

## 속도 및 조종 실선시운전 계측, 해석 시스템 개발

김현수\*, 박건일\*\*, 하근\*\*\*

### Computerized Measurement System of Ship Speed and Maneuvering Performance in Sea Trial

Kim Hyun-Soo\*, Park Gun-il\*\* and Ha Mun-Keun\*\*\*

#### 요 약

최근 ISO에서는 속도 시운전의 결과를 보정 하는 방법과 시운전 방법 자체를 표준화하는 움직임을 보이고 있다. 그 주요 내용 중에 하나는 과학적이고, 신뢰성 있는 시운전 계측이다. 이러한 흐름에 대비하여 저자는 1996년 각종 항해 신호 집중화 장비의 개발을 완료하였고, 1998년 DGPS를 이용한 속도, 조종 시운전의 계측 및 해석 program의 개발을 완료하였다. 개발된 계측 및 해석 program은 검증을 거쳐 1999년 한국 선급으로부터 Certification을 받아 실선 적용을 시작하였다. 현재까지 70여 척의 시운전을 본 시스템을 통해 수행하였다. 그러나 기존에 개발된 시스템은 단축선에 대해서만 적용이 가능하다는 제약이 있었다. 이를 극복하고자 저자는 단축선 이외에 다축선에 대해서도 적용할 수 있는 보완된 계측 시스템과 해석 program을 개발하였다. 본 논문에서는 두 시스템에 대한 개략적인 소개, 검증 방법, 실선 시운전 계측 및 해석 결과 등에 대해서 소개하고자 한다.

#### Abstract

It is expected that ISO issue a standard method for sea trial and the correction of data taken during speed trial. One of the major reason for this effort (or trend) is to get reliable and accurate sea trial measurement. With the same philosophy, SHI (Samsung Heavy Industries) developed a nautical signal integrated unit in 1996. Two years after this, SHI developed a software that enable the user to

---

접수일자: 2000년 10월 26일, 승인일자: 2001년 6월 28일

\*정회원, 삼성중공업 조선플랜트 연구소 유체연구파트 책임연구원(E-mail: hyskim@samsung.co.kr)

\*\*정회원, 삼성중공업 조선플랜트 연구소 유체연구파트 선임연구원(E-mail: gipark@samsung.co.kr)

\*\*\*정회원, 삼성중공업 조선플랜트 연구소 유체연구파트 수석연구원(E-mail: mkha@samsung.co.kr)

analyze the sea trial measurement on-board. After a series of stationary and performance tests, KR has issued a certificate for international application of the software. We have been utilizing this program for the measurement and analysis of sea trial of more than 70 ships built in SHI shipyard. However, one critical defect of the software has been that it can be applied only for single shaft vessels. In this short paper, we would like to introduce a new version of the software which can be used for both single and multi thruster vessels. This paper deals with the introduction, test method and some of the test result.

1. 서 언

제22차 ITTC Special Committee on Trial and Monitoring은 각종 신호의 시간 이력을 포함하는 과학적인 시운전 계측을 권고하였다.(ITTC 1999) 또한 ISO에서는 속력 시운전 계측과 해석, 보정에 관한 표준을 제정하기 위해 2000년 8월 초안을 각국에 배포 의견을 수렴 중에 있다.(KITTC, 2000) 시운전에 관한 전반적인 계획과 수행방법, 보고서의 작성 등에 관해서도 표준화 작업이 ISO/TC 8/SC9/WG 4를 중심으로 이루어지고 있어 2000년 10월 말 확정될 것으로 예상된다. 이러한 국제사회의 움직임은 과학적이면서 신뢰성 있는 시운전 계획과 수행 그리고 보고서 작성을 요구하고 있다. 이러한 국제사회의 요구에 대비하여 저자는 각종 항해 신호를 집중화할 수 있는 「시운전 통합 시스템 단축선 장비」를 1996년 개발하였고 1998년 DGPS를 이용한 속도, 조종 시운전의 계측 및 해석 시스템을 개발하였다.(김 현수 1999) Seamans 1.0라 불리는 계측 및 해석 program은 한국선급으로부터 형식 승인 인증서를 1999년 획득하였으며 현재까지 70여 척 실선 시운전을 수행하였다. 그러나 Seamans 1.0은 단축선에 대해서만 적용 가능한 단점이 있어 다축선의 경우 적용이 불가능하였다. 이러한 단점을 보완하기 위하여 다수의 추진기를 갖는 선박에 적용 가능한 보완된 「시운전 통합 시스템 다축선용 장비」를 개발하였다. 이 다축선 장비는 확장 slot을 사용할 경우 12개의 추진기까지 신호를 계측할 수 있도록 구성되어 있다. 또한 Seamans 1.0도 계측 부분과 해석 부분을 분리

하여 효율성을 제고하고 사용자들의 요구를 수용하여 편의성을 향상시키는 방향으로 개선되었다. 이렇게 개발된 Seamans 2.0은 속력 시운전을 수행할 경우 DGPS 장비와 직접 연결하여 실시할 수 있으며 조종 시운전을 수행할 경우 단축선 또는 다축선 장비와 연결하여 매초 마다 연결된 신호를 모두 기록하고 해석할 수 있다. 또한 Engine 마력을 Torsion meter와 직접 연결하여 실시간으로 계측함으로써 계측된 data의 신뢰성을 높이고 있다. 본 논문에서는 개발된 시스템의 설명과 검증 절차, 계측 결과 등을 소개 하고자 한다.

2. 시스템 구성

본 시스템은 Fig.1과 같이 DGPS 신호 수신 장비, interface unit, 계측 program, 해석 program의 4부분으로 나누어져 있다.

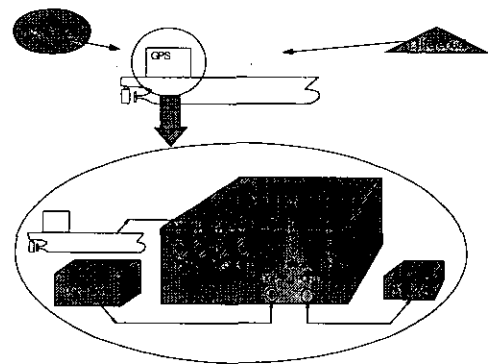


Fig.1 The system composition

2.1 DGPS 수신기

기존의 DGPS 수신 체계는 GPS 수신기를 본선에 설치하고 differential 송신기를 별도로 보유하고 사용하여 왔다. 저자의 경우도 서이말 등대의 송출 장비를 사용하여 왔다. 그러나 최근 일본과 한국 정부에서 운용하는 기지국이 시운전 구역에서 양호한 상태로 수신되고 있어 기존의 개별적으로 설치된 기지국은 사용을 안하고 있으며 현재 사용중인 위치정보 수신 장비는 4000 DS이고 수정량을 수신하는 장비는 Nav-Beacon과 Pro-Beacon이다.

2.2 신호 집중화 장비

각종 항해 장비의 수집 장치는 항해 장비 중 가장 많이 사용되는 serial과 analog data를 장비에서 많이 사용되는 빈도에 따라 수신이 가능하도록 하였다. 다축선용 신호 집중화 장비는 2개의 추진기와 Bow thruster 한 개까지 직접 신호를 받을 수 있고 별도의 장비를 장치할 경우 최대 12개까지 추진기 신호를 연결할 수 있도록 하였다. 단축선용 장비에서 지적된 무게, 전원, cable 등의 문제점을 다소 개선하였고, 송신 data의 파다로 Baud rate를 9600으로 늘였다.

Menu화면을 크게 개선하였고 신호의 부호연결이 잘못된 경우 H/W에서 바꿀 수 있도록 하였다. 장비의 그림은 Fig.2이다. Table 1에 다 축

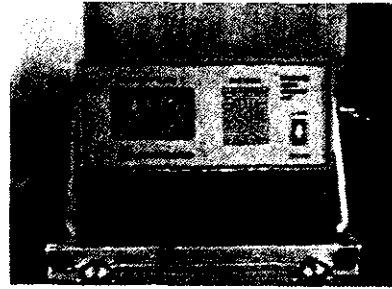


Fig.2 The signal integration unit

선박용 장비의 수신 가능한 신호의 종류와 항해 장비를 정리하였다.

2.3 계측 program

계측 program은 신호 수집 장치에서 수집된 신호를 Notebook PC에 연결하여 Display해 주는 역할을 담당한다. 단축선용 장비를 위한 program(Seamans 1.0)에서는 계측과 해석이 하나의 program으로 구성되어 있어서 나름의 장, 단점이 있었다. 그러나 사용자의 요구에 의해 다축선용 program(Seamans 2.0)에서는 계측과 해석을 별도의 program으로 구성하였다. Seamans 2.0의 계측 program은 조종과 속도 시운전 두 부분으로 구성하였고 각각의 menu화면은 Fig.3과 같다. 사용자 편의를 위해서 연결된 신호의 이상 유무를 확인할 수 있는 기능과 현재 계속되는 data의 history를 볼 수 있는 기능을 추가하였다. 또한 필요한 data만 볼 수 있는 기능도 있으며 속도 시운전의 경우는 현장에서 모든 것을 결정해야 하는 특성 때문에 해석 program을 계측 program에 포함 시켰다.

각종 input값과 매 호선 바뀌는 정보들에 대해서는 편집기능을 추가해서 사용자가 자유롭게 기재 사항을 바꿀 수 있도록 하였다.

계측은 기본적인 입력 값을 setting하고 start 버튼을 누르면 시작된다. 계측이 종료되면 계측된 data와 trajectory등이 자동 저장된다. 조종 시운전의 경우 IMO에서 규정한 총 11개 항목을 수행 할 수 있다.

Table 1 The available signal types and nautical equipments

신호종류	DC STEP	AC SYNC	DC SYNC	전압	전류	PULSE	AC POWER	SERIAL
DGPS								○
GYRO	○							○
Speed Log				○	○	○		○
Sea Depth								○
Wind speed						○	○	○
Wind Dir.		○						○
Rudder(Thru-ster) Angle		○	○	○				○
Pitch Angle				○	○			
M/E RPM				○	○			○
M/E BHP				○	○			○
ADD. TH								○

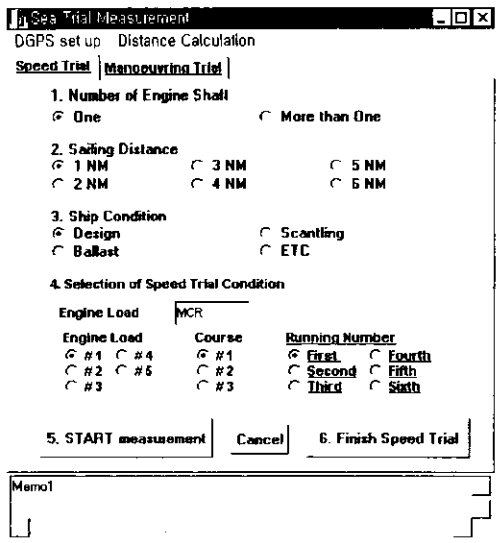


Fig.3 The main screen of speed sea trial

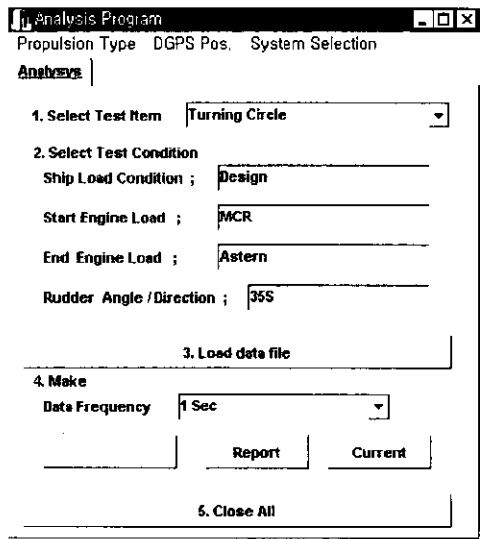


Fig.4 The main screen of analysis program

### 2.4 해석 program

해석 program 화면은 조종 시운전 해석에 주안점 두었으며 Fig.4와 같다. 계측된 모든 data는 해석 program을 통해 해석을 수행하고 각종 실선시운전시 결과로 기록해서 보고서에 포함해야

하는 각종 Criteria가 보고서 양식에 맞게 자동 저장이 된다. 해석의 결과로서 사용되는 많은 경우의 report format은 자동으로 load가 되고 보고서 file 1개, 신호의 history file 1개, trajectory file 1개 등 총 3개의 file이 저장된다. 계측과 해석을 위한 program 사용 설명은 별도의 Manual이 있으므로 본 논문에서는 그 내용을 제외하기로 한다.

### 2.5 시스템 특징

본 시스템의 사용자는 신호 집중화 장비를 통해 계측할 data를 연결하면 손쉽게 계측 및 해석을 수행할 수 있고 보고서도 On Board에서 작성할 수 있다. 속도 계산을 위해 사용된 거리계산은 Robbin's method(Bomford 1984)를 사용하였다. 12개까지의 Thruster를 연결할 수 있다는 장점이외에 CPP(contra pitch propeller)의 경우도 data를 받을 수 있도록 하였다. Turning시 조류의 보정은  $0^{\circ} \sim 540^{\circ}$ 의 값을 사용하여 계산을 하였다.(부록 참조) Engine의 power와 RPM은 매우 중요한 요소로 시운전시 setting된 RPM과 power 장비의 부정확성 때문에 선주들이 Torsion meter에서 계측된 결과 사용을 원하는 경우가 있어 Torsion meter 해석 결과를 직접 연결하여 사용할 수 있도록 하였다.

### 3. 시스템 평가

본 시스템은 육상 고정점 시험, 육상 주행 시험, 해상시험을 통해 검증되었으며 한국 선급에서 인증서를 획득하였다.

#### 3.1 육상 고정점 시험

육상 고정점 시험은 DGPS신호의 안정성을 평가하기 위한 것으로서 고정 점에서 10분간 매초 단위로 위치를 받아 plotting함으로써 변화가 어느 범위에 있는지를 검토하였다. 검토 결과 Fig. 5에서 보는 바와 같이 1m 범위 내에 신호가 들어와 DGPS가 본래의 성능을 발휘하는 것을 확인하였다.

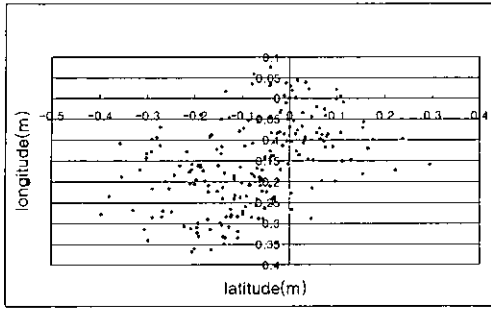


Fig.5 The stationary test results

3.2 육상 주행 시험

육상 주행 시험은 육상에서 일정 거리를 정확히 측량하여 이 구간 동안 속도가 정확히 계산되는지를 확인하기 위한 목적으로 조선소 내부에 직선거리를 확보하여 실시하였다. 400m 와 800m 거리에서 여러 차례 실험을 수행하였으며 800m에서의 결과를 Table 2에 보여 주고 있다. 주행시간과 측량거리를 사용한 속도와 계측된 속도의 차이는 최대 0.018 knot로 우수한 결과를 주는 것을 확인하였다. 그러나 DGPS에 의한 계측거리오차는 절대적인 것이고 계산된 속도 오차는 800m 주행 시에 대한 것임을 고려하면 1NM 주행시의 속도 오차는 본 결과의 절반이하로 떨어질 것이다.

3.3 해상 속도시험

해상 속도 시험은 1NM을 주행하여 기준에 공식적으로 사용하던 Trimble사의 program과 비교하였다. 비교 결과 Table 3에서 보는 바와 같이 최대 0.0049 knots를 보여주고 있어 0.02% 이하의 오차를 주는 것으로 나타났다.

3.4 해상 조종 시운전

해상에서 Turning과 Zig-Zag 조종시운전 계측과 해석 결과는 Fig.6~9와 같다. 그림에서 볼 수 있듯이 모든 계측 결과는 자동으로 저장 및 Display되며 보고서를 작성해 주고 data file을 만들어 줌으로서 ITTC와 ISO에서 권고하는 과학적 방법을 동원한 계측과 해석에 부합되는 결과를 주도록 program을 구성하였다.

Table 2 The results of road tests

No	Time (sec)			Distance(m)			Velocity(knots)		
	seamans	Manual	Difference	seamans	Manual	Difference	seamans	Manual	Difference
1	257.04	257.7	0.7	800.2	800	0.2	6.052	6.034	0.018
2	216.04	216.3	0.26	800.4	800.2	0.2	7.202	7.192	0.01
3	246.97	247.4	0.57	800	800	0	6.297	6.286	0.011
4	269.97	269.4	0.6	800	800	0	5.761	5.774	0.013

Table 3 Speed sea trial results

No	Time	Distance(NM)		Velocity (knots)		Velocity(kts)	Distance(m)	Distance Gab (%)
		Trimble	SHI	Trimble	SHI			
1	128.38	1.01449	1.01458	28.448	28.453	0.004925	0.325240464	0.017562
2	129	1.01129	1.01135	28.222	28.226	0.004103657	0.2729088	0.014703
3	127.13	1.01259	1.0126	28.674	28.677	0.002806305	0.170441072	0.009203
4	228.5	1.00343	1.00353	15.809	15.812	0.002894679	0.3402652	0.018373
5	192.62	1.00869	1.00877	18.852	18.855	0.002222565	0.319303744	0.017241
6	183.62	1.00884	1.00891	19.778	19.782	0.003191563	0.301456288	0.016277
7	167.16	1.01034	1.01042	21.759	21.763	0.003643961	0.313333654	0.016919
8	178.03	1.00631	1.00635	20.349	20.351	0.002465871	0.225821072	0.012193
9	162.9	1.01102	1.01114	22.343	22.348	0.004527136	0.3793546	0.020484
10	216.88	1.01699	1.01699	16.881	16.883	0.001583253	0.176632526	0.009537
11	213.5	1.01412	1.01417	17.068	17.07	0.002176793	0.23551288	0.012833
12	212.16	1.01001	1.01009	17.24	17.243	0.002897416	0.3162086	0.017074
13	210.5	1.00894	1.00892	17.255	17.256	0.001096195	0.11869624	0.006409
14	239.22	1.01044	1.01046	15.205	15.208	0.001564995	0.192580072	0.010398
15	236.22	1.01063	1.01063	15.402	15.403	0.001359009	0.165145184	0.008917

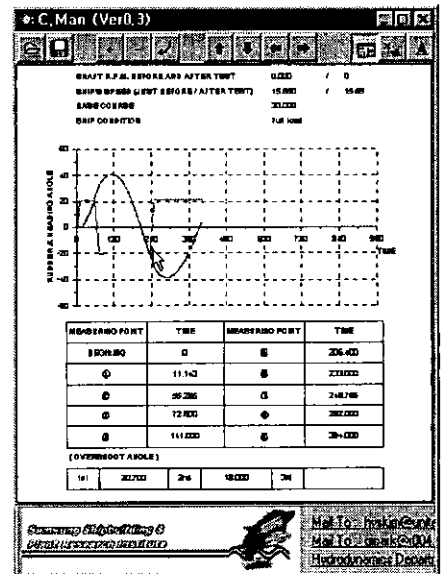


Fig.6 The Zig-Zag sea trial result

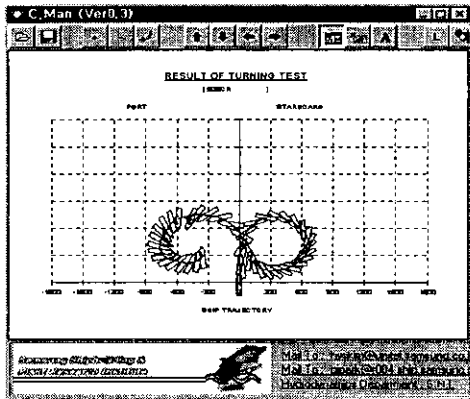


Fig.7 The turning sea trial results

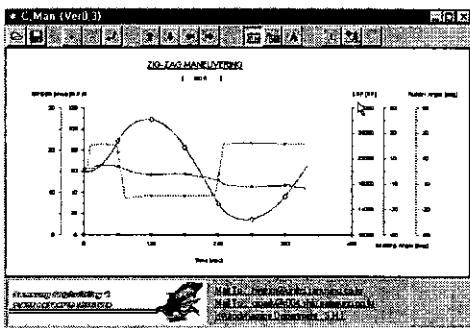


Fig.8 The signal plots of Zig-Zag sea trial

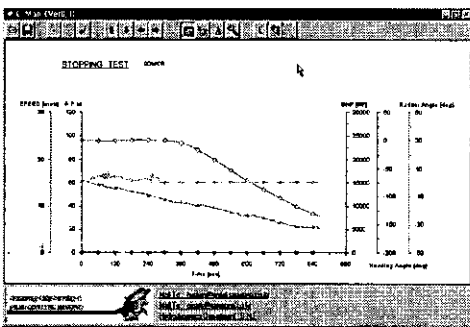


Fig.9 The signal plots of stopping sea trial

### 3.6 형식 승인서

위의 검증 결과들을 도출하기 위해 한국선급의 검사관 입회하여 모든 시험을 실시하였으며 한국 선급의 업무 flow에 따라 구비서류를 갖추어 Fig. 10과 같이 형식승인 인증서를 획득하였다. ABS,

DNV등의 형식 승인을 받기 위한 시도를 하였으나 시운전 자체가 선주와 조선소의 문제로 취급하여 형식 승인 항목 자체를 갖고 있지 않다는 회신을 받았다.

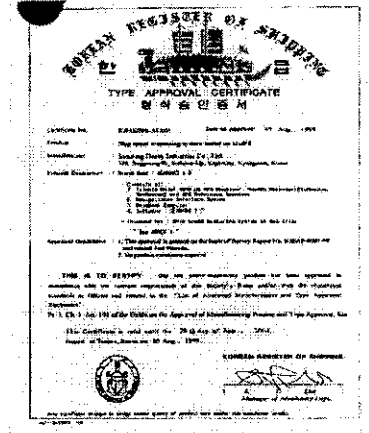


Fig.10 Certification of KR

### 4. 결론 및 향후 과제

본 시스템은 실선 시운전의 계측과 해석 방법의 개선을 목표로 1996년 이후 지속적으로 개발 보완되어 온 것으로 아래와 같은 나름대로의 결론을 얻을 수 있었다.

- ITTC와 ISO등의 최근의 움직임에 부합되는 과학적 방법에 의한 계측 및 해석 시스템 구축
- On Board reporting으로 시운전 효율 향상
- 선주신뢰도 향상, 선도적 시운전 기술력 확보

위 결론을 바탕으로 향후 수행해야 할 과제로는 계측된 data의 통계처리를 통한 해석 체계구축을 고려하고 있다

### 참 고 문 헌

- 김현수, 박건일, 하문근, 윤여표, 1999.8 "선박의 속력 및 조종 시운전 계측 및 해석 시스템 개발", 제11회 설계연구회
- H. S. Kim, G. I. Park, M. K. Ha,

2000 "Computerized measurement system of ship speed and maneuvering performance in sea trial", IMDC2000, pp. 707-714

- Bomford, 1984 "GEODESY"
- Korea Towing Tank conference and chines Towing Tank Conference, 1999 "22nd International Towing Tank Conference proceedings volume II, Report of specialist committee on trials and monitoring" pp. 465~505
- ISO/DIS 15016, 2000 "Ships and marine technology-Guidelines for the assessment of speed and power performance by analysis of speed trial data, Draft International Standard"



〈 김 현 수 〉 〈 박 건 일 〉 〈 하 문 근 〉

부 록 : Turunig 시 조류 보정 방법

일정한 방향과 크기의 조류 속에서 선박의 정상 선회에 대한 운동 방정식을 식 (1),(2)와 같이 가정한다.

$$X = r \cos(\omega t - \phi_0 + \pi) + ut + X_c \quad (1)$$

$$Y = r \sin(\omega t - \phi_0 + \pi) + vt + Y_c \quad (2)$$

각 변수는 Fig. A-1과 같이 정의한다. 여기서  $\pi$ 는 배의 선수각이 180도가 되는 경우를 기준으로 이에 대한 표류각을 고려하기 위한 것이다. time  $t=0$ 에서의 선박 중심의 좌표는 식(3), (4)과 같다.

$$X_0 = r \cos(-\phi_0 + \pi) + X_c \quad (3)$$

$$Y_0 = r \sin(-\phi_0 + \pi) + Y_c \quad (4)$$

임의시간의 좌표는  $t=0$ 에서의 좌표에 대한 상대 좌표를 이용해서 표시하면 식 (5), (6)와 같다.

$$X - X_0 = r \cos(\omega t - \phi_0 + \pi) + ut - r \cos(\pi - \phi_0) \quad (5)$$

$$Y - Y_0 = r \sin(\omega t - \phi_0 + \pi) + vt - r \sin(\pi - \phi_0) \quad (6)$$

배의 선수각이 180도, 360도, 540도인 지점에서의 관계를 이용하면 식 (7)~(10)을 얻을 수 있다.

$$(X_3 - X_0) - (X_1 - X_0) = u_c(t_3 - t_1) \quad (7)$$

$$(Y_3 - Y_0) - (Y_1 - Y_0) = v_c(t_3 - t_1) \quad (8)$$

$$(X_2 - X_0) + (X_1 - X_0) = u_c(t_2 + t_1) - 2r \cos(\pi - \phi_0) \quad (9)$$

$$(Y_2 - Y_0) + (Y_1 - Y_0) = v_c(t_2 + t_1) - 2r \sin(\pi - \phi_0) \quad (10)$$

식 (7)~(10)에 사용된 변수에 대한 설명은 Fig A-2와 같다.

일반적인 경우에  $t_0 = t_1 = 0$ 을 기준으로 계산하게 되는데 이 경우 식 (7)~(10)은 식 (11)~(14)와 같이 표현된다.

$$(X_3 - X_1) = u_c t_3 \quad (11)$$

$$(Y_3 - Y_1) = v_c t_3 \quad (12)$$

$$(X_2 - X_1) = u_c t_2 - 2r \cos(\pi - \phi_0) \quad (13)$$

$$(Y_2 - Y_1) = v_c t_2 - 2r \sin(\pi - \phi_0) \quad (14)$$

위의 식 (11)~(14)을 연립하여 풀면 조류속도  $u_c$ ,  $v_c$ 와 대한 1차 추정값과 회전 반경에 대한 정보인  $r \cos(\pi - \phi_0)$ ,  $r \sin(\pi - \phi_0)$ 을 구할 수 있다. 만약 720도 선회를 하는 경우 (11), (12)식을 선수각이 360도 차이가 나는 점들의 쌍으로부터 평균하여 평균 조류 속도를 구할 수 있다. 이것이 일반적인 방법이다. 만약 720도를 선회하지 않는 경우

에는 앞서의 1차 추정값을 이용하여 식 (9),(10)를 이용하여 평균 조류 속도를 구할 수 있다. 위상 차 180도 갖는 항들을 식 (9)을 이용하여 정리하면 다음과 같이 정리 할 수 있다.

$$\begin{aligned} & (X_{\phi=0} - X_0) + (X_{\phi=\pi} - X_0) \\ &= u_c'(t_{\phi=0} + t_{\phi=\pi}) - 2rcos(\pi - \phi_0) \\ & (X_{\phi=\alpha} - X_0) + (X_{\phi=\alpha+\pi} - X_0) \\ &= u_c'(t_{\phi=\alpha} + t_{\phi=\alpha+\pi}) - 2rcos(\pi - \phi_0) \\ & \dots\dots\dots \\ & (X_{\phi=\beta} - X_0) + (X_{\phi=\beta+\pi} - X_0) \\ &= u_c'(t_{\phi=\beta} + t_{\phi=\beta+\pi}) - 2rcos(\pi - \phi_0) \end{aligned}$$

위 식을 다시 정리하면 식 (15)과 같다.

$$\begin{aligned} & (X_{\phi=\beta} - X_0) + (X_{\phi=\alpha} - X_0) + (X_{\phi=\beta+\pi} - X_0) \\ &= u_c'(t_0 + t_{\phi=\beta} + t_{\phi=\beta+\pi}) - 2Mrcos(\pi - \phi_0) \end{aligned}$$

여기서 M은 선수각의 차이가 180도인 지점의 쌍의 갯수이다. 여기에 앞에서 구한  $rcos(\pi - \phi_0)$ 을 대입하여서 평균 조류 속도의 X 방향 성분  $u_c'$ 을 구한다. 마찬가지로 식 (10)을 사용하여 Y 방향에 대해서 적용하면 평균 조류 속도의 Y방향 성분  $v_c'$ 을 구할 수 있다. 위와 같은 방법으로 구한  $u_c'$ 와  $v_c'$ 을 사용하여 계측된 data로부터 보정을 수행하면 정상 선회사의 trajectory를 구할 수 있다. 이와 같은 결과를 실선에 적용하여 구한 그림은 Fig A-3이다.

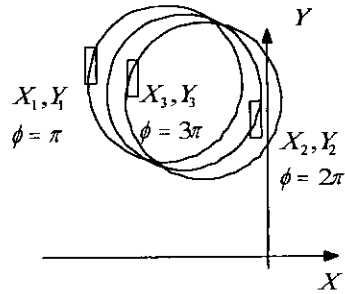


Fig A-2 definition of variables

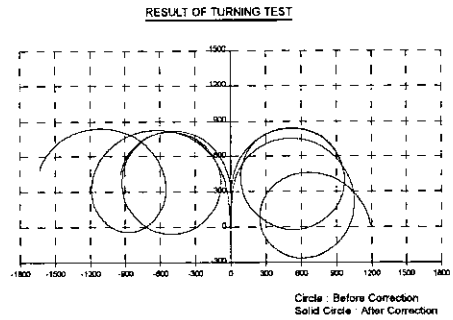


Fig A-3 The result of current correction with 540 degree turning circle test

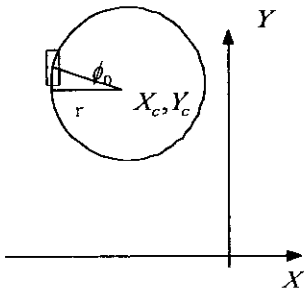


Fig A-1 Coordinate system