

甲板浸수가 漁船의 復原성에 미치는 影響 (II)

인하대학교 조선공학과
교수 우 봉 구

3. 동력학적 분석 (Dynamic analysis)

갑판 위의 물의 영향을 동력학적으로 분석하는 연구가 계속되어 왔으며, 이러한 것들 중에 하나가 N. N. Rakhmanin-IMCO Panel on Stability of Fishing Vessels의 전문가중 소련 group의 한 사람-가 쓴 "On the Dynamic Stability of a Ship with Water on Deck"의 제목으로 제출했다.^[10] 이 보고서에서, 갑판 침수로 인한 배의 동력학적 rolling 현상을 분석했고 그런 선체에서의 복원성의 결손에 대한 원인을 기술하였다. Rakhmanin은 갑판침수로 인해 부과된 정적 rolling heeling moment는 오직 heeling angle에 좌우된다고 하였다. 반면 그 계에서의 속도와 가속도의 동력학적 rolling 효과를 고려했다.

Rakhmanin은 각각 다른 갑판 위의 물로 채워진 직사각형 tank를 가진 직사각형 Pontoon을 사용하여 실험을 완성하였다. Pontoon은 충격적인 외부 heeling moment와 관찰된 motion에 의하여 선회한다. 그것은 선체가 한 방향으로 경사짐으로써, 선체가 배수량의 변화에 따른 반대 방향으로 기울어지므로 이 경사진 쪽으로 흐르는 것이라고 알려졌다. 이러한 영향들로 인하여 복원성은 증가했다. Graph는 heeling moment M_i 의 함수로서 최대 heeling angle (θ)과 deck 위의 물의 총량(P) 사이의 관계를 묘사하여 그런 것이다. (Fig. 7)

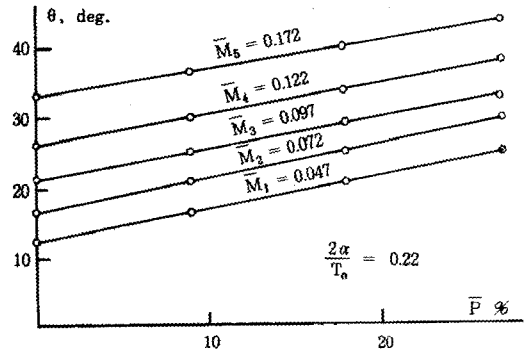


Fig 7. 각각 상이한 heeling moment에 대한 모델의 갑판 위의 물의 총량 대 동력학적 heeling angle⁽¹⁰⁾

그림에서,

a_0 = 갑판침수가 없을 때 model의 CG와 CB 사이의 거리.

T_0 = 갑판침수가 없을 때의 model의 흘수

$\bar{M}_i = 2 M_i / D_0 B$ = 상대 heeling moment

D_0 = 같은 흘수에서의 model 배수량

$\bar{P} = P / D_0$ = 상대적인 갑판침수의 총량

Rakhmanin은 갑판이 침수된 선체에 대한 motion의 방정식을 다음과 같이 나타내었다.

$$I\ddot{\theta} = M_i(t) + M(\dot{\theta}) + M(\theta) + M_{ww} + M_{A1W} + M_{1W} + M_{\eta} + M_R \quad (5)$$

이때

$M_i(t)$ = 외형적인 heeling moment

$M(\theta)$ = 코체로 고려한 갑판 위의 물을 합한 배의 정적 righting moment

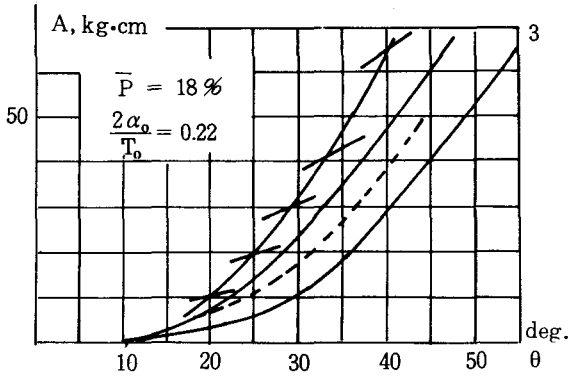


Fig. 8. 일예에 대한 curves¹⁰⁾

1 : 정적 heeling의 경우에 대한 동력학적 복원성의 curve 2 : 실제 동력학적 복원성에 대한 curve 3 : 기울어진 경우에 대한 동력학적 복원성의 curve

- M_{WW} = 갑판 위의 물 무게의 shifting에 의한 정적 heeling moment
- M_{AIW} = 배가 떠 내려갈 때 물의 부가 질량 moment
- M_{IW} = 갑판 위의 물에 대한 moment
- M_{η} = 선체가 기울 때 물의 저항에 의한 측면 유체 동력학적 힘의 moment
- M_R = 선외로 배수되는 물로 인한 반작용 moment

큰 heeling angle에 있어서, 갑판 위의 물의 유체 동력학적 면에서의 소량의 자료에 의해서 계산은 달라질 수 있다. 그러나 작은 angle에서 적당한 값에 근접하도록 하였다. Rakhmanin은 선체의 동력학적 작용에서 효과를 무시하는 M_R 과 M_{η} 를 사용하였다.

외부 moment에 의해서 이루어진 도해는 실험적인 data로부터 얻었다. 각각 다른 heeling angle에서 선체의 kinetic energy를 더함으로써 복원 moment $M(\theta)$, 갑판 위 물의 moment M_w , 그리고 roll 저항 moment $M(\dot{\theta})$ 에 의해서 한 일을 산출할 수 있다.

roll 복원 moment $M(\theta)$ 를 더함으로써, Rakhmanin은 동력학적 복원성 Curve를 이루었다. (Fig. 8). 이러한 실험으로부터 얻은 결론 중 유의해야 할 것은 동력학적 복원성의 감소량은 느린 횡경사보다 빠른 횡경사일 때 더 크게 된다는

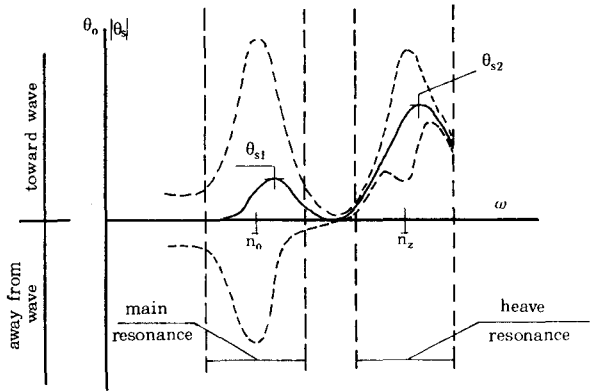


Fig. 9. 낮게 설계된 선체 rolling의 질적으로 구별된 모양의 설명

것이다.

선체 기하학의 영향과 문제점의 동력학적인 유사한 분석이 다음과 같은 제목의 보고서로 나타내었다. "Results of Experimental Investigation of Ship Motions and the Possibility of Capsizing of an Undamped Low-Built Vessel in Regular Waves"¹⁴⁾ 이 보고서에서, 다른 B/d의 model, block 계수, KG, 상부 구조들로 인해서 실험이 이루어졌다고 보고됐다.

질적으로는 roll의 진폭이 최대일 때 roll resonance와 heave resonance의 주파수라 불리는 두 개의 주파수가 관찰되었다. (Fig. 9). 두 개의 rolling은 비대칭적이다. 뒷쪽과 아랫쪽의 curve는 파로 경사지고 다시 파로부터 멀어지는 것을 의미한다. 가운데의 Curve는 정적 가상 heeling angle이다.

이와 같은 실험의 결과로써 다음과 같은 원인으로 인하여 정적 가상 heel이 존재한다는 것을 알 수 있다:

1. "물이 밖으로 흐름으로 인한 자연적인 국부적 변화"¹⁴⁾ deck가 침수할 때 추상적인 인접 해수
2. 갑판 위의 물
3. 선체로 인한 파의 반사

유체 정력학적 그리고 유체 동력학적인 영향을 고려한 갑판 위에 물이 있는 선체에 대한 2차원적 motion 방정식이 제출됐다. 갑판 위의 물과

관계된 현상은 heeling moment 로서 이러한 분석 아래 고려한다. 이 moment 는 다음과 같다 :

1. deck 와 bulwark 의 침수로 인한 유체 동력학적 판성 moment, M_1
2. Roll resisting moment, M_2
3. 갑판 위를 감싼 물의 무게로 인한 moment, M_3
4. 선체로부터의 파의 반사로 인한 moment, M_4

선체에 있어서 M_2 와 M_4 는 서로 상쇄한다고 취급한다. 그러므로,

$$M_i = M_1 + M_3 \quad (6)$$

이 때

$$M_1 = K_1 M_{ZZ} Y_W^2 \ddot{\theta} \quad (7)$$

$$M_3 = P_W K_2 \left[\left(d + \frac{\delta d(\theta)}{2} \right) \sin \theta - Z_W(\theta) \sin \theta - Y_W(\theta) \cos \theta - GZ(\theta) \right] \quad (8)$$

$M_{ZZ} Y_W^2$ 은 bulwark 가 침수할 때 물의 부가질량의 변화이다.

결과적으로 정적 가상 angle 의 증가와 관련된 진동으로서 명확한 rolling motion 의 손실이 있을 때 Capsizing 이 일어난다는 것이 실험에서 입증 되었다.

Rakhmanin 은 갑판의 침수를 분석한 "On the Definition of the Concept of Low-Built Vessel" 의 제목으로 보고서를 제출하였다. 침수에서 적하할 때 반드시 필요한 조건은 배의 좌표계에

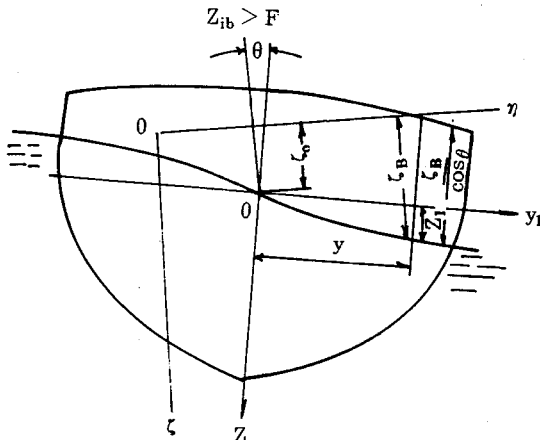


Fig 10. 기호의 설명⁽¹¹⁾

서 규정된 배의 측면에서의 파의 모양에 대한 높이 (Z_{ib}) 와 건현 (F) 이다. (Fig. 10). 항해중 두 가지 경우의 배의 motion 은 heaving 이 없는 공명 rolling 과 rolling 이 없는 공명 heaving 으로써 취급한다. 이러한 경우에 있어서 갑판의 침수 각 θ_{df}^* 는 다음과 같이 표현된다.

$$\theta_{df}^* = t_{an}^{-1} (t_{an} \alpha_{om} - t_{an} \theta_o) \quad (9)$$

$$\theta_{df}^* = t_{an}^{-1} \left(\frac{2 Z_{oi}}{B} + t_{an} \alpha_{om} \right) \quad (10)$$

이 때

Z_{oi} = 최대 heave

α_{om} = 최대 유효파 경사

θ_o = 최대 heel angle

B/d 의 비와 파의 경사의 변화에 대한 θ_{df}^* 를 Table 7 에 수록하였다. 파의 경사에 대하여, θ_{df}^* 는 35 deg 로 접근한다. 그러므로 deck 에서 flooding 에 대한 경사는 선체가 충분한 건현을 갖는다면 최소화 될 것이다.

Table 7. 파 경사와 B/d 에서의 갑판침수에 대한 angle

Wave Steepness	B/d	2.0	2.7	3.5	4.0
1/7	θ_{df}^*	41.1 deg	37.0 deg	33.1 deg	31.7 deg
1/10	θ_{df}^*	31.1 deg	27.3 deg	24.3 deg	22.9 deg

4. 확률적인 분석 (Probabilistic analysis)

예를 들어서, 갑판 위에 물이 있는 선체에 있어서 복원성에 막대한 피해를 주는 영향은 hatch 나 문을 열어 뚫음으로 인한 flooding 의 가능성이 다. deck flooding 의 확률은 직접적으로는 건현과 관계한다. deck wetness 에 대한 Ochi 의 표현을 사용하면, rolling 상태에서의 deck flooding 의 확률은 다음과 같다.

$$P = \exp \left(- \frac{\theta_{df}^{*2}}{m_{o\theta}} \right) \quad (11)$$

이 때 θ_{df}^* 는 갑판 침수각이고 $m_{o\theta}$ 는 상대적 각의 진동에 대한 분산이다. (11) 식을 거꾸로 이용하고, 선체에 작용하는 분석으로부터 얻은 P 값으로부터 안전한 건현의 높이를 알 수 있다.⁽¹¹⁾

deck wetness 에 대한 또 다른 보고서가 소련

연구원들에 의해서 제출되었는데, 그것은 the framework of the IMCO Working Group on Stability of Fishing Vessels의 내용 안에 수록되었다. [14]에서는 건현과 배의 관계를 설명하였고, 건현의 함수로써 불규칙 파에서 deck wetness의 확률을 계산하는 방법을 설명하였다.

Numata의 실험에서는 대칭적인 roll은 deck 침수각과 선체에 있어서 상대적인 roll 진폭에 좌우된다는 것을 관찰하였다. $\theta_{df}^* \leq 10^\circ$ 일 때 정적 가상 heeling angle이 관찰되었고, $\theta_{df}^* > 20^\circ$ 일 때는 deck 위에는 물이 없다는 것이 관찰되었다.^[13]

Fig. 11은 주파수 대 무차원적 진폭을 그림으로써 실험의 결과를 나타내었다. 이 곡선도에서 정적 가상 heel의 진폭은 roll의 자연 주파수에서 상승한다는 것을 보였다.^[14] Ship motion의 선형 이론은 Paulling에 의해 교정된 선체 매개변수의 함수로서 파 경사에 관계한 rolling angle에 대한 수식을 유도하기 위하여 사용됐다.^[15]

$$\theta_{or} = \frac{\theta_0^*}{\sqrt{1 - \frac{4(1 - \chi_\theta)^2}{\chi_\theta^2 (1 - g)^2} \mu^2}} \quad (12)$$

이 때

θ_0^* = 배의 중심선에서 파 경사각을 가진 상대 rolling angle의 진폭

θ_{or} = 유효파 경사각에 관련된 rolling angle의 진폭

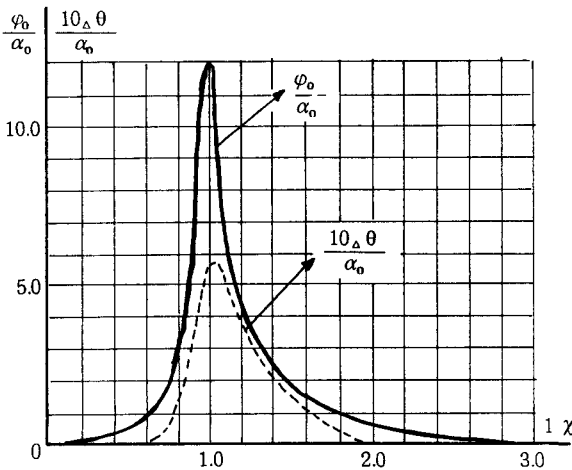


Fig 11. 주파수 대 무차원 진폭^[14]

χ_θ = 유효파 경사계수

g = $\delta I / I$

I = 회전축에 관계한 배의 질량의 관성 moment

μ = roll의 저항계수

$\mu \leq 0.1$ 이기 때문에, 매우 짧은 파에서 θ_{or} 와 θ_0^* 사이에는 차이점이 있다.

짧은 파에서의 선체의 deck는 파의 진폭이 건현보다 클 때에는 범람하게 된다. 짧은 파는 일반적으로 작은 진폭을 갖기 때문에, 어선과 같이 작은 선체가 짧은 파에서 deck flooding 상태에 놓일 때, deck flooding의 충분한 조건은 $\theta_{or} \geq \theta_{df}^*$ 가 된다.

Neuman의 sea spectrum을 사용하면,

$$S_\zeta(w) = A w^{-6} \exp(B w^{-2}) \quad (13)$$

이 때

$$A = 2.4 m^2 / sec^5$$

$$B = 1.9 K(\epsilon)^{2/5} h_{3\%}^{-4/5}$$

$K(\epsilon)$: spectrum 넓이의 성질

선형 이론을 이용하면, roll motion spectrum은 다음과 같이 표현된다.

$$S_\theta(w) = \left(\frac{w^4}{g^2} \left\{ \frac{\theta}{\alpha_0} \right\}^2 \right) S_\zeta(w) \quad (14)$$

이 때 $S_\theta(w)$ 는 배의 roll motion spectrum이고 $S_\zeta(w)$ 는 파 spectrum, 그리고 증폭호 안에 있는 항은 response amplitude operator(RAO)이다. Rayleigh 분포를 이용하면, 평균 진폭(확률

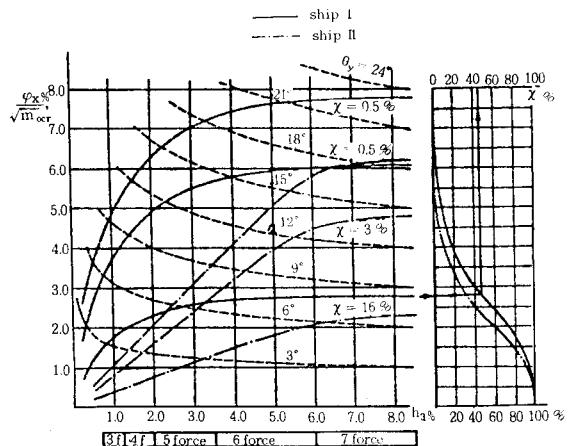


Fig 12. 바다의 강도 대 상대 rolling

적으로 46%를 차지하는 진폭)은 확률적으로 최대 진폭의 3%를 차지한다. 그리고 최대 진폭의 50%를 계산할 수 있다.

Fig. 12는 확률적인 면에 대한 무차원적 상대 roll 진폭을 나타낸 것이다. 그림에서는 deck의 침수에 대한 상이한 각을 나타내었다. 어떤 선체와 바다 상태에 대하여, 수직적인 교차는 침수 각을 나타냈다. 이 graph에서 오른쪽은 roll 진폭의 한계 값에 대한 확률을 읽을 수 있는 다른 graph를 나타낸 것이다. 계산하는 면에 있어서 damping 계수는 주파수의 함수로 취급하지 않는다.^[15] 그러나 roll의 선형 진동의 타당성이 거친 바다에서는 의문점이다.

5. 유체동력학적 분석 (Hydrodynamic analysis)

갑판 위 물의 문제점에 대한 모든 연구는 유체 정력학적 근사해로 취급해서 풀었다. 동력학적 효과를 분석하기가 어렵기 때문에, 갑판 위에 물을 갖는 선체의 motion은 무시되어 왔다. 갑판 위 물의 motion은 선체의 motion에 좌우된다. 여러 개의 보고서에서 갑판 위의 물에 대한 유체 동력학적 분석은 다음과 같은 것으로 하여 무시되어 왔다. 즉, 갑판 위의 물로 인해 취급된 heeling motion의 완벽한 계산은 deck flooding으로

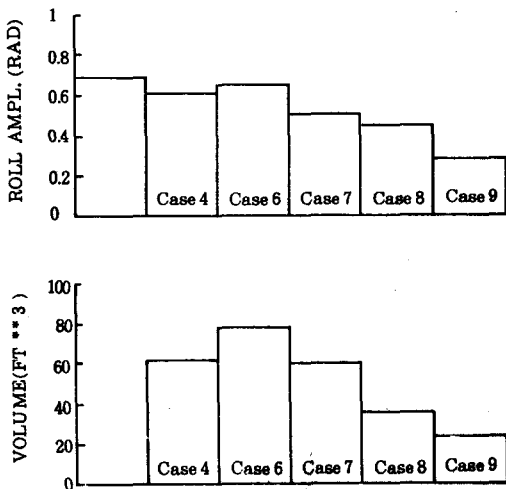


Fig 13. roll 진폭과 물의 체적의 기하학적 변화에 대한 영향^[17]

인한 동력학적 성질로 인하여, 또 물 속으로 주기적으로 침수하는 갑판을 가진 낮게 설계된 선체에 대한 motion의 빈약한 지식으로는 불가능하다.

그리고 배의 model의 전복(capsizing)으로써, 규칙 파에서 관찰되어온 전체적으로 젖은 파의 언급된 조건 아래에서 선체 정적 motion의 문제점이 자연적으로 나타났다. 그러나 이러한 문제점들은 아직도 해결되지 않았다.^[6]

선체의 복원성과 motion에서 갑판 위의 물의 영향을 연구하는데 Dillingham은 많은 공헌을 하였다.^[16] 여기에서 Dillingham은 Stoker의 분석 방법을 이용한 천수파로서 갑판 위의 물의 motion의 모양을 만들었다.

갑판 위에 물이 없는 선박을 선택해서 계산을 시작하면, 각 단계마다 파로 인한 기진력은 University of California at Berkeley Naval Architecture Department의 SEAWAY의 program으로부터 알 수 있는 계수를 이용하여 계산하였다.^[16] 배의 운동은 충격적인 공명 함수를 포함한 회전하는 기진력에 의해 계산된다. 갑판 위의 물의 motion은 계산되었다. 갑판 침수에 의해서 적용된 힘과 moment는 다음 단계에서는 외부 기진 강도로서 가산된다.

Dillingham은 다른 조건 아래에 있는 선체를 계산하는데 있어서 9가지 다른 경우를 선택했다. 첫번째 경우는 작은 motion을 갖는 선체로서 선형적인 motion을 갖는다. 2번째에서 5번째까지의 경우는 roll 공명 주파수를 갖는 것과 같은 주파수의 상이한 파고와 만나는 전형적인 crab

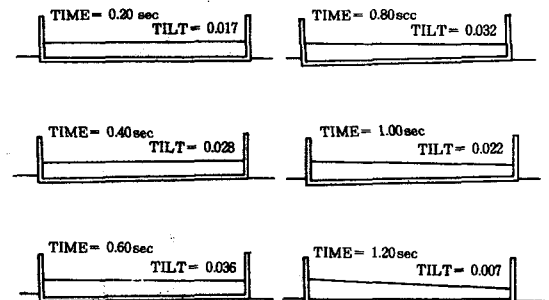


Fig 14갑판위에 물이 있는 roll motion을 가산한 계산^[17]

boat에 대하여 연구하였다. 6 번째에서 9 번째에 대해서는 motion에서 선체에 기하학적 변화를 주는 영향으로써 관찰되었다. 그 변화는 다음에 따른다. 즉

- 6 번째 경우 : 배수구가 닫힌 경우
- 7 번째 경우 : 배수구가 열린 경우
- 8 번째 경우 : flap이 있는 배수구
- 9 번째 경우 : 결합된 갑판

이러한 변화의 영향을 Fig. 13에 나타냈고 또 갑판 위에 물이 있는 motion을 Fig. 14에 나타내었다. Dillingham은 갑판 위 물의 소량은 유효한 roll damper로서 작용한다고 규정하였고 그러나 이러한 양이 증가하므로 인해서 운동의 위상은 커지고 deck water는 점점 더 유효해지지 않게 된다고 하였다. 갑판 위의 물로 인한 capsizing의 현상을 이해하는데 있어서 Dillingham은 중요한 단계로 취급하였다.

6. 결론 (Conclusion)

갑판 위에 물이 있는 낮은 전현을 갖는 선체의 복원성에 대한 연구를 4 가지 다른 방법으로 분석하여 나타내었다.

이것들 중의 첫번째의 경우는 정적 heeling moment를 만드는 정적 하중으로 취급한 갑판 위의 물을 정적 가상 heeling angle로서 접근했다. righting arm의 감소는 갑판 위의 물로 인해서 감소하는 복원성을 계산하였다. 비록 이러한 방법이 실제 복원성의 성질을 나타내주지만, 이것은 자연적인 현상을 나타내주지는 못한다. 갑판 위에 있는 물이 튀어오르는 것은 동력학적인 과정으로써, 정적인 방법으로는 계산할 수 없다.

Rakhmanin⁽¹⁰⁾과 다른 연구원들이 사용한 2 번째 방법은 rolling motion의 방정식을 사용했다. 실험으로부터 얻은 data는 계의 kinetic energy를 계산하는데 사용된다. moment와 갑판 위의 물로 인해서 생기는 roll은 heel angle의 함수로서 total heel moment를 결정하는 righting moment에 부가된다. 이러한 것은 선체 복원성의 성질을 나타내는데 사용할 수 있다. 실험적인 data가 roll을 포함하는 moment를 결정하는데 사용되어 왔기 때문에, 이런 조사 방법은 일반적

인 선체 복원성에 대한 분석에 직접적으로 적용할 수 없다. 갑판 위에 있는 물이 튀는 현상인 sloshing의 동력학적인 엄밀한 분석은 완성되어 있지 않기 때문에, 이러한 결과를 일반화하기 위하여 갑판 위의 물의 영향을 연구해야 한다.

이런 문제점에 대한 세번째 조사 방법은 확률적인 접근이며, 이런 방법의 실험은 갑판 위에 물의 적하나 deck edge의 침수에 대한 확률로써 계산되어 진다. 이러한 data가 이런 문제점들에 유용하게 사용되는 반면, 갑판 위의 물에 대한 실제의 영향은 고려하지 않는다. 결과적으로 복원성에 대한 갑판 위의 물의 영향을 이해하는데 있어서는 진보되지 않는다.

마지막으로 가장 최근에 사용된 방법은 Dillingham의 유체 동력학적 접근에 대한 것이다.⁽¹⁶⁾ 시간의 함수인 갑판 위의 물의 motion은 수학적 분석에 기초를 둔 것으로 Computer의 도해로 인해서 명확하게 묘사하였다. 이러한 노력으로 인하여 갑판 위의 물의 동력학적 작용과 선체의 결과적인 motion을 묘사하는데 있어서 매우 중요한 시발점을 갖게 되었다. 이런 것은 선체의 선형 rolling motion에서만 고려한다. 첨가적으로, 선체의 복원성에서의 영향을 분석하는 것은 완성되지 못했다.

Acknowledgment

이와 같은 훌륭한 보고서를 제출한 저자는 the Washington Sea Grant Program과 the National Marine Fisheries Service을 통해서 the National Oceanic and Atmospheric Administration에 의한 the Fishing Vessel Safety Center at the University of Washington에 제출하였다.

References

1. Ecker, W. J., Report on Fishing Vessel Accidents for 66th NSCE, Oct. 1978.
2. Storch, R. L., "Alaskan King Crab Boat Stability and Safety: Aspects of Human Error," Ph. D. Dissertation, University of Washington, Seattle, 1978.
3. Numata, E., "Subdivision Standards Based on Probability Studies—A Progress Re-

port," IMCO, SDS IV/5, 1965.

4. "Freeboard of Fishing Vessels: Results of Experimental Investigation of Ship Motions and the Possibility of Capsizing of an Undamaged Low-Built Vessel in Regular Waves," IMCO PFV IX/3/2. Submitted by the Delegation of the USSR, IMCO, 1969.

5. "Summary of the Report of the Committee of Enquiry on Casualties to Fishing Vessels," IMCO PFV I/6. Submitted by the French Delegation, IMCO, 1964.

6. "Freeboard of Fishing Vessels: Approximate Evaluation of Safety at Sea for a Small Among Waves," IMCO PFV VI/22. Submitted by the Delegation of the USSR, IMCO, 1967.

7. Blagoveshchensky, S. N., *Theory of Ship Motions*, Vol. 1, Dover Publications, New York, 1962.

8. "Freeboard of Fishing Vessels," IMCO PFV XIII/6/1. Submitted by the Polish Delegation, IMCO, 1963.

9. "Analysis of IMCO Reports on Damage of Fishing Vessels from the Point of View of Safety of Ship with Sea Water on Deck," IMCO PFV VII/13. IMCO, 1968.

10. Rakhmanin, N. N., "On Dynamic Stability of a Ship With Water on Deck," IMCO STAB/INFO 27, 1966.

11. Rakhmanin, N. N., "On the Definition of the Concept of Low-Built Vessel," IMCO, STAB/INFO 52.

12. Ochi, M. K., "Extreme Behavior of a Ship in Rough Seas," *Trans*, SNAME, Vol. 72, 1964.

13. "Freeboard and Requirements for Stability of a Fishing Vessel With Sea Water Trapped on Deck," IMCO, IMCO PFV VII/12, 1968.

14. "Freeboard of Fishing Vessels. Evaluation of Possible Trapping of Water on Deck Due to Rolling Motion in an Irregular Seaway," IMCO PFV V/7. Submitted by the Delegation of

the USSR, IMCO, 1967.

15. Paulling, J. R., Analysis and Critique by J. R. Paulling of Paper entitled "Freeboard of Fishing Vessels," PFV V/7, 3 April 1967, USCG Contract DOT-CG-84549-A.

16. Dillingham, J. T., "Motion Predictions for a Vessel With Shallow Water on Deck," Ph. D. Dissertation, University of California at Berkeley, 1979.

17. Stoker, J. J., *Water Waves, the Mathematical Theory with Applications*, R. Courant, L. Bers, and J. J. Stoker, Eds. Interscience Publishers, New York, 1957.

18. Glimm, J., "Solutions in the Large for Nonlinear Hyperbolic Systems of Equations," *Comments on Pure and Applied Mathematics*, Vol. 18, 1965.

19. Chorin, A. J., "Random Choice Methods With Applications to Reaction Gas Flow," *Journal of Computational Physics*, Vol. 25, No. 3, Nov. 1977, pp. 253 - 272.

20. Chorin, A. J., "Random Choice Solution of Hyperbolic Systems," *Journal of Computational Physics*, Vol. 22, No. 4, Dec. 1976, pp. 517 - 533.

21. Salvesson, Nils, Tuck, E. O., "Ship Motions and Sea Loads," *Trans*, SNAME, Vol. 78, 1970.

- 기호의 설명 -

Δ = displacement of vessel

θ = angle of heel

θ_s = pseudo-static angle of heel

$E_w(\theta)$ = weight of water on deck at certain roll angle

d = molded draft

$\delta d(\theta)$ = draft variation due to water on deck

$z_{w\theta}, y_{w\theta}$ = coordinates of the CG of water on deck

α = coefficient of deck area

δ = block coefficient

α_{sh} = coefficient for sheer of deck	Z_{ib} = height of wave profile on ship's side defined in ship's coordinate system
α_{sp} = coefficient for superstructures	F = freeboard
h_w = water height in vertical position of vessel for same volume of water when heeled at an angle of θ	θ_{df}^* = deck immersion angle
h_b = bulwark depth	Z_{01} = maximum heave
\bar{s}_f = sheer of a flush-deck fishing vessel	α_{om} = maximum effective wave slope
I = moment of inertia of ship's mass relative to axis of rotation	θ_0 = maximum heel angle
$M_t(t)$ = heeling moment	P = probability of deck flooding in rolling
$M(\theta)$ = static righting moment of the ship plus water on deck considered as solid	$M_{0\theta}$ = variance of relative angular oscillations
$M(\dot{\theta})$ = roll damping moment	θ_{0r} = amplitude of relative angle of roll with wave slope angle in way of centerline of ship
M_{ww} = static heeling moment due to shifting of weight of water on deck	θ_0^* = amplitude of angle of roll with respect to effective wave slope angle
M_{AIW} = added-mass moment of the water in which ship is floating	x_θ = effective wave slope coefficient
M_{IW} = moment of water on deck	μ = coefficient of resistance to roll
M_η = moment of lateral hydrodynamic force due to water resistance to sway	$S_\zeta(\omega)$ = wave spectrum
M_R = reactive moment due to water flowing overboard	$S_\theta(\omega)$ = roll motion spectrum
	ω = frequency

적게 낳아 엄마건강

잘키워서 아기건강