



저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

공학석사 학위논문

# 항내 조선 중 전심과 수저항 중심에 관한 비교 연구

A Comparative Study on Pivot Point and Center of Lateral  
Resistance of Water during Ship handling in Harbour



지도교수 정 태 권

2016년 2월

한국해양대학교 대학원

항해학과 천 성 민

공학석사 학위논문

# 항내 조선 중 전심과 수저항 중심에 관한 비교 연구

A Comparative Study on Pivot Point and Center of Lateral  
Resistance of Water during Ship handling in Harbour

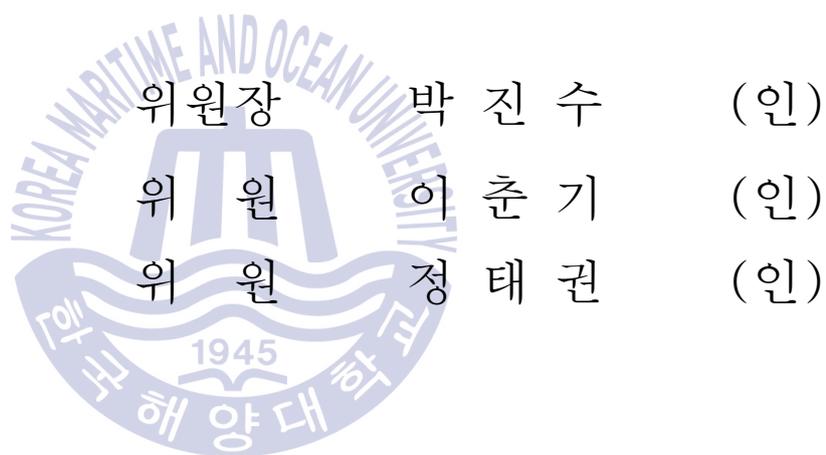


2016년 2월

한국해양대학교 대학원

항해학과 천 성 민

본 논문을 천성민의 공학석사 학위논문으로 인준함.



2015년 12월 24일

한국해양대학교 대학원

# 목 차

List of Tables .....	iv
List of Figures .....	v
Abstract .....	viii

## 1. 서 론

1.1 연구의 배경 및 목적 .....	1
1.2 선행 연구 .....	2
1.3 연구의 방법 및 한계 .....	4
1.4 용어 정리와 연구 내용 .....	5

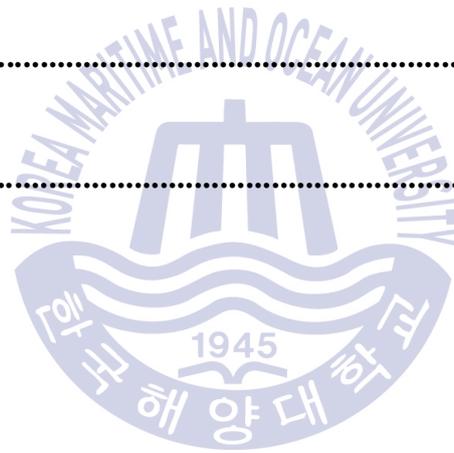
## 2. 전심

2.1 전심의 정의와 한계 .....	7
2.2 전심의 위치 .....	10
2.3 전심 위치의 변화 .....	15
2.4 힘의 평형점 .....	29
2.5 특수한 경우의 전심 .....	34

## 3. 수저항 중심

3.1 수저항 중심에 대한 새로운 접근 .....	37
3.1.1 선체 수저항 중심 .....	37
3.1.1.1 선체 수저항 중심의 정의 .....	37
3.1.1.2 선체 수저항 중심의 위치 .....	38
3.1.2 선체 수저항 중심에 영향을 주는 요인 .....	41

3.3 선체 수저항 중심의 활용 .....	43
3.4 특수한 상황에서의 선체 수저항 중심 .....	46
3.4.1 향풍성의 예 .....	46
3.4.2 동키라이크 효과 .....	47
3.4.3 크래빙 .....	49
4. 전심과 수저항 중심의 비교	
4.1 선박의 움직임, 수저항과 전심 .....	51
4.2 정지한 선박의 선체 수저항과 전심 .....	54
4.3 움직이는 선박의 선체 횡저항과 전심 .....	59
5. 결론 .....	62
참고문헌 .....	65



## List of Tables

Table 1 Glossary .....	5
Table 2 Type of ship motion component .....	16
Table 3 Pivot point in various cases .....	17
Table 4 Comparison between Pivot point and Center of lateral resistance ..	53



## List of Figures

Fig. 1 Pivot point – making headway .....	7
Fig. 2 Pivot point – making sternway .....	8
Fig. 3 Pivot point on moving astern .....	9
Fig. 4 Pivot point in turning path .....	10
Fig. 5 Moving $G$ and Pivot point in turning path .....	11
Fig. 6 Decomposed ship motion in turning .....	11
Fig. 7 $v$ for turning circle manoeuvre .....	13
Fig. 8 $r$ for turning circle manoeuvre .....	14
Fig. 9 Pivot point for turning circle manoeuvre .....	14
Fig. 10 Coordinates axes fixed in the ship .....	15
Fig. 11 Case 1 ( $u=0, v=0, r \neq 0$ ) .....	19
Fig. 12 Case 2 ( $u=0, r=0, v \neq 0$ ) .....	19
Fig. 13 Case 3.1 ( $v=0.5L \times r$ ) .....	20
Fig. 14 Case 3.2 ( $v>0.5L \times r$ ) .....	20
Fig. 15 Case 3.3 ( $v<0.5L \times r$ ) .....	21
Fig. 16 Case 3.4 ( $v=0.5L \times r$ ) .....	21
Fig. 17 Case 3.5 ( $v>0.5L \times r$ ) .....	22
Fig. 18 Case 3.6 ( $v<0.5L \times r$ ) .....	22
Fig. 19 Case 4 ( $u>0, v=0, r \neq 0$ ) .....	23
Fig. 20 Case 5 ( $u>0, v \neq 0, r=0$ ) .....	24
Fig. 21 Case 6.1 ( $v=0.5L \times r$ ) .....	24
Fig. 22 Case 6.2 ( $v>0.5L \times r$ ) .....	25
Fig. 23 Case 6.3 ( $v<0.5L \times r$ ) .....	25
Fig. 24 Case 7 ( $u<0, v=0, r \neq 0$ ) .....	26

## List of Figures

Fig. 25 Case 8 ( $u < 0, v \neq 0, r = 0$ ) .....	27
Fig. 26 Case 9.1 ( $v = 0.5L \times r$ ) .....	27
Fig. 27 Case 9.2 ( $v > 0.5L \times r$ ) .....	28
Fig. 28 Case 9.3 ( $v < 0.5L \times r$ ) .....	28
Fig. 29 E position in making headway .....	29
Fig. 30 E position in changing speed(a) .....	31
Fig. 31 E position in changing speed(b) .....	31
Fig. 32 Lateral force in making headway(a) .....	32
Fig. 33 Lateral force in making headway(b) .....	33
Fig. 34 Pivot point in special case(a) .....	34
Fig. 35 Pivot point in special case(b) .....	35
Fig. 36 Pivot point in special case(c) .....	35
Fig. 37 Pivot point in special case(d) .....	36
Fig. 38 Moving Center of water resistance in headway .....	38
Fig. 39 Center of water resistance in stop .....	39
Fig. 40 Center of water resistance in headway .....	39
Fig. 41 Center of water resistance in sternway .....	40
Fig. 42 Beam Factor and lateral resistance .....	41
Fig. 43 UKC and lateral resistance .....	42
Fig. 44 High and Low lateral resistance .....	42
Fig. 45 Position of the acting lateral force(a) .....	43
Fig. 46 Position of the acting lateral force(b) .....	44
Fig. 47 Position of the acting lateral force(c) .....	44
Fig. 48 Use of Kick ahead .....	45

## List of Figures

Fig. 49	Wind effect upon a vessel with aft Pivot point .....	47
Fig. 50	Donkey like effect .....	48
Fig. 51	Forces for Donkey like effect .....	48
Fig. 52	Crabbing .....	49
Fig. 53	3 degree of freedom of a vessel .....	51
Fig. 54	Lateral movement of a vessel .....	54
Fig. 55	Pivot point of a stopped rotational vessel .....	55
Fig. 56	Pivot point of over the bow .....	55
Fig. 57	Pivot point on the bow .....	56
Fig. 58	Pivot point in fore .....	57
Fig. 59	Pivot point in stern .....	57
Fig. 60	Pivot point in aft .....	58
Fig. 61	Pivot point of a vessel under propulsion .....	59
Fig. 62	Low efficiency of bow thruster .....	60
Fig. 63	High efficiency of bow thruster .....	61

# A Comparative Study on Pivot Point and Center of Lateral Resistance of Water during Ship handling in Harbour

Cheon, Sung Min

Department of Nautical Science

Graduate School of Korea Maritime University

## Abstract

Nowadays ships have become gradually larger and larger in size. Accordingly the importance of ship handling in harbor has been emphasized much more than before in order to secure safe navigation and efficient port operation. Ship handling in harbor is carried out mostly at a low speed and is affected by port congestion.

When using tugs, bow or stern thruster, ship's main engine or rudder during maneuvering in harbor, ship handlers, especially harbor pilots in Korea, think pivot point as if it is the center of all lateral forces acting on ships. The pivot point is traditionally known to be located in about one third of ship's length from the ship's bow in the forward movement and in about one fourth from the stern in the backward motion. However the position of pivot point varies depending on external forces such as current, wind, tug etc.

This paper is to find out the accurate meaning of pivot point through several examples and to investigate the right positions of it, not a constant one of one third or one fourth of ship's length. And the paper also is to suggest the center of lateral resistance of water as that of force couple and to examine how it can be used in harbor maneuvering through some examples.

For the purpose of it firstly, this paper analyzed the positions of pivot point focusing on eighteen(18) cases and investigated the equilibrium of thrust and resistance of water. Secondly, the paper found that the center of lateral resistance of water instead of the equilibrium of lateral forces can be used as force couple and suggested how to find out it. The center of lateral resistance of water is usually determined by the composition thrust and lateral force. Finally, the paper examined examples of application of the center of lateral resistance of water to maneuvering in harbor.

As a result the following were obtained.

- (1) The position of pivot point varies depending on forces exerting on a ship, as shown in Table 3.
- (2) The equilibrium position of lateral forces varies depending forces exerting on a ship and also can not be estimated easily.
- (3) The approximate position of center of lateral resistance of water was suggested instead of The equilibrium position of lateral forces.
- (4) By using the couple force of lateral resistance of water and other force such as tug or thruster the turning of a ship can be predicted.
- (5) The center of lateral resistance of water can be used in maneuvering in harbor.

However, a lot of experiments are needed to get the center of lateral resistance of water considering key factors. It will be done in the future study.

**KEY WORDS:** maneuvering or ship handling in harbor, pivot point; center of lateral forces; center of lateral resistance of water; couple force of lateral resistance of water



# 제 1 장 서 론

## 1.1 연구 배경 및 목적

과거의 선박 조종은 과학적인 요소보다는 전수되는 기술로서의 특성이 강하고, 일선 해기사들은 선박 조종을 과학적인 측면보다는 경험적인 측면에서 접근하는 경우가 많았다(The Standard, 2012). 하지만 선체에 대한 과학적 지식은 선체가 어떻게 움직이는가를 심도있게 이해하게 하고, 선박 조종 기술을 더욱 발전시킬 수 있다. 이러한 점은 제한된 수역인 항내 선박 조종에서 더욱 강조된다.

갈수록 조선 기술의 발달과 경제적 이유 등으로 선박이 점차적으로 대형화됨에 따라 한정된 항만 수역내에서 사고의 위험성이 더욱 증가하여 항내 조종의 중요성이 더욱 강조되고 있다. 좁은 항만내에서 선박사고가 발생했을 경우, 경우에 따라서 항만 폐쇄까지 야기할 수 있어, 항내 선박 조종의 중요성은 아무리 강조해도 부족하지 않다. 때문에 부두나 선박에 손상을 입히지 않고 선박을 안전하게 접이안 시키기 위해서는, 극도로 정밀하고 부드러운 선박 조종술이 필요하다.

항내 선박 조종은 대부분 저속 상태에서 이루어지며, 혼잡한 수역내 저속 상태의 선박은 조종 성능에 많은 제약을 받을 수밖에 없다. 이처럼 세밀한 조종술이 필요한 항내 선박 조종 중 특히 부두인근수역에서의 입출항 조전시 자력 또는 예선의 보조를 받아 선석으로 안전하게 접안, 또는 선석으로부터 이안하기 위해서는 전심의 개념을 빼놓을 수 없다.

전심의 개념과 활용은 이처럼 항내 선박 조종에서 빼놓을 수 없을 정도로 중요하지만, 국내뿐만 아니라 외국에서도 선박조종현장에서 전심에 관해서는 다양한 의견이 제시되며, 논란이 되는 일이 잦다. 현재까지도 많은 일선 실무자가

전심의 개념에 대해 잘못 이해하고 있는 경우가 많으며, 그것을 실무에서 잘못 활용하는 경우가 있다.

각각의 선박은 고유의 조종 성능을 가지고 있다. 그리고 선체 수선하부의 기하학적인 모양, 수저항, 프로펠러와 타, 선수미 스텔러 등 조종 성능에 영향을 주는 다양한 요소들에 의해서 선박 전심의 위치는 변화한다. 정상적인 선회시에는 전심의 위치가 변화하지 않지만 항내 조선시 다양한 외력이 작용하는 상황에서는 전심의 위치가 다변하기 때문에 전심의 정확한 정의와 변화하는 전심의 위치를 파악하는 것은 매우 중요하다.

따라서 본 연구에서는 다양한 상황에서의 전심의 위치와 횡방향 힘의 균형점에 대해 연구하여 전심에 대해 잘못 이해하고 있는 점을 개선하고자 하는데 목표를 두었다. 이를 위하여 외력에 따라 변화하는 전심의 위치를 조사하고 힘의 우력(Couple force)로서의 수저항 중심을 살펴본 후, 예선 혹은 스텔러의 사용시 선박 조종에 활용할 수 있는 개념으로서 선체 수저항 중심을 제시하고자 한다.

## 1.2 선행 연구

전심과 선체 수저항 중심에 대한 연구에 앞서 선박 운동의 기본이 되는 선박의 조종성에 관한 연구(Artyszuk, 2004; Bertram, 2000; House, 2007; Lewis, 1989; Rawson & Trupper, 2001; Rowe, 1996)들을 통해 선박의 조종 특성, 유체력 미계수 및 선박 조종에 영향을 주는 제 요소들을 연구하여 선박의 전심과 수저항 중심을 분석하는데 활용하였다.

지금까지 선박의 조종 특성에 중요한 영향을 주는 개념 중의 하나인 전심의 정의에 대한 연구(윤, 1997; Boat owner magazine, 2003; Kinzo, 2007; Sogreah, 2011; Southampton Institute, 2001; USCG, 2003)가 많이 이루어져 왔다.

그리고 전심에 영향을 주는 요소(Carreno & Morra, 2008)와 전심의 움직임에 대한 분석(Artyszuk, 2010; Chase, 1999; Halpern, 2007; Kornacki, 2011) 등과 같은 선행 연구에서는 전심에 대한 분석과 선박 조종에 영향을 주는 제 요소들에

대한 정의 등을 설명하였으며, 항해 실무에서의 선박 선회에서는 선박의 선회 시 고려해야 할 중요한 요소로서 선박의 전심을 강조하였고, 전심이 선회장의 크기를 결정하는데 많은 영향을 준다고 분석하였다.

특히 전심의 위치를 수식을 통해 수치적으로 계산하여 정의한 연구(Tzeng, 1998)에서는 선회하는 선박의 전심을 추측하는 방법으로 선행화된 스웨이-요 (sway-yaw) 공식을 제안하였다. 스웨이 성분인  $v$ 와 요 성분인  $r$ 로써 정상선회에서의 선박의 전심을 정의하였다. 이 연구에서 도출된 공식을 사용하여 다양한 상황에서의 전심 위치를 수치화하여 객관적으로 분석할 수 있게 되었다.

전심의 정의와 분석에 중점을 둔 연구와 달리 기존 전심에 대한 오해와 잘못된 활용에 대한 연구(Cauvier, 2008; Seo, 2011)를 통해 실제 선박 조종에 있어서 기존의 전심이론이 설명하지 못하는 부분을 파악하였다.

전심 정의를 위한 논의(허용범, 2015)에서는 전심의 위치 계산식을 바탕으로 선박의 전심에 대한 정의와 다양한 선박의 운동 상황별로 전심의 위치 변화를 알기 쉽게 체계적으로 도식화하여 분석하였다.

선박의 전심과 함께 수저항 중심에 대한 연구(정태권, 2012; Butusina & Dinu, 2010)를 통해 전심과 수저항 중심에 대한 관계를 분석하였다. 현재 선박 조종에서 사용되는 수저항 중심과 전심에 관한 비교 연구를 통해 전심과 수저항 중심의 개념을 정의하였다.

선박의 전심과 수저항 중심에 관한 지금까지의 선행 연구를 고찰한 결과, 기존 전심에 대한 오해를 지적하는 연구는 상당수 있지만 주로 기존 전심에 대한 정의와 분석에 대한 것일 뿐이고, 기존 전심을 대체하여 실제 실무에 보다 유용하게 사용할 수 있는 개념을 제시하는 심도 있는 연구가 수행되어진 경우는 없는 것으로 조사되었다.

따라서 본 논문에서는 다양한 선박 운항 조건에서의 전심의 위치 변화를 선박조종 현장에서 실시간으로 확인하고, 실제 항내 선박 조종에 유용하게 활용할 수 있는 개념으로 선체 수저항 중심을 제시하고자 한다.

### 1.3 연구의 방법 및 한계

본 연구에서는 그 동안 일선 해기사들이 알고 있던 경험적인 측면의 전심에 대한 오해를 알아보고 선체 운동성분에 따른 과학적인 분석을 통해서 수치적으로 계산된 전심의 위치를 파악한다. 또한 다양한 외력이 적용되는 항내 조선시 선박의 여러 운동 상황별 전심 위치 변화를 살펴봄으로써 가장 많이 혼동되는 개념들과 비교 분석하고 전심에 대해 심도있게 연구해 보고자 한다.

그리고 전심과 더불어 선박 조종에 영향을 주는 중요한 요소 중의 하나인 선체 수저항 중심, 수저항과 전심의 위치 변화, 수저항으로 인해 발생하는 선체 움직임을 연구하여 항내 조선에 활용하고자 한다.

다양한 선체운동 성분 및 선체 운동에 영향을 주는 요소에 따른 각각의 선체 운동 변화를 분석함으로써, 특정 상황에서만 정의되는 것이 아닌 모든 상황에서 정의되는 진정한 규칙 및 정의로서의 전심의 개념을 살펴보고, 실무에서 유용하게 사용할 수 있는 새로운 전심을 제시하고자 한다.

본 연구에서는 전심보다 실무에서 보다 유용하게 활용할 수 있는 개념으로서 선박의 수저항 중심을 선박 조종의 한 지표로서 제시한다. 하지만 선체에 주는 수저항 중심의 위치에 대한 수치적 계산 연구가 부족하여 선박을 횡이동 및 회전 시키는 중심에 대한 정확한 위치를 분석하기 어렵다. 그럼에도 본 연구를 진행하는 것은 전심에 대한 오해를 바로잡고, 정확하고 더욱 실용적인 개념을 실무 선박 조종에서 활용하게 하는데 있다.

따라서 이를 위해 선체 수선하부 형태, 트림 등 다양한 선박의 제요소를 고려한 선체 수저항 중심에 대한 보다 심층적인 조사 분석이 필요하고, 수저항 중심의 정확한 위치를 분석함으로써 본 연구에서 제시한 가설을 보다 심층적으로 판단하고, 실무 선박 조종에서 다양하게 활용할 수 있을 것이다.

## 1.4 용어 정리와 연구 내용

본 논문과 관련한 용어는 다음과 같이 정의하기로 한다.

Table 1 Glossary

	용어	설명
1	전심 (Pivot point)	선회중인 선체의 선회중심에서 선체 종방향중심선에 수선의 발을 내려 직각으로 만나는 점이며 통상 횡방향 속도가 0인 점임.
2	선체 자체의 회전중심 (Center of Rotation)	선체의 무게중심과 거의 일치하며 선체는 실제로 이 점을 중심으로 회전한다.
3	선회 중심 (Center of Turning)	선박이 선회로 원 운동을 할 경우 항적이 되는 원주의 중심.
4	$V$ (Resultant speed)	선체의 회전중심이 선회권에서 접선방향으로 나아가는 속도로서, 선회하는 선체는 전진 속도 $u$ 와 횡방향이동속도 $v$ 를 가지고 있으며 이들의 합 벡터가 $V$ 이다.
5	편각 (Drift Angle)	선체가 실제로 움직여 나아가는 선회권의 접선 $V$ 방향과 선수가 향하고 있는 $u$ 방향의 교각이다.
6	수저항 중심 (Center of lateral resistance of water)	선체가 회전 없이 횡방향 힘만이 작용하는 점으로써 수선하부의 유체력의 작용 중심점

연구 내용은 제2장에서 전심의 정의, 위치, 전심 위치의 변화, 특수한 경우에서의 전심 등을 다루고 제3장에서는 수저항 중심을 레버리지의 활용측면에서 다루고 제4장에서는 전심과 수저항 중심을 비교하여 마지막에 결론을 맺는 것으로 한다.



## 제 2 장 전심

### 2.1 전심의 정의와 한계

일부 실무자들은 전심을 선체의 회전 중심으로서 서지(Surge)와 요(Yaw) 힘이 작용하는 중심점으로 오해하고 있으며, 일부 자료에서는 전통적인 전심의 정의에 대해, 전심은 선체 또는 기체 중심이나 어느 일정부분에 고정된 것이 아니고 이동을 하는 방향으로 치우치는 특성이 있으며, 전진 중에는 선수에서 선체 길이의 약 1/3 후방 지점에 위치(Fig. 1)하고, 후진 중에는 선미에서 약 선체 길이의 약 1/4 전방 지점에 위치(Fig. 2)하며, 전심이 곧 회전중심(Center of leverage)라고 정의하고 있기도 하다. 하지만 이 같은 전심에 대한 오해는 큰 오류를 내포하고 있다.

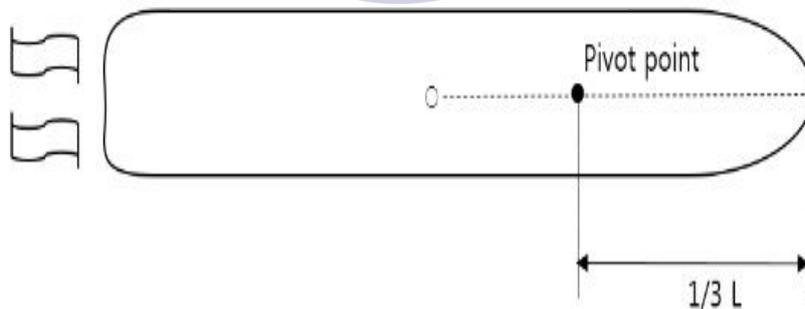


Fig. 1 Pivot point - making headway

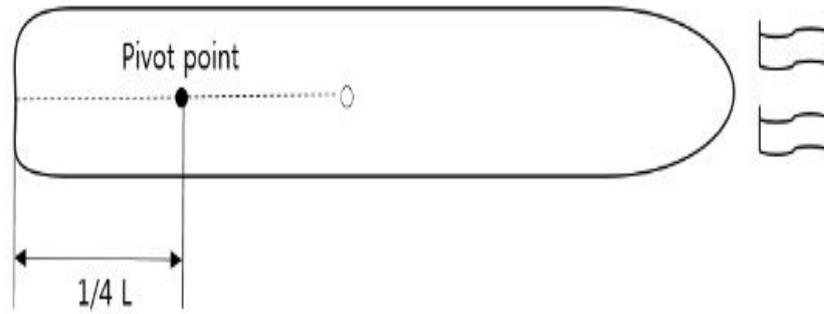


Fig. 2 Pivot point - making sternway

위 전심의 정의에 대한 오해는 정수상(Still water)에서 선체운동성분인 서지 운동, 스웨이 운동, 요 운동 등의 성분 중, 단지 서지 운동 또는 스웨이 운동과 요 운동이 동시에 작용하는 경우에만 성립하는 개념으로서, 실제로 서지 운동, 스웨이 운동, 요 운동이 동시에 작용하는 다양한 선체 운동시의 모든 경우를 설명하지 못하며 전심과 선체의 회전중심은 그 개념을 달리한다.

선박은 서지 운동만 하거나, 서지 운동과 요 운동 운동만을 하는 것이 아니라, 대부분 서지, 스웨이 요 운동이 혼합되어 복합적으로 작용하는 경우가 많으므로, 전심의 이동 원인과 위치를 단순히 이동하는 방향(전후진) 쪽으로 치우치는 특성이 있다거나, 아래 그림과 같이 전후진 중인 선박은 각각 선수미에서  $1/3$ , 또는  $1/4$  부근에 있다고 이해하는 것은 많은 오류를 내포하고 있다.

잘못 이해되어진 전심의 위치는 전후진 직선운동 시 추진력과 저항(유체력)이 평형을 이루는 일종의 힘의 평형점을 의미하는 것이지 실제 전심의 위치가 아니다.

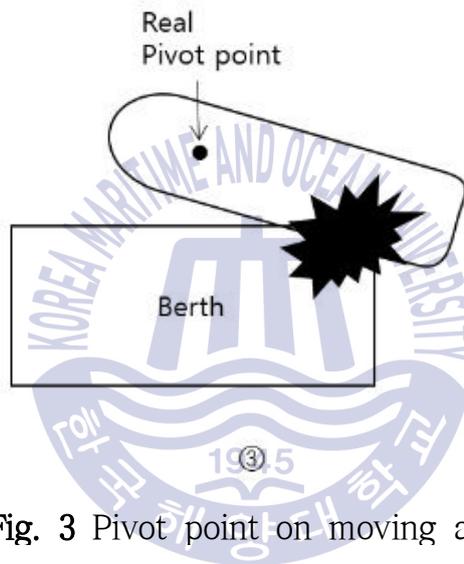
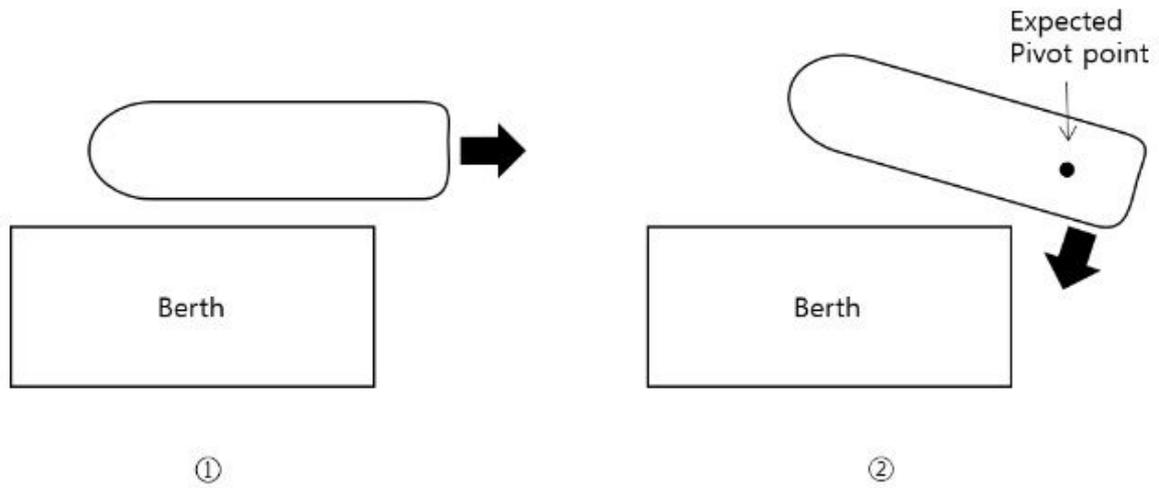


Fig. 3 Pivot point on moving astern

선박이 Fig. 3처럼 선석을 좌측에 두고 천천히 뒤로 후진하는 경우를 가정해 보면 전통적 이론에 의한 전심의 위치에 의해 Fig. 3 ②처럼 후진을 하며 선박의 선미가 1/3이 선석 밖으로 벗어났을 때 킁 현상을 이용하면 선체가 부두에 닿지 않고 안전하게 벗어날 수 있을 것을 예상할 수 있다.

하지만 현실에서는 Fig. 3 ③과 같이 킁 현상이 선박의 큰 횡이동을 유발시키고 이로 인해 선박의 전심이 선수에서 약 1/3 지점으로 이동하게 됨으로써 부두를 안전하게 이안할 수 없게 된다.

## 2.2 전심의 위치

전심은 선회중인 선체의 선회중심(Center of Turning)에서 선체 종방향중심선에 수선의 발을 내려 직각으로 만나는 점이다. 따라서 이를 겉보기 회전 중심(Apparent center of rotation)이라고 하며, 선체 자체의 회전중심( $G$ )을 실제의 회전 중심(Real center of rotation)이라고 한다.

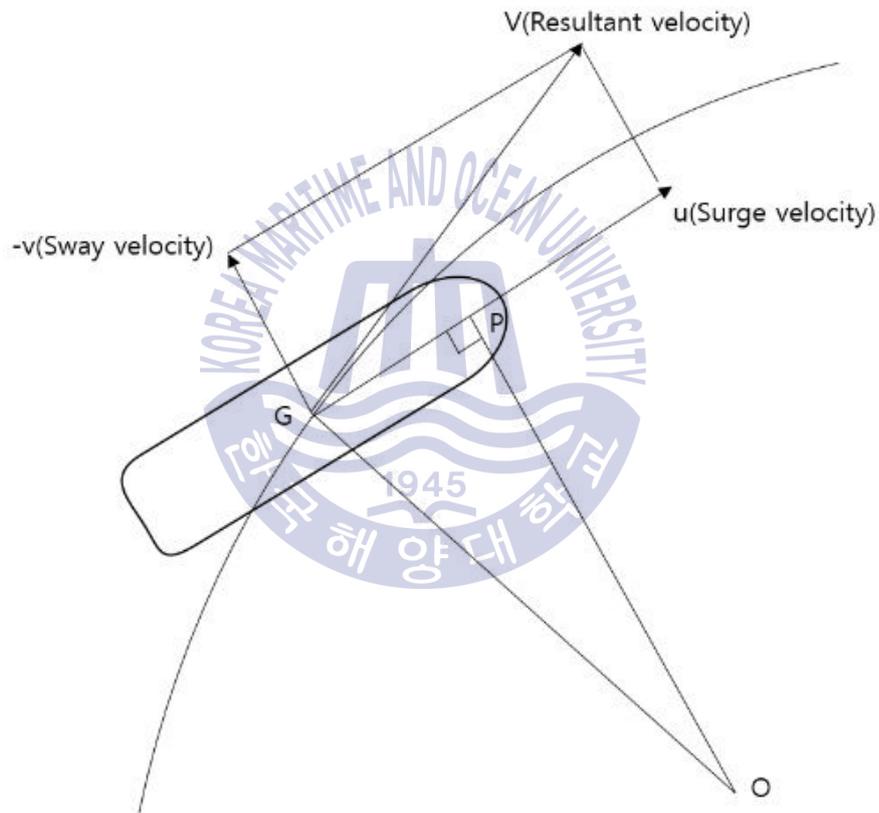


Fig. 4 Pivot point in turning path

Fig. 4에서 보는 바와 같이 전심의 위치는  $P$ 점이며 선체 자체의 회전 중심( $G$ ) 점과 혼동해서는 안 된다. 선체 자체의 회전 중심(Center of Rotation)은 선체의 무게중심과 거의 일치하며, 선체는 실제로 이 점을 중심으로 회전한다.

다만 선체 수선하부의 수압면적의 중심점 위치에 따라 G점은 회전중심과 그 위치를 달리 하게 되며, 화물적재상태 등에 따라 변화하기도 한다.

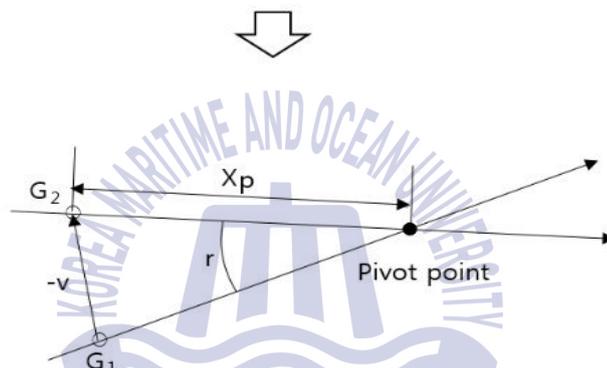
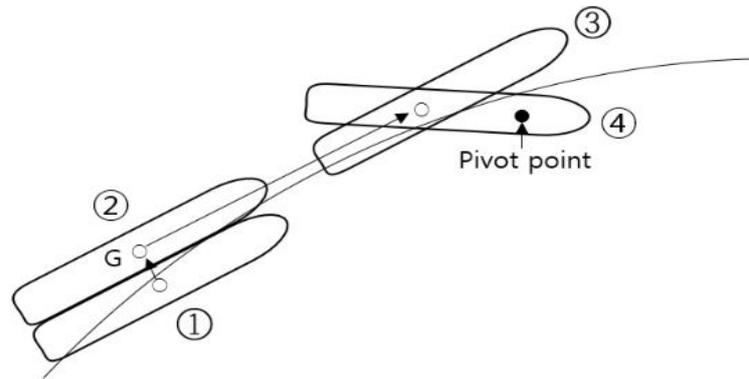


Fig. 5 Moving G and Pivot point in turning path

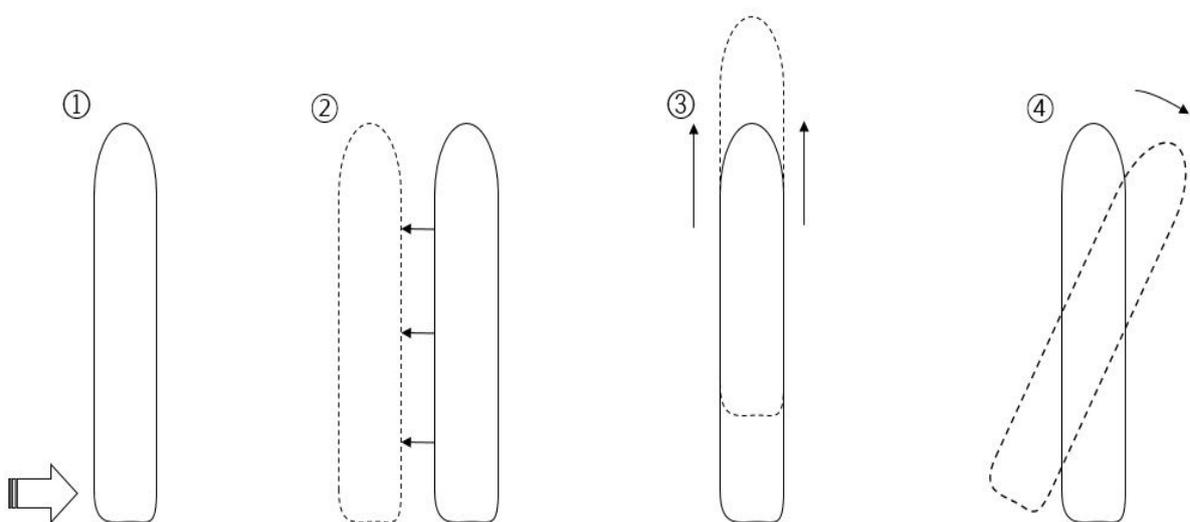


Fig. 6 Decomposed ship motion in turning

위 그림 Fig. 5와 Fig. 6처럼 선체가 전진하면서 선회할 때에는 서지, 스웨이, 요 운동이 모든 선회 단계에서 동시에 발생한다.

전심의 위치는 선박의 횡방향 속도( $v$ )과 선회각속도( $r$ )에 따라 변화한다. 다시 말하면 횡방향 속도( $v$ )는 극미소 시간에  $G_1$ 에서  $G_2$ 로 이동한 원호상의 거리가 되므로 선체 자체의 회전중심  $G$ 에서 전심까지의 거리를  $X_p$ 라고 하면, 아래와 같은 수식을 도출할 수 있다.

$$v + X_p \times r = 0 \tag{1}$$

단,

$v$  : 선체 무게중심(Center of gravity)에서의 횡방향 속도( $m/s$ )

$P$  : 전심(Pivot point)

$X_p$  : 선체 무게중심에서 전심까지의 거리( $m$ )

$r$  : 선회각속도 혹은 요 레이트(rate of turn or yaw rate,  $rad/s$ )

위 (1) 공식에서 다시 아래 (2) 식을 도출해낼 수 있다.

$$X_p = -\frac{v}{r} \tag{2}$$

(2) 식을 통해 보면  $r=0$ , 즉 선회각속도가 0일 때는 선박이 직선운동을 하게 됨으로 전심의 위치가 정의되지 않음을 알 수 있다. 선박이 전진 방향 또는 후진 방향으로 직선운동을 하면 위 식 (2)는 전후진 속도성분  $u$ 와 무관함으로 전심은 존재하지 않는다. 또 회전 운동 없이 순수하게 횡이동만 하는 경우에는 전심의 위치는 식 (2)에서  $r$ 이 0에 수렴함으로  $X_p$ 가 무한대에 가깝게 된다.

달리 말하면 선박이 선수미 방향인  $X$ 축을 따라서 움직이거나 정횡방향인  $Y$

축을 따라서 움직일 경우 전심은 실제로 존재하지 않으며, 따라서 전통적인 의미에서 언급된 바와 같이 선박이 전진할 때는 선수 쪽에, 후진할 때는 선미 쪽에 전심이 위치한다는 것은 성립되지 않는다.

Fig. 7, 8, 9는 국립대만해양대학교 선박조종시뮬레이터의 선회성이 양호한 쿠루프 아틀라스(Krupp Atlas)사 VLCC 모델이 35도 타각을 써서 선회할 때 스웨이( $v$ ), 요 레이트( $r$ ) 및 식 (2)에 따라 계산된 전심의 위치변화를 나타낸다. 35도 타각으로 선회할 경우 선박의 전심이 선체 중앙에서 선수에서 후방으로 선체길이의 약 1/5 부근 지점으로 이동하게 됨을 알 수 있다.

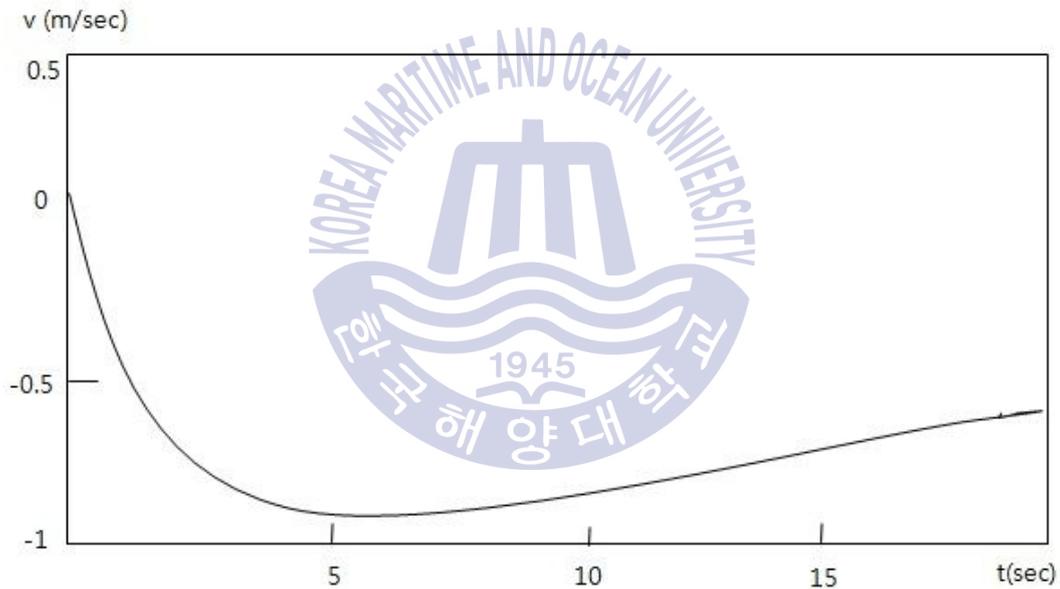


Fig. 7  $v$  for turning circle manoeuvre  
(Source: Tzeng, 1998)

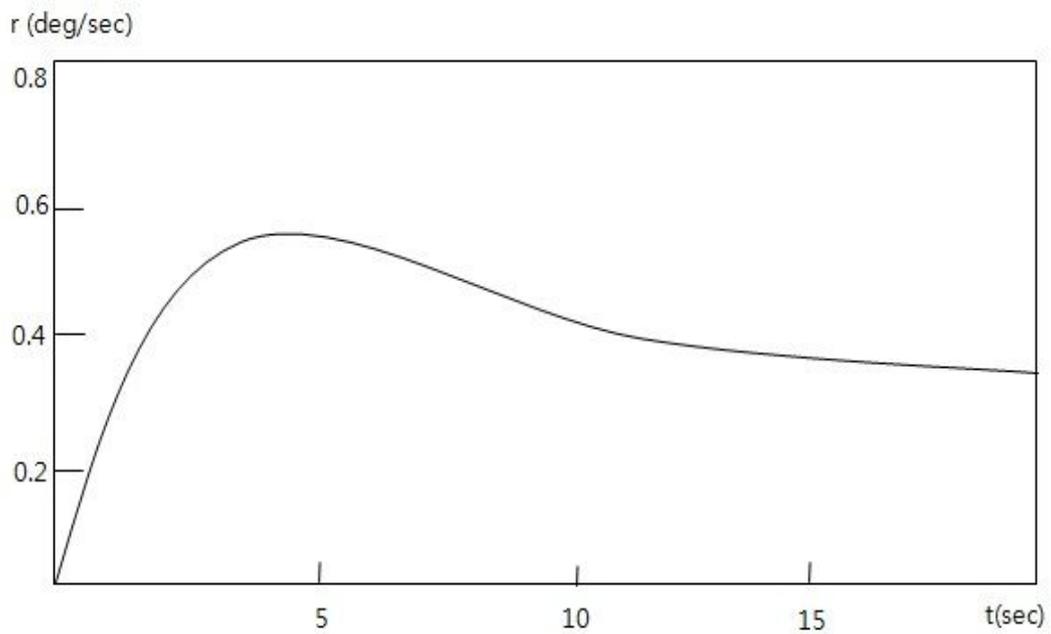


Fig. 8  $r$  for turning circle manoeuvre  
(Source: Tzeng, 1998)

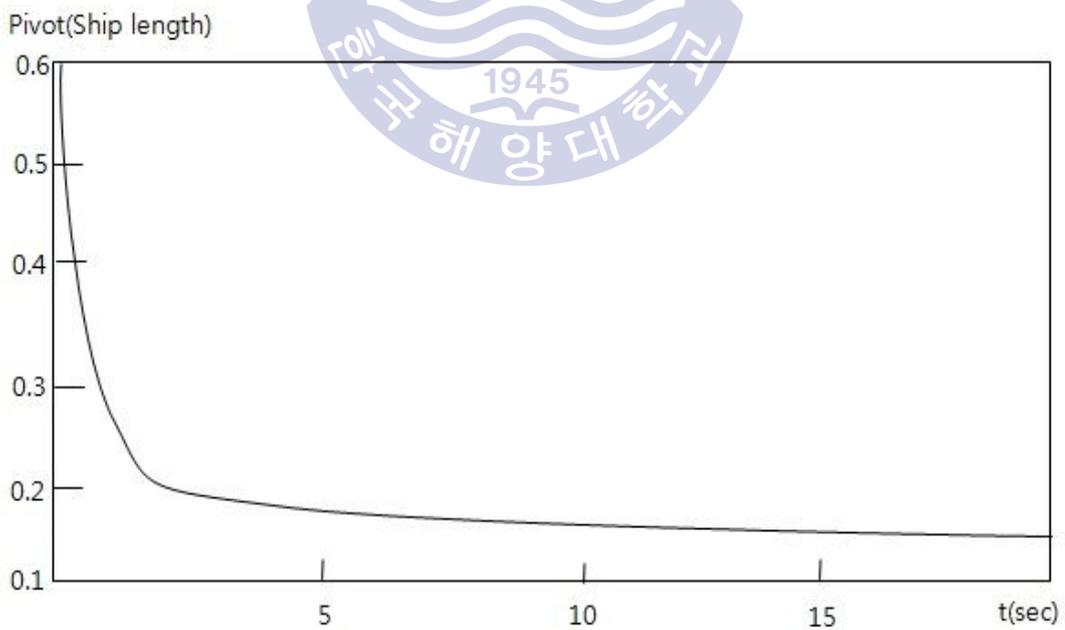


Fig. 9 Pivot point for turning circle manoeuvre  
(Source: Tzeng, 1998)

## 2.3 전심 위치의 변화

선박의 움직임을 체계적으로 계산하고 그 결과를 수치 또는 그림으로 표시하기 위해서는 좌표에 의한 체계, 즉 좌표계(Coordinate system)를 사용하며, 여기에서 선체운동을 표현하는 방식은 1차적으로 속력과 방향(침로)에 의하며, 이 속도를 구하기 위하여 속도를 발생시킨 가속도와 더 나아가 이 가속도를 발생시킨 힘(Force)을 구하는 것이 선체운동이론에서 다루는 핵심이다.

그런데 선체운동이론은 파도가 전혀 없는 항내 또는 연안 등의 정수(Still water)에서와 외해의 파랑상(Irregular Seaway)에서 각각 항해하는 경우에는 적용되는 이론의 범위가 다르다.

왜냐하면 평온한 물위에서 움직이는 선체는 전후진(Surge motion)과 횡이동(Sway motion) 및 선회 운동(Yaw motion) 중 일부 또는 전부를 동시에 하지만, 파랑상에서 움직이는 선체는 이들 세 가지 운동에 추가하여 횡요(Roll), 종요(Pitch), 승강(Heave) 운동 중 하나 또는 이들 전부인 여섯 가지의 운동을 동시에 하기 때문이다.

본 연구에서 다루는 전심의 개념은 항내 선박 조종시 더욱 중요하게 사용되어지는 개념으로서 항내 선박 조종에 활용, 적용할 수 있는 정수상에서의 운동이론에 두어 설명하도록 한다.

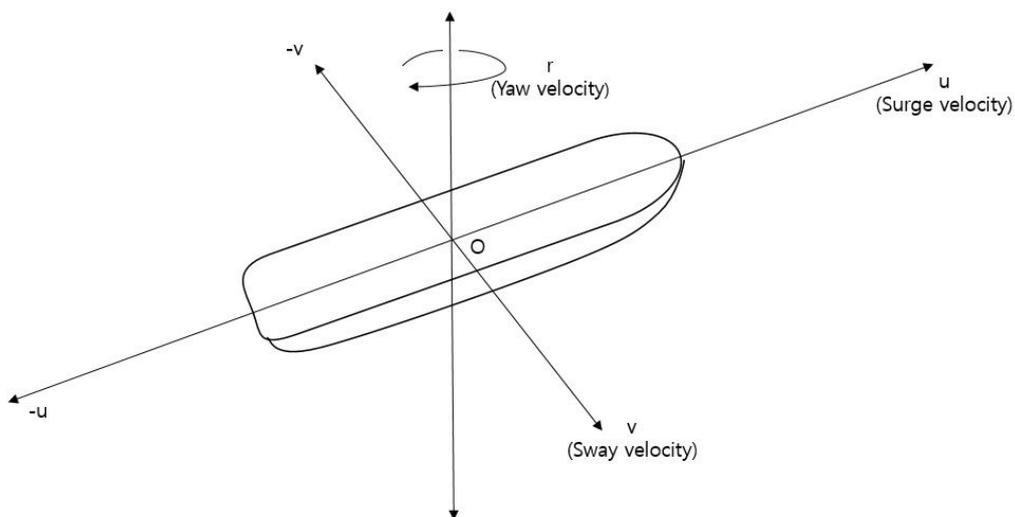


Fig. 10 Coordinate axes fixed in the ship

선체의 운동 방향과 속도를 가장 효과적으로 표현하기 위해 선체의 무게 중심에 원점을 둔 3차원이동좌표계를 설정한다(Fig. 10).

즉, 선체의 무게 중심을 통과하는 종방향 중심선을  $X$ 축, 횡방향 중심선을  $Y$ 축, 상하방향으로의 중심선을  $Z$ 축으로 하면,  $X$ 축을 따라 움직이는 직선 운동은 전후진 운동(Surge motion),  $Y$ 축을 따라 움직이는 직선운동은 횡이동(Sway motion),  $Z$ 축을 따라 움직이는 직선운동은 상하이동(Heave motion)이 된다.

또 선체운동을 모두 표현하기 위해서 직선운동 이외에 회전운동까지 표시할 수 있어야 하는데, 이를 위하여  $X$ 축을 중심으로 회전하는 원운동은 횡요(Roll motion),  $Y$ 축을 중심으로 회전하는 원운동을 종요(Pitch Motion),  $Z$ 축을 중심으로 회전하는 운동을 선회(Yaw motion)으로 각각 분류한다. 이 설명을 요약하여 표시하면 Table 2와 같다.

Table 2 Type of ship motion component

축	직선운동	회전운동
$X$	전후진운동(Surge: $X$ 축을 따라 이동) 전진속도 : $+u$ , 후진속도 : $-u$	횡요(Roll: $X$ 축을 중심으로 회전)
$Y$	좌우 운동(Sway: $Y$ 축을 따라 이동) 우현방향 속도 : $+v$ , 좌현방향 속도 : $-v$	종요(Pitch: $Y$ 축을 중심으로 회전)
$Z$	상하운동(Heave: $z$ 축을 따라 이동)	회두(Yaw: $Z$ 축을 중심으로 회전) $+r$ : 우선회각속도, $-r$ : 좌선회각속도

Table 2에 있는 6종의 운동성분 중 파랑이 없는 정수(Still water)상에서 움직이는 선박은 서지, 스웨이, 요 운동만 하므로, 항내 조종시 필요한 전심을 분석하기 위한 선체운동 요소는 전후진속도( $u$ , surge velocity), 좌우 이동속도( $v$ , sway velocity) 및 선회각속도( $r$ , yaw angular velocity) 뿐이다.

전후진 속도, 좌우 횡이동속도 및 선회각속도를 구하는 방법에는 뉴턴의 제2 운동법칙인  $F=ma$ 를 각 축에 대하여 적용하는데, 선체에 가해진 각 축방향의 모든 힘을 합하여 축방향의  $F$ 를 구한 후 이를 선체 질량  $m$ 으로 나누어 각 축방향 가속도  $a$ 를 구한다. 물체에 작용한 가속도가 적분하면 속도로 나타나는 것이므로 이 가속도를 시간에 관하여 적분하여 속도를 구하는 방식이다.

지금까지 살펴본 전심의 정의에 따라 선체고정 직각좌표계를 이용하여 Table 3 과 같이 항내와 같은 정수상의 선체 운동 성분인 서지( $u$ ), 스웨이( $v$ ), 선회각속도( $r$ )의 변화에 따른 모든 선체 운동에 대한 전심의 위치변화에 대해 상세히 분석한다.

Table 3 Pivot point in various cases

Case	Surge ( $u$ )	Sway ( $v$ )	Yaw ( $r$ )	$X_p$ (선체자체 회전중심에서 전심까지의 거리)
1	0	0	$r > 0$ or $r < 0$	0
2		$v > 0$ or $v < 0$	0	$\infty$
3.1		$v \times r < 0$ ( $v, r$ : 부호가 반대방향)	$v = 0.5L \times r$ (회전중심 전방; 선수 끝)	
3.2			$v > 0.5L \times r$ (회전중심 전방; 선수 전방)	
3.3			$v < 0.5L \times r$ (회전중심 전방; 선수 후방)	

3.4		$v \times r > 0$ ( $v, r$ : 부호가 동일방향)		$v = 0.5L \times r$ (회전중심 후방; 선미 끝)
3.5				$v > 0.5L \times r$ (회전중심 후방; 선미 후방)
3.6				$v < 0.5L \times r$ (회전중심 후방; 선미 전방)
4	$u > 0$	0	$r > 0$ or $r < 0$	$X_p = -\frac{v}{r} = 0$ (회전중심(G)=전심(P))
5		$v > 0$ or $v < 0$	0	$r = 0$ 이므로 전심 존재하지 않음
6.1		$v \times r < 0$ ( $v, r$ : 부호가 반대방향)		$v = 0.5L \times r$ (회전중심 전방; 선수 끝)
6.2				$v > 0.5L \times r$ (회전중심 전방; 선수 전방)
6.3				$v < 0.5L \times r$ (회전중심 전방; 선수 후방)
7		$u < 0$	0	$r > 0$ or $r < 0$
8	$v > 0$ or $v < 0$		0	$r = 0$ 이므로 전심 존재하지 않음
9.1	$v \times r > 0$ ( $v, r$ : 부호가 동일방향)		$v = 0.5L \times r$ (회전중심 후방; 선미 끝)	
9.2			$v > 0.5L \times r$ (회전중심 후방; 선미 후방)	
9.3			$v < 0.5L \times r$ (회전중심 후방; 선미 전방)	

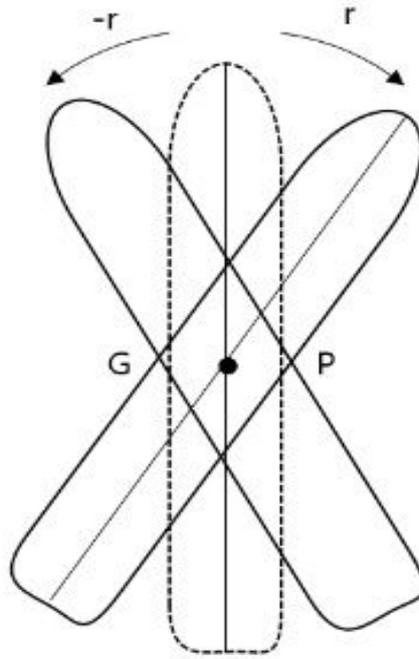


Fig. 11 Case 1 ( $u=0, v=0, r \neq 0$ )

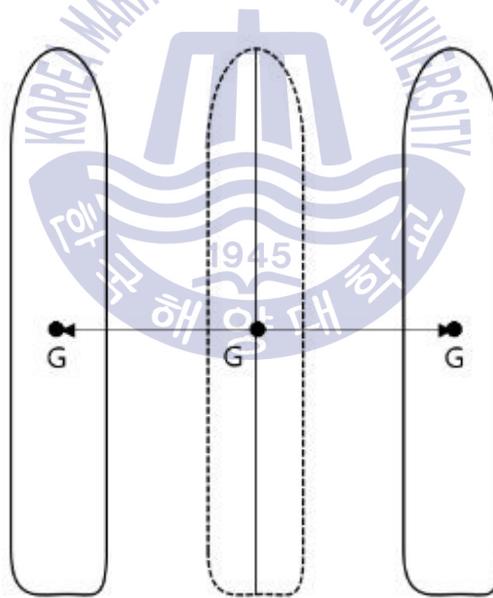


Fig. 12 Case 2 ( $u=0, r=0, v \neq 0$ )

케이스 1의 경우 전진속도  $u$ 와 횡이동 속도( $v$ )가 없으므로 회전중심(G)과 중심(P)의 위치가 동일하다(Fig. 11). 케이스 2는  $X_p = -v/r$ 에서 선회각속도  $r$ 이 0이므로 현실적으로 존재하지 않는다(Fig. 12).

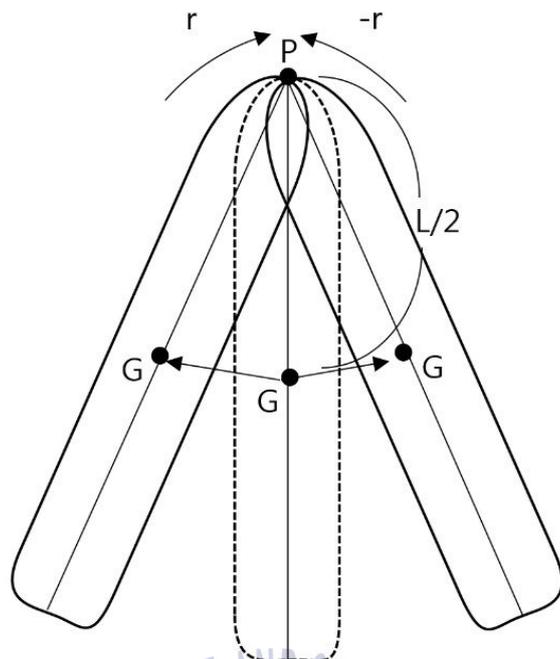


Fig. 13 Case 3.1 ( $v=0.5L \times r$ )

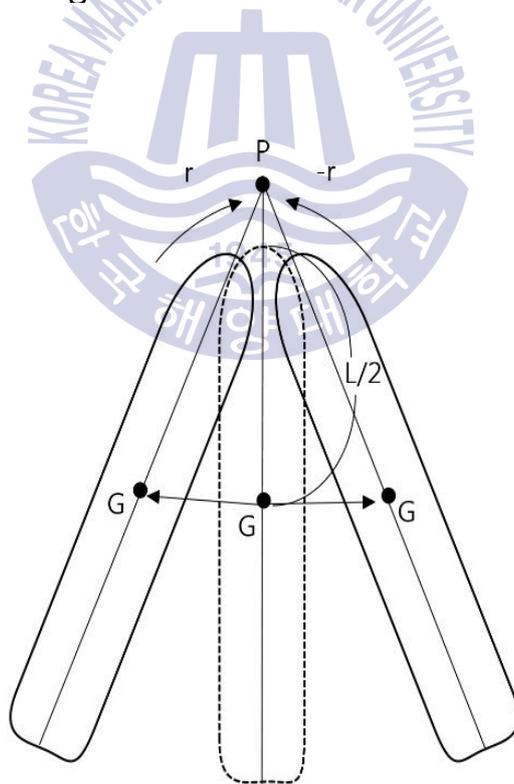


Fig. 14 Case 3.2 ( $v > 0.5L \times r$ )

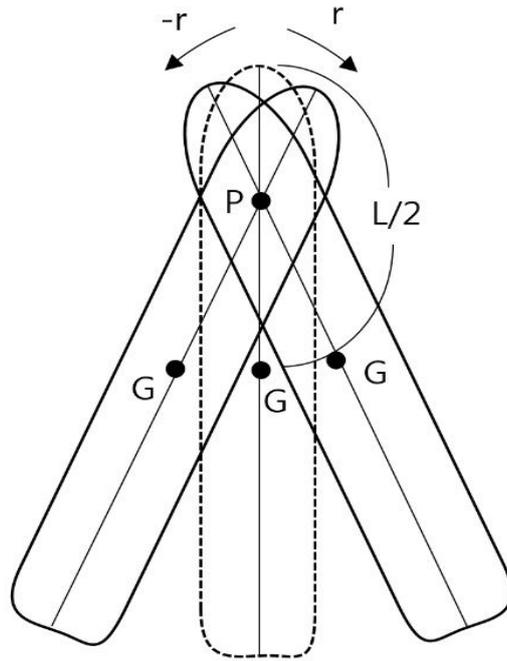


Fig. 15 Case 3.3 ( $v < 0.5L \times r$ )

케이스 3.1, 케이스 3.2, 케이스 3.3 등의 경우 선체는  $u=0$  상태에서 모두 좌이동시 우회전하고 우이동시 좌회전하는 운동을 하게 되며 회전 운동과 스웨이의 차이에 의해 전심의 위치가 달라진다(Fig. 13, Fig. 14, Fig. 15). 즉, 상기 세 경우 모두 스웨이 운동과 요 운동의 부호가 반대방향이므로 전심  $P$ 가  $G$ 점 전방에 위치한다.

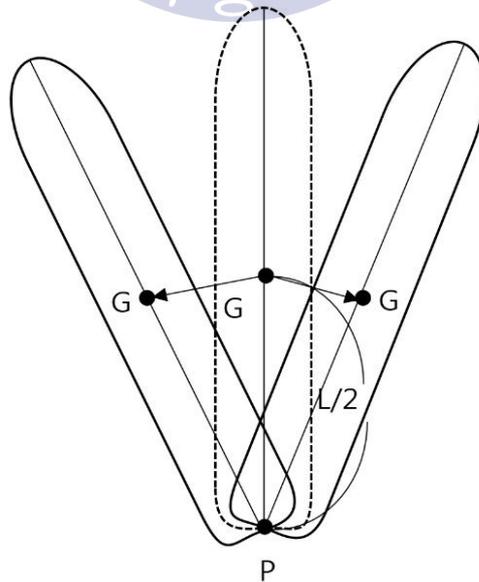


Fig. 16 Case 3.4 ( $v = 0.5L \times r$ )

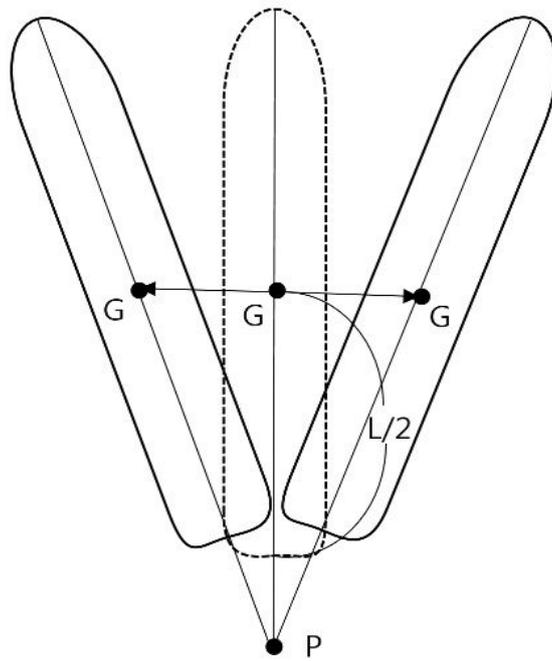


Fig. 17 Case 3.5 ( $v > 0.5L \times r$ )

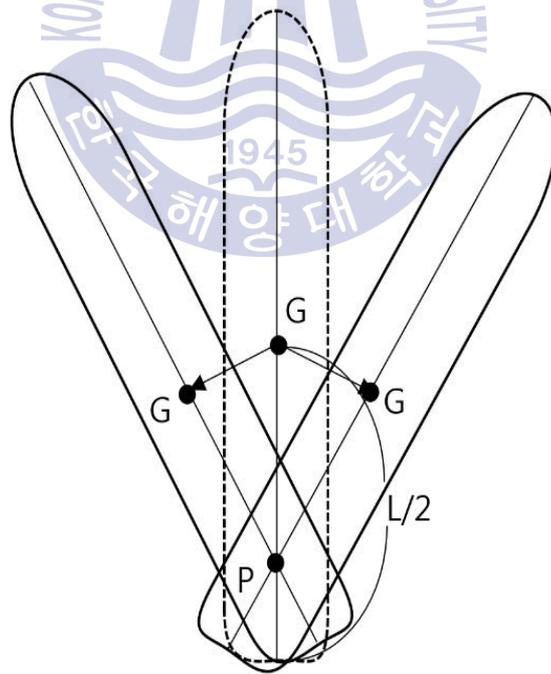
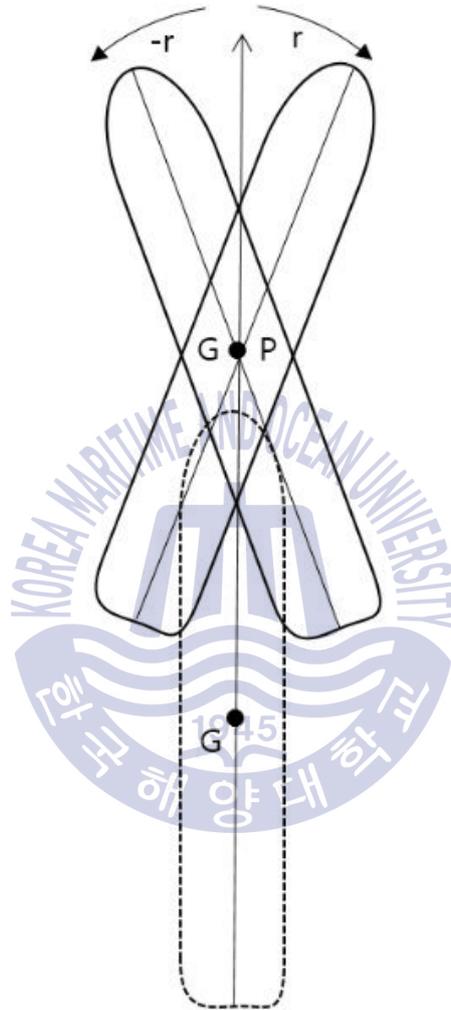


Fig. 18 Case 3.6 ( $v < 0.5L \times r$ )

케이스 3.4, 케이스 3.5, 케이스 3.6 등의 경우 선체는  $u=0$  상태에서 모두 좌이동시 좌선회하고 우이동시 우선회하는 운동을 하게 되며 회전 운동과 스웨이 운동의 차이에 의해 전심의 위치를 달라진다(Fig. 16, Fig. 17, Fig. 18). 상기 세 경우 모두 스웨이 운동과 요 운동의 부호가 동일하므로 전심  $P$ 가  $G$ 점 후방에 위치한다.



**Fig. 19** Case 4  
 $(u>0, v=0, r\neq 0)$

케이스 4의 경우 스웨이 성분이 없으므로  $X_p = -v/r = 0$ 이 되어 선체 회전중심  $G$ 와 전심  $P$ 의 위치가 동일하다(Fig. 19).

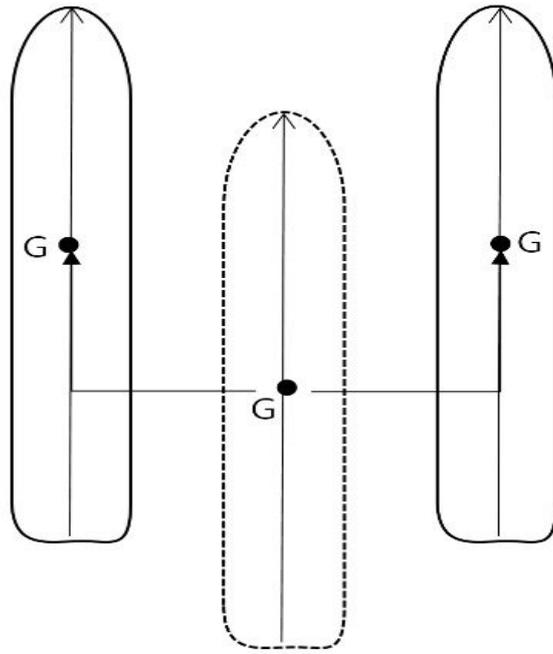


Fig. 20 Case 5 ( $u > 0, v \neq 0, r = 0$ )

케이스 5는  $r = 0$ 이므로 전심은 존재하지 않는다(Fig. 20).

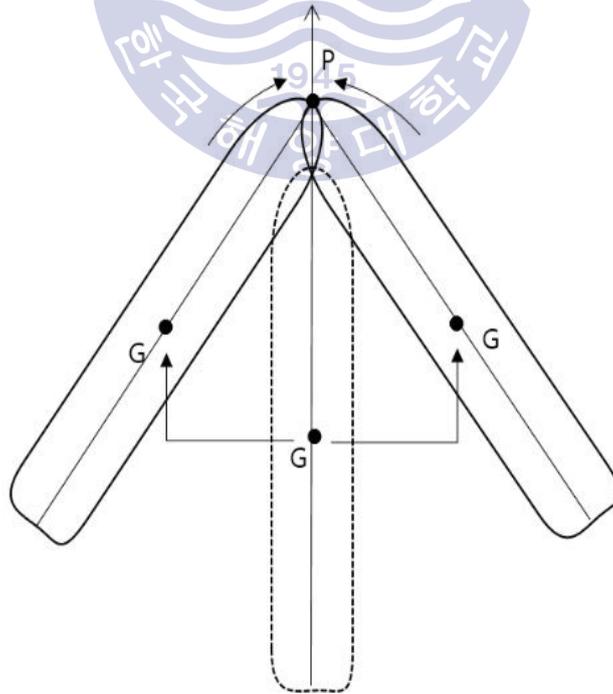


Fig. 21 Case 6.1 ( $v = 0.5L \times r$ )

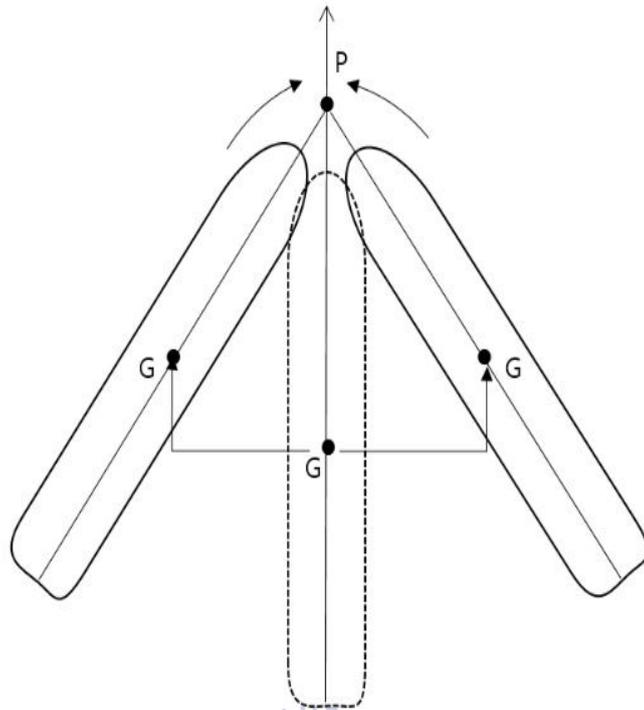


Fig. 22 Case 6.2 ( $v > 0.5L \times r$ )

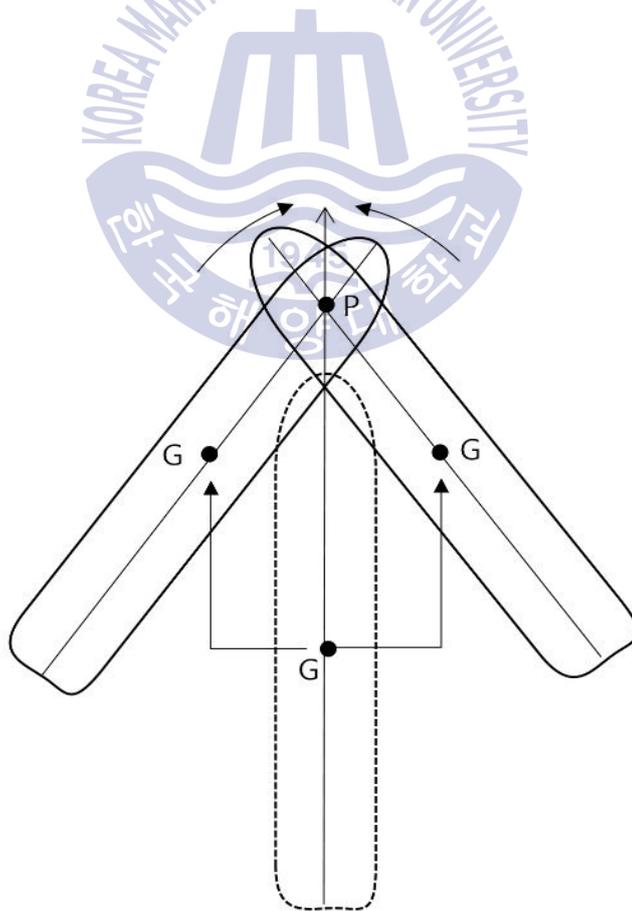


Fig. 23 Case 6.3 ( $v < 0.5L \times r$ )

케이스 6.1, 케이스 6.2, 케이스 6.3 등의 경우 선체가  $u > 0$ 인 상태에서 좌이동시 우선회하고 우이동시 좌선회 하는 운동을 하게 되며 회전 운동과 스웨이 운동의 차이에 의해 전심의 위치가 달라진다(Fig. 21, Fig. 22, Fig. 23). 상기 세 경우 모두 스웨이 운동과 요 운동의 부호가 반대방향으로서 전심  $P$ 가 회전중심  $G$ 점 전방에 위치한다.

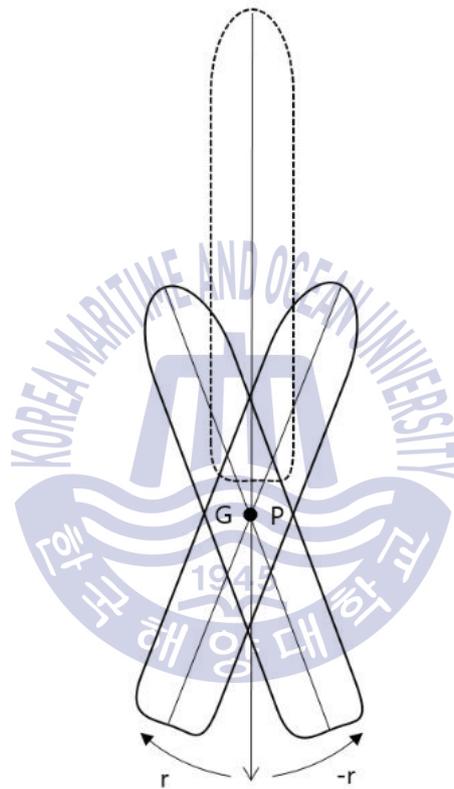


Fig. 24 Case 7  
( $u < 0, v = 0, r \neq 0$ )

케이스 7의 경우 스웨이 성분이 없으므로  $X_p = -v/r = 0$ 이 되어 선체 회전중심  $G$ 와 전심  $P$ 의 위치가 동일하다(Fig. 24).

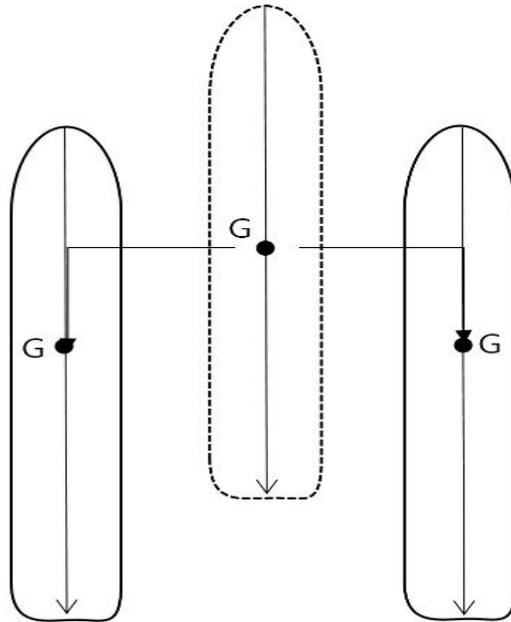


Fig. 25 Case 8 ( $u < 0, v \neq 0, r = 0$ )

케이스 8는  $r = 0$ 이므로 전심은 존재하지 않는다(Fig. 25).

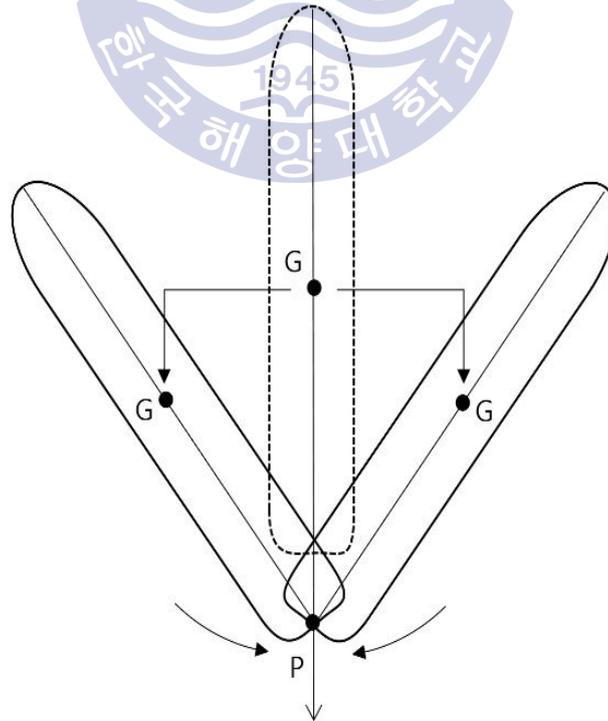


Fig. 26 Case 9.1 ( $v = 0.5L \times r$ )

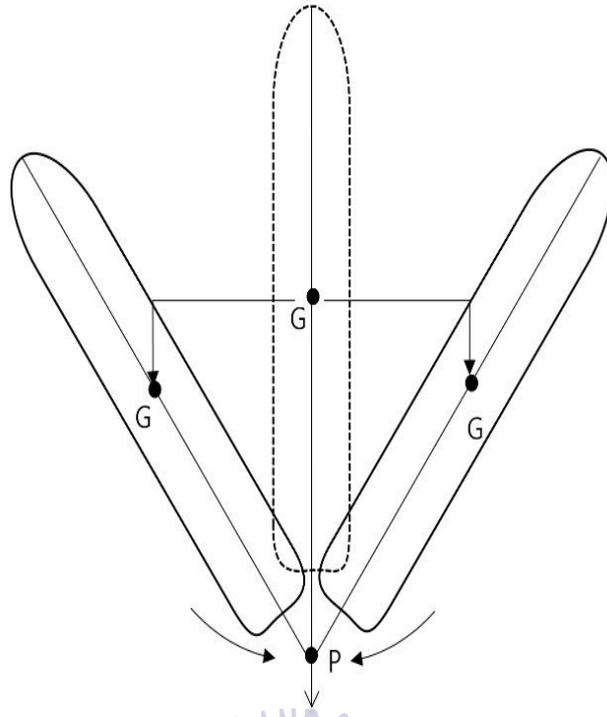


Fig. 27 Case 9.2 ( $v > 0.5L \times r$ )

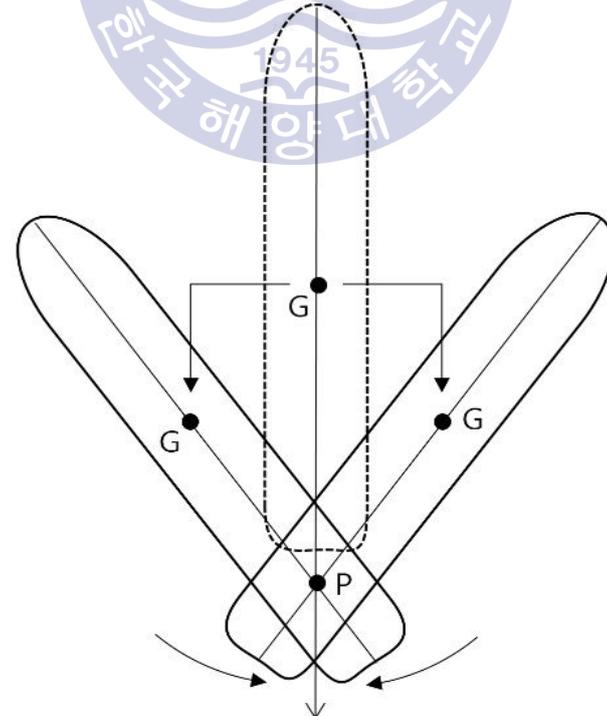


Fig. 28 Case 9.3 ( $v < 0.5L \times r$ )

케이스 9.1, 케이스 9.2, 케이스 9.3 등의 경우 선체가  $u < 0$ 인 상태에서 좌이동시 좌선회하고 우이동시 우선회 하는 운동을 하게 되며 회전 운동과 스웨이 운동의 차이에 의해 전심의 위치가 달라진다(Fig. 26, Fig. 27, Fig. 28). 상기 세 경우 모두 스웨이 운동과 요 운동의 부호가 동일방향으로서 전심  $P$ 가 회전중심  $G$ 점 후방에 위치한다.

## 2.4 힘의 평형점(E)

지금까지 선체에 작용하는 다양한 운동성분별 전심의 변화 위치에 대해 살펴보았다. 그렇다면, 전후진 속도만 있고( $u > 0$  또는  $u < 0$ ) 횡이동 속력과 선회각 속도가 없으면( $v = 0$  및  $r = 0$ ) 전심  $P$  점은 존재하지 않는다. 통상적으로 부두 부근에서 이접안 작업시 스웨이와 요 운동이 없이 일정 속력으로 전후진 중인 선박 조종에 활용되고 있는 것은 전심의 개념이 아니라 일종의 힘의 평형점이다.

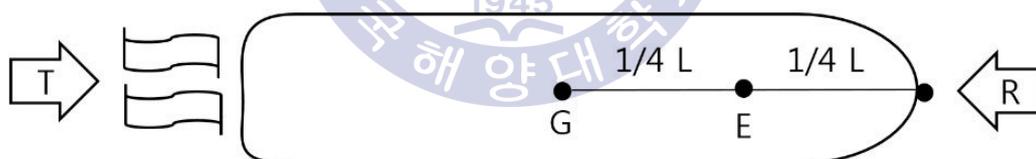


Fig. 29 E position in making headway

Fig. 29처럼 일정속력으로 직진하는 선박에는 추력( $T$ ), 추력과 힘은 같고 방향은 반대 힘인 수저항( $R$ )이 작용한다. 이 때 추력( $T$ )의 작용점인 무게중심( $G$ )점과 수저항( $R$ )의 작용점인 선수 끝의 한 가운데 위치( $E$ )는 추력( $T$ )와 수저항( $R$ )이 동시에 작용하여 평형(Equilibrium)을 이루는 곳이다.

그러므로  $E$ 점에 횡방향 힘이 작용하면 선체가 선회 운동 없이 그대로 횡이동을 하게 되고, 선미쪽에 횡방향 힘을 가하면  $E$  점을 중심으로 선체가 회전하

게 됨으로 이 점을 전심  $P$ 점으로 오해하기 쉽다.

앞서 설명하였듯이 전심의 위치  $X_p = -v/r$ 이므로 Fig. 29와 같은 상황은  $v=0$  그리고  $r=0$ 이므로 성립되지 않는다. 이처럼 Fig. 29와 같은 상황은 전심이 가상의 점으로서 존재하는 것이 아니고 아예 존재하지 않는 것이다. 단지 추력( $T$ )과 수저항( $R$ )의 균형점인  $E$ 만 존재한다.

추력( $T$ )이 발생하여 정속 전진중인 선체는 선수에 저항( $R$ )을 받는다. 즉, 정속 전진 중  $T=R$ 이 되어 관성력으로 전진하고 있는 상태이다.

그런데 정속전진 중 강체인 선박에는 선박의 중심( $G$ ; Center of gravity)에 추력( $T$ )이 작용하고 있는 것으로 간주되고, 통상 이  $G$ 점은 대략 선체 길이( $L$ )의 중간위치에 있고, 수저항( $R$ )은 선수수면하부 횡단면적의 중심점에 작용한다고 볼 수 있다.

이 상태에서 추력( $T$ )과 수저항( $R$ )은 앞의 설명과 같이 크기는 같고 방향은 반대이다. 추력( $T$ )의 작용점인 무게중심  $G$ 와 수저항( $R$ )의 작용점  $F$ 의 거리는 선체길이의 약 절반( $1/2 L$ )이므로, 힘의 평형점( $E$ )는 그 한가운데가 되어 선체길이의  $1/4$  위치에 형성되게 된다.

선체가 전진 또는 후진 시에는 이동하는 방향 쪽에 전심이 존재한다는 전통적인 전심의 정의에 따라 선체를 회전 없이 횡이동만 시키고자 할 경우, 힘의 균형점에 예선을 잡아 밀거나 당겨서 조선한다. 그리고 선체를 회전시킬 경우에는 모멘트의 팔( $arm$ )을 크게 하기 위해 이동하는 선박의 반대 방향에 예선을 사용하여 밀거나 당겨서 힘의 균형점을 중심으로 한 회전 효율을 높이는 방법으로 활용한다.

이처럼 힘의 평형점을 선박 조종에 유용하게 활용하고 있는 것은 좋지만 이 점을 바로 전심으로 혼동하는 것은 지양해야 한다. 이 점을 전심으로 이해할 경우 다른 경우의 전심을 설명하지 못하는 오류가 발생하게 된다.

힘의 평형점에서 예인력을 작용시켰을 때 선체가 회전하지 않고 횡이동만 하는 이유는 그 점이 추력과 저항력의 작용점으로부터 같은 거리에 있으므로 두 힘이 팽팽하게 평형을 이루고 있어서 마치 이 점으로 무게중심이 이동된 것과

같은 효과를 발생시키기 때문이다.

그런데 만일 힘의 평형점( $E$ ) 또는  $E$ 점의 가까운 곳에 추력( $T$ )이나 저항력( $R$ )보다 현저하게 큰 힘이 횡방향으로 작용하게 된다면, 그 때는 선체가 횡이동만 하는 것이 아니라 전심  $P$ 가 순간적으로 선미 측에 형성된다. 그와 같이 선박이 전진 중에 전심이 선미에 존재하는 경우가 생기게 됨으로, 선박이 이동하는 방향에 전심이 형성된다는 설명에는 오류가 있다.

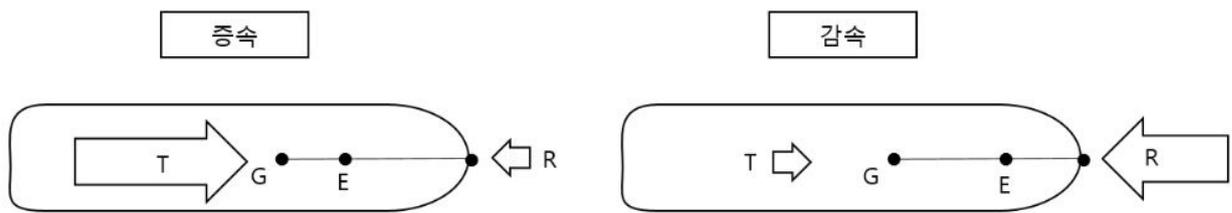


Fig. 30 E position in changing speed(a)

힘의 평형점( $E$ )는 전후진 속도가 변화함에 따라 Fig. 30과 같이 변화한다. 증속 중에는  $T > R$  이므로 힘의 평형점( $E$ )는  $G$ 점 가까이에 위치하고 감속 중에는  $T < R$  이므로 선수 끝 쪽 가까이로 이동한다.

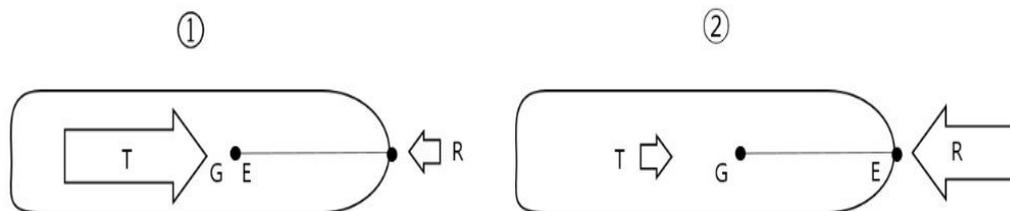


Fig. 31 E position in changing speed(b)

또한  $T$ 와  $R$ 의 크기 차이가 극단적인 경우는 Fig. 31과 같이 변화한다. Fig. 31 ①의 경우는 정선한 상태에서 전진속력이 발생하기 시작할 때 추력( $T$ )가 저항( $R$ )에 비하여 현저히 크므로  $E$ 점은 거의  $G$ 점과 일치한다. Fig. 31 ②의 경

우는 선박이 엔진을 멈추고 관성으로 전진하는 순간으로서  $T=0$ 에 근접함으로  $E$ 점은 선수끝 점에 근접한다.

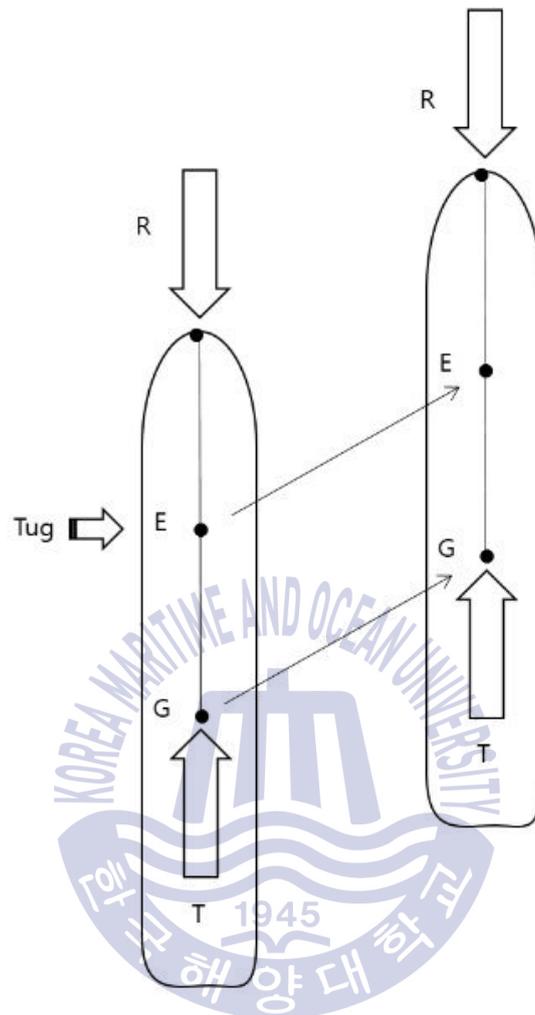


Fig. 32 Lateral force in making headway(a)

Fig. 32의 경우와 같이 추력( $T$ )과 저항력( $R$ )의 균형점( $E$ )에 예선이  $T$ 나  $R$ 에 비하여 상대적으로 작은 힘으로 선체를 밀 때, 전진중의 본선의 선체가 회전하지 않고 균형점( $E$ )이 무게중심인 것과 같이 횡이동만 발생한다.

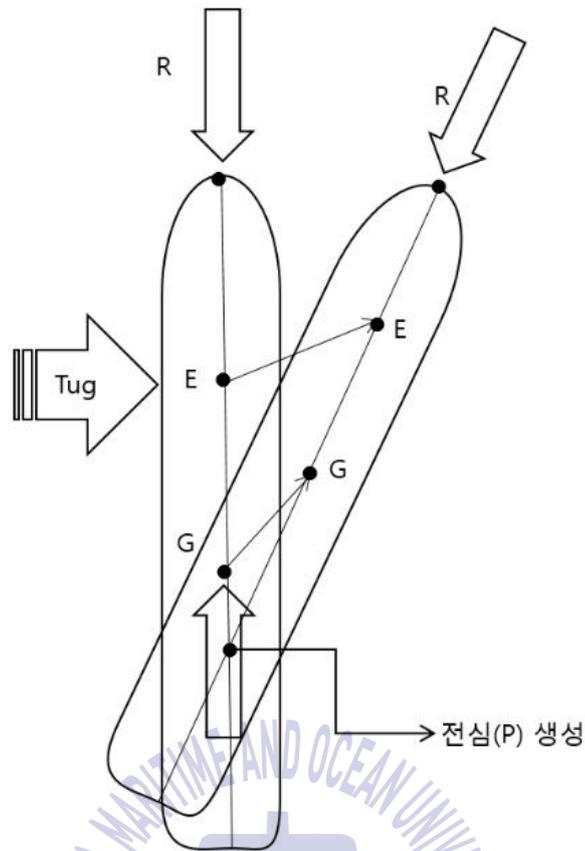


Fig. 33 Lateral force in making headway(b)

반면에 Fig. 33과 같이 추력( $T$ )과 저항력( $R$ )의 균형점( $E$ )에 예선이  $T$ 나  $R$ 보다 상대적으로 아주 큰 힘으로 밀게 되면, 선체 회전 성분( $r$ )이 발생하게 되어 전심이 순간적으로 선미 측에 형성된다.

이와 같이 전심은 반드시 이동하는 방향 쪽에 위치하는 것은 아니며 전심의 위치는 방향과 거리 즉  $v, r$  성분만이 영향을 주며,  $u$  성분과는 무관하다. 그리고 힘의 균형점( $E$ )는 선체의 다양한 움직임 중 순간적인 경우에 일시적으로 적용되는 점으로써 다양한 외력에 의해 힘의 균형점은 계속 변화한다. 이 때문에 힘의 균형점의 정확한 위치를 구하는 것은 용이하지 않다.

## 2.5 특수한 경우의 전심

선체 운동성분에 따른 전심의 위치변화와는 별도로 부두, 투묘, 예인선 등 외부 환경 또는 힘에 의한 전심의 위치변화를 살펴본다.

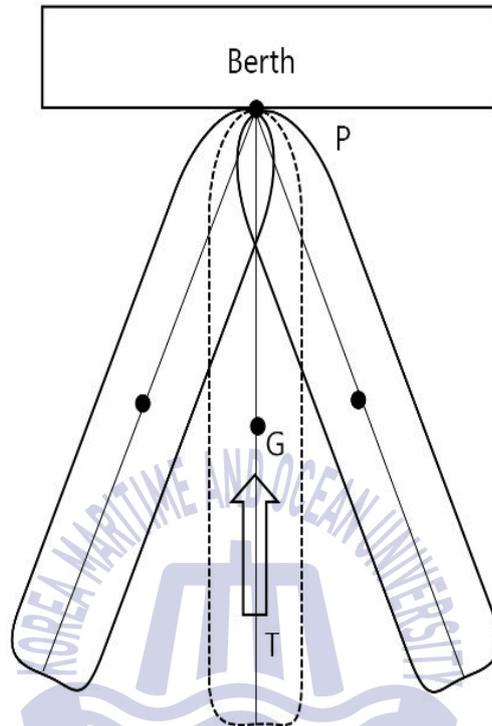


Fig. 34 Pivot point in special case(a)

Fig. 34의 경우는 선수가 부두에 가로막힌 경우로서  $R$ 이 무한대에 가깝기 때문에  $T$ 보다  $R$ 이 과대하여 전진하지 못하는 경우이다. 즉,  $u=0$ ,  $v=0$ ,  $r \neq 0$ 이다.

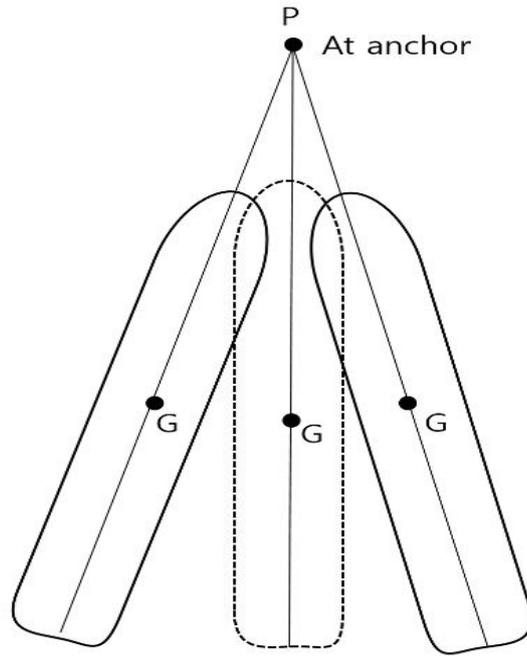


Fig. 35 Pivot point in special case(b)

Fig. 35 의 경우는 선체가 좌우로 횡이동 함에도 불구하고 선교에서 볼 때 선 수끝 전방의 어떤 물체가 상대방위의 변화 없이 계속 정선수에 관측될 때, 그 물체의 위치가 전심의 위치가 되는 경우이다. 이 경우에는 전심과 선회중심 (Center of turning)이 일치하는 경우로서 투묘중의 선체운동과 같다.

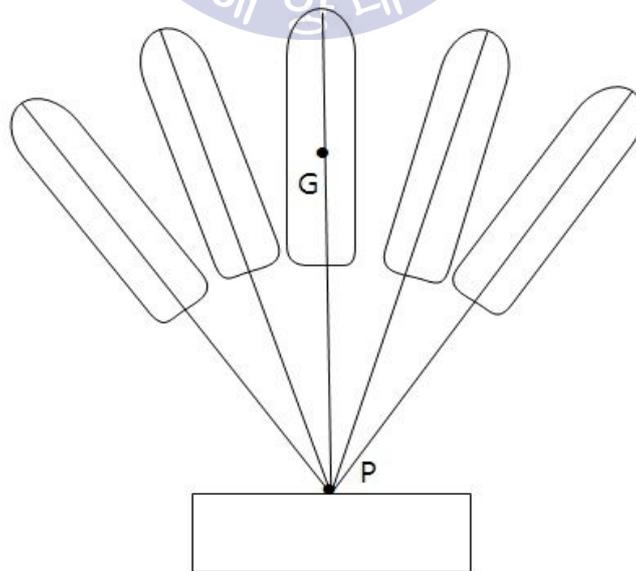


Fig. 36 Pivot point in special case(c)

Fig. 36은 자선보다 매우 큰 질량의 피에인물을 선미 방향에서 예인할 경우 선박은 전진속력이 없고, 후진 피에인물의 예인력 작용점을 중심으로 회전만 하게 된다. 이 때, 예인력의 작용점에 전심이 위치하게 된다.

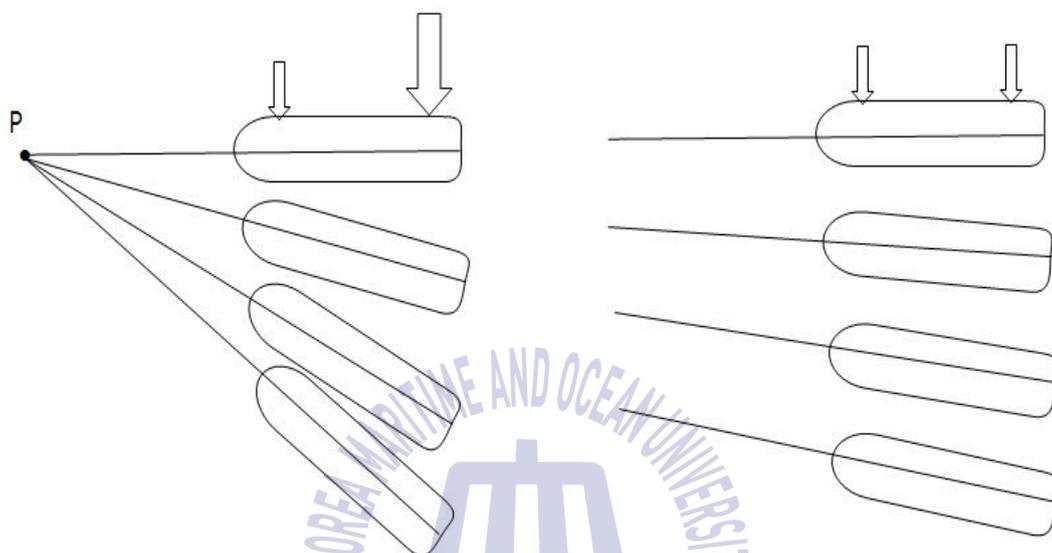


Fig. 37 Pivot point in special case(d)

Fig. 37의 경우는 선체의 선수와 선미에 예선 또는 쓰러스터를 사용하여 횡방향 힘을 가했을 때 그 차이에 의한 전심의 위치에 대한 것이다. Fig. 37 좌측의 경우는 선미의 횡방향 힘이 선수의 그것에 비해 과대하여 선수 전방에 전심의 위치가 형성되었다.

반면 Fig. 37 우측의 경우는 선수와 선미의 횡방향 힘의 차이가 극미하여 거의 선수 전방 무한대에 형성되는 것이다. 이런 경우에 의해 선박의 전심이 선체 밖에 존재할 수도 있는 것이다.

## 제 3 장 수저항 중심

### 3.1 수저항 중심에 대한 새로운 접근

선박의 전심(Apparent Pivot point)이 외력이 작용하는 선박의 다양한 운동상황에서의 선체 회전중심을 설명하지 못하고 있다. 예선 등의 작용을 표현하기 위한 모멘트 팔로서 이용되는 각종 힘의 평형점의 위치를 알 수 없고 또 선체에 작용하는 공기 저항은 수저항에 비하여 아주 작으므로 선체의 우력의 작용점으로서 선체의 수저항 중심을 제안하고 항내 선박 조종에 사용할 수 있는 개념으로 접근해보고자 한다.

#### 3.1.1 선체 수저항 중심

횡방향 저항의 중심은 수저항의 횡방향을 의미하며 여기서는 수저항 중심으로 통칭한다.

##### 3.1.1.1 선체 수저항 중심의 정의

만약 외력이 선체 수저항 중심이 아니라 수저항 중심의 앞쪽이나 후방에 작용한다면, 그에 따른 우력으로서 외력이 작용하는 반대 방향에 수저항이 작용하게 되므로 선체는 회전하게 된다. 이와 같은 이유로 선체 수저항은 “hydraulic lift” 라고도 불린다.

이와 같이 선체 수저항 중심은 선체를 회전시키는 중심으로서의 역할을 하는 지점이며, 전심(Apparent Pivot point)과는 그 역할과 정의를 달리하며 이 두 지점은 일치하지 아니한다.

### 3.1.1.2 선체 수저항 중심의 위치

선체 수저항 중심의 위치는 개략적으로 예측이 가능하며, 선박의 무게중심, 선체의 수면하부 면적(hull shape, 트림 등), 선체 주위의 수압 등의 영향을 받아 결정된다. 초기의 선체 수저항 중심은 선체 무게중심과 수선하부 중심이 일치 하지 않을 때 그 두 지점 사이의 중간쯤에 위치한다.

선체 수면하부 중심은 주로 선박의 트림에 영향을 받는데 선미 트림(Trim by the stern)일 경우 선체 수저항 중심은 선미 쪽으로 이동하게 되고 ,선수 트림(Trim by the head)일 경우에는 선체 수저항 중심이 선수 쪽으로 이동하게 된다.

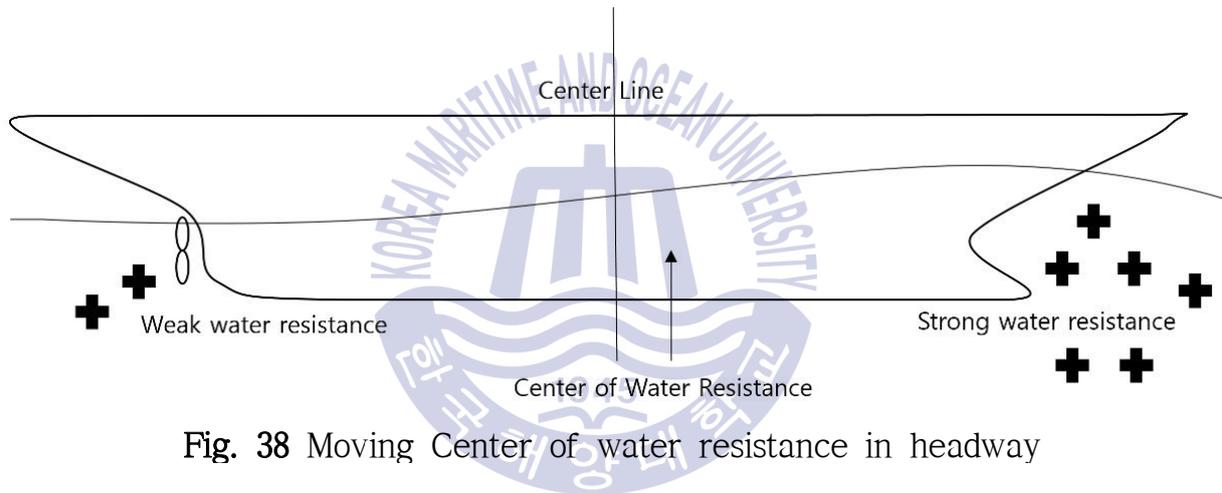


Fig. 38 Moving Center of water resistance in headway

또한 선박이 전진할 때 선수파(Bow wave), 선미 수면하부 압력 차이 등으로 인한 선체 주위의 수저항은 선수쪽이 선미쪽 보다 크게 된다. 그에 따라 Fig. 38과 같이 선체 수저항 중심을 선수 쪽으로 이동시킨다. 이것은 선박이 전진할 경우 선수 쪽에 더 큰 저항이 생겨 선박을 횡이동 시킬 수 있는 저항 면적이 더 커졌음을 의미한다. 선박이 후진할 경우에는 그 반대와 같다. 실제 선박조종에서 선속에 의한 수저항 중심의 위치 이동은 선박이 움직이는 방향으로 선체 길이의 10%를 넘지 않는다.

선박이 정지해 있을 경우, 전진과 우선회를 할 경우, 후진을 할 경우의 각각 수저항 위치를 살펴봄으로써 수저항 중심의 개략적인 위치를 확인해 본다.

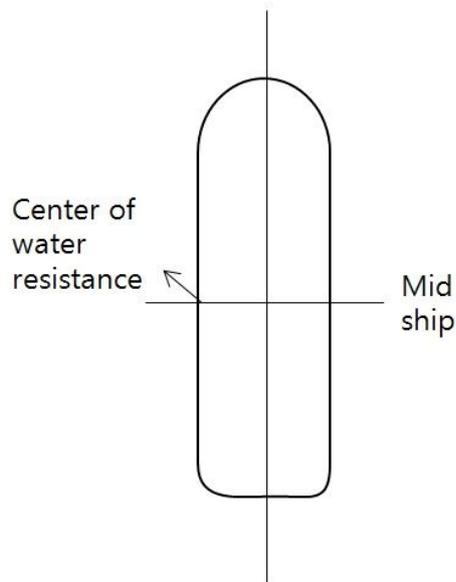


Fig. 39 Center of water resistance in stop

일반적으로 선박이 정지해 있을 경우 수저항 중심의 위치는 선박의 무게 중심에 위치해 있다고 할 수 있다(Fig. 39). 하지만 앞에서 설명하였듯이 선박은 직육면체가 아니므로 수선하부의 모양에 따라 그 위치를 달리한다.

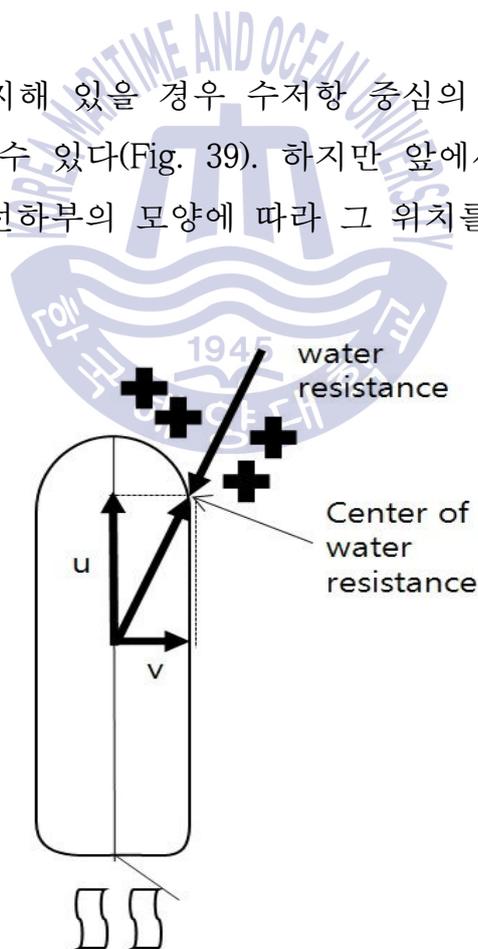


Fig. 40 Center of water resistance in headway

선박이 전진과 동시에 우선회 할 경우 선박 움직임의 총 힘은 전진방향 힘,  $u$ 와 횡방향 힘,  $v$ 의 합 벡터와 같다. 이에 수저항은 선박의 총 힘 벡터와 크기는 같고 방향은 반대로 작용하여 수저항 중심의 위치는 Fig. 40과 같이 위치한다.

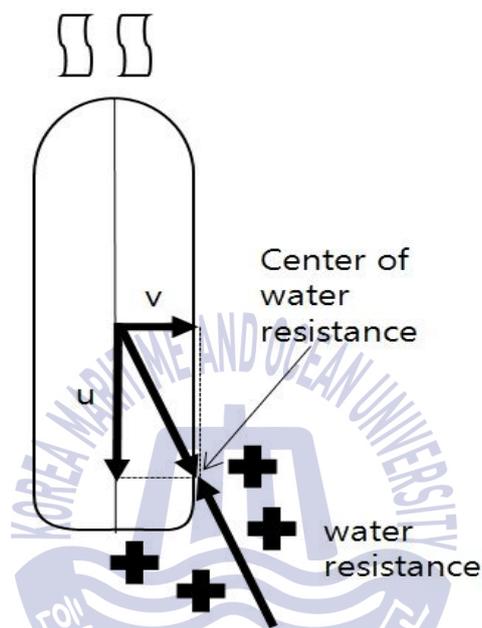


Fig. 41 Center of water resistance in sternway

선박이 후진 할 경우 선박 움직임의 총 힘은 후진방향 힘,  $u$ 와 후진 시 키크 현상에 의하여 발생하는 횡방향 힘,  $v$ 의 합 벡터와 같다. 이에 수저항은 선박의 총 힘 벡터와 크기는 같고 방향은 반대로 작용하여 수저항 중심의 위치는 Fig. 41과 같이 위치한다.

선체 수저항 중심과 달리 전통적 의미의 전심은 선체 중 중심선의 전후를 따라서 횡이동 없이 움직이는 지점이다. 전통적 의미의 전심은 선체를 횡이동 시킬 수 있는 수선하부의 횡저항, 횡이동 힘(Sway force), 선박을 회두 시키는 힘(Yaw moment) 등에 의해 변화한다.

### 3.1.2 선체 수저항에 영향을 주는 요인

앞서 살펴본 바와 같이 선체의 횡이동 시 발생하는 수저항(양력)은 선체의 모양(Shape of hull), UKC(Under keel Clearance) 등에 의해 변화한다.

먼저 선체 모양에 따른 수저항 변화를 살펴보면 선폭이 넓은 선체일수록 더 큰 수저항을 발생시킨다.

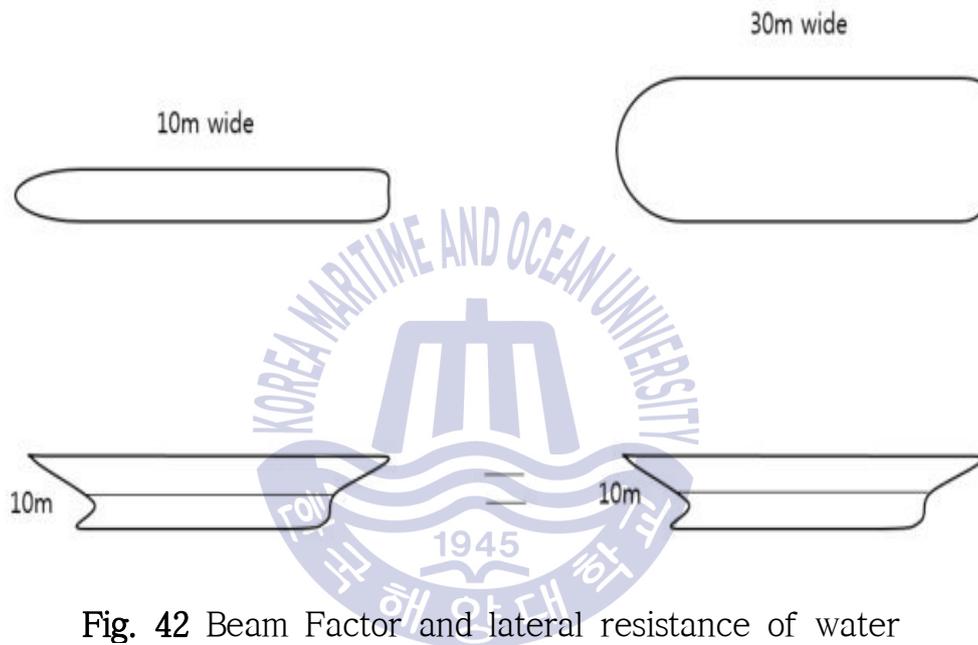


Fig. 42 Beam Factor and lateral resistance of water

Fig. 42와 같이 선박의 길이와 흘수가 동일하고 선폭이 세 배가 차이나는 두 선박을 가정할 때, 선폭이 넓은 선박(3배의 선폭을 가진 선박)은 선폭이 좁은 선박에 비해 세 배의 부피를 가지게 되고 세 배의 배수량 또는 무게를 가진다는 것을 의미한다.

위와 같은 두 선박에 똑같은 횡방향 힘(초기속력= $v$ )을 가하게 되면 선폭이 넓은 선박이 더 큰 수저항을 가지게 된다. 선폭이 큰 선박은 배수량이 크기 때문에 관성력도 좁은 선박에 비해서 크다. 따라서 일단 움직이게 되면 선폭이 큰 선박은 멈추기가 어렵다.

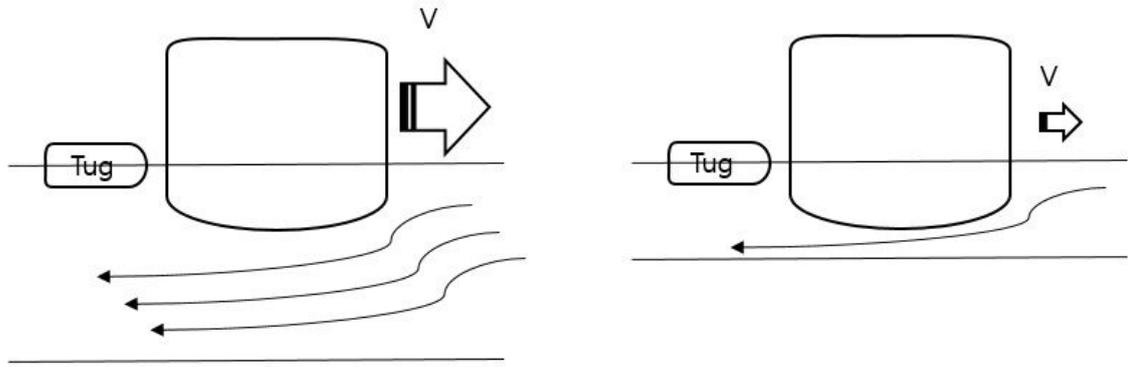


Fig. 43 UKC and lateral resistance of water

UKC가 선체 수저항에 주는 영향은 Fig. 43과 같다. 상대적으로 적은 UKC를 가진 선박의 경우 선박 하부에 수류의 흐름을 한 쪽에서 반대방향으로 흐르는 것을 방해하여 선박을 횡이동 시키기 어렵게 한다.

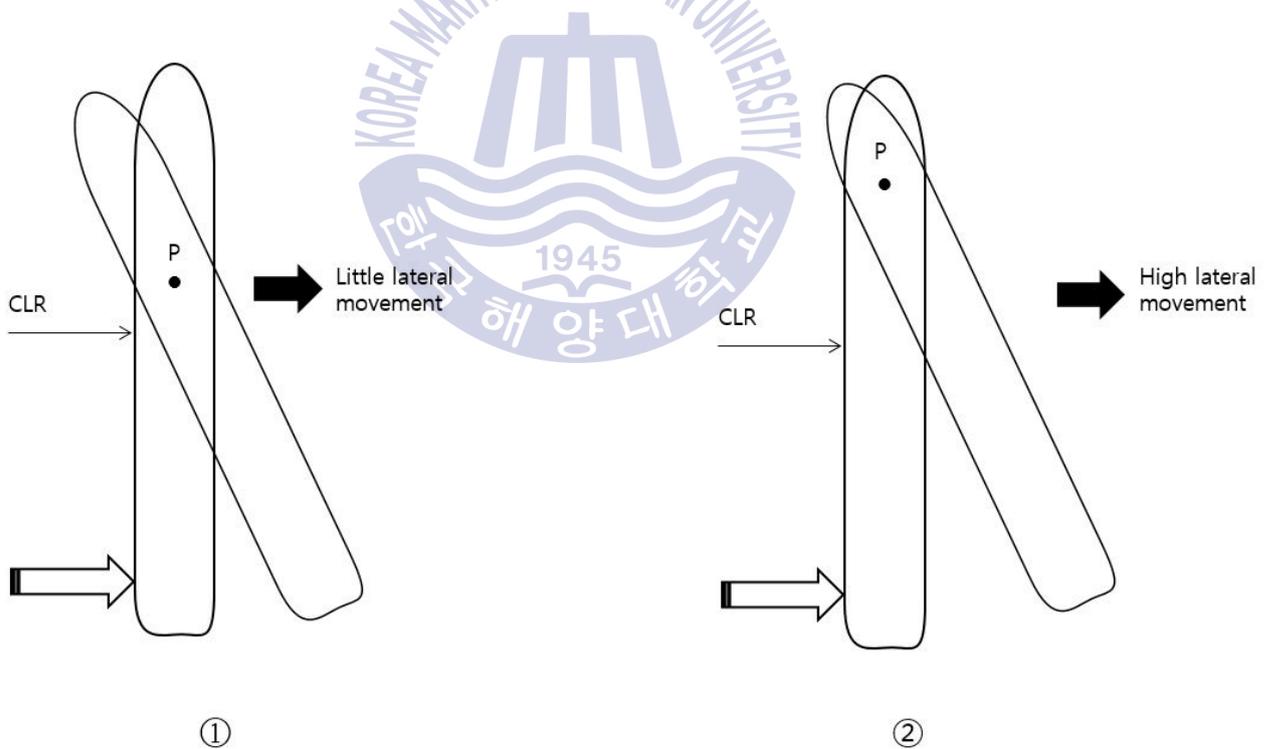


Fig. 44 High and Low lateral resistance of water

Fig. 44와 같이 선미 부근에 같은 힘의 외력이 작용하여 선체를 같은 각도로 횡방향으로 움직일 경우 Fig. 44 ① 은 Fig. 44 ②에 비해 상대적으로 강한 횡방향 수저항이 작용하여 작게 횡이동 하였다. 따라서 수저항이 커서 작게 횡이동이 일어나면 전심은 선박의 수저항 중심에 더 가까이 위치한다는 것을 알 수 있다.

### 3.3 선체 수저항 중심의 활용

선체에 횡방향 힘이 작용했을 때 선체 수저항 중심과 전심의 위치변화를 아래 그림과 같이 알아본다.

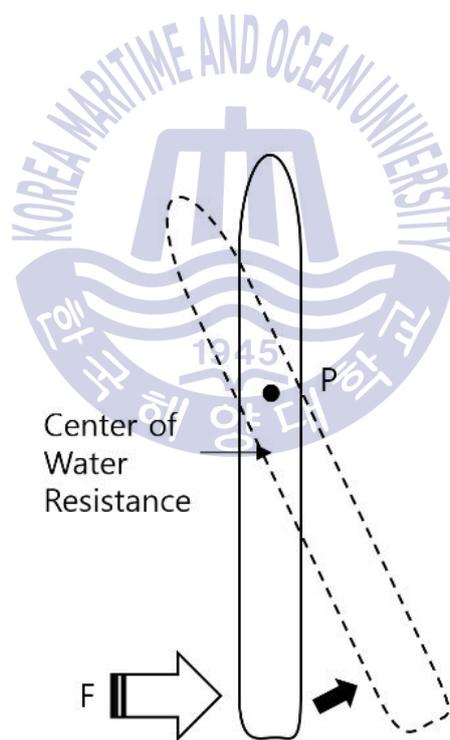


Fig. 45 Position of the acting lateral force(a)

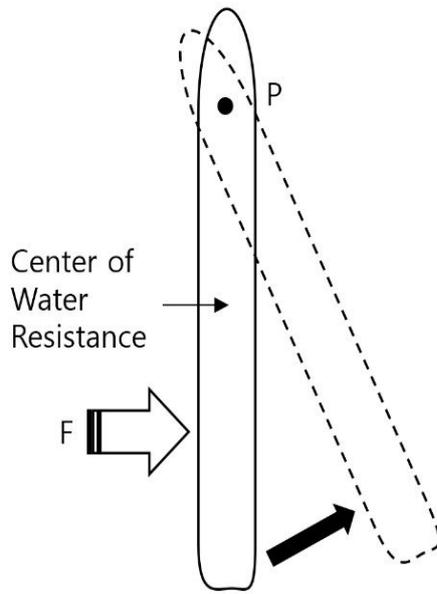


Fig. 46 Position of the acting lateral force(b)

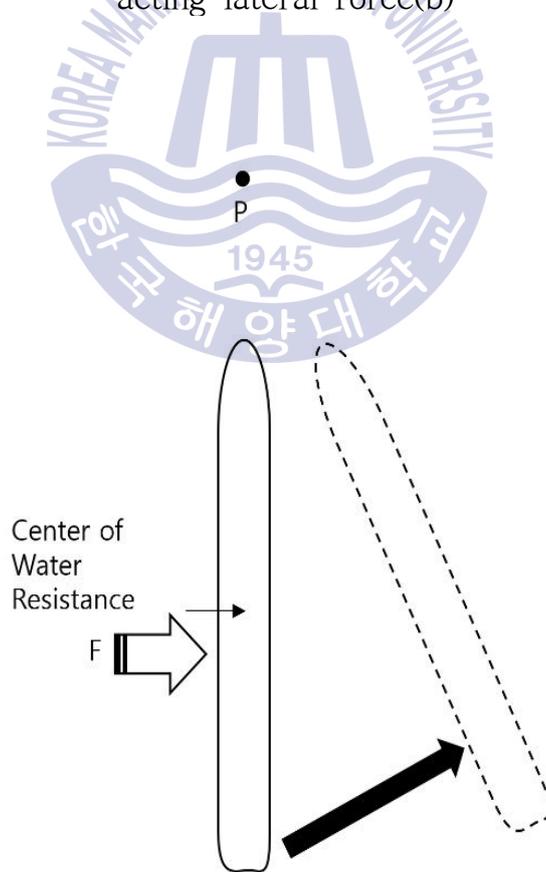


Fig. 47 Position of the acting lateral force(c)

Fig. 45과 Fig. 46에서 알 수 있듯이 동일한 각도로 선체를 선회시킬 경우 횡방향 힘은 선체 수저항 중심에서 먼 곳에 작용할 때가 가까운 위치에 작용할 때보다 작게 된다. 따라서 선체의 횡방향 이동도 작게 된다. Fig. 45의 횡방향 이동은 Fig. 46에서의 이동보다 작다.

Fig. 47처럼 횡방향 힘이 선체 수저항 중심 부근에 작용했을 경우 동일한 선회 각도로 선박을 회전시키기 위하여서는 선체를 가장 많이 횡이동시켜야 함을 알 수 있다. 전심의 위치를 살펴보면 Fig. 45, 46, 47과 같이 선체 횡방향 힘이 작용하는 위치에 따라 전심은 그 반대쪽 방향으로 이동했으며 Fig. 47과 같이 선체 외부에도 있을 수 있다.

이와 같이 수저항 중심은 선박의 킥어헤드(kick ahead) 기술의 활용, 선박이 후진할 경우 선수 쪽에 예인선 또는 선수 스러스터를 사용할 때 등 여러 가지 상황에서 우력으로써 유용하게 사용될 수 있다.

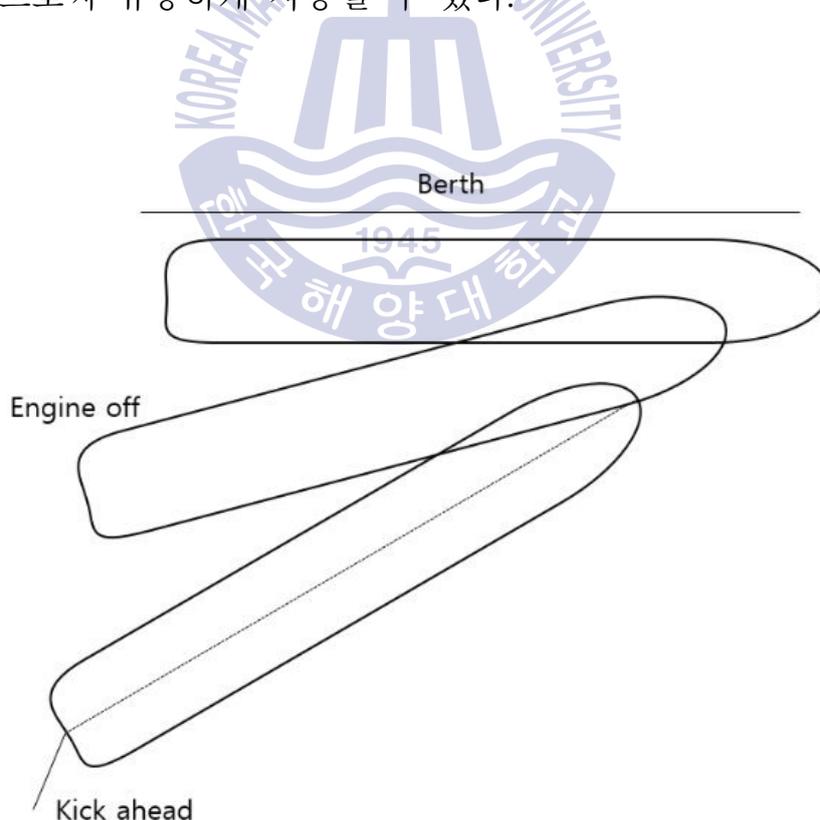


Fig. 48 Use of Kick ahead

키어헤드 기술은 보통 단추진기 선박이 협수로 또는 선박 통항량이 많은 항내 조선에서 선수묘, 스러스터 및 예선을 사용하기 어려운 경우 전타를 사용하여 전진 또는 후진 엔진을 사용하여 선회하는 조선법(Fig. 48)이며, 선박이 전진 중 선속이 극히 적어 타효가 없을 때 사용하며 관성을 이용해 선회를 할 경우에도 사용한다. 정지상태 또는 극 미속 전진 중인 상태에서 먼저 타를 전타(Hard over)하고, 엔진을 짧고 강하게 사용하여 선회할 경우 선회 초기에 수저항 중심의 위치는 선수 가까이에 위치하게 되어 모멘트 팔의 길이가 길어지게 됨으로 최대 타효를 가질 수 있다. 선회시 선박은 미끄러지듯이 선회함으로 인해 타효 반대편(선회외측)에 수저항이 형성되고 선회 중에는 타효와 측압저항이 균형을 이루게 된다.

또한 1척의 예선을 사용하여 후진으로 좌현 접안 할 경우 수저항 중심은 선미에서 약 1/4 정도 앞쪽에 위치하게 된다. 이에 선수 부근에 예선을 잡아 수저항 중심에 대한 우력으로써 선박의 움직임을 예측하여 선수의 보침 및 선회에 유용하게 이용할 수 있다.

### 3.4 특수한 상황에서의 수저항 중심

#### 3.4.1 향풍성의 예

수저항 작용점의 변화에 따라 발생하는 효과 중의 하나는 향풍성이다. 예를 들어, 선미에 거주부가 있고 우선회 프로펠러(right-handed screw)를 가진 선박이 키를 중앙(midship)으로 한 채로 Fig. 49과 같이 우현 선미에 바람을 맞으면서 aa' 축을 따라서 후진한다고 가정하자.

프로펠러의 횡방향 힘과 바람의 영향으로 선박이  $M_1$  방향으로 즉, 선미가 좌현 쪽으로 선회할 것으로 예상된다. 그러나 수저항  $R$ 이 좌현 선미에 작용하고 풍압력  $W$ 가 우현쪽에 작용하기 때문에 수저항  $R$ 과 풍압력  $W$ 사이에는 우력이 발생하여  $M_2$ 와 같은 방향으로 선미가 이동한다. 결국은 선미가 bb' 축 즉,

$d=0$ 이 될 때까지 돌아가게 된다.

만약 선미 스텔러스터를 이용하여 수저항  $R$ 과 같은 크기로 선박을 선회시키면  
 킨다면 반대의 결과가 될 수도 있다. 또 모멘트 팔의 길이가 거의 0이 될 수도  
 있어 이 경우에는 선박을 선회시키지 않고 그대로 이동시킬 뿐이므로 전심은  
 없게 된다.

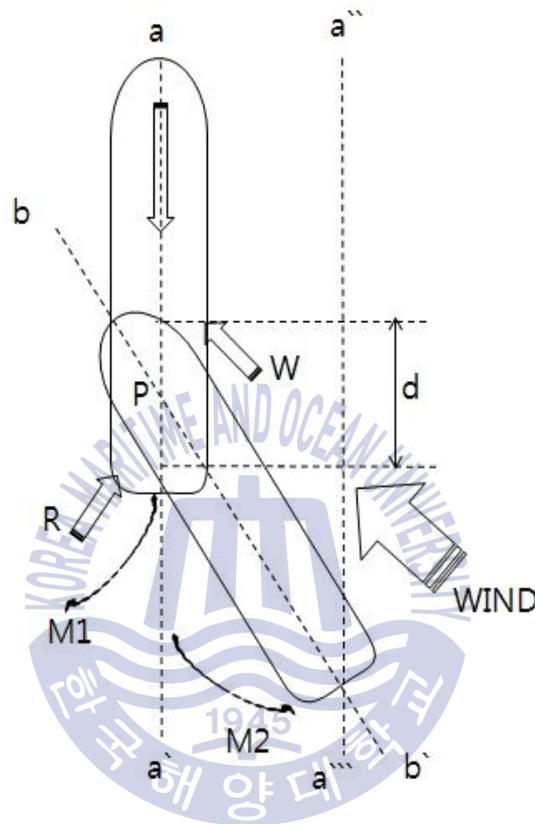


Fig. 49 Wind effect upon a vessel with aft Pivot point

### 3.4.2 동키라이크 효과

Fig. 50과 같이 예선력이 수저항에 대하여 작용할 때 그 외력의 작용과 반대  
 되는 결과를 얻는 현상이 동키라이크 효과(Donkey-like effect)이다.

Fig. 50은 선박과 예선의 속도 벡터를 나타낸다. 선박이 상당히 큰 전진 속력  
 으로 이동하고 있을 때  $M_1$ 과 같이 예선이 좌현 선수에서 밀기 시작하더라도

선박은 선회하지 않을 것이다. 결국 선박은  $M_2$ 와 같이 원래의 침로대로 이동할 것이다.  $M_3$ 와 같이 예선이 미는 것을 중지하면 선박은 예선 쪽으로 즉 좌선회 하게 된다.  $M_4$ 의 방향에 도달할 때까지 선박은 좌선회를 계속할 것이다.

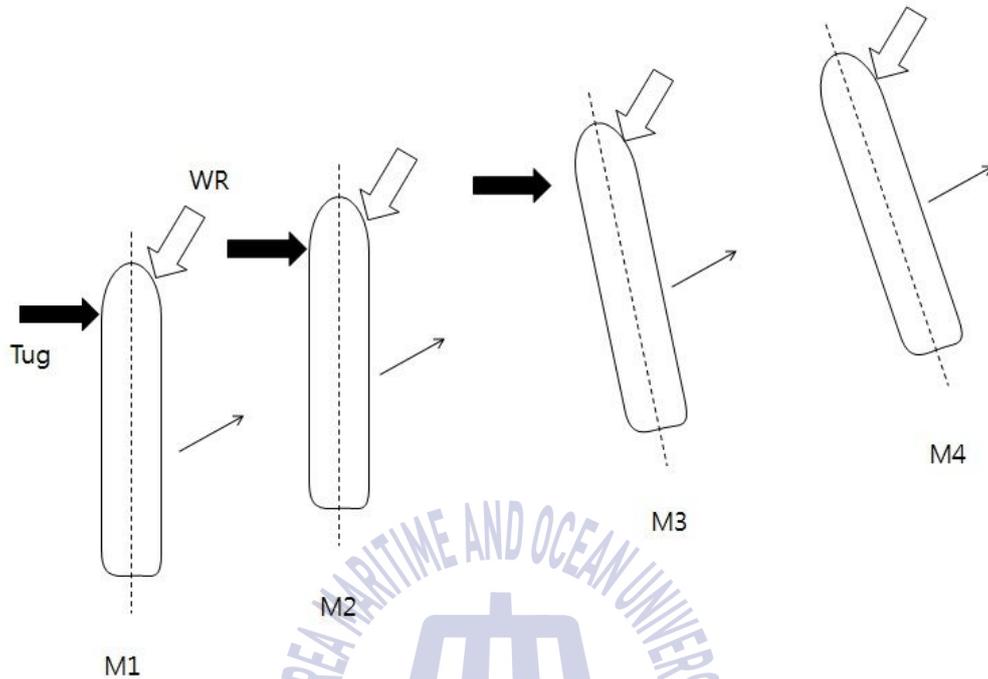


Fig. 50 Donkey like effect

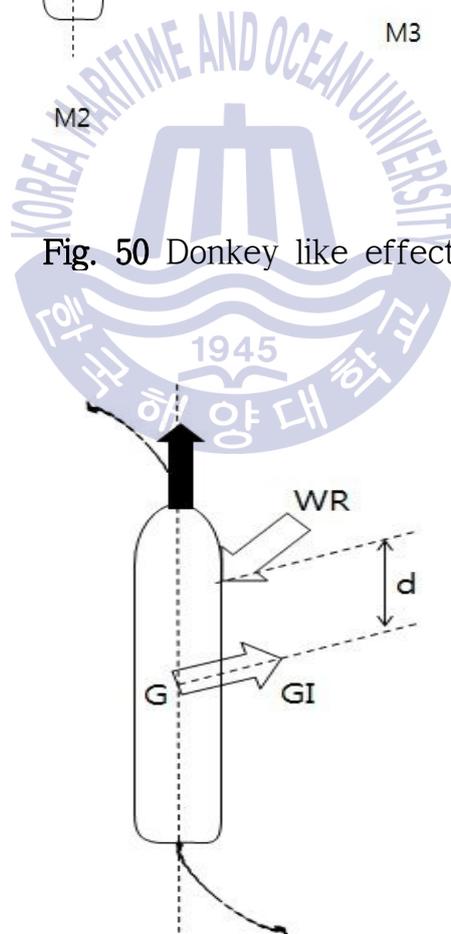


Fig. 51 Forces for Donkey like effect

예선과 수저항 작용점 사이의 모멘트 팔의 길이가 아주 작기 때문에 초기에는 선박은 선회가 없이 원침로 대로 이동할 것이다. 예선이 밀기를 중지하면 예선 작용력에 의한 관성력은 선박의 무게 중심  $G$ 에 그대로 작용하여  $GI$ 되고 수저항  $R$ 에 의한 힘  $WR$ 이 작용한다. 이 둘 사이의 거리가  $d$ 이므로 우력이 발생하여 선박은 예선쪽으로 선회하게 된다(Fig. 51).

예선의 작용으로 이동된 물은 자체의 관성력을 갖게 되어 좌현 선미쪽으로 계속 흐르게 된다. 동시에 선수는 비교적 고요한 물을 통과하므로 좌선회를 더욱 가속시키게 된다.

### 3.4.3 크래빙

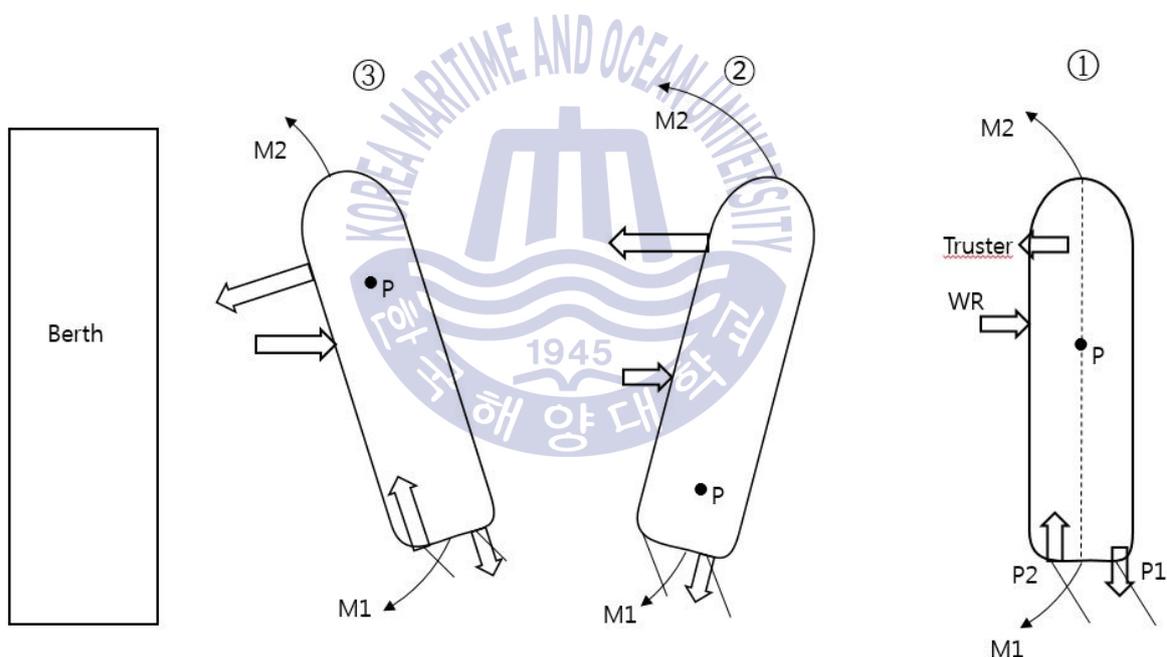


Fig. 52 Crabbing

실무에서 선박의 조전자들이 선체의 회전 운동과 이동을 가장 잘 이용한 예 중의 하나가 바로 크래빙(Crabbing)이다. Fig. 52와 같이 좌현 쪽에 접안해야 할 부두가 있고, 트윈 스크류와 선수 스러스터를 가진 선박이 있다고 가정한다.

선박을 횡이동 시켜서 부두 쪽으로 접근시키기 위해서는 키를 우현 전타

(hard starboard)하고 우측 기관( $P_1$ )은 후진, 좌측 기관( $P_2$ )은 전진으로 한다. 이 때 선수 스러스터는 최대의 힘으로 좌현으로 이동하도록 한다. Fig. 52의 ② 경우처럼 보통 선미 쪽의 횡이동 속도가 선수 쪽의 횡이동 속도보다 크기 때문에 선미 쪽이 부두에 더 가까이 접근하게 된다.

선수 스러스터의 효과를 높이기 위하여 Fig. 52의 ②와 같이 우측 기관( $P_1$ )의 후진 추력을 증가시키고 좌측 기관( $P_2$ )은 중지시킨다. 그렇게 되면 선미의 좌회전 속도가 감소되어 선박은 후진하게 된다. 선미 속도의 영향으로 선박의 수저항 중심은 역시 ②와 같이 이동한다.

선수 스러스터의 모멘트 팔의 길이가 증가하여 결과적으로 선수의 횡이동 속도  $M_2$ 가 선미의 횡이동 속도  $M_1$ 보다 크게 된다. 이런 결과로 선박을 잠시 후진시키고 선수 쪽은 부두에 더 접근하게 한다. 이 때 Fig. 52의 ①과 같이 우현 기관( $P_1$ )의 추력을 감소시키고 좌현 기관( $P_2$ )의 추력을 우현 기관의 추력보다 크게 하여 전진으로 한다. 결국 선체는 전진하게 되고 수저항 중심의 위치는 선수 쪽으로 이동하게 된다. 선수 스러스터의 모멘트의 팔의 길이가 짧아져서 선미의 횡이동 속도  $M_1$ 이 선수의 횡이동 속도  $M_2$ 보다 크게 된다. 위와 같은 조종을 하는 동안 키는 동일한 위치로 계속 놓는다.

## 제 4 장 전심과 수저항 중심의 비교

### 4.1 선박의 움직임, 수저항 중심과 전심

앞서 언급한 것처럼 선체운동이론은 파도가 전혀 없는 항내와 같은 정수(Still water)에서 항해하는 경우와, 외해와 같은 파랑상에서 항해하는 때에 작용하는 이론의 범위를 달리한다.

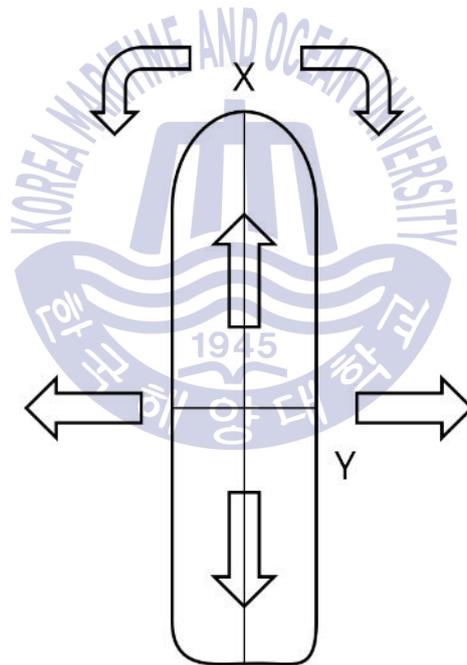


Fig. 53 3 degree of freedom of a vessel

선박의 움직임, 특히 항내 조선에 있어서 가장 중요한 움직임은 Fig. 53와 같이, 선체 종방향  $X$ 축을 따라서 움직이는 전후진 방향의 움직임과, 선체 횡방향  $Y$ 축을 따라서 움직이는 횡방향 움직임, 그리고 좌선회, 우선회와 같은 요 운동

의 3자유도 운동이 바로 그것이다.

3자유도 운동에 의한 선체 움직임의 판단 또는 예측은 프로펠러나 타의 움직임에 의한 선박의 움직임을 배제한 상태에서 선박의 전후진 움직임을 단순화시켜 예측, 판단하는데 매우 유용하다.

선박이 전후진 운동을 하는 동안 선체에는 제어된 또는 제어되지 않은 수평의 힘이 작용하게 된다. 그에 따라 선박은  $X$ 축을 따라 직선운동을 하려는 힘보다 더 큰 힘에 직면하게 되고, 선박의 수선하부 면적과 수선상의 기하학적 중심에 새로운 힘이 작용하여 선체를 회전시키게 된다. 이 때 선박의 종방향 수직면이 수류의 흐름에 가장 많이 노출되게 되며 드리프트(Drift)와 스웨이(Sway) 같은  $Y$ 축 방향의 횡방향 움직임을 발생시킨다.

횡저항의 방향은 선체 종방향  $X$ 축 사이 또는 횡방향  $Y$ 축 사이의 어느 방향이라도 될 수 있다.

조타기, 프로펠러, 선수미 스퀴어, 예인선, 바람과 조류 등 선체에 주는 다양한 수평방향의 힘을 분석하기 위해서 이러한 힘들이 수저항에 영향을 주는 위치와 가장 높은 압력이 주는 곳이 어디인가 하는 것에 대해 잘 알아둘 필요가 있다.

이러한 힘들은 선박이 물에 떠서 이동하는 동안 계속적으로 작용할 것이다. 이러한 힘들의 모멘트 팔의 길이(lever arm)는 그 힘들의 작용점과 수저항 중심간의 거리에 해당할 것이다.

위의 수평방향의 힘들과 그 힘들에 의해 파생되었거나 그 힘들이 결합된 몇몇 힘들은 정지되어 있는 선박에 작용되어 세 방향의 움직임을 만들어낼 것이다. 세 방향의 움직임중 하나가 바로 회전 운동이며 이 회전 운동의 중심점이 소위 전심이라고 불린다.

선박이 같은 각속도를 가지고 선회할 경우 선박의 전심은 선박의 종축을 따라 움직인다. 이것은 선박의 전심이 모든 상황에서 항상 선박의 물리적인 범위 내에 존재한다는 것을 의미하는 것은 아니다.

선박이 회전할 경우 전심의 궤적 외에도 회전중심의 궤적을 가지게 되며, 선

체에 다양한 힘들이 작용하게 되면 이 힘들은 모두 선박의 다양한 움직임에 영향을 주게 된다.

전심 이론은 정수상에서 선박이 안정된(Stable) 선회를 할 경우에 적용된다. 하지만 항내 조선시와 같이 여러 가지 외부 힘이 선체에 작용할 경우 외부 힘 합력의 작용점과 수저항 중심점 사이의 길이가 모멘트 팔의 길이(lever arm)로서의 역할을 한다. 그것이 선체를 회전하게 하고 이에 따라 선체 회전 중심과 함께 회전과 횡이동의 비, 즉 전심이 형성되게 된다.

전심과 수저항 저항은 Table. 4와 같이 명확한 차이를 가지고 있다. 이에 따라 선박이 정지하였을 때와 움직일 때 각각의 수저항 중심과 전심의 변화를 살펴해보도록 한다.

**Table 4** Comparison between Pivot point and Center of lateral resistance

	Pivot point	Center of water resistance
<b>정의</b>	선회중인 선체의 선회중심에서 선체 종방향중심선에 수선의 발을 내려 직각으로 만나는 점	선체에 우력으로 횡방향 힘이 작용하는 점으로써 수선하부의 유체력의 작용 중심점
<b>영향을 주는 요소</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 선체 수선하부의 횡저항</li> <li>■ 충분한 횡방향 힘</li> <li>■ 회전 관성력</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 선체 무게 중심</li> <li>■ 수선하부 면적 중심</li> <li>■ 선체 주변의 수압</li> </ul>

## 4.2 정지한 선박의 선체 수저항 중심과 전심

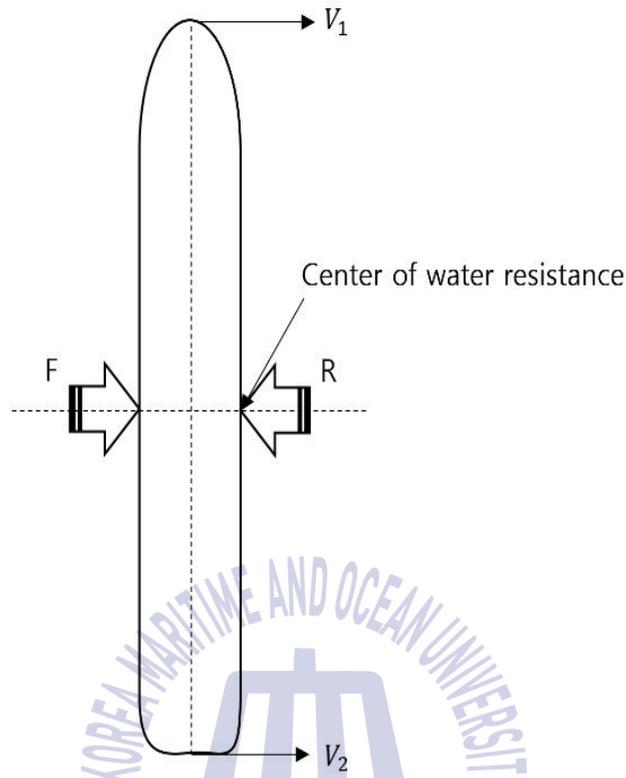


Fig. 54 Lateral movement of a vessel

정지해 있는 선박의 경우 Fig. 54과 같이 선박 길이의 가운데 지점에 힘  $F$ 가 작용할 경우 선수와 선미는 같은 속도  $v_1 = v_2$ 로 움직이는 것을 알 수 있다. 이때 작용하는 힘  $F$ 에 의해 수저항 힘  $R$ 은 같은 크기, 반대방향의 우력으로써 작용한다. 이 지점이 바로 선체의 수저항 중심(Center of Water Resistance)이다. 그리고 이러한 경우의  $F$ 와  $R$ 의 모멘트 팔의 값은 0이 되므로 횡방향으로 평행하게 이동하게 된다.

Fig. 54과 같이 선박이 횡방향으로 평행하게 이동할 경우에는 회두 성분은 존재하지 않으며 그렇기 때문에 전심도 존재하지 않는다.

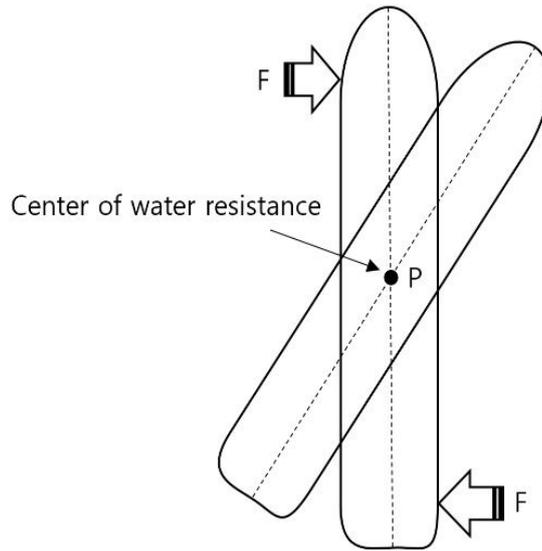


Fig. 55 Pivot point of a stopped rotational vessel

동일한 크기의 두 힘이 Fig. 55와 같이 각각 선박의 좌현 선수, 우현 선미 쪽에 작용하는 경우 선박은 횡이동 없이 순수한 회전운동만을 하게 된다. 이때 선박의 횡경사와 트림이 없다고 가정한다면 선박의 전심은 선박 수저항 중심과 일치하게 된다.

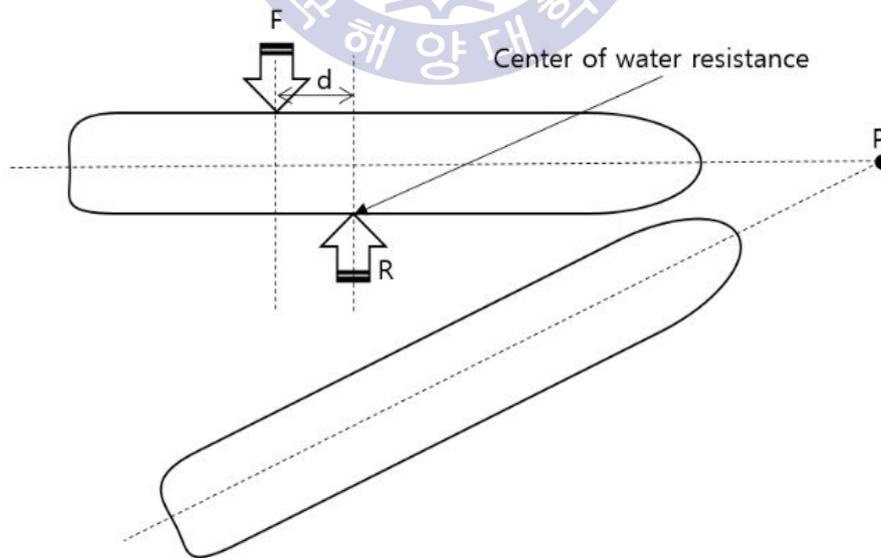


Fig. 56 Pivot point over the bow

Fig. 56과 같이 선박의 수저항 중심과 거리  $d$ 만큼 떨어진 위치에서 힘  $F$ 가 작용하면 우력으로서 수저항  $R$ 이 작용하게 되고, 이 때  $F$ 와  $R$  사이의 거리  $d$ 가 모멘트 팔의 길이로서 작용할 것이다. 이에 따라 선박은 횡이동과 회전운동을 하게 되고, 선박 종축의 교점에 선박의 전심이 위치한다. 또 선박이 닻 정박을 하는 경우 전심의 위치는 투묘 위치가 되며 선체 밖에 있게 된다.

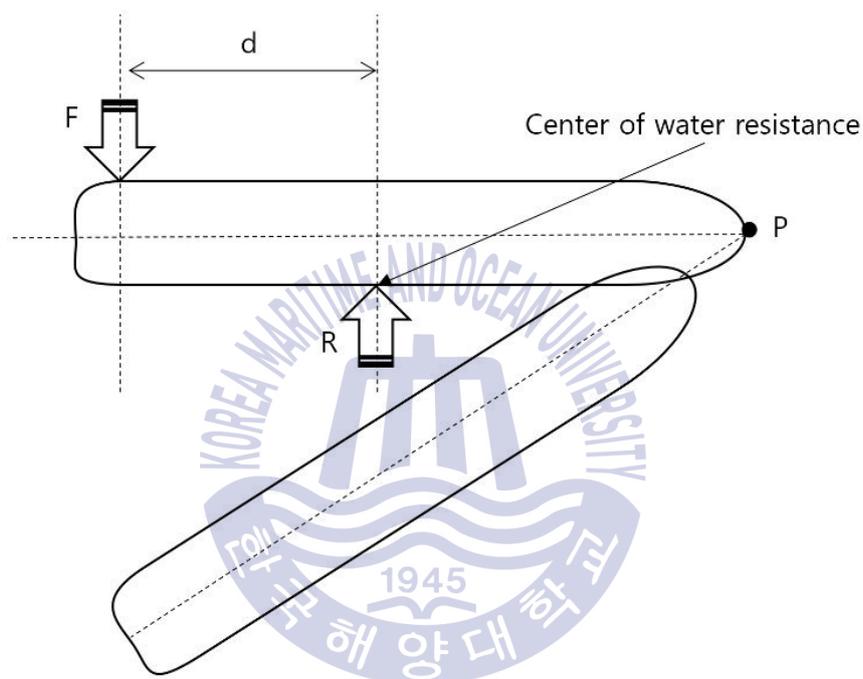


Fig. 57 Pivot point on the bow

만약 예인선이 Fig. 57와 같이 좌현 선미 부근에서 힘  $F$ 로 미는 작업을 한다면 우력으로서 수저항  $R$ 이 작용하게 되고, 힘  $F$ 와  $R$ 의 모멘트 팔의 길이  $d$ 는 Fig. 56의 모멘트 팔 보다 더 크게 되므로 선수보다 선미의 횡방향 힘이 더 크게 작용할 것이다. 이에 따라 선박의 전심은 선수 부분의 선체 저항의 작용점  $R$  부근에 위치할 것이다.

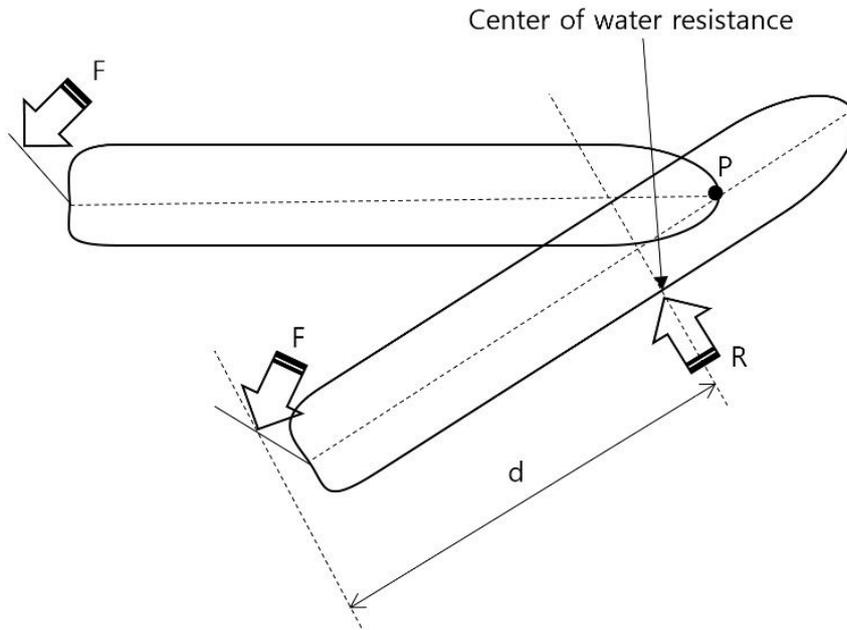


Fig. 58 Pivot point in fore

Fig. 58처럼 타에 의해 힘이 작용하는 것과 같이 힘  $F$ 가 극단적으로 뒤쪽에 있는 경우 힘  $F$ 와의 우력인 수저항  $R$ 과의 거리인 모멘트 팔은 Fig. 57에 비해 더 커질 것이다. 이에 따라 선박의 전심은 더 수저항의 작용점  $R$ 에 가까이 위치한다.

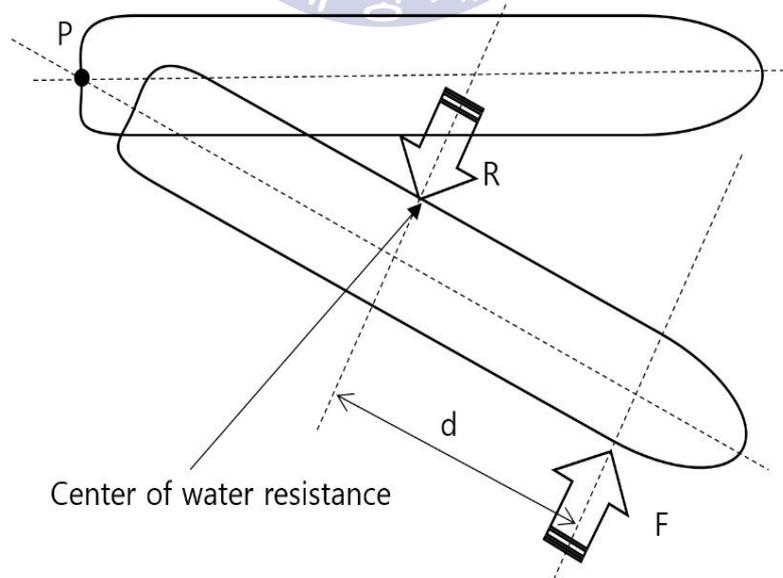


Fig. 59 Pivot point in stern

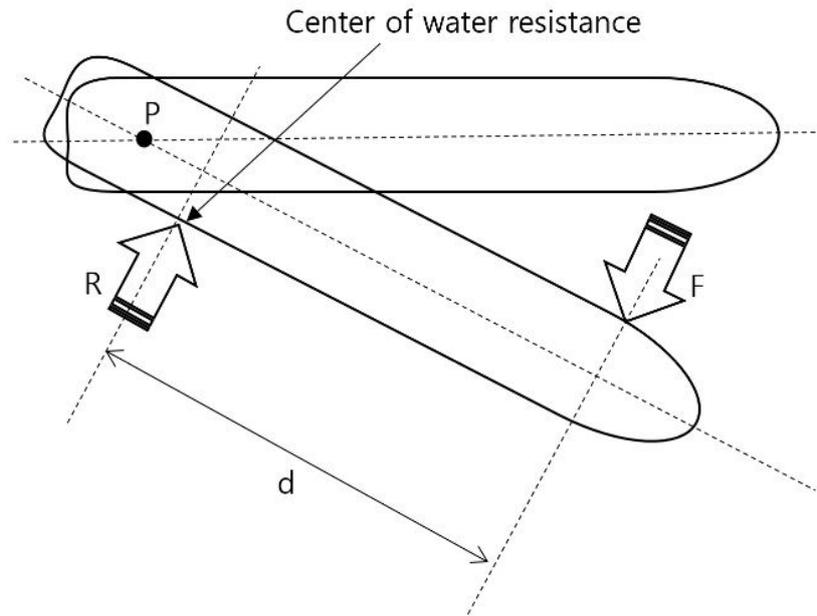


Fig. 60 Pivot point in aft

이러한 현상은 예인선 또는 스텐더가 선수 쪽에서 힘을 가할 때처럼 힘  $F$ 가 선수 쪽에 위치할 경우에도 우력으로서 수저항  $R$ 이 작용하여 Fig. 59, Fig. 60과 같이 발생할 것이다.

선박 조종 중에 이와 같은 모든 힘들이 함께 다양한 방향으로 작용하며 수저항의 방향과 위치 그리고 전심의 위치 또한 계속하여 변화한다.

### 4.3 움직이는 선박의 선체 수저항 중심과 전심

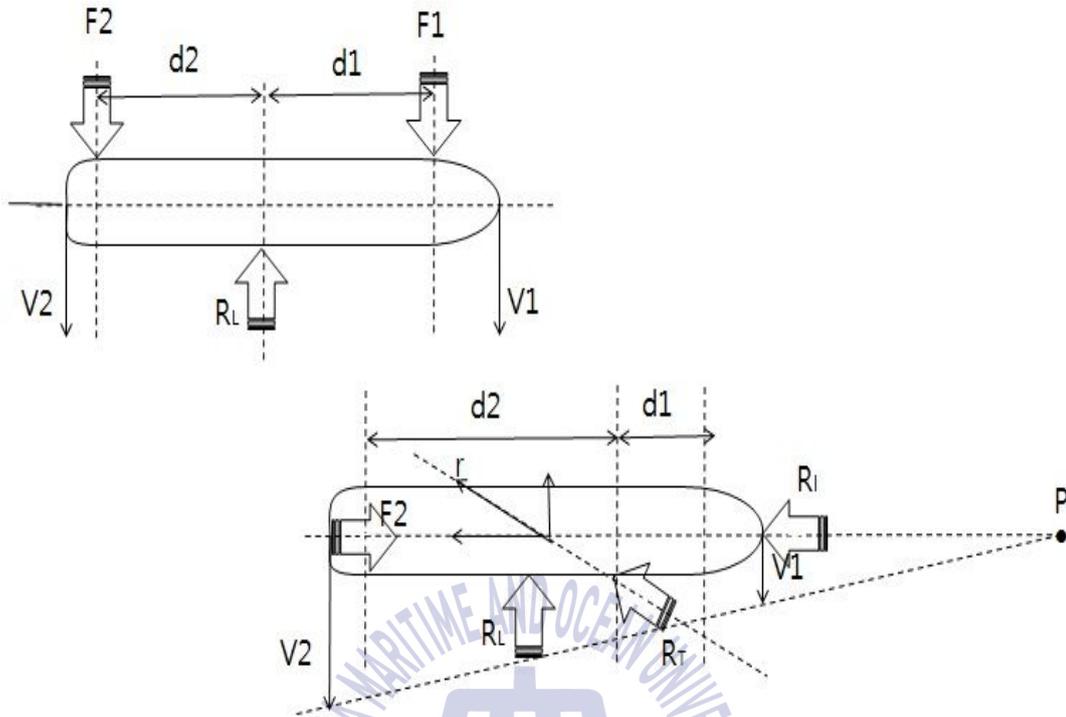


Fig. 61 Pivot point of a vessel under propulsion

만약 선박이 ‘가운데 타(Rudder midship)’ 를 한 상태로 Fig. 61과 같이 전진한다면 횡방향 저항인  $R_L$  (이 때  $V_1 = V_2$ ,  $D_1 = D_2$ 로서 선수미의 횡방향 이동 속도는 동일)과 종방향 저항인  $R_T$  (프로펠러의 추력에 의한 종방향 저항)의 영향으로 수저항의 합성인  $R_T$ 는 선수 쪽으로 나타나게 될 것이다. 그에 따라 결과적으로 전심의 위치는 선박이 움직이는 방향인 앞쪽으로 이동할 것이다.

수저항 합성인  $R_T$ 를 이루는 힘의  $F_1$ 과  $F_2$ 에 작용하는 모멘트 팔  $d_2$ 가  $d_1$ 보다 크게 되어 결과적으로  $v_2$ 가 점차적으로  $v_1$ 보다 훨씬 커지게 될 것이다. 이것은 선박이 점차 더 빠르게 선회한다는 것을 의미한다.

실무에서는  $R_L$ 의 작용점과 전심의 거리가 매우 짧기 때문에 전심을  $R_L$ 의 작용점으로 간주하기도 한다. 그리고  $R_L$ 의 크기와 작용점은 선체의 수선하부의 형태에 따라 변화한다.

선박의 전심은 선체에 주는 모든 힘의 합성과 수저항 등이 결합된 위치이다. 이 때 간과해서는 안 되는 중요한 사실은 대지속도가 아니라 대수속도만을 고려한다는 점이다. 선박이 육지에 대해서 볼 때 정지하여 있다 하더라도 조류에 대하여 전진하고 있거나 선회하고 있고 있으면 물에 대하여 전진하고 있으므로 전심은 전방에 있게 된다. 마찬가지로 선박이 선석에 계류되어 있고 선미쪽에서 오는 조류가 있는 경우 선박의 마지막 줄이 벗기는 순간 전심은 후방에 있게 된다.

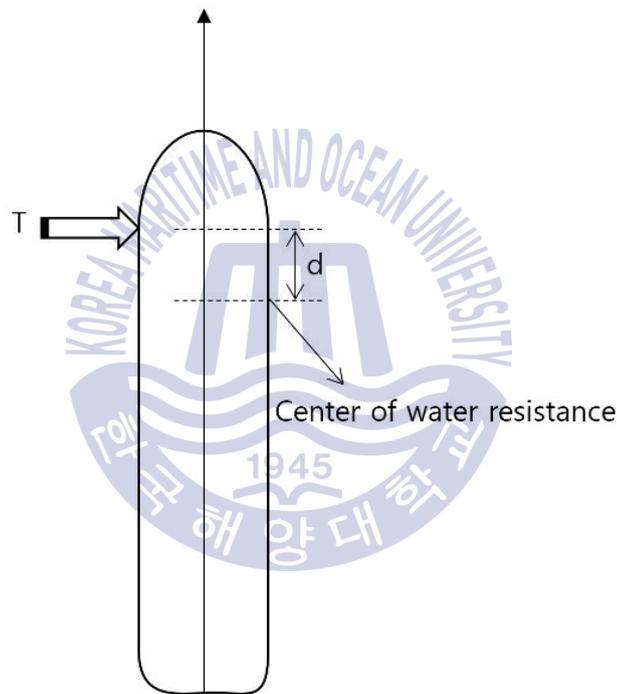


Fig. 62 Low efficiency of bow thruster

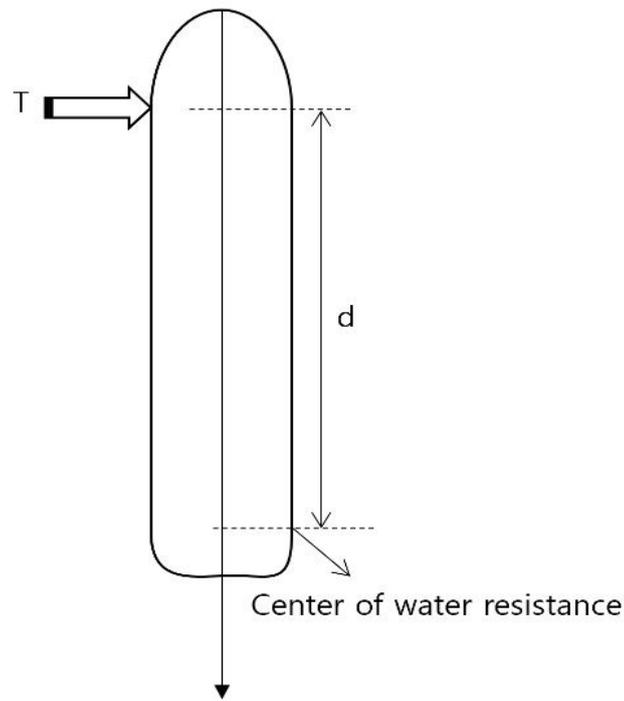


Fig. 63 High efficiency of bow thruster

Fig. 62에서 보듯이 선박이 전진하면 선수 스터스터의 효율은 낮아지고 Fig. 63처럼 후진 중하면 높아진다. 선박의 스터스터 사용 중 모멘트 팔의 길이를 변화시키는 것은 제어력의 효율을 높이기 위한 방법이다. 예를 들어 선수 스터스터가 약한 경우 킥어스턴(Kick astern) 기술을 사용하면 선박 제어 효율을 높일 수 있다.

Fig. 62, 63 에서와 같이 스텐스터, 예선 등의 외력을 이용할 때 선박의 수저항은 그 외력과 우력으로서 작용하고 수저항 중심과 외력의 작용점 차이, 즉 모멘트 팔의 크기에 따라 선체가 회전하게 된다.

분명히 선박의 전심은 선박이 선회운동을 할 때 존재하며 그것의 위치를 예측하는 것은 모든 경우에서 쉬운 것은 아니다. 단지 조류가 거의 없는 정수 상에서 안정된 선회운동을 할 경우 선박의 전심은 선수 또는 선미 쪽에 위치할 것이다.

## 제 5 장 결 론

한정된 규모와 조건의 항만에서 선박의 거대형화 추세는 계속적으로 증가되고 있다. 이에 따라 항만의 안전과 효율성을 위해 필수적인 항내 선박 조종의 중요성 역시 더욱 강조되고 중요시되고 있다. 항내 선박 조종은 대부분이 극미속 또는 미속 상태에서 이루어지며 항내 혼잡도에 따라 선박의 움직임은 많은 제약을 받게 된다.

항만 구역에서의 선박조종은 주관적인 작업으로서 수치적으로 정량화, 객관화하기 어려우며, 기존에는 항내 조종에 대한 기술을 과학적인 측면 보다는 경험적인 측면에서 접근하고 전수하였다. 이러한 상황에서 선박 조종의 중요한 개념 중의 하나인 전심에 대한 오해와 잘못된 활용이 종종 발생하게 되었다.

본 연구에서는 항내 선박 조종시 활용되는 중요한 개념 중의 하나인 전심에 대한 정의에 대해 분석하였다. 전통적인 전심의 위치는 전후진 즉, 직선운동 시에 선박의 추진력과 저항이 평형을 이루는 지점을 의미하는 것이다. 전심의 위치  $X_p = -v/r$ 에서 알 수 있듯이 전후진 속력  $u$ 와는 무관하며, 이접안 시에 예선 및 스러스터를 사용하는 중요한 개념으로서 사용되어진다. 하지만 전심의 위치가 모멘트 팔의 중심역할을 하는 것은 아니기 때문에 실무에서 사용하기에는 한계점이 있다.

전심의 정의에 대한 오해와 더불어  $X_p = -v/r$  식에 따라 전심의 위치에 영향을 주는 선체 운동 성분의 변화에 따른 선박의 움직임과 전심의 위치 분석을 통해 정상선회의 경우와 달리 예선, 스러스터, 투묘 등 항내 선박 조종시에 자주 발생할 수 있는 상황에서는 전심의 위치가 선체의 물리적인 범위를 벗어난 곳 등 다양한 곳에 위치할 수 있음을 알 수 있었다.

외력의 변화에 따라 다양하게 변하는 전심은 선박 조종시에 예선, 스러스터

등을 이용하기 위한 개념으로 사용하기에 곤란한 점이 있다. 본 연구에서는 선박의 수저항 중심을 제안하였다. 수저항 중심은 타압, 조류, 바람 등과 함께 선체에 영향을 주는 중요한 요소 중의 하나이며, 수저항 중심은 예선, 스러스터 등 외력 작용하는 반대 방향에 같은 크기의 힘, 즉 우력의 중심점으로 작용하여 선체를 회전하게 하는 지점으로서 중요한 역할을 한다.

또한 선체 수선하부의 모양, 트림, UKC 등 수저항 중심에 영향을 주는 요소들을 분석하고 선체에 횡방향 힘이 작용했을 때 선체 수저항 중심과 전심의 위치변화를 통해 킥어헤드, 예선 및 스러스터 사용 등 수저항 중심의 활용에 대해 연구하였다. 그리고 특수한 경우에서 수저항이 작용하여 선박이 움직이는 경우를 분석하였다.

속력이 없는 경우와 있는 각각의 경우에서 전심과 수저항 중심의 비교를 통해 수저항과 외력은 서로 우력으로써 작용하고, 수저항 중심과 외력의 작용점 사이의 거리는 모멘트 팔이 되어 선체를 회전시키게 된다.

그 다음 수저항 중심과 전심을 비교 검토하였다. 선박의 수저항 중심은 선체 수선하부 유체력의 작용 중심점으로 선체 무게 중심, 수선하부 면적 중심, 선체 주변의 수압에 의해 영향을 받는다. 반면 선박의 전심은 선회중인 선체의 선회 중심에서 선체 종방향 중심선에 수선의 발을 내려 직각으로 만나는 점으로서, 선체 수선하부의 횡저항, 충분한 횡방향 힘 및 회전 관성력에 영향을 받는다. 따라서 수저항 중심에 힘을 가하면 우력으로 작용하고, 전심은 회전하는 물체의 균형을 잡아주는 중심을 뜻한다.

하지만 항내 선박 조종에 수저항 중심을 활용하기 위해서는 실험 등을 통해 실증적인 데이터 분석이 이루어져한다. 본 연구에서 제시한 전심과 수저항 중심의 위치는 매우 이상적인 상태에서의 계산이며, 바람에 의한 저항, 부가 질량 등 다양한 요소들을 모두 고려한 것은 아니다.

또한 선박의 트림과 물의 점성, 선체 표면의 부식도와 같은 요소 역시 선박의 전심 및 수저항 중심의 위치에 상당한 영향을 주며 선박 조종의 중요 요소를 계산하는데 있어서 위와 같은 다양한 요인들이 모두 고려되어야 할 것이다.

이에 따라 본 연구에서는 수저항 중심을 선박 조종에 활용할 수 있는 개념으

로서 제시하였지만, 실제 현장에서 수저항 중심의 위치를 개략적으로 추론할 뿐, 정확한 위치를 수치적으로 계산하기가 어렵다는 점에서 한계점을 가진다.

그럼에도 불구하고 본 연구를 진행하는 것은 전심과 비교하여 수저항 중심이 항내 조선에서 보다 효율적으로 활용할 수 있는 하나의 대안적 개념으로 제시하고자 하는데 있으며, 추후 다양한 요소를 고려하여 실무에서 활용할 수 있는 수저항 중심의 위치 계산에 대한 심도 깊은 연구가 따라야 할 것으로 생각된다.



## 참고문헌

- [1] 윤점동, 2013. 선박 조종의 이론과 실무. 세종출판사
- [2] 정태권, 2012. A Study on Comparison between Center of Lateral Resistance and Pivot Point being used in handling ships at the present time. 2012년도 항해항만학회 추계학술대회 논문집.
- [3] 허용범, 2015. Pivot Point 정의를 위한 논의. 2015년 도선사 직무교육.
- [4] Artyszuk. J., 2004. Evaluation of uniform current dynamic effect in practical ship manoeuvring.
- [5] Artyszuk. J., 2010. Pivot point in ship manoeuvring.
- [6] Bertram. V., 2000. Practical ships hydrodynamics,
- [7] Boat owner magazine, 2003. Docking a single screw.
- [8] Butusina P., & Dinu, D., 2010. Water resistance force - Pivot point, Annuals of Mechanical, Industrial and Maritime Engineering, Ovidius University Constanta.
- [9] Carreno, J. E., & Mora, J. D., 2008. A study on the shallow water effect on a ship' s pivot point.
- [10] Cauvier, H., 2008. Is the pivot point really a pivot point? A study on the rotation and sideways motion of ships, United Kingdom maritime pilots association.
- [11] Chase, A., 1999. Sailing vessel handling and seamanship- the moving pivot point.

- [12] Halpern. S., 2007a. Finding the Apparent Flootation Pivot Point.
- [13] Halpern. S., 2007b. Turning in Circles.
- [14] Halpern. S., 2007c. She turned Two Points in 37 Seconds.
- [15] House. D., 2007. Ship Handling theory and practice.
- [16] Kinzo. I., 2007. Theory and practice of ship handling.
- [17] Kornacki. J., 2011. Ship' s turning in the navigational practice.
- [18] Lewis, E. V., 1989. Principles of Naval Architecture.
- [19] Rawson, K. J., & Tupper, E. C., 2001. Basic Ship Theory.
- [20] Rowe, R. W., 1996, The ship handler' s guide.
- [21] Seo, S. G., 2011. The use of pivot point in ship handling for safer and more accurate ship manoeuvring.
- [22] Sogreah, 2011. Shiphandling, Port Ravel Ship handling – the pivot point.
- [23] Southampton Institute, 2001. Notes on shiphandling.
- [24] The Standard, 2012. A master' s guide to: Berthing
- [25] Tzeng, C.Y., 1998. Analysis of the pivot point for a turning ship, Journal of Marine Science and Technology.
- [26] United States Coast Guard., 2003. Boat Crew seamanship manual.