

점성저항과 조파저항 성분의 상호작용

김 인 철* · 노 철 승**

Interaction between the Viscous and Wavemaking Component Resistance

In-chull KIM* and Cheol-sung NOH**

It is customary to assume that the resistance of a hull at uniform speed may be regarded as the sum of viscous and wavemaking component resistance, or $C_t = C_v + C_w$, where C_v is regarded as a function of Reynolds Number R and C_w a function of Froude Number F .

Formulae have been obtained for $\partial C_w / \partial R$, $\partial C_v / \partial F$ which may be relevant in seeking theoretical grounds for possible interaction between viscous and wavemaking component resistances.

The values of $\partial C_w / \partial R$ are small. In general they are smaller than corresponding values of $\partial C_t / \partial R$. But although these values are small it does not follow that they are entirely negligible. The Froude assumption that the rate of change of C_w with R is zero must be regarded as incorrect.

서 론

균일한 속도에서 선체의 저항은 점성저항과 조파저항의 합, 즉 $C_t = C_v + C_w$ 로 가정하는 것이 일반적이다. 여기서 C_v 는 Reynolds의 함수로, C_w 는 Froude의 함수로 가정한다. 그러나 실제의 선체저항은 점성저항과 조파저항외에 이들의 상호작용에 의한 항도 고려해 넣어야 한다.¹⁾

Froude의 가정에서, Reynolds수 R 에 대한 조파저항 C_w 의 변화율이 영이라는 것은 부정확한 것이라고 생각해야 한다. 따라서 점성저항과 조파저항 모두가 R 과 F 의 함수로써 취급되어야 하며 이들의 편도함수를 사용해야만 상호작용을 해석할 수 있다.

차원해석으로 부터 얻어지는 선체의 저항계수를 다른 방법으로 가정하고, Reynolds수에 대한 조파저항 성분의 변화율과 Froude수에 대한 점성저항 성분의 변화율을 조사함으로써 이들 점성저항과 조파저항 사이의 상호작용에 대한 이론적 근거를 찾으려고 하였다.

이 론 해 석

(기호설명)

ρ : 유체의 밀도	F : Froude 수 = V / \sqrt{gL}
μ : 점성계수	m : R^m 의 멱
ν : 동점성 계수	n : F^n 의 멱
g : 중력가속도	k, K : 상수
V : 속도	C_t : 전체저항 $1/2 \rho S V^2$
L : 길이	C_v : 점성저항 $1/2 \rho S V^2$
M : 질량	C_w : 조파저항 $1/2 \rho S V^2$
T : 시간	S : 침수표면적
R_t : 선체의 전체저항	
$\partial/\partial R$: F 가 상수인 편도함수	
R : Reynolds수 = VL/ν	
$\partial/\partial F$: R 가 상수인 편도함수	

1. 전체저항계수에 대한 해석

매끈한 표면을 가진 배수량선의 전체저항은 유체의 밀도, 배의 길이, 배의 속도, 동점성 계수, 그리고 중력가속도에 기인한다고 가정한다. 그러던 배의

*釜山水産大學 : National Fisheries University of Busan

**韓國海洋大學 : Korea Maritime University

参 考 文 献

1. Bishop, R.E.D., Price, W.G. and P.K.Y. Tam (1978): On the Dynamics of Slamming, Trans. R.I.N.A. Vol.120.
2. Timoshenko, S.P. and J.N. Goodior: Theory of Elasticity (3rd Edition). McGraw-Hill Kogakusha.
3. Yamamoto, Y., Fujino, M., Fukusawa, T. and H. Ohtsubo (1979): Slamming and whipping of ships among rough seas, Numerical Analysis of the Dynamics of Ship Structures, EUROMECH 122, Paris.
4. 日本造船學會：(1969.7): 耐航性に關するシンポジウム.
5. Borg S.F. (1960.12): The Analysis of Ship Structures Subjected to Slamming Loads. Journal of Ship Research.
6. Mansour, A. and J.M. d'Oliveira (1975.6): Hull Bending Moment Due to Ship Bottom Slamming in Regular Waves. Journal of Ship Research, Vol.19, No.2, 80-92.
7. Fukasawa, T. and Y. Yamamoto (1980.11): Some Consideration on Bow Form and Handling of Fast Cargo/Container Ships from the View point of Slamming. 日本造船學會秋季講演會講演.
8. 山本善之・大坪英臣・武田裕・深澤塔一(1981.5): 小型貨物船の スラミングによる應答と 崩壊強度 (第1報)・日本造船學會春季講演會講演.
9. Nagai, T. and S.L. Chuang (1977.9): Review of Structural Response Aspects of Slamming, Journal of Ship Research. Vol.21, No.3, 182-190.
10. 武田裕 (1981.2): 有限要素法による波浪中船體の動的應答について小型貨物船のスラミング應答. 東京大學大學院, 船舶工學科, 碩士學位論文.
11. 深澤塔一 (1973.3): 非線形性を考慮した波浪中の船體縱運動および縦強度. 東京大學大學院, 船舶工學科, 碩士學位論文.
12. 深澤塔一 (1980.12): Slamming を考慮した波浪中船舶の 動的應答 (強度設計・荒天航行法への 應用). 東京大學大學院, 船舶工學科博士學位論文.
13. Rao S.S.(1982): The Finite Element Method in Engineering. Pergamon Press Ltd.
14. Desai, C. S. and J.F. Abel (山本善之譯) (1974): マトリクス有限要素法. 科學技術出版社.
15. 戸川隼人 (1978): 有限要素法による振動解析. サイエンス社.
16. Faltinsen, O.(1969): A Study of the Two Dimensional Added Mass and Damping Coefficients by the Frank Close-Fit Method. D.N.V. Report No.69-10-S.
17. Ochi, M.K.(1964): Extreme Behaviour of a Ship in Rough Seas, Trans SNAME, Vol.72.

점성저항과 조파저항 성분의 상호작용

$$C_f = 0.066 / (\log_{10} R - 2.03)^2 \dots\dots\dots(26)$$

$$\begin{aligned} \partial C_w / \partial R &= dC_f / dR \cdot (1+K) \\ &= -0.057(1+K) / R (\log_{10} R - 2.03)^3 \dots\dots(27) \end{aligned}$$

(23)식과 (27)식으로 부터

$$\begin{aligned} \partial C_w / \partial R &= 1/R \cdot \{m \cdot C_t + 0.057(1+K) \\ &\quad / (\log_{10} R - 2.03)^3\} \dots\dots\dots(28) \end{aligned}$$

이 된다. 이것은 C_w 가 R 에 종속임을 보여준다. 그러나 이것은 아주 작은 차수이다. 이 결과는 (24)식에서 언급한 가정의 관계를 기초로 하고 있다.

다시, $C_t = f(R, F)$ 이고 $dR/dF = R/F$ 이므로, 배의 길이, L 과 동점성계수, ν 가 상수이면

$$dC_t/dF = \partial C_t/\partial F + \partial C_t/\partial R \cdot R/F \dots\dots\dots(29)$$

가 되고, 여기서 $\partial C_w/\partial F$ 와 $\partial C_w/\partial R$ 이 $\partial C_w/\partial F$ 와 $\partial C_w/\partial R$ 에 비하여 작다는 Conn의 가정에 의하여 (29)식은 근사적으로

$$\partial C_t/dF \approx \partial C_w/\partial F + \partial C_w/\partial R \cdot R/F \dots\dots\dots(30)$$

$$\partial C_w/\partial F \approx dC_t/dF + \partial C_w/\partial R \cdot R/F \dots\dots\dots(31)$$

이 된다. (20)식과 (27)식으로 부터

$$\begin{aligned} \partial C_w/\partial F &\approx 1/F \cdot \{C_t(m+n) + 0.057(1+K) \\ &\quad / (\log_{10} R - 2.03)^3\} \dots\dots\dots(32) \end{aligned}$$

(21)식으로 부터

$$\partial C_w/\partial F = \partial C_t/\partial F - \partial C_w/\partial R \dots\dots\dots(33)$$

(15)식으로 부터

$$\partial C_t/\partial F = n \cdot C_t / F \dots\dots\dots(34)$$

따라서 (32), (33)식 및 (34)식으로 부터

$$\begin{aligned} \partial C_w/\partial F &\approx -1/F \cdot \{m \cdot C_t + 0.057(1+K) \\ &\quad / (\log_{10} R - 2.03)^3\} \dots\dots\dots(35) \end{aligned}$$

이다. 위에서 얻어진 편도함수에 대한 식들을 다시 정리하면 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \partial C_w/\partial R &= -1/R \cdot \{0.057(1+K) / (\log_{10} R - 2.03)^3\} \\ \partial C_w/\partial F &= -1/F \cdot \{C_t \cdot m + 0.057(1+K) \\ &\quad / (\log_{10} R - 2.03)^3\} \dots\dots\dots(36) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \partial C_w/\partial R &= 1/R \cdot \{C_t \cdot m + 0.057(1+K) \\ &\quad / (\log_{10} R - 2.03)^3\} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \partial C_w/\partial F &= 1/F \cdot \{C_t(m+n) + 0.057(1+K) \\ &\quad / (\log_{10} R - 2.03)^3\} \dots\dots\dots(37) \end{aligned}$$

수치계산은 모형선 계열시뮬 Series 60 Geosim으로부터 얻은 m 과 n 값을 가지고, Reynolds수는 각각

$$R = 2.0 \times 10^6, R = 3.5 \times 10^6, R = 5.0 \times 10^6$$

인 세가지의 경우로 변화시키고, 그리고 Froude수도 각각

$$F = 0.10, F = 0.20, F = 0.30$$

인 세가지의 경우로 변화시켜 Computer로 계산하

였다. 여기서 형상계수 K 는 물론 작은 값이다. 이들 저항성분의 변화율에 대한 수치계산 결과를 Fig. 1과 Fig. 2에 도시하였다.

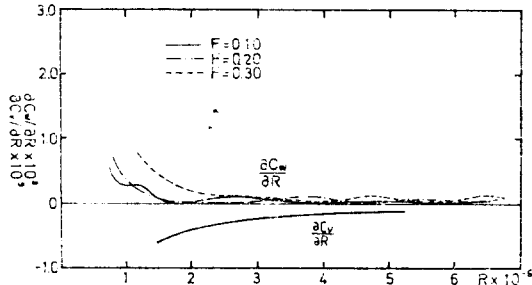


Fig. 1. Values of $\partial C_w/\partial R$ and $\partial C_v/\partial R$.

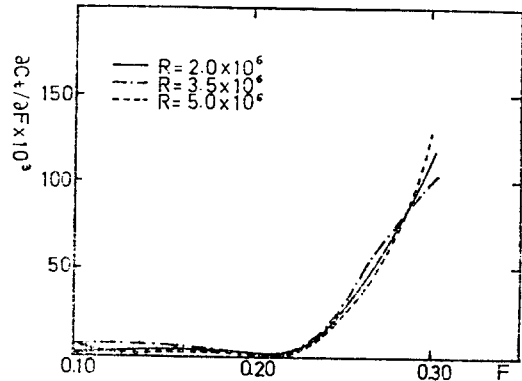


Fig. 2. Values of $\partial C_w/\partial F$ and $\partial C_v/\partial F$.

결과 및 고찰

점성저항 성분과 조파저항 성분의 상호작용으로 인한 편도함수의 수치계산치들로부터 Fig. 1은 R 에 대한 C_w 의 변화율, 즉 $\partial C_w/\partial R$ 의 값이 작음을 보여준다. 일반적으로 이값들은 상응하는 $\partial C_w/\partial R$ 값보다 작다. 그러나 비록 이값들이 작더라도 전적으로 무시할 수는 없다. Froude의 가정에서 R 에 대한 C_w 의 변화율이 영이라는 것은 부정확한 것이라고 생각되어야 한다. Froude의 방법에서는 모형선의 잉여저항 계수 C_R 전체가 그대로 실선에 옮겨지는데, Hughes의 방법에서는 점성효과에 기인하는 C_R 의 부분이 옮겨질 때 줄어들므로, Hughes의 방법을 쓰면 배의 저항이 실질적으로 낮게 추정되고, 따라서 상관 수정값이 커져야 한다. 이것은 Froude의 방법을 사용할 때 종종 나타내는 음의 수정값을 피하도록 발전된

전체저항은

$$R_t = f(\rho, L, V, \mu, g) \dots \dots \dots (1)$$

로 나타낼 수 있으며, 여기서 f 는 임의의 함수를 표시한다. 단성과 표면장력의 효과 및 열의 확산 등에 의한 작은 에너지 손실 등을 무시하고 그와 같은 모든 효과는 실험에 의해 결정되는 수치요소 k 에 의해 계산된다고 가정한다. 그러면 전체저항은

$$R_t = k(\rho^a, L^b, V^c, \mu^d, g^e) \dots \dots \dots (2)$$

$$ML/T^2 = (M/L^3)^a (L)^b (L/T)^c (M/LT)^d (L/T^2)^e \dots (3)$$

으로 표시되고, 여기서 상응하는 척의 제수를 방정식으로 나타내면 다음과 같다.

$$\left. \begin{aligned} a &= 1 - d \\ b &= 2 - d + e \\ c &= 2 - d - 2e \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots (4)$$

여기에는 3개의 식과 5개의 미지수가 있으므로, 이 중에서 두 개의 문자 c 와 e 에 대하여 정리하면, (4) 식으로부터

$$R_t = k \rho V^2 L^2 (VL/\nu)^{-c} (gL/V^2)^e \dots \dots \dots (5)$$

가 된다. 물론 여기서 여러가지의 다른 표현을 얻을 수 있지만 아직도 특별히 수월한 형태는 발견되지 않고 있다. (5)식으로부터

$$C_t = f(R, F) \dots \dots \dots (6)$$

여기서 다시 f 는 어떤 함수를 나타내고, R 과 F 는 각각 Reynolds수와 Froude수를 표시한다. (5)식으로부터 유도할 수 있는 전체저항에 대한 무차원계수는

$$C_t = R_t / \frac{1}{2} \rho S V^2$$

이고, 이것은 일반적으로 사용된다. (5)식으로부터 전체저항계수 C_t 를 급수의 형태로 나타낼 수 있다.

$$C_t = \sum_m a_m R^m \sum_n b_n F^n \dots \dots \dots (8)$$

여기서 m, n 은 정수이다. (8)식으로부터 합을 전개하여 보면

$$\begin{aligned} C_t &= (\dots a_{-1} R^{-1} + a_0 + a_1 R + a_2 R^2 + \dots) \\ &\quad \times (\dots b_{-1} F^{-1} + b_0 + b_1 F + b_2 F^2 + \dots) \\ &= f_1(R) \cdot f_2(F) \dots \dots \dots (10) \end{aligned}$$

이고 여기서 f_1 과 f_2 는 함수이다. 따라서 (10)식으로부터

$$\begin{aligned} C_t &= f_0 f_1(R) + a_0 f_2(F) - a_0 b_0 + \sum_m \sum_n a_m b_n R^m F^n \\ &= F_1(R) + F_2(F) + F_3(R, F) \dots \dots \dots (11) \end{aligned}$$

이 되고 여기서 F_1, F_2 및 F_3 는 임의의 함수이다. Froude의 근사에서는 다음과 같이 가정하였다.

$$\left. \begin{aligned} F_1(R) &= C_v \\ F_2(F) &= C_w \\ F_3(R, F) &= 0 \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots (12)$$

다른 접근 방법으로 다음과 같은 가정을 한다.

$$C_t = R_t / \frac{1}{2} \rho S V^2 = k R^m F^n \dots \dots \dots (13)$$

여기서 m 과 n 은 (5)식으로 부터 $m = -c$ 이고, $n = -2e$ 이다. m 과 n 은 전체저항계수 C_t 의 한 특별한 값에 대하여 정당한 값들을 가진 것이다. R 과 F 에 증속된 그와 같은 값들은 m 과 n 에 대하여 찾아질 것이다. 이러한 지수는 그것들이 편도함수 $\partial C_t / \partial R, \partial C_t / \partial F$ 에 유리한 표현을 주기 때문에 사용된다(13)식으로부터, 상수 F 에 대하여

$$\partial C_t / \partial R = k_m R^{m-1} F^n = m \cdot C_t / R \dots \dots \dots (14)$$

상수 R 에 대하여

$$\partial C_t / \partial F = k_n R^m F^{n-1} = n \cdot C_t / F \dots \dots \dots (15)$$

이들 편도함수에 대한 수치값은 기하학적으로 동일한 모형선에 대하여 얻어진 결과로 부터 유도할 수 있다. 따라서

$$m = \partial C_t / \partial R \cdot R / C_t \dots \dots \dots (16)$$

$$n = \partial C_t / \partial F \cdot F / C_t \dots \dots \dots (17)$$

이고 기본 자료는 기하학적으로 동일한 모형선의 한 특별한 실험인 Series 60 Geosim으로부터 취하였다. 2)·6)

2. 저항성분의 변화율에 대한 해석

전저항계수가 $C_t = f(R, F)$ 이고, $dF/dR = F/R$ 이므로 선체길이, L 및 동점성계수, ν 가 상수이면

$$dC_t/dR = \partial C_t / \partial R + \partial C_t / \partial F \cdot F/R \dots \dots \dots (18)$$

이고, 여기에 (14)식과 (15)식을 대입하면

$$dC_t/dR = C_t/R \cdot (m+n) \dots \dots \dots (19)$$

$$dC_t/dF = C_t/F \cdot (m+n) \dots \dots \dots (20)$$

일반적으로 임의의 경우에 다음과 같은 가정을 두면

$$C_t(R, F) = C_v(R, F) + C_w(R, F) \dots \dots \dots (21)$$

$$\partial C_t / \partial R = \partial C_v / \partial R + \partial C_w / \partial R \dots \dots \dots (22)$$

가 되고, (22)식과 (14)식으로부터

$$\partial C_w / \partial R = C_t/R \cdot m - \partial C_v / \partial R \dots \dots \dots (23)$$

이 되고, $\partial C_v / \partial R$ 은 Granville의 가정으로부터 근사적으로 추정될 것이다. 7)·8) Granville의 가정은

$$C_v = (1+K)C_f \dots \dots \dots (24)$$

이며 여기서 $C_f = R_f / \frac{1}{2} \rho S V^2$ 는 난류층에서 조파저항이 없는 매끈한 평판 표면의 마찰저항계수이다. 그리고 K 는 형상계수이다. 그러면

$$\partial C_v / \partial R = (1+K) \partial C_f / \partial R = dC_f/dR (1+K) \dots \dots \dots (25)$$

공식들의 다양성은 C_f 의 값에 대하여 제안될 것이다.

Hughes의 매끈한 평면에 대한 난류저항곡선을 취하면 9)·10)

점성저항과 조파저항 성분의 상호작용

- Resistance: An Application of Guilloton's Method. Trans. R.I.N.A. 109, 241.
- 8) Baba, E. (1969): A New Component of Viscous Resistance of Ships. J. Soc. N.A. Japan. 125, 23.
- 9) Hughes, G. (1952): Frictional Resistance of Smooth Plane Surfaces in Turbulent Flow. INA, 84, 27.
- 10) Hughes, G. (1954): Friction and Form Resistance in Turbulent Flow and a Proposed Formulation for Use in Model and Ship Correlation. INA, 86, 59.

한 단계일 것이다.

Fig. 2는 F 에 대한 C_w 의 변화를 보여 준다. 여기에서도 F 에 대한 C_v 의 변화는 매우 작다. F 에 대한 C_w 의 변화율, $\partial C_w/\partial F$ 는 $0.20 < F < 0.30$ 의 범위에서 급격히 증가하고 있다. 현저한 사실은 낮은 속도에서 $\partial C_w/\partial F$ 와 $\partial C_v/\partial F$ 가 작은 수치를 가진다는 데 밝아있다. 이것은 낮은 속도 범위에서는 조파저항 성분이 작고 점성저항 성분이 현저하다는 일반적인 논의와 잘 일치하고 있다.

Fig. 3에는 R 의 여러가지 값에 대하여, $\partial C_t/\partial F$ 의 값을 도시하였다. 만약 저항계수가 $C_t = C_v + C_w$ 라고 가정하면 저항성분의 독립성 시험은 $\frac{\partial}{\partial R} \left(\frac{\partial C_t}{\partial F} \right) = 0$

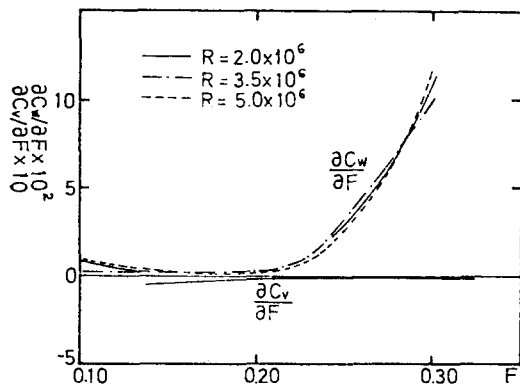


Fig. 3. Values of $\partial C_t/\partial F$.

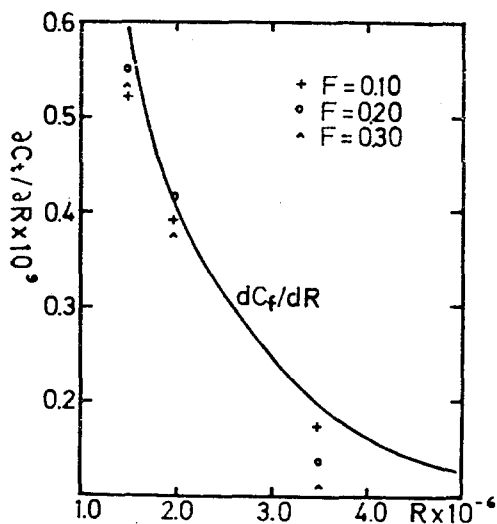


Fig. 4. Values of $\partial C_t/\partial R$.

이다. 따라서 $\partial C_t/\partial F$ 의 도시는 저항성분의 상호작용에 대한 어떤 측정 근거를 마련한다.

Froude의 저항 취급의 기본 가정은 $\partial C_f/dR = dC_f/dR$ 이다. Fig. 4에는 $\partial C_t/\partial R$ 의 값을 도시하였다. 이 그림은 전체 속도 범위에 걸쳐 Froude의 기본 가정이 타당하지 않음을 보여준다.

결 론

이상의 연구로부터 결론은 아래와 같다.

1. 점성저항과 조파저항 성분의 상호작용에 대한 어떤 측정 근거를 산출하였다.
2. Froude의 가정 $\partial C_t/\partial R = dC_f/dR$ 은 부정확하다는 것을 밝혀준다.
3. 거친 표면을 가지는 모형선에 대한, 상응하는 결과는, 완전히 다른 결론을 산출할 것이라고 기대한다.
4. 다른 기하학적 동일선의 결과에 기본 마찰곡선을 적용하여 이와 같은 연구를 반복하는 것이 가능하다는 것을 남겨 둔다.

참 고 문 헌

- 1) Baba, E. (1969): Study on Separation of Ship Resistance Components. J. Soc. N. A., Japan. 125, 31.
- 2) Shearer, J.R. and Cross, J.J. (1965): The Experimental Determination of the Components of Ship Resistance for a Mathematical Model. Trans. R.I.N.A. 107, 459.
- 3) Conn, J.F.C. and Ferguson, A.M. (1968): Results obtained with a Series of Geometrically Similar Models. Trans. R.I.N.A. 110, 255.
- 4) Townsin, R.L. (1967): The Frictional and Pressure Resistance of Two 'Lucy Ashton' Geosims. Trans. R.I.N.A. 109, 249.
- 5) Townsin, R.L. (1968): Viscous Drag from a Wake Survey. Trans. R.I.N.A. 110, 301.
- 6) Scott, J.R. (1968): A Contribution to Ship Model Correlation from 'Lucy Ashton' Results. Trans. R.I.N.A. 110, 221.
- 7) Emerson, A. (1967): The Calculation of Ship

溫山灣 海域의 水質調査(Ⅱ)

Table 1. Analytical Methods for the Water Quality Analysis

Item	Analytical instrument or method
Turbidity	Turbidimeter(DRT-1000)
TSS	Sample→filtration(0.45 μ m)→drying the filter paper at 105°C→weighing
VSS	Sample→filtration(0.45 μ m)→igniting the filter paper at 550°C→weighing
BOD	Standard dilution method
COD	Sample→NaOH+KMnO ₄ →boiling in water bath(about 30min)→cooling→Na ₂ S ₂ O ₃ +KI+H ₂ SO ₄ →titration with Na ₂ S ₂ O ₃
NO ₂ -N	Sample→sulfanilamide→ α -naphthyl ethylene diamine→spectrophotometer(λ =520nm)(SHIMADZU UV-140-02)
NO ₃ -N	Sample→NH ₄ Cl+(KCl-HCl)→Zn→filtration GR reagent→spectrophotometer(λ =520nm)
NH ₄ -N	Sample→phenol solution+sodium nitro prusside+sodium citrate+sodium hypochloride→spectrophotometer(λ =640nm)
DO	Winkler Azide Modification
PO ₄ -P	Sample→ammonium molybdate solution+H ₂ SO ₄ +potassium antimonyl tartrate solution→ascorbic acid→spectrophotometer(λ =885nm)
SO ₄ ⁻²	Sample→adjusting pH4.5→addition of BaCl ₂ ignition of BaSO ₄ at 800°C for 1hr→weighing

sampler로 채수하여 변질되기 쉬운 성분은 現場에서 測定하였고 나머지 試料은 1l 또는 4l 용량의 폴리에틸렌 병에 넣어 전 처리후 實驗室에서 分析하였다. 各 항목별 分析方法是 Table 1에 제시하였다.

結果 및 考察

溫山灣내의 水質을 評價하기 위해서 溫山 沿岸에 流入되는 廢水의 유입구 3 處점의 水質과 沿岸 17 箇

Table 2. Average Value of BOD, COD, SS, VSS and Turbidity in the Coastal Seawater of Onsan

Station No.	BOD (ppm)	COD (ppm)	SS (ppm)	VSS (ppm)	Turbidity(NTU)
1-1	2.1~4.3 (3.1)	3.2~17.0 (8.1)	1.1~ 9.0 (3.6)	0.7~ 6.0 (2.0)	1.2~11.1 (5.6)
1-2	1.1~2.3 (1.9)	1.7~12.7 (4.8)	1.8~ 5.6 (4.6)	1.8~ 4.4 (3.2)	1.0~ 5.2 (2.4)
1-3	1.5~2.8 (2.0)	0.2~ 7.3 (2.4)	1.2~ 4.3 (2.8)	0.2~ 3.6 (1.0)	0.9~ 2.1 (1.5)
2-2	1.0~3.2 (1.6)	0.5~ 1.8 (1.2)	1.8~ 4.6 (3.1)	1.0~ 2.6 (1.7)	0.9~ 2.1 (1.3)
2-3	1.1~3.9 (1.7)	0.8~ 4.8 (3.4)	0.7~65.3(24.3)	0.5~13.7 (1.2)	0.9~ 8.2 (3.5)
2-4	1.0~8.7 (4.0)	1.2~ 3.5 (2.3)	1.0~41.2(15.5)	0.2~ 8.3 (1.0)	0.3~ 5.8 (2.7)
2-7	0.4~1.9 (1.0)	0.4~11.5 (4.9)	0.2~27.3(10.9)	0.2~ 5.5 (2.4)	1.0~ 5.1 (2.9)
3-2	1.0~2.5 (1.7)	0.1~ 8.1 (4.4)	0.9~ 4.2 (2.5)	0.7~ 2.8 (1.5)	0.9~ 2.3 (1.5)
3-3	1.0~3.0 (1.8)	2.5~10.6 (5.9)	0.4~ 1.8 (1.0)	0.1~ 1.8 (0.7)	0.4~ 6.7 (2.1)
3-4	1.3~2.5 (1.7)	1.3~ 5.4 (3.7)	0.2~ 1.3 (0.5)	0.2~ 1.1 (0.3)	0.3~ 1.4 (0.9)
3-5	0.9~1.4 (1.1)	0.9~ 9.1 (6.3)	0.6~23.7 (8.9)	0.2~ 1.8 (0.6)	1.0~ 5.3 (3.5)
3-6	0.8~1.0 (0.9)	0.2~ 6.6 (3.7)	0.2~24.9(15.0)	0.2~ 8.0 (2.2)	1.1~ 9.4 (3.2)
3-7	1.0~1.4 (1.1)	0.5~ 4.9 (2.7)	1.0~ 3.7 (1.9)	0.0~ 1.4 (0.7)	0.9~ 2.5 (1.5)
4-2	1.0~2.0 (1.3)	<0.2~10.8 (2.7)	1.8~21.5 (9.5)	0.6~ 5.0 (1.4)	0.8~ 4.4 (2.5)
4-3	1.0	<0.2(0.2)	39.1	9.3	3.7 (3.7)
4-4	1.0~1.5 (1.2)	1.4~ 3.6 (2.5)	1.3~ 5.3 (3.3)	0.3~ 3.3 (1.5)	0.6~ 2.3 (1.4)
4-6	1.0~1.2 (1.1)	0.5~ 5.0 (2.3)	2.0~31.0 (9.4)	2.0~30.0 (7.0)	1.4~ 4.3 (2.7)
Range	0.4~8.7	<0.2~17.0	0.2~85.5	0.0~30.0	0.3~11.1
Average	1.6	3.3	14.6	3.4	2.7
1-1(Outlet)	5.1~38.8(16.6)	15.0~18.3(16.6)	15.1~25.4(20.4)	8.2~12.0 (9.9)	5.2~28.0(13.7)
1-2(Outlet)	2.9~51.0(20.3)	7.6~ 9.2 (8.6)	3.2~ 4.6 (3.7)	2.0~ 2.8 (2.4)	3.3~12.2 (8.8)
F	1.7~57.0(24.1)	11.4~86.6(43.1)	22.1~62.0(38.8)	13.8~51.0(23.7)	11.0~29.5(23.8)

(): Average