang-Yong Ko**

〈 목 차 〉

Abstract

1. 서 론

2. 쇄빙현상과 상사

3. 계 산

4. 결 언

참고문헌

Abstract

A theoretical scaling was made in order to acquire the ice resistance of ships in level ice.

Ice resistance of ice-breaker Ermak was calculated by Kashteljan equation and it's model test results were compared with full-scale measurements.

Atkins's ice number and Norman Jones's dimensionless numbers were investigated and discussed.

1. 서 론

평탄빙에서의 선박 저항을 해석적으로 구하는 것은 곤란 하기 때문에 선박 또는 모형 실험에 의존 하고 있다. simulation을 할 때 실험실 조건에서 실제빙을 모의 할수 있는 재료 선정이 곤란 하다.

simulation에서 모든 물리적인 량을 만족시키는 상사조건을 도출하는 경우, 일반적으로 그 현상에 관여한 모든 물리량의 차원해석 이든가 또는 그 현상을 표시하는 관계식에 입각한 방법이 채용된다. 현재 평탄빙에서의 선박의 운동을 충분히 엄밀하게 표현한 식은 아직 확립되어 있

지 않음으로 simulation조건을 도출함에 있어 차원해석과 연결짓는 방법을 사용하는 것이 적당하다.

즉, 하나의 현상을 특정짓는 량이 별개의 현상을 특정 짓는 량에 일정한 곱수를 곱하는 방법에 의하여 얻어지면 양쪽현상은 서로 상사하다고 할 수 있다.

2. 쇄빙현상과 상사

이 상사는 기하학적 상사, 운동학적 상사및 동력학적 상사가 성립할 때 얻어진다.

[1]기하학적 상사 : 선박과 상사한 모형에서 선형 치수는 비례한다.

* 정희원, 한국해양대학교 조선공학과 교수

** 울산대학교 조선 및 해양공학과 교수

$$\frac{L_s}{L_M} = \lambda \quad (1)$$

(2) 운동학적 상사 : 선박과 모형의 상사점에서의 속도는 비례한다.

$$\frac{V_s}{V_M} = K_v \quad (2)$$

(3) 동력학적 상사 : 선박과 모형에서 요소에 작용하는 힘이 비례관계에 있다.

$$\frac{Q_s}{Q_M} = K_k \quad (3)$$

여기서 L_s, V_s, Q_s : 각각 선박의 선형치수, 속도 및 힘.

L_M, V_M, Q_M : 각각 모형의 선형치수, 속도 및 힘.

λ, K_v, K_k : 각각 기하학적, 운동학적 및 동력학적 상사 계수(상사율)

대응하는 작용력에 대하여 그의 상사조건을 나타낼수 있다. 이것은 부분 상사조건이라 한다. 전체로서 부분 상사가 성립하는 경우 완전한 동역학적 상사가 성립한다. 평탄빙에서의 선박운동에 수반되는 모든 과정에서 여러가지 성질의 힘, 즉 중력(중량에 의한 힘), 관성력, 탄성 및 마찰력이 작용한다. 완전한 동역학적 상사조건을 확립하기 위하여 먼저 개개의 짝힘의 simulation 조건에 관하여 검토하고, 이들을 종합하여 simulation 문제를 검토하여 본다.

먼저 중량적 성질의 힘 및 관성력의 상사조건에 관한 문제를 해석한다. 임의로 선정되어 체적에 의존하지 않는 이들의 힘의 정량적 특성은 비중 γ 또는 밀도 $\rho = \gamma / g$ 이다.

여기서 g 는 중력의 가속도이다.

평탄빙에서 선박이 운동을 할때 생기는 모든 저항성분 중에서 중량적 성질의 힘에 상당하는 것은 깨진 빙의 눌러 가라 앉힘, 회전 또는 흡수

변화에 관련한 저항력이다.

중력이 존재 하는 경우의 상사조건은 다음 등식이 만족한다.

$$\frac{V_s}{\sqrt{gL_s}} = \frac{V_M}{\sqrt{gL_M}} \quad (4)$$

식(4)는 Froude의 조건이라고 한다. 이 조건식의 물리적 의미는 실선과 모형에서 서로 대응하는 점에서의 관성력과 중력과의 비가 일정한데 있다.

선박과 모형에서 각각 대응하는 점에서의 비중량이 같다면 선박의 배수량 Δ_s 와 모형의 배수량 Δ_M 의 비는 λ^3 이 된다.

즉

$$\frac{\Delta_s}{\Delta_M} = \frac{\gamma_s V_s}{\gamma_M V_M} = \frac{\gamma_s}{\gamma_M} \lambda^3 = \lambda^3$$

$;\ \gamma_s = \gamma_M$

여기서 V_s, V_M : 선박과 모형의 배수용적
 γ_s, γ_M : 실제빙과 모형빙의 비중량

$\gamma_s = \gamma_M$ 인때 선박의 관성력 F_s 와 모형의 관성력 F_M 와의 비가 λ^3 이기 때문에 선박의 가속도 a_s 와 모형의 가속도 a_M 를 같게할 필요가 있다.

즉

$$\frac{F_s}{F_M} = \frac{m_s a_s}{m_a a_M} = \frac{a_s}{a_M} \lambda^3 = \lambda^3 \quad ; a_s = a_M$$

여기서 m_s, m_M : 선박과 모형의 질량

위의 가속도 등식에서 다음의 시간 축척이 얻어진다.

$$\frac{T_s}{V_M} = \frac{\sqrt{L_s}}{\sqrt{L_M}} = \sqrt{\lambda}$$

여기서 T_s 와 T_M : 선박과 모형의 시간

또 전진운동 속도비는 다음과 같이 얻어진다.

$$\frac{V_s}{V_M} = \frac{L_s T_M}{L_M T_s} = \lambda \frac{1}{\sqrt{\lambda}} = \sqrt{\lambda} \quad (5)$$

따라서, 선박과 모형에서 각각 대응하는 점에서의 속도의 비가 $\sqrt{\lambda}$ 로 관련 지어진다. 관성력의 비는 λ^3 이된다. 이경우 중력의 가속도 g 가 선박과 모형에서 같으므로 Froude수가 같아지는 조건은 자동으로 만족한다. 이상과 같이 선박과 모형에서 밀도가 같고 또 운동학적 상사조건이 성립하면 관성력 및 중력적 성질의 힘의 비는 λ^3 이 된다.

평탄빙에서 쇄빙선이 운동하는 경우 추력동력의 일부는 쇄빙에 소비된다.

탄성-소성재 로서의 빙변형의 일반적인 경우 내부 저항력(회복력)의 역할을 하는 것은 탄성력과 점성력(내부 마찰의 힘)이다. 빙이 절대적 탄성체라고 가정하고, 필요한 상사 조건을 도출하기 위하여 먼저 물체의 동력학적 평형 방정식을 쓴다.

여기에서 임의의 축 상에의 힘의 투영에 관한 방정식은 다음과 같다.

$$X = \frac{\partial \sigma_x}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{xz}}{\partial z} - \rho \frac{\partial^2 U_x}{\partial t^2} \quad (6)$$

여기서

$\sigma_x, \tau_{xy}, \tau_{xz}$ - 각각 임의의 축상에의 응력의 투영(량)

u_x - 임의의 축상에의 변위량의 투영량

X - 임의의 축상에의 체적력의 투영량

ρ - 빙의 밀도

식(6)의 각항은 각각 다음과 같은 형의 식으로 표시될 수 있다.

$$\frac{\sigma}{L} ; \sigma \frac{L}{T^2} \text{ 및 } \frac{Q}{L^3} \quad (7)$$

여기서 Q / L^3 를 처음 2개의 복합체로 나누면

다음의 상사 조건이 얻어진다.

$$\frac{Q}{\rho L^2} \text{ 및 } \frac{QT^2}{\rho L^4} = \frac{Q}{\rho V^2 L^2} \quad (8)$$

윗식에서 최후의 조건은 동력학적 성질의 힘을 표시하는 일반식이다.

탄성력이 회복력 이라면 다른 2개의 상사조건은 Hook 법칙에 따라 다음식을 얻는다.

$$\sigma_x = \frac{E}{2(1+\mu)} \left[u_{xx} + \frac{\mu}{1-2\mu} \theta \right] \quad (9)$$

여기서 $\theta = u_{xx} + u_{yy} + u_{zz}$: 체적 상대 변형
 u_{xx}, u_{yy}, u_{zz} : 각각 해당 하는 축 방향에서의 선형(상대)변형
 μ : Poisson 비

상사 조건으로서 이경우에는 2가지 무차원량을 얻을수 있다. 즉

$$\mu \text{ 및 } \frac{Q}{EL^2} \quad (10)$$

식(8)과 식(10)에서 다음의 관계가 얻어진다.

$$Cn = \rho \frac{V^2}{E} \quad (11)$$

이 Cauchy 조건은 등방향 탄성체에서 동력학적 현상을 특징짓는 것으로, 또 물리적 관점에서선박 모형으로 각각 대응하는 점에서의 동력학적 성질의 힘과 탄성 회복력과의 비가 일정한 것을 표시한다. 이상과 같은 탄성력 작용의 동력학적 현상의 simulation에는 다음 3가지의 무차원 비를 상사의 기준으로 채용하는 것이 필요하다.

$$\mu = \rho \frac{V^2}{E} ; \frac{Q}{EL^2} \quad (12)$$

앞서 언급한 바와 같이 비중량 $\gamma = \rho g$ 에 비례하는 체적력이 동력학적 성질의 힘 대신으로 작용하면 상사 조건은 다음과 같이 된다.

$$\mu ; \gamma \frac{L}{E} ; \frac{Q}{EL^2} \quad (13)$$

인자 $\gamma L / E$ 는 선박과 모형에서 각각 대응하는 점에서의 중량적 성질의 힘과 탄성력과의 비가 일정한 것을 표시한다.

식(9)에서 다음을 알수 있다. 만일 실제빙과 이것을 실험실 조건에서의 모의 빙 재료에서 Poisson비가 같고 ($\mu_s = \mu_M$), 또 탄성 모형비가 $E_s / E_M = \lambda$ 라면 선박과 모형과의 각각 대응하는 점에서의 탄성력은 기하학적 상사가

성립하는 조건으로 λ^3 으로 관계 된다. 이경우 선박의 응력과 모형의 응력과의 비도, 식(9)에서 알수 있는 바와 같이 λ 가 된다. 평탄빙에서 쇄빙선이 운동할때 빙판의 파괴가 일어 나는데, 이과정을 simulation 함에 있어 실제빙과 모의빙과의 한계 강도비를 알 필요가 있다.

이것은 분명히 응력비에 대한 경우와 같이 다음과 같게 된다.

$$\frac{(\sigma_u)_S}{(\sigma_u)_M} = \lambda \quad (14)$$

여기서 $(\sigma_u)_s$, $(\sigma_u)_M$: 실제빙과 모의빙의 한계 강도

이상과 같이 선박과 모형에서 재료및 운동 속도에 관하여 Froude 및 Cauchy의 상사조건에서 도출되는 필요 조건은 서로 일치한다. 이것에서 중력적 성질의 힘, 관성력 및 탄성력을 함께 simulation할 수 있다고 결론 지을수 있다.

이상에서 검토한 여러힘 이외에 평탄빙에서 쇄빙선이 운동할때, 이른바 (건조)마찰이나 수력학적 마찰이라는 마찰력이 생긴다.

건조 마찰력의 크기는 속도에 의존하지 않고, 대응하는 접촉압력에 비례한다.

건조 마찰은 선체와 빙 또는 빙 상호간의 상호 작용(미끄럼)을 할때 생긴다.

물의 점성에 의하여 생기는 수력학적 마찰력은 운동속도에 의존한다.

이것은 선체및 빙편면에 따라 물이 흐를때 또는 빙편을 눌러 쪼개거나, 눌러 가라 앉히든가, 회전시킬때 나타난다. 빙의 건조 마찰은 외부 마찰력의 범주에 해당하고 Froude 상사 조건을 따르는 과정의 simulation을 할 경우 선박과 모형과의 건조마찰력의 마찰계수는 다음과 같이 동일하여야 한다.

$$(C_F)_s = (C_F)_M \quad (15)$$

여기서 $(C_F)_s$, $(C_F)_M$: 선박과 모형의 마찰계수

수력학적(또는 액체)마찰은 내부 마찰력의 범주에 상당한다.

이경우 액체(물)의 내부에서 그의 층간에 미끄럼이 생긴다. 이 마찰력은 액체의 점성및 운동 속도에 의존한다.

이것은 관성력과 마찰력과의 비에 비례하는 값으로 표시되는 Reynolds수 Re에 따라 simulation 된다.

$$Re = \frac{VL}{\nu}$$

여기서 ν : 동점성 계수

Froude 의 상사 조건과 Reynolds의 상사 조건에 따르는 모든 힘을 동시에 simulation 하는것은 곤란하다. 따라서 실제 simulation을 하기 위하여는 빙중 선박의 운동과정에서 건조마찰및 수력학적 마찰력은 어떠한 역할을 하는가? 또 이중 어떤 것이 simulation시 중대한 오차를 발생 시키는가를 평가 하여야 한다.

이상과 같이 선체와 빙, 또 빙과빙의 상호 작용을 할때 생기는 접촉 마찰력의 대부분은 Froude의 상사조건에 따라 simulation되는 힘의 범주에 포함 시킬수있다. Froude 조건에 따른 simu-

lation과 공존하지 않는 마찰력에는 선체의 점성 저항력 및 빙편과 물과의 마찰력이 포함된다. 순빙저항 Rip 가 문제 되는 경우, 선체의 점성저항을 무시할수 있으며, 빙편의 점성 저항과 형태의 저항(타저항)으로 성립한다.

앞의 점성저항은 Reynolds 상사 조건만에 의하여 simulation할수 있다. 뒤의 타저항의 성분은 액체의 점성의 영향을 받아서 일어나는 압력의 재분배 결과로서 생기는 수력학적 압력 성분의 일부이다. 긴 연장선을 갖는 유선체를 대상으로 하는 경우 이성분은 Froude의 상사 조건에 따른다. 이른바 잉여 저항을 갖는 실선에 환산된다. 그러나 빙편은 유선성(流線性)이 나쁜 물체에 해당된다. 이 전위속도는 비교적 크지 않기 때문에 저항계수는 Reynolds수 Re에 의존한다. 따라서 빙편의 모양에 의한 저항을 특징 짓는 힘은 Froude의 조건에 따라서는 simulation이 안된다. 평탄빙에서 선박이 운동을 할때 기타의 힘에 해당하는 것은 빙편을 눌러서 쪼개는 것과 관련한 힘 및 액체의 법선압력에 동반 하는 힘이다.

개개의 빙편의 운동을 액체의 흐름속에서의 부유 입자의 운동이라고 생각하면 그의 운동 방정식은 다음과 같이 표시된다.

$$P \frac{\partial V}{\partial t} = P + P_1 + P_2 + P_3 \quad (16)$$

- 여기서 P : Archimedes의 힘(부력)을 뺀 중량힘
- P₁ : 빙편과 흐름과의 속도차에 비례하는 저항력
- P₂ : 순환운동의 발생(빙편면을 흐를 때)에 의하여 빙편에 작용하는 측면력(양력)
- P₃ : 흐름속에서 압력장 측면에서 빙편에 작용하는 힘

해석결과에 의하면 P, P₂ 및 P₃는 Froude의 상사 조건에 따라 simulation된다. 이와같이 빙편을 눌러 깨는 것과 관련하여 또 법선압력에 의하여 조건이 붙은 힘은 Froude조건에 따라서 simu-

lation할수 있다.

이상에서의 해석에 기초하여 평탄빙에서의 선박운동의 simulation에 관하여 다음과 같이 일반적인 결론을 내릴 수 있다. 다음의 각 등식이 성립 할때 기하학적 및 운동론적 상사조건이 지켜지고 또 실선과 모형과의 중량적 성질의 힘과 관성력과의 비는 λ³ 이 된다. 먼저, 식(1), 식(5) 등에서,

$$\frac{L_s}{L_M} = \lambda, \quad \frac{V_s}{V_M} = \sqrt{\lambda}, \quad \gamma_s = \gamma_M \quad (17)$$

이경우 자동적으로 Froude의 상사 조건이 만족한다. 등식(17)이외에 만일 실제빙과 모의빙에 대한 보조적인 조건(식(14))

$$\frac{h}{h_M} = \frac{E_s}{E_M} = \frac{(\sigma_u)_s}{(\sigma_u)_M} = \lambda \quad \text{및} \quad \mu_s = \mu_M \quad (18)$$

- 여기서 h_s, h_M : 실제빙과 모의빙의 두께
- E_s, E_M : 실제빙과 모의빙의 탄성률

이 만족되면 실 쇄빙선 및 그 모형선에 의하여 빙을 파괴할때의 탄성력도 또 Froude의 조건에 따라 simulation된다. 그 경우에는 Cauchy 조건을 만족시킨다.

조건(17) 및 (18)의 성립은 평면상에서의 빙편의 기하학적 상사(빙편의 형상, 균열상태, 기타)의 성립에 관계한다. 빙과 강(선체) 또는 빙과 물과의 건조마찰의 힘은 조건 (15) 즉 (C_F)_s = (C_F)_M 이 성립 할때 Froude 조건에 의하여 simulation된다.

이상과 같이 운동속도에 의존 하지 않는 저항 성분(직접저항)을 Froude 조건에 기초하여 simulation 할수 있다. 그러나 여기서 액체의 점성에 관하여, 속도에 관계있는 저항성분에 포함되는 힘은 simulation되지 않는다. 순빙저항을 검토하는 경우 이들 모든 저항 중에서 남는것은 빙과 물과의 마찰에 관계하는 힘뿐이다.

식(18)이 성립할때 선박과 모형의 직접 저항은 다음과 같이 된다.

$$\frac{(R_{pr})_s}{(R_{pr})_M} = \lambda^3 \quad (19)$$

여기서 $(R_{pr})_s$, $(R_{pr})_M$: 평탄빙 중에서 운동하는 쇄빙선 및 그 모형의 직접저항

식(19)는 다음과 같이 생각 할수있다.

$$\begin{aligned} \frac{(R_{pr})_s}{\Delta_s} &= \frac{(R_{pr})_M}{\Delta_M} \quad \text{또는} \\ (R_{pr})_s &= (R_{pr})_M \frac{\Delta_s}{\Delta_M} \end{aligned} \quad (20)$$

여기서 Δ_s , Δ_M : 실선과 모형의 배수량

식(19)와 식(20)에 의하여 모형에서 실선으로 환산한 결과는 수조에서의 시험조건에 대응하는 표준적인 빙해 조건에서의 선박의 내빙성을 특징짓는 것이다.

이와같은 표준적인 조건이란 파피도, 기복도(起伏度) 및 재설도(載雪度)가 각각 영인 평탄빙을 말한다.

Froude의 상사조건에 따라 실선에의 환산을 하는 모형의 저항성분(직접저항)은 운동속도에 의존하지 않으므로 평탄빙에서의 선박 운동의 그 각각의 저항 성분을 독립시켜 산정하는 방법을 간단히 할수 있다.

3. 계 산

(i) Fig.1은 빙두께 $h = 40\text{cm}$, 빙강도 $\sigma_p = 10\text{kg/cm}^2$ 인 평탄빙에서 속도 1 - 10knot로 운동하는 경우의 쇄빙선 Ermak의 저항을 얻기 위하여 축척 50:1 모형과 시험용 모의빙의 두께 및 강도를 각 선급협회(ABS, DNV, LR, KR, NK 등)의 Navigation in Ice의 고유경험치와 계산에 의한 실험치로 규정된 사항을 참조하여 식(18)에 의하여 아래와 같이 정하여

$$\begin{aligned} h_M &= \frac{h_s}{\lambda} = 0.8\text{cm} \\ (\rho u)_M &= \frac{(\rho u)_s}{\lambda} = 0.2\text{kg/cm}^2 \end{aligned}$$

모형 시험결과를 예인 곡선 $(Ri)_M = f(v)$ 의 형태로 표시한 것이다.

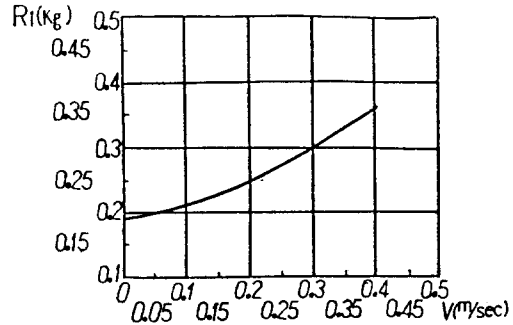


Fig. 1 Resistance curve of Ermak model tests in level ice

한편 Fig.1 에서 모형의 직접 저항은 다음과 같고,

$$(R_{pr})_M = 0.19\text{kg}$$

쇄빙선 Ermak 의 직접 저항을 다음과 같이 구한다.

$$\begin{aligned} (R_{pr})_s &= (R_{pr})_M \lambda^3 = 0.19 \times 125,000 \\ &= 24 \text{ ton} \end{aligned}$$

Fig.2에서 나타낸 그래프의 경우는 각각의 쇄빙선종들과 특히 쇄빙선 Ermak 의 운동에 대한 물의 저항에 기인된 값들을 평가하여 제시한 것이다.

Kashteljan의 변형식 $R = 0.25B^{1.65}hv(1/\eta_2)$ 에 의하여 저항 R 과 속도 저항은 $R + R_w$ 로 산출한다.(Table. 1)

쇄빙선 Ermak 전저항을 직접 저항과 속도 저항의 합으로 산출한다.(Table. 2)

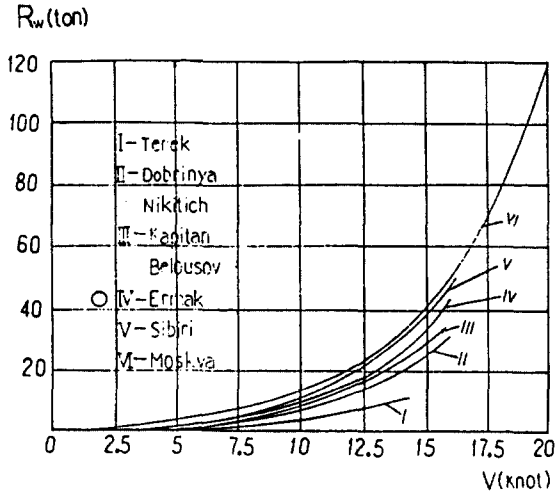


Fig. 2 Resistance curves for full scale measurements of icebreakers

쇄빙선 Ermak 의 저항 계산 결과를 Fig.3에 표시하고, 또 여기에 1941년 선박시험에서 얻어진 두께 42cm의 평탄빙에서의 쇄빙선의 저항곡선을 파선으로 표시 하였다.

계산 결과는 실선 시험 결과를 만족할 만큼 근사함을 알수있다.

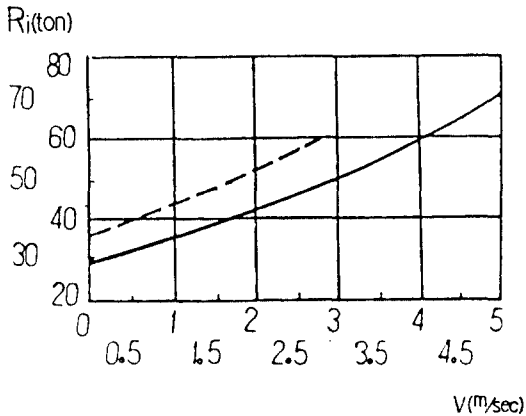


Fig. 3 Comparison of full scale measurements and its calculation results.

Table. 1 쇄빙선 Ermak의 속도에 따르는 저항 성분

V (m/sec)	R(t)	R _w (t)	R _{mv} =R+R _w (t)
1	6.8	0.9	7.7
2	13.5	2.3	15.8
3	20.3	5.5	25.8
4	27.1	10.5	37.6
5	33.9	16.6	50.5

Table. 2 쇄빙선 Ermak의 전 빙저항

V (m/sec)	R _{pr} (t)	R _{mv} (t)	R _t =R _{pr} +R _{mv} (t)
1	24	7.7	31.7
2	24	15.8	39.8
3	24	25.8	49.8
4	24	37.6	61.6
5	24	50.5	74.5

여기서 R : 파괴된 빙편을 눌러 쪼개는데 필요한 저항

B : 쇄빙선의 선폭

η_2 : 선체 선도형상을 특징짓는 계수 (Ermak = 3.35)

R_t : 평탄빙 중에서의 선박의 전 빙저항 (R_{pr} + R_{mv})

R_w : 선박 운동에 대한 물의 저항

R_{mv} : 평탄빙 중에서 운동하는 쇄빙선의 운동에 의한 저항

$$(R_{mv} = R + R_w)$$

(ii) screw의 최대 추력을 80ton, 빙강도를 10kg/cm², 1/50의 모형으로 하면 모형시험용 모의 빙강도 및 추력은 다음과 같고,

$$(\mu_u)_M = \frac{(\rho_u)_s}{\lambda} = \frac{10}{50} = 0.2 \text{ kg/cm}^2$$

$$(P_e)_M = \frac{(P_e)_s}{\lambda^3} = \frac{80,000}{125,000} = 0.64 \text{ kg}$$

여기서 (P_e)_s, (P_e)_M : 실선과 모형의 screw 최대 추력

수조 시험을 한 결과, 쇄빙선 Ermak가 돌파한 한계 빙두께는 1.52cm가 되었다 한다.

식(18)을 써서, 쇄빙선 Ermak에 대한 $(h_{pr})_s$ 를 다음과 같이 구한다.

$$(h_{pr})_s = (h_{pr})_M \cdot \lambda = 1.52 \text{ cm} \times 50 \\ = 76 \text{ cm}$$

여기서 $(h_{pr})_s$, $(h_{pr})_M$: 실선과 모형이 돌파한 한계두께

실선 시험 자료는 쇄빙선 Ermak가 돌파한 평탄빙의 한계 두께는 약 80cm이고, 이것은 계산 정도를 만족 한다는 것을 의미한다.

4. 결 언

일반적으로 Froude수, Reynolds수, Cauchy수를 동시에 만족시키는 것은 불가능 하다. 현재 쇄빙현상을 여러 가지 무차원수를 인용하여 축척 작업을 이론적으로 해석하고 있다. 그러나 Atkins의 ice number $In = Cn^2(EL/R)^{1/2}$ 은 빙 내부에 존재하는 무수한 기포 및 brine cell 을 가진 염수빙의 파괴인성을 측정하는 것이 매우 어려워, 아직 문제가 있으며, Norman Jones가 제시하는 여러 가지 무차원수 $Mn = \rho gL(b/EG_c)^{1/2}$, $Kn = (\rho gL/C)(L/V)^{1/n}$ 등과 빙저항을 점저항, 청빙저항 및 쇄빙저항으로 구분하여 축척한 Colbourne의 쇄빙저항 요소에서의 strength number $Sn = V/(\sqrt{\sigma/\rho_i})$ 는 아직 충분하게 검토되지 못하고 있다.

한편 Milano 의 이론적 접근은 획기적인데 가 있다. USCG 의 쇄빙선은 Mackinaw에 관한 각종 추정식에서 Milano곡선과 Kashteljan직선은 3번씩이나 만났다.

여기서 고전적인 Kashteljan의 저항식 등을 이용하여 쇄빙선 Ermak의 저항계산을 하여본 결과 실선 시험결과와 잘 일치하는 것을 알 수 있다.

앞으로 상술한 이론적인 무차원수들에 대한 정확한 보완이 이루어지고, 특정 문제에서의 힘 또

는 현상에 적합한 각종 무차원수를 합리적으로 이용하게 되면 정확한 simulation이 행하여 질 것으로 사료되며, 특히 실선설계시 이산형모의 실험의 기본개념과 응용도 중요하지만 끝으로 극지방 등 빙역개발은 우리미래에 큰 과제로 등장할 날이 오고 있는 가운데 삼성중공업이 미국선사로부터 빙해지역에서도 항해가능한 아프라막스형탱커 2척을 수주하였기에 앞으로 빙중을 항해하는 탱커선, 살물선 등의 건조가 활발할 것으로 예상된다.

참 고 문 헌

1. Kashteljan, V. I., "Ice Resistance to Motion of Ship", Sudostroenic, Leningrad, 1963.
2. Colbourne, D. B. and Lever, J. H., "Development of a Component Scaling System for Ship-Ice Model Tests" Journal of Ship Research, Vol.36, No.1, March 1992, pp.77-87.
3. Jones, N., "A Note on Ice scaling" Journal of Ship Research, Vol. 30. No. 2, June 1986, pp.134-135.
4. Atkins, A. G., "Icebreaking Modeling" Journal of Ship Research Vol.19 No. 1, March 1975, pp.40-43.
5. K. S Choi., "A study of Bow Hull form and Icebreaking Capability of Icebreaking vessels" Korea Research Foundation, 1991, 12. 15
6. Milano, V. R., "Ship Resistance to Continuous Motion in Ice" SNAME Transaction, Vol. 81, 1973. pp.274-306.
7. Michel, B., "Ice Mechanics" Les Presse de l'Universite Lavel Quebec, 1978.
8. S. Y. KO., M. K. PARK., "A study of the prediction of the Bow Form Design for Icebreakers" Journal of the Korean Institute of navigation Vol. 15 No. 3,

September 30, 1991, pp.73-98

9. Tatinclaux, J. C., etal, "Comparative Model Tests in Ice of a Canadian Coast

Guard R-Class Icebreaker" SNAME Transaction, Vol. 97, 1989, pp.31-52.