

3軸 磁氣檢出素子を 이용한 포와손 係數算出技法

安 瑛 化 · 辛 亨 鎰

제주대학교, 부산수산대학교

(1995년 2월 17일 접수)

Calculational Method of the Poisson's Coefficient by Use of Three Axis Magnetic Detect Elements

Young - Wha AHN and Hyeong - Il SHIN*

Cheju National University, National Fisheries University of Pusan*

(Received February 17, 1995)

Recently, various navigational instruments are being composed into a total navigational system. This system requires accurate ship's heading in digital form. The authors have been studying about an electromagnetic compass with a three - axis magnetic sensor in order to provide an accurate ship's magnetic heading which the compass deviations can automatically compensated in the compass itself.

In this paper describe on the theory how to derive the poisson's coefficients from ship's magnetism measured with three axis magnetic sensor and the results obtained by the simulation using deviascope, and that results practically coincident with the value observed by bearing on a distant object with magnetic compass.

緒 論

최근 선박의 自動化가 이루어짐에 따라 航法 및 漁業計測用 機器들도 하나의 시스템으로 集成한 總合航法方式으로 전환되고 있어서 이들 機器들의 상호간 정보 처리 및 교환, 또는 정보의 집중표시화를 위해서는 정확한 船首方位등의 針路情報가 필요하다.

따라서, 최근에는 종래의 磁氣컴퍼스를 대신하여 地球磁界를 電磁적으로 검출하여 船首方位를 電氣信號로 산출, 표시하는 형식의 電子磁氣컴퍼스(electromagnetic compass)에 관한 연구가 이루어지고 있으며, ISO에서는 이러한 電子磁氣컴퍼스의 성능기준과 규격에 관한 작업을 진행하고 있다.

그러나, EMC - 2(TOMEK), MASS - 100(Tokyo Keiki) 등 지금까지 연구되고 製品化되어 있는 電子磁氣컴퍼스의 방위 산출은 2軸 磁氣檢出素子を 짐벌(gimbal)에 의해 수평을 유지함으로써 船體座標의 선수미 및 정횡 방향에 대한 水平磁界成分만을 검출해서 船首磁氣方位를 산출, 표시하는 방식이기 때문에 船體의 경사나 磁氣緯度の 변화에 대응한 자동적인 自差修正에는 많은 어려움이 있다.

본 연구에서는 짐벌(gimbal)에 의해 水平을 유지하는 2軸型 磁氣檢出素子を 사용하지 않고 船體座標의 선수미, 정횡 및 갑판면 수직하방 방향을 고정시킴으로써 船內磁界의 水平成分 뿐만 아니라 鉛直成分의 磁界도 측정할 수 있는 3軸 固定型 磁氣檢出素子에 의한 방위 산출의 방법과 자동적

인 自差修正의 가능성을 확인하기 위하여 3軸 固定型 磁氣檢出素子를 사용하여 측정된 船內磁界로부터 포와손(poisson)係數를 산출할 수 있는 계산 알고리즘을 정립하고, 포와손 係數를 이용하여 구한 디비에스코프(deviascope)의 自差 및 自差係數와 磁氣컴퍼스로 측정된 自差 및 自差係數를 비교, 분석하였다.

理 論

1. 船內磁界와 포와손係數와의 關係

磁氣檢出素子에 의한 方位算出은, 측정된 船內磁界로부터 船體의 誘導磁氣成分의 係數와 永久磁氣成分의 크기인 포와손係數를 구하면 船首磁氣方位의 산출이 가능하다.

船體座標에 있어서 선수방향을 x軸, 우현방향을 y軸, 갑판면에 수직인 하방을 z軸이라 한다면 船體가 水平상태일때의 地磁氣의 各分力 X, Y, Z는 Fig.1에 나타낸바와 같이 다음식으로 표시된다.

$$\begin{aligned} X &= H \cos\theta_m \\ Y &= -H \sin\theta_m \\ Z &= V \end{aligned} \tag{1}$$

여기서, H는 地磁氣의 水平分力, V는 地磁氣의 鉛直分力, θ_m 은 船首의 磁針方位이다. 磁氣檢出素子로 측정되는 船內磁界의 各分力 X', Y', Z' 는 地磁氣의 各分力 X, Y, Z와 船體에 만들어진 磁氣의 分력 X_1, Y_1, Z_1 과의 合成이기 때문에 다음과 같은 식으로 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned} X' &= X + X_1 \\ Y' &= Y + Y_1 \\ Z' &= Z + Z_1 \end{aligned} \tag{2}$$

선체에 만들어지는 磁界는 地磁氣에 의해 磁化된 誘導磁氣成分과 永久磁氣成分으로 이루어지는데, 이 때 船體磁氣의 各分력 X_1, Y_1, Z_1 을 포와손(poisson)方程式으로 나타내면 다음과 같다.

$$\begin{aligned} X_1 &= aX + bY + cZ + P \\ Y_1 &= dX + eY + fZ + Q \\ Z_1 &= gX + hY + kZ + R \end{aligned} \tag{3}$$

여기서, a~k는 船體誘導磁氣에 관한 포와손係數이며, P, Q, R은 磁氣센서의 설치장소에 있어서의 永久磁氣成分의 크기이다.

따라서, 船體가 水平상태일 때의 磁氣센서로 측정되는 船內磁界의 크기 X', Y', Z' 은 地磁氣의 各成分을 더한것으로써 다음과 같은 식이 된다.

$$\begin{aligned} X' &= X + aX + bY + cZ + P \\ Y' &= Y + dX + eY + fZ + Q \\ Z' &= Z + gX + hY + kZ + R \end{aligned} \tag{4}$$

또한, 선체가 α° 만큼 롤링하여 경사하였다고 하면 船體座標의 3軸 方向의 地磁氣成分은 Fig.2와 같고 다음식으로 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned} X\alpha &= H \cos\theta_m = X \\ Y\alpha &= -H \sin\theta_m \cos\alpha + Z \sin\alpha = Y \cos\alpha + Z \sin\alpha \tag{5} \\ Z\alpha &= Z \cos\alpha + H \sin\theta_m \sin\alpha = Z \cos\alpha - Y \sin\alpha \end{aligned}$$

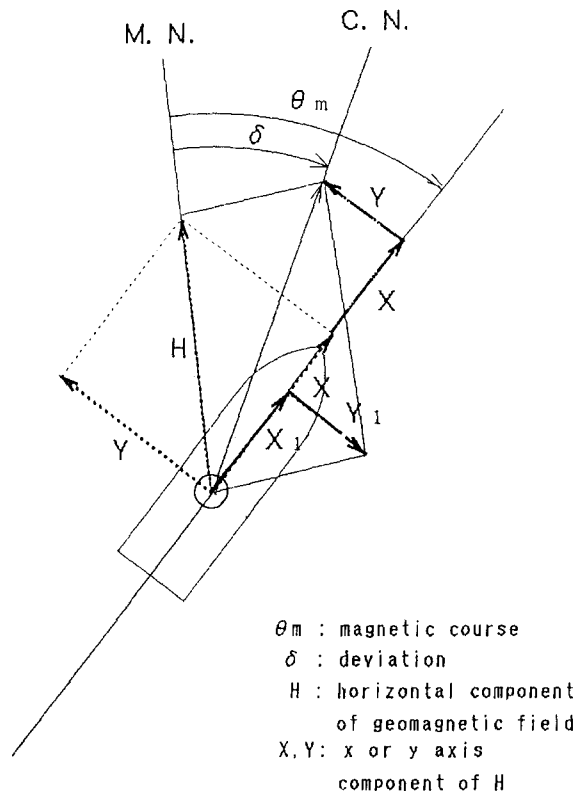


Fig. 1. Geometrical relations among geo-magnetic field and ship's magnetic field.

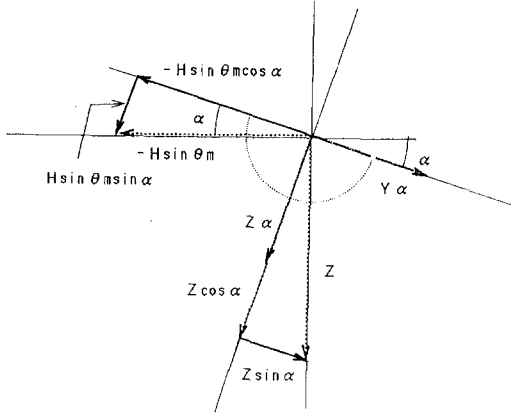


Fig. 2. Analysis of the ship's total magnetic field in heeling.

따라서, 船體가 傾斜했을 때의 포와손 方程式은

$$\begin{aligned} X'\alpha &= X\alpha + aX\alpha + bY\alpha + cZ\alpha + P \\ Y'\alpha &= Y\alpha + dX\alpha + eY\alpha + fZ\alpha + Q \\ Z'\alpha &= Z\alpha + gX\alpha + hY\alpha + kZ\alpha + R \end{aligned} \quad (6)$$

가 된다. 이 때, 磁氣檢出素子로 측정되는 船內磁界의 각 성분은 檢出素子를 船體 3軸 方向에 固定했기 때문에 다음과 같이 측정된다.

$$\begin{aligned} X' &= X'\alpha \\ Y' &= Y'\alpha \\ Z' &= Z'\alpha \end{aligned} \quad (7)$$

船體가 傾斜했을 때의 3軸 磁氣檢出素子로 측정되는 船內磁界 X', Y', Z' 에 대한 포와손 方程式은 다음과 같다.

$$\begin{aligned} X' &= X + \alpha X + (b \cos \alpha - c \sin \alpha) Y \\ &\quad + (b \sin \alpha + c \cos \alpha) Z + P \\ Y' &= Y + dX + (e \cos \alpha - f \sin \alpha) Y \\ &\quad + (e \sin \alpha + f \cos \alpha) Z + Q \\ Z' &= Z + gX + (h \cos \alpha - k \sin \alpha) Y \\ &\quad + (h \sin \alpha + k \cos \alpha) Z + R \end{aligned} \quad (8)$$

2. 船內磁界로부터 포와손 係數의 算出 알고리즘

船內磁界에 관한 포와손 方程式(4)식에 船體 3軸 方向의 地磁氣의 각 성분인(1)식을 대입하면 다음과 같은 식으로 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned} X' &= H \cos \theta_m + aH \cos \theta_m - bH \sin \theta_m + cZ + P \\ Y' &= -H \sin \theta_m + dH \cos \theta_m - eH \sin \theta_m + fZ + Q \\ Z' &= Z + gH - \cos \theta_m - aH \sin \theta_m + kZ + R \end{aligned} \quad (9)$$

(9)식의 X' 에, 船首磁針方位 θ_m 가 각각 $0^\circ, 90^\circ, 180^\circ, 270^\circ$ 라 했을 때, 그 때 磁氣檢出素子로 측정되는 船內磁界成分의 크기를 $X'^0, X'^{90}, X'^{180}, X'^{270}$ 라고 하면

$$\begin{aligned} X'^0 &= H + aH + cZ + P \\ X'^{90} &= -bH + cZ + P \\ X'^{180} &= -H - aH + cZ + P \\ X'^{270} &= bH + cZ + P \\ Y'^0 &= dH + fZ + Q \\ Y'^{90} &= -H - eH + fZ + Q \\ Y'^{180} &= -dH + fZ + Q \\ Y'^{270} &= H + eH + fZ + Q \\ Z'^0 &= Z + gH + kZ + R \\ Z'^{90} &= Z - aH + kZ + R \\ Z'^{180} &= Z - gH + kZ + R \\ Z'^{270} &= Z + aH + kZ + R \end{aligned} \quad (10)$$

가 된다. (10)식에서 X' 에 대한 誘導磁氣의 係數 a, b 는 다음과 같은 식으로 구할 수 있다.

$$\begin{aligned} a &= (X'^0 - X'^{180} - 2H)/2H \\ b &= (X'^{270} - X'^{90})/2H \end{aligned}$$

같은 방법으로 Y', Z' 에 대한 誘導磁氣의 係數 d, e, g, h 를 다음과 같이 구할 수 있다.

$$\begin{aligned} d &= (Y'^0 - Y'^{180})/2H \\ e &= (Y'^{270} - X'^{90} - 2H)/2H \\ g &= (Z'^0 - Z'^{180})/2H \\ h &= (Z'^{270} - Z'^{90})/2H \end{aligned} \quad (11)$$

다음에, 船體가 傾斜했을 때의 포와손 方程式인 (8)식에서 $\theta_m=0, Y=0$ 일 때의 船內磁氣의 測定值를 X'_r, Y'_r, Z'_r 라하면 (12)와 같이 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned} X'_r &= X + \alpha X + (b \sin \alpha + c \cos \alpha) Z + P \\ Y'_r &= dX + (e \sin \alpha + f \cos \alpha) Z + Q \\ Z'_r &= Z + gX + (h \sin \alpha + k \cos \alpha) Z + R \end{aligned} \quad (12)$$

여기서, $X=H \cos \theta_m, \cos \theta_m=0$ 일 때, 그 값은 1

이기 때문에 傾斜時의 測定値는 다음과 같다.

$$\begin{aligned} X'_r &= H + aH + (b \sin \alpha + c \cos \alpha)Z + P \\ Y'_r &= dH + (e \sin \alpha + f \cos \alpha)Z + Q \\ Z'_r &= Z + gH + (h \sin \alpha + k \cos \alpha)Z + R \end{aligned} \quad (13)$$

(10)식과(13)식을 이용하면 係數 c, f, k 는 다음과 같이 구할 수 있다.

$$\begin{aligned} c &= \{(X'_r - X'_0) - bZ \sin \alpha\} / Z(\cos \alpha - 1) \\ f &= \{(Y'_r - Y'_0) - eZ \sin \alpha\} / Z(\cos \alpha - 1) \\ k &= \{(Z'_r - Z'_0) - hZ \sin \alpha\} / Z(\cos \alpha - 1) \end{aligned} \quad (14)$$

이상과 같이, 船體誘導磁氣係數 $a \sim k$ 가 算出되면 이 값을 X'_0, Y'_0, Z'_0 식에 대입하여, 永久磁氣成分 P, Q, R 를 구할 수 있다.

따라서, 磁氣檢出素子로 측정된 船內磁界로부터 算出한 포와손 係數는, 磁氣緯度의 변화에 관계 없이 항상 일정한 값을 갖고 있기 때문에 地磁氣의 水平分力과 鉛直分力を 磁氣圖로 부터 구한다고 하면 포와손 係數를 이용한 自差 및 傾船差修正이 가능하다.

裝置 및 方法

1. 測定裝置

포와손 係數 산출 계산알고리즘에 대한 선체 시뮬레이션 장치 블록선도는 Fig.3과 같이 디비에스코프(Deviascope), 3軸 磁氣檢出素子, 磁氣컴퍼스(Saura S165G) 및 펜레코더(Pen recorder)로 구성하였으며, 그 제원은 각각 Table 1, 2, 3과 같다.

2. 測定方法

磁氣컴퍼스에 의한 自差測定은, 실험용 磁氣컴퍼스 보울을 디비에스코프의 선수미선상 중앙에

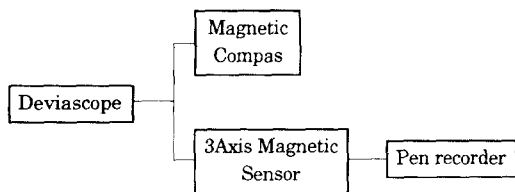


Fig. 3. Blockdiagram for the experimented device.

설치된 스탠드 위에 놓고, 遠標方位法에 의해 측정하였다.

Table 1. Principal particulars for experimental model ship of deviascope

Item	Specification
Ship's material	iron
Lpp	15m
B.Md	3m
D.Md	1.5m
Gross tonnage	5ton
Motor horse power	7.5ps
Setting type	platform

Table 2. Specification of the three axis magnetic field sensor

Item	Specification
Sensor type	3 orthogonal sensing elements
Measuring range	$\pm 100 \mu T$
Linearity	0.02%
Dynamic range	94dB
Bandwidth	dc to -3dB at 1kHz
Calibration accuracy	$\pm 1\%$
Operation Temperature range	-20℃ to +85℃
Output scaling	10 $\mu T/V$

Table 3. Specification of experimental magnetic compass(Saura, S165G)

Type	Clearance (mm)	Diameter of cprd(mm)	Magnetic Moment(c, g, s)	Manufactural Year
Stand	23.5	165	1640	1970

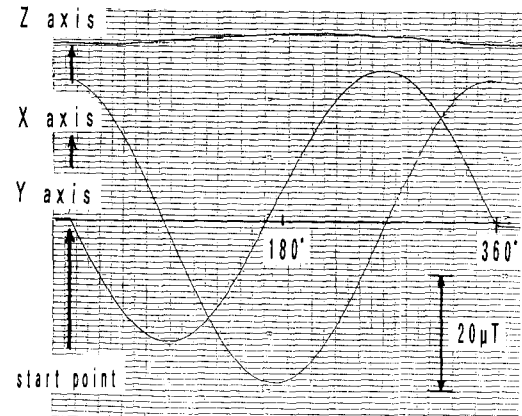


Fig. 4. Example of record for omnidirectional magnetic field's component of deviascope.

또한, 3軸 磁氣檢出素子에 의한 自差測定은 3軸 磁氣檢出素子를 磁氣컴퍼스와 같이 디비에스코프 스텐드 위의 동일장소에 선수방향을 X軸, 우현방향을 Y軸, 갑판면에 수직하방을 Z軸이 되도록 고정하고, 선체를 왼쪽과 오른쪽으로 각각 360° 회전시키면서 3軸 磁氣檢出素子로부터의 출력파형을 펜레코더로 기록하였으며, 그 기록 결과의 일례는 Fig.4와 같다.

結果 및 考察

1. 磁氣컴퍼스에 의한 自差

磁氣컴퍼스 보울을 디비에스코프의 선수미선상 중앙에 설치된 스텐드상에 놓고, 遠標方位法에 의해 측정된 결과를 나타낸 自差曲線은 Fig.5와 같고, 自差係數는 각각 $A=0.07, B=-7.00, C=6.75, D=3.00, E=0.37$ 이었다.

Fig.5에서 실험에 이용된 디비에스코프의 모형선은 偏西自差가 偏東自差보다 다소 큰 경향을 나타내었다. 이와같은 원인은 自差係數에서 알 수 있듯이 계수 B의 기호가 음이고 계수 C는 양인 때문이라 생각된다. 따라서, 디비에스코프의 모형선은 선미쪽과 우현쪽이 청극으로 강하게 영구자기화 되었음을 알 수 있었다.

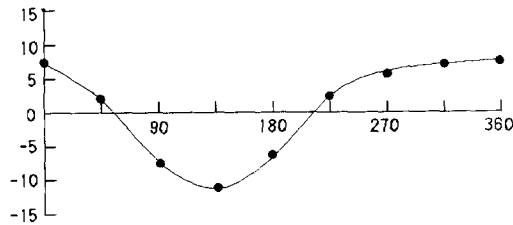


Fig. 5. Deviation curve measured by the magnetic compass.

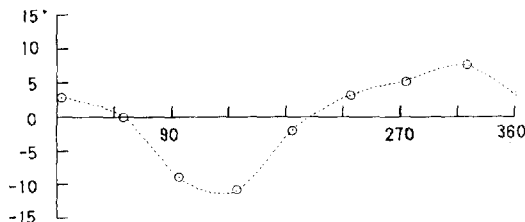


Fig. 6. Deviation curve measured by the 3-axis magnetic sensor.

2. 3軸 磁氣檢出素子에 의한 自差

3軸 磁氣檢出素子로부터의 出力波形으로부터 船首의 眞方位 θ_0 에 대한 船首의 羅針方位 θ_c 를 구하여 얻은 自差 δ 를 自差曲線으로 나타낸 결과는 Fig.6과 같고, 계산된 自差係數는 각각 $A=-1.52, B=-7.8, C=2.75, D=2.29, E=2.75$ 이었다.

Fig.6에서도 Fig.5와 같이 자차곡선은 거의 같은 경향을 나타내었으나 불변차인 자차계수 A와 비대칭 연결에 의한 자차계수 E가 다소 큰 경향을 나타내었다. 이와같은 원인은 磁氣檢出素子의 磁界感應特性和 自差係數의 非線形的인 요소때문이라 생각된다.

3. 船體傾斜時測定值로부터 算出한 포와 손 係數 및 自差係數

3軸 磁氣檢出素子로써 θ_m 을 각각 $0^\circ, 90^\circ, 180^\circ, 270^\circ$ 로 하여 측정된 船內磁界의 각 軸(x,y,z)의 測定值와 船體를 5° 傾斜시키고, θ_m 을 0° 로 하였을 경우의 측정치를 θ_r 라 두고(9)식에 의해 계산한 결과는 Table 4와 같다.

Table 4의 船內磁界의 測定值를(11)과(14)식에 대입하여 구한 船體誘導磁氣와 永久磁氣成分의 크기는

$$a = -0.15, b = -0.033, c = -0.757, P = 23.0$$

$$d = 0.017, e = -0.233, f = -5.34, Q = 190$$

$$g = -0.027, h = 0.013, k = -0.298, R = 13.4$$

와 같고, 自差係數는 각각 $A=1.77, B=-7.33, C=2.00, D=2.92, E=-0.57$ 이었다.

따라서, 3軸 磁氣檢出素子를 이용하면 선체가 경사하더라도 경사로 인한 수직자계보정을 할 수 있는 自差측정이 가능하므로 항상 정확한 磁針路를 결정할 수 있다.

4. 磁氣컴퍼스와 3軸 磁氣檢出素子에 의한 自差曲線의 比較

3軸 磁氣檢出素子와 磁氣컴퍼스로 측정된 自差

Table 4. Measured value of ship's magnetic field

	$\theta_m=0^\circ$	$\theta_m=90^\circ$	$\theta_m=180^\circ$	$\theta_m=270^\circ$	θ_r
X'	22.5	-2.0	-28.5	-4.0	22.5
Y'	0.0	-21.0	1.0	25.0	0.0
Z'	36.8	37.2	38.4	38.0	37.2

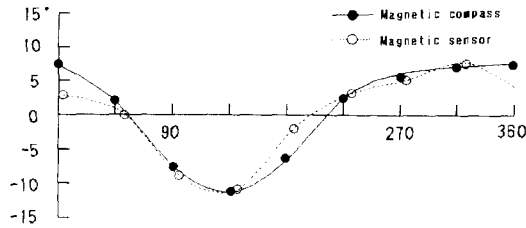


Fig. 7. Comparison between the both of deviation curve measured by the magnetic compass and the 3-axis magnetic sensor.

로 구한 자차곡선은 Fig.7과 같다. Fig. 7에서 두 자차곡선은 거의 같은 경향을 보이고 있으므로, 현재와 같이 짐벌을 이용하여 컴퍼스를 수평으로 유지하지 않더라도 고정형 3軸 磁氣檢出素子を 이용하면 자차補正을 자동적으로 행할 수 있음을 확인할 수 있었다.

要 約

電子磁氣컴퍼스의 方位 檢出用素子로서, 3軸 磁氣檢出素子を 사용한 方位算出의 方法과 자동적인 자차修正의 가능성을 확인하기 위하여 디비에스코프를 이용한 자차測定 시뮬레이션을 한 결과, 3軸 磁氣檢出素子로 측정되는 船內磁界로부터, 船體 誘導磁氣係數와 永久磁氣成分의 크기인 포와

손 係數의 산출이 가능할 뿐 아니라 이들 係數는 磁氣緯度의 변화에 관계없이 항상 일정한 값을 갖고 있기 때문에 어느 地點에 있어서의 地磁氣의 成分(X,Y,Z)의 값을 대입한다고 하면 3軸 磁氣 센서로 측정되는 船內 磁界(X',Y',Z')의 測定值로부터 船首磁氣方位의 算出이 가능하며, 또한 算出된 포와손係數로부터 자차 및 자차係數가 구해지기 때문에 이들 係數를 이용한 소프트웨어적인 計算方法으로 자동적인 자차修正의 가능성을 확인할 수 있었다.

참고문헌

- 1) B.J.LYNCH, H.R.GALLANTREE(1990) : A new magnetic sensor technology, GEC Journal of Res. Vol.8, No.1, 13 - 20, 1990.
- 2) 宮本佳則, 白井靖幸, 齊藤清隆(1988) : 홀素子を用いた3軸固定型電子コンパスの試作. 日本航海學會論文集, 80號, 55 - 61.
- 3) 宮本佳則, 白井靖幸, 鈴木裕(1986) : 3軸磁界測程器による船內磁界測. 日本航海學會論文集, 74號, 139 - 146.
- 4) 安瑛化, 辛亨鎰, 白井靖幸(1994) : 磁氣檢出素子を 이용한 電子磁氣컴퍼스의 基礎的 研究. 韓國漁業技術學會誌, Vol. 30, No. 3, 182 - 188.