

Doppler 效果에 의한 速力計測裝置의 精度에 關한 研究 - Single beam Doppler log의 트림 변화에 따른 對地速力 誤差 -

金 光 弘

(慶尙大學校 海洋科學大學)

緒 論

Anderson¹⁾은 그의 논문에서 “航海”란 “선박을 지구 표면상의 어느 한 장소로부터 다른 장소로의 이동을 의도적으로 제어하는 것” 이라고 정의하고 있다. 여기서 말하는 의도적인 제어라함은 선박, 승무원 적화 등을 안전하게 그리고 신속, 정확하게 경제적으로 이동시키는 것을 의미한다. 이러한 안전성과 경제성을 만족시키기 위해서는 선박의 操船이 원활하게 이루어 져야 한다. 조선을 원활하게 하기 위해서는 무엇보다도 먼저 船舶의 速力を 측정할 수 있는 계기를 장치해야 하고 이 장비에 대한 精度를 정확하게 숙지해야만 한다.

최근 선박들은 점차 대형화, 고속화, 자동화 추세로 되면서 대부분의 항해장치에 정확한 속력신호의 입력을 요구하게 되었고, 또한 선박의 접안과 이안, 투묘, 충돌 방지와 협수로 통과시 船首尾線의 전후, 좌우의 방향의 속도 측정이 필요하게 되었으며, 이것에 대응할 수 있는 속도 측정 장비가 절실하게 요구되었다. 이러한 요구에 대응할 수 있는 속도측정장치로서는 對水, 對地速度측정이 모두 가능한 도플러 로그가 가장 적합한 것으로 사료된다.

1842년 Doppler가 도플러 효과를 발표한 이래 음향, 전자파를 방사하여 속도 측정에 이용할 수 있게 되었으며, 1956년에는 Raytheon 회사가 항공기용 도플러 항법 장치를 개발하였다. 이것을 토대로 하여 1961년 미 해군에서 선박용 도플러 로그의 개발을 시도하였다²⁾. 이 후 연구를 거듭하여 수심 180~200m 까지는 초음파를 수중으로 방사하여 해저에 반사되어 되돌아 온 반사파로 대지속도를 측정하고 그 이상의 수심에서는 수파의 반사파로서 대수속도를 측정할 수 있게 되었으며, 그 후 Kritz and Howard³⁾, Goulet⁴⁾, Mizutani⁵⁾, Tanaka⁶⁾, Yonezawa⁷⁾, Kohata⁸⁾ 등에 의해 미속에서 고속에 까지 비교적 高精度의 대수속도와 대지속도를 측정할 수 있는 연구가 진행되어 왔다.

그러나, 도플러 로그는 초음파에 의한 도플러 편위(doppler shift) 주파수를 측정하여 선박의 대지속도를 측정하므로 수중에서의 음속의 변화, 침로의 변화, 해저 상태의 변화, 트림의 변화, 그리고 진동자의 설치 잘못 등으로 오차를 유발하게 된다^{9),10)}. 이러한 원인으로 발생하는 오차 중 선의 트림에 의해 발생하는 오차는 그 양도 크고 변화도 심하다.

본 논문에서는 경상대학교 해양과학대학 실습선 경양호에 설치되어 있는 도플러 로그의 트림 변화에 따른 오차를 검토하기 위하여 1996년 9월 5~21일 까지 충무항 맞은편 미륵도에 설치되어 있는 마일 포스트(mile post)를 이용하여 船의 速度와 트림을 3가지 형태로 나누어 속력 시험을 행하여 그 精度를 비교 분석하였다.

裝置 및 方法

1. 測定裝置

속력시험에 사용된 선박은 경상대학교 해양과학대학 실습선 경양호로서 그제원은 Table 1과 같다. 도플러 로그는 MF-220형(Furuno)으로 그 제원은 Table 2와 같고, 블록선도는 Fig. 1과 같다. 도플러 로그의 동작개요는 Fig. 1에서 보는바와 같이 송수파기가 본체에 있는 主制御部의 지령신호에 의해 수중을 향하여 455kHz의 펄스파를 일정한 시간 간격으로 발사한다. 발사된 초음파 신호는 해저나 수중의 일정 층에서 반사되어 되돌아온 반사파는 동일한 송수파기에서 수신된다. 수신된 신호는 송수파기 내의 증폭장치에서 증폭된 후 다시 접속상자 내의 전력증폭기에서 더 한층 증폭시켜 본체로 보내어 도플러 주파수의 검출을 행하여 속력지시기와 항정지시기에 숫자로서 표시된다. 속력은 0.1노트 단위로 표시되고, 항정은 0.01마일 단위로 9999.99마일까지 표시할 수 있다.

Table 1. Dimension of the M.S. KGEONG YANG HO

Item	Specification
L.O.A	39.0 m
L.P.P	33.0 m
Breadth	8.0 m
Depth	3.5 m
Draft	3.0 m
Gross tonnage	388 ton
Main engine power	1200 ps
Speed Trial max.	13 kts

Table 2. Specification of the experimented doppler log

Item	Specification
Speed range	- 10 ~ +30 kts
System frequency	455 kHz
Out put power	200 W
Receiver band width	±4.5 kHz
Receiving system	super heterodyne
Depth range(Ground speed)	1~150 m approx.
Sound velocity	1500 m/sec
Angle at maximum acoustical energy	30°

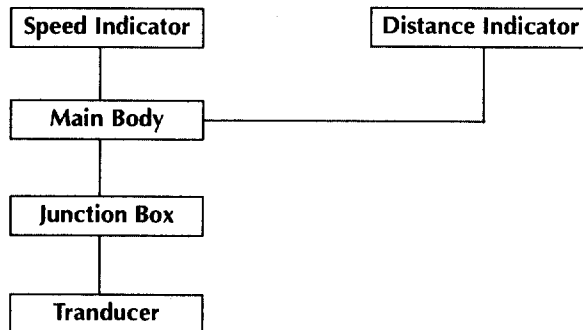


Fig. 1. Block diagram of the transmitting and receiving system of doppler log(MF-220 Model).

2. 測定方法

본 연구에서는 먼저 경양호에 설치 되어 있는 single beam doppler log의 오차가 발생하는 원인에 대해서 이론적으로 분석하고 이들 오차중 대지속도 산정에 가장 큰 영향을 미치는 트림의 변화에 따른 오차의 변화상태를 실선 실험을 통하여 분석하였다.

1) 대지속도의 산정 오차의 이론적 해석

송신점과 수신점이 동시에 이동하고 반사점이 정지해 있는 경우 도플러 시프트 주파수 Δf_0 는 다음과 같이 산출할 수 있다.

$$\Delta f_0 = 2V \sin \theta \cdot f_0 / C \dots\dots\dots(1)$$

단, V ; 선속, f_0 ; 발신주파수, C ; 수중음속, θ ; 초음파 발사각 (수직 방향에 대하여)

이 때의 도플러 로그 속력 V는

$$V = \Delta f_0 \cdot C / f_0 \cdot 2 \sin \theta \dots\dots\dots(2)$$

(1)식에서 도플러 시프트를 검출하면 대지속도를 산출할 수 있다. 그러나 검출된 도플러 시프트 주파수를 Δf 라 하면 이것에는 여러 가지 요인에 의하여 오차가 포함되므로 Δf_0 와는 다르게 된다. Δf 에 포함되는 여러 가지 요인별 오차와 Δf_0 와의 관계는 다음 (3)식과 같이 표시된다.

즉,

$$\Delta f = \Delta f_0 (1 + E_c + E_h + E_\beta + E_t + E_r + E_n) \dots\dots\dots(3)$$

단,

- E_c : 수중 음속 변화에 의한 오차 E_h : 침로의 변화에 의한 오차
- E_β : 해저의 경사에 의한 오차 E_t : 선의 트림에 의한 오차
- E_r : 진동자의 부착 불량에 의한 오차 E_n : 원인 불명의 오차

이들 오차의 원인중 가장 큰 영향을 미치는 船의 트림에 의한 오차(E_t)는, 항행중 角 δ 의 선미트림이 있을 경우에는 송파기로부터 초음파 Beam방향은 다르게 되므로 이 때의 초음파 발사각 θ 는 $(\theta + \delta)$ 만큼 변화를 가져오게 되며 이 때의 도플러 시프트 주파수는

$$\Delta f_0 (1 + E_t) = 2V \cdot \sin(\theta + \delta) \cdot f_0 / C \dots\dots\dots(4)$$

로 된다. 그러므로 (1), (4)식에서 트림에 의한 오차 E_t 는 (5)으로 나타낼 수 있다.

$$E_t = \cos \delta + \cot \theta \cdot \sin \delta - 1 \dots\dots\dots(5)$$

2) 實船實驗에 의한 트림의 변화에 따른 오차분석

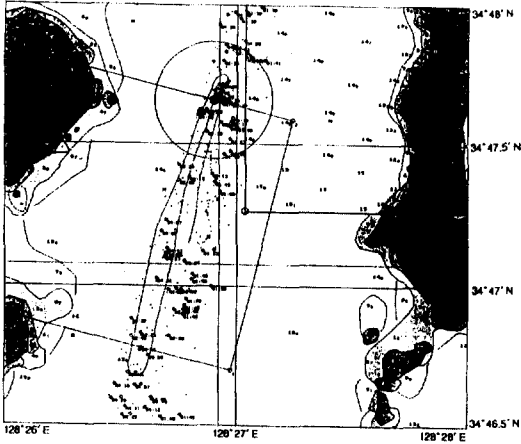


Fig. 2. Schematic of sea area experimented on the doppler log.

실습선 경양호를 이용한 측정시험의 속력은 全速, 半速, 微速의 상태로 조정하였고, 속력별 트림은 2.45m, 2.15m, 1.45m의 船尾 트림으로 조정하여 속력시험을 행하였다. 실속력은 Fig. 2와 같이 충무항 맞은편에 위치한 미루도의 왜법끝(Lat 34° 47' 24"N, Long 128° 27' 18"E)과 매암말(Lat 34° 46' 36"N, Long 128° 26' 54"E) 사이 1,689m 거리에 설치되어 있는 마일 포스트 사이를 진침로 194°와 014°로 각각 10회 왕복 항주하면서 초시계로 소요시간을 측정하여 그 평균치로 구하였고, 도플러 로그의 대지속력은 항주중 지시기에 표시되는 속력을 연속적으로 기록하여 구하였다. 그리고 풍향, 풍속은 풍향·풍속계(OTAKEYKI Model 112-S)를 이용하여 측정하였고, 유향, 유속은 속력시험을 시행하기 전에 묘박을 한 후, 5m 깊이의 수중에 조류계(Model SD-4A)를 투입하여 15분간 측정한 값을 평균하여 구하였다.

結果 및 考察

일반적으로 선박의 조종상 고려되고 있는 속력은 기관의 마력과 회전수에 따라 全速(full speed), 半速(half speed), 微速(slow speed), 그리고 極微速(dead slow speed)으로 구분하는데 가변 핏치 프로펠라(C.P.P)를 장치한 선박은 기관의 회전수에 합당한 핏치각(pitch angle, P.A.)을 갖도록 조정하고 있다.

본 속력시험에서는 R.P.M. 680, P.A. 18°를 全速, R.P.M. 640, P.A. 16°를 半速, R.P.M. 580, P.A. 10°를 微速의 상태로 정하고, 이들 각각에 따라 트림을 2.45m, 2.15m, 1.45m의 선미 트림으로 조정하여 마일 포스트(mile post) 사이를 왕복 항주하여 각 트림에 따른 실속력과 도플러 로그에 의한 평균 대지속력을 평균치의 평균법으로 구하고 이들을 비교하여 오차의 크기 및 그 변화에 대하여 검토하였고, 또한 도플러 로그의 지시기에 연속적으로 표시되는 순간 속력을 컴퓨터에 입력시켜 6초 간격으로 평균치를 구하여 그래프에 도시하고 평균 대지속력과 비교하여 트림의 순간적 변화에 대하여 고찰하였다.

1) 全速 前進時의 速力變化

(1) 2.45m 船尾 트림인 경우

시험선의 선체가 2.45m 선미트림이 되도록 조정하여 마일 포스트를 왕복 항주하면서 측정한 실속력과 도플러 로그의 대지속력 변화는 Fig. 3(a)와 같다. Fig. 3(a)에서 도플러 로그 속력의 최대치는 11.64kts, 최소치는 10.44kts를 나타내어 속력변화폭이 1.20kts로 대단히 컸으며, 그 평균 지시속력은

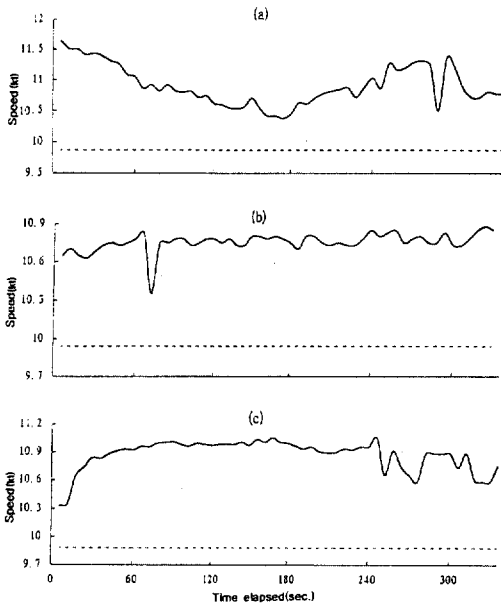


Fig. 3. Relation between doppler log speed and actual speed by change of trim in case of Full ahead.

- : Doppler log speed
- : Actual speed
- (a) : 2.45m trim by the stern
- (b) : 2.15m trim by the stern
- (c) : 1.45m trim by the stern

10.87kts 였다. 또한 실속력은 9.87kts로 1.00kts의 속력차가 있음을 알 수 있었다.

이와 같은 원인은 선수 흘수가 아주 작아 선수부가 수면상으로 심하게 노출된 결과 트림의 순간적 변화가 심한 때문이라 생각된다.

(2) 2.15m 船尾 트림인 경우

시험선의 선체가 2.15m 선미 트림이 되도록 조정하여 마일 포스트를 왕복하면서 측정된 실속력과 도플러 로그의 대지속력 변화는 Fig. 3(b)와 같다. Fig. 3(b)에서 도플러 로그의 속력은 경과시간 70초를 제외하고는 최대치 10.88kts, 최소치 10.63kts를 나타내었다. 그 변화의 폭은 0.25kts로 아주 적었으며, 평균 지시속력은 10.77kts로 비교적 안정된 속력으로 나타났다. 그리고 실속력은 9.94kts로 全速의 세 경우 중 가장 크며, 속력 오차는 0.83kts로 가장 적게 나타나 선체가 비교적 안정되고 동요가 다소 적음을 알 수 있었다.

(3) 1.45m 船尾 트림인 경우

시험선의 선체가 1.45m 선미 트림이 되도록 조정하여 마일 포스트를 왕복하면서 측정된 실속력과 도플러 로그의 대지속력 변화는 Fig. 3(c)와 같다. Fig. 3(c)에서 도플러 로그의 속력은 최대치 11.05kts, 최소치 10.30kts로 0.75kts의 변화폭이 있었으며, 평균 속력은 10.87kts였고, 실속력은 9.88kts로 0.99kts의 속력 오차가 내포하고 있음을 알 수 있었다.

이상에서와 같이 선박이 全速 전진 중의 트림의 변화에 따른 속력 변화폭은 2.45m 선미 트림일 때 1.20kts, 1.45m 선미 트림일 때 0.75kts, 0.15m 선미 트림일 때 0.25kts로 트림이 클수록 크게 나타났으며, 속력 오차는 세 경우 모두 약 1.00kts로 나타나 도플러 로그의 지시속력은 트림의 영향을 크게 받으나 실속력에는 큰 영향을 미치지 않음을 알 수 있었다. 따라서, 트림 변화에 따른 지시속력의 변화폭을 줄일 수 있는 방안이 고안되어야 한다.

2) 半速 前進時의 速力變化

(1) 2.45m 船尾 트림인 경우

시험선의 선체가 2.45m 선미 트림이 되도록 조정하여 마일 포스트를 왕복하면서 측정된 실속력과 도플러 로그의 대지속력의 변화는 Fig. 4(a)와 같다. Fig. 4(a)에서 도플러 로그 속력의 최대치는 9.80kts, 최소

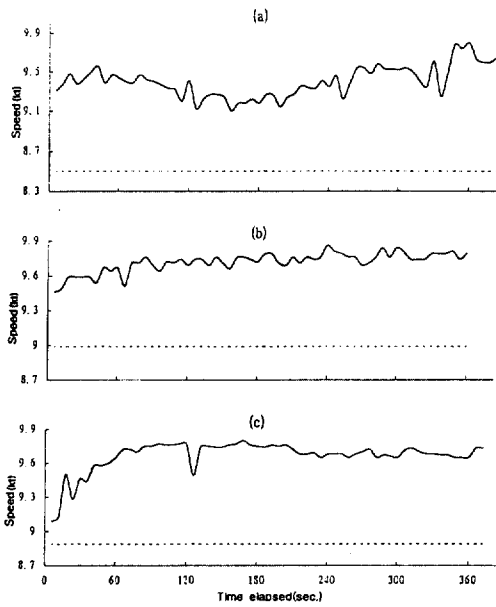


Fig. 4. Relation between doppler speed and actual speed by change of trim in case of Half ahead.

- : Doppler log speed
- : Actual speed
- (a) : 2.45m trim by the stern
- (b) : 2.15m trim by the stern
- (c) : 1.45m trim by the stern

9.80kts, 최소치 9.11kts로 속도 변화폭은 0.69kts로 다소 크게 나타났다. 그리고 평균속력은 9.68kts, 실속력의 8.89kts를 나타내어 0.71kts의 속도 오차가 있음을 알 수 있었다.

이상에서와 같이 선박이 반속 전진중 일때 트림의 변화에 따른 속도 변화폭의 크기는 2.45m 선미 트림일 때 0.70kts, 1.45m 선미 트림일 때 0.69kts, 2.15m 선미 트림일 때 0.38kts의 순으로 그 차는 크게 나타났다, 속도 오차는 2.45m 일때 0.83kts, 1.45m 일때 0.79kts, 2.15m 일때 0.71kts 로 나타나 그 차는 아주 적었다. 따라서, 반속 전진의 경우도 전속 전진의 경우와 같이 도플러 로그의 지시 속력은 트림의 영향을 받으나, 실속력에는 큰 영향을 미치지 않음을 알 수 있었다.

3) 微速 前進時의 速度變化

(1) 2.45m 船尾 트림인 경우

시험선의 선체가 2.45m 선미 트림이 되도록 조정하여 마일 포스트를 왕복하면서 측정한 실속력과 도플러 로그의 대지속력 변화를 보면 Fig. 5(a)와 같다. Fig. 5(a)에서 도플러 로그 속력은 최대치 6.82kts, 최소치는 5.74kts였고, 속도 변화폭은 1.08kts로 아주 크게 나타났으며 평균 지시속력은 5.25kts, 실속력이 5.74kts를 나타내어 속도 오차는 0.66kts로 크게 나타났다.

치는 9.10kts를 나타내어 속도 변화의 폭이 0.70kts로 다소 크게 나타났다. 그리고 평균 속력이 9.33kts, 실속력은 8.50kts를 나타내어, 속도 오차는 0.83kts였으며 반속의 세 경우 중 가장 크게 나타났다.

(2) 2.35m 船尾 트림인 경우

시험선의 선체가 2.15m 선미 트림이 되도록 조정하여 마일 포스트를 왕복하면서 측정한 실속력과 도플러 로그의 대지속력 변화는 Fig. 4(b)와 같다. Fig. 4(b)에서 도플러 로그의 최대치는 9.84kts, 최소치는 9.46kts로 나타나 속도 변화폭은 0.38kts로 아주 적으며, 평균 속력은 9.70kts, 실속력이 8.99kts를 나타내어 속도 오차는 0.71kts로써 가장 적게 나타났다.

(3) 1.45m 船尾 트림인 경우

시험선의 선체가 1.45m 선미 트림이 되도록 조정하여 마일 포스트를 왕복하면서 측정한 실속력과 도플러 로그의 대지속력 변화는 Fig. 4(c)와 같다. Fig. 4(c)에서 도플러 로그의 속력은 최대치

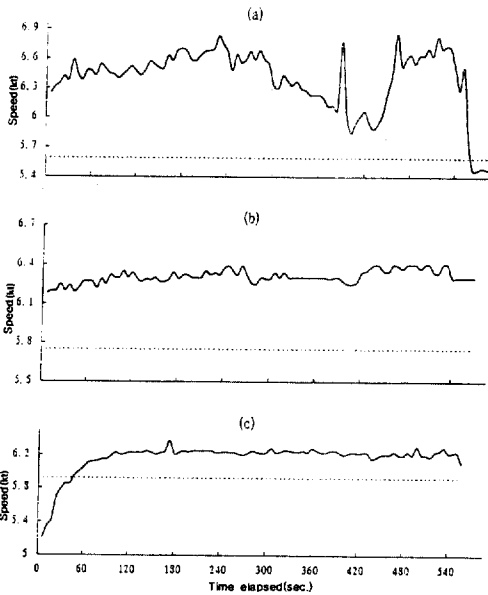


Fig. 5. Relation between doppler log speed and actual speed by change of trim in case of Slow ahead.

- : Doppler log speed
- : Actual speed
- (a) : 2.45m trim by the stern
- (b) : 2.15m trim by the stern
- (c) : 1.45m trim by the stern

(2) 2.15m 船尾 트림인 경우

시험선의 선체가 2.15m 되도록 조정하여 마일 포스트를 왕복하면서 측정된 실속력과 도플러 로그의 대지속력 변화를 보면 Fig. 5(b)와 같다. Fig. 5(b)에서 도플러 로그의 최대치는 6.84kts, 최소치는 6.18kts로 나타나 속력 변화의 폭은 0.30kts로 매우 적었다. 그리고 평균 지시속력은 6.31kts, 실속력이 5.75kts를 나타내어 0.56kts의 속력 오차가 있음을 알 수 있었다.

(3) 1.45m 船尾 트림인 경우

시험선의 선체가 1.45m 선미 트림이 되도록 조정하여 마일 포스트를 왕복하면서 측정된 실속력과 도플러 로그의 대지속력 변화는 Fig. 5.(c)와 같다. Fig. 5.(c)에서 도플러 로그의 속력은 최대치 6.37kts, 최소치는 5.21kts 이며, 속력 변화의 폭은 1.16kts 로 대단히 크게 나타났다. 그리고 평균 지시속력은 6.18kts, 실속력이 5.92kts를 나타내어 0.26kts의 속력 오차가 내포되고 있음을 알 수 있었다.

이상의 경우와 같이 선박이 미속 전진중 일때 속력 변화의 크기는 2.45m 선미트림 일때 1.08kts, 1.45m 선미 트림 일때 1.16kts, 2.15m 선미트림 일때 0.38kts의 순으로 나타나, 그 차가 매우 큼을 알 수 있었다. 그리고 속력 오차는 2.45m 선미 트림 일때 0.66kts, 2.15m 선미트림 일때 0.56kts, 1.45m 선미 트림 일때 0.26kts 크기의 순으로 적게 나타났으나, 도플러 로그의 지시속력은 선미 트림의 영향을 매우 크게 받음을 알 수 있다.

要 約

경상대학교 해양과학대학 실습선 경양호 기관의 회전수와 추진기의 피치각을 全速(R.P.M. 680, P.A. 18°), 半速(R.P.M. 640, P.A. 16°), 微速(R.P.M. 580, P.A. 10°)의 상태로 하고, 이들 각각에 따른 시험선의 트림을 2.45m, 2.15m, 1.45m 선미 트림으로 조정하여 마일 포스트를 왕복하여 도플러 로그의 대지속력과 실속력을 측정하여 비교 분석한 결과 도플러 로그 지시속력은 트림의 변화에 큰 영향을 받았으나 실속력에는 그다지 큰 영향을 미치지 않음을 알 수 있었다.

한편 세 경우 모두 선의 트림이 2.15m 선미 트림 일때 속력 변화의 폭과 오차가 가장 적어 선체가 안정 되고, 트림의 순간적 변화가 적으므로 최적의 상태라 할 수 있다. 그리고 미속 전진중 일때 속력 변화의 폭이 가장 크게 나타났는데 이것은 마일 포스트 사이를 통과 하는데 소요되는 시간이 전속, 반속 전진중 일때 보다 많이 소요되므로 그 간에 외력의 영향을 많이 받았기 때문이라 추정되었다.

특히 세 경우 모두 처음 마일 포스트를 통과한 후 약 30초 사이에는 도플러 로그의 지시속력이 저속임과 동시 속력 변화의 폭이 아주 크게 되었다가 그 후는 완만한 속력 변화를 보였는데 이러한 원인은 기관의 회전수와 펄치각을 변화시킨 후 최적의 상태가 되기 이전에 마일 포스트를 통과한 때문이라 생각된다.

參 考 文 獻

- 1) E. W. Anderson : "The craft of Navigator", The Journal of Navigation, Vol. 28, No. 1, pp. 35~50(1964).
- 2) E. E. Turner, B. J. Tompson & D. H. Jackson : The Raytheon acoustic doppler navigator, NAVIGATION, Vol. 13, No. 3, pp. 210~211(1966).
- 3) J. Kritz & M. J. Howard : Channel navigation and docking of supertankers, NAVIGATION, Vol. 16, No. 1, pp. 3~20(1969).
- 4) T. A. Goulet : The use of pulsed doppler sonar for navigation manned deep submergence vehicles, NAVIGATION, Vol. 17, No. 2, pp. 134~141(1970).
- 5) 水谷郁夫 : 水中超音波のドブラ効果を用いた船舶對地速度測定について, 日本造船學會論文集, 第 126號, pp. 431~443(1969).
- 6) 田中一 : 電子航海計器の解説, 成山堂, 東京, p. 47(1978).
- 7) 米澤弓雄 : 基礎航海計器, 成山堂, 東京, pp. 68~74(1975).
- 8) 小畑秀之 : 船舶システム概論, 成山堂, 東京, pp. 68~74(1975).
- 9) 箕原喜代美 : 操船へのドブラソナの應用, 航海, 39號, pp. 54~62(1973).
- 10) 직선배열 진동자에 의한 도플러 로그의 지향특성 개선에 관한 연구, 한국항해학회지, 제 5권, 제 2호, pp. 1~38(1981).

A Study on the accuracy of speed measuring system by the Doppler effect

– The error of speed single beam Doppler log over the ground by various trim –

Koang – Hong KIM
(Gyeongsang National University)

Abstract

Doppler log and current meter are based on the measurement of the doppler effect .

Ship' s speed over the ground measured by means of doppler log effect of underwater ultrasonic intends to get infulence by the difference of sound velocity, the ship' s course, the sea bottom inclination, the trim and tranducer installation etc.

This paper investigated on the error of speed over the ground by change of the trim comparing the real speed obtained by the mile post with the speed of single beam type doppler log on the training ship Kyeongyangho.

The results are as follows ;

1. Indicating speed of doppler log is very much greatly influenced on variation of trim, but the real speed is less affected variation by trim.
2. The range of variation and error of speed over ground are smallest when ship' s trim is 2.15m trim by the stern.