

鎮海灣의 水塊構造와 溶存酸素 分布

金次謙 · 李弼容
國立水產振興院 環境科

Water Mass Structure and Dissolved Oxygen Distribution in Chinhae Bay

Cha-kyum KIM and Pil-Yong LEE

*Department of Environment, National Fisheries Research and Development Agency,
Kyungsangnam-do 626-900, Korea*

To investigate water mass structure and DO(Dissolved Oxygen) distribution in Chinhae Bay, temperature, salinity and DO were observed in the bay in summer and winter from 1990 to 1993, and two-dimensional tidal current and parameter $\log(H/U^3)$ were computed. Shallow water fronts in the bay were formed in summer in Kaduk channel and the central part of the bay having $\log(H/U^3)$ values of 2.0~2.5. Oxygen deficiency at the bottom layer in summer occurred in the western and northern part of the bay with weak tidal current, where the value of $\log(H/U^3)$ was more than about 3.5 and M_2 tidal current was less than about 20 cm/s. DO concentration at the bottom layer of Kaduk channel and the central channel of the bay having the strong tidal current was more than about 3.5 mg/l. The isolines of DO concentration were nearly parallel to the isovelocity, and the concentrations correlated with the frontal location. The frontal location and DO distribution were influenced by tidal range, river inflow and meteorological conditions, and also correlated with bottom slope characteristics.

緒 論

鎮海灣은 養殖場이 많아 水産生物의 생산량이 높은 해역이었으나, 인근 육지로부터 유입되는 生活下水, 産業廢水 및 養殖場의 自家汚染 등으로 인해 水·底質의 오염이 가속화되어 1980년대부터 부영양화 상태에 있다. 최근에는 적조 발생 및 저산소 수괴의 형성으로 인한 水産生物의 피해가 자주 발생하고 있기 때문에 이에 대한 방지대책이 시급히 요구된다. 食糧資源으로서 水産物 生産을 극대화시키기 위해서는 연안목장화 사업이 필수적이며, 이를 위해서는 沿岸域 環境을 보전·관리하기 위한 대책이 선결되어야 한다. 그동안 鎮海灣에서 物理, 化學 및 生物 등 전반적인 분야에서 많은

연구가 진행되 왔으나(朴, 1975; 朴, 1982; 韓國海洋研究所, 1983; 金, 1984; Hong, 1987; 國立水產振興院, 1989, 1991; 金 等, 1989; 金, 1990; 환경처, 1991; 李, 1993; 金 等, 1994; Kim, 1994), 뚜렷한 환경개선대책이 마련되지 못하고 있다. 鎮海灣의 環境改善對策을 마련하기 위해서는 우선 物質輸送과 水塊構造를 해석한 후 환경인자의 교환특성을 해석하여야 한다. 鎮海灣의 海수교환은 대부분 가덕수로를 통해 일어나고 있기 때문에 灣内の 水塊構造는 가덕수로에서 유입하는 海水에 의해 영향을 크게 받는다. 또한, 夏季에는 마산만 주변하천에서 유출되는 하천수의 유량이 灣内の 水塊構造에 상당한 영향을 미치고 있다(Kim, 1994). 특히, 鎮海灣의 서부해역과 북부해역은 海수유동이 약하기

(金等, 1994; Kim, 1994) 때문에 하계에 성층이 잘 발달되고, 또한 육지에서 汚·廢水의 流入 및 養殖場의 自家汚染 등으로 인해 夏季 底層에서 低酸素 水塊가 强하게 形成되고 있다(李等, 1993). 본 연구에서는 鎭海灣의 환경제어기법을 개발하기 위한 기초단계로서 現地觀測資料를 통해 鎭海灣의 水塊 分布 및 低酸素 水塊의 形成規模 등을 해석하여 鎭海灣의 物質輸送, 有機物 및 低酸素 水塊 모델링을 위한 기초자료로 사용하고자 한다. 또한, 潮流의 數值模型實驗으로 산정한 파라메타 $\log(H/U^3)$ (H: 수심, U: 조류의 진폭)과 淺海前線(shallow water front) 및 底層 低酸素 水塊와의 관계를 해석하고자 한다.

資料 및 方法

1990~1993년 Fig. 1에 나타낸 35개 관측점에서 수질측정기인 HYDROLAB(Model Surveyor II, Hydrolab Co., USA)을 사용하여 夏季(8월과 9월)와 冬季(2월)에 水溫, 鹽分 및 溶存酸素의 水平과 鉛直(1~2 m 간격) 分布를 조사하였다. 鎭海灣의 等水深線은 海岸線과 거의 平行하며, 가덕수로에서 수심이 가장 깊고, 또한 수심경사가 가장 급하다 (Fig. 2). 韓國海洋研究所(1983)가 Fig. 1의 Sts. T-1, T-2 및 T-3에서 조사한 潮流의 M_2 분조(Table 1)를 사용하여 ADI 유한차분법으로 潮流의 수평

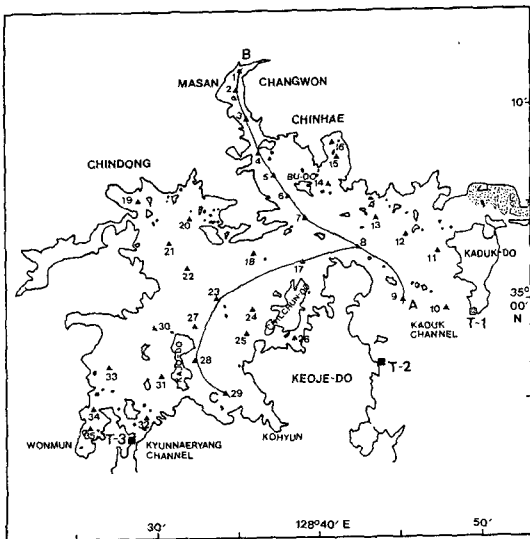


Fig. 1. Observation stations in Chinhae Bay.

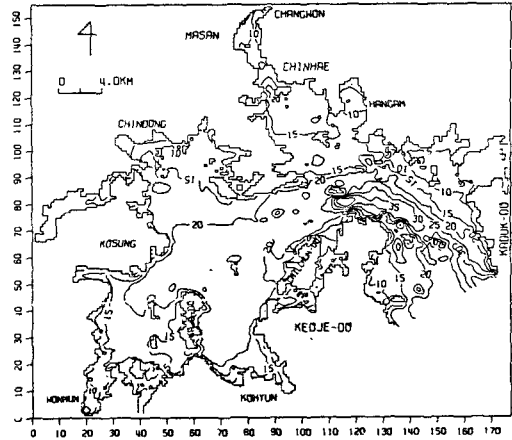


Fig. 2. Bottom topography of Chinhae Bay in meter.

Table 1. Tidal harmonic constants used in the hydrodynamic model(KORDI, 1983)

St.	Constituent	Speed (°/h)	Amplitude (cm)	Phase lag (°)
T-1	M_2	28.98	53.83	243.72
T-2	M_2	28.98	54.37	244.53
T-3	M_2	28.98	68.16	253.41

2차원 수치모형실험을 실시하였으며, 數值計算方法은 金等(1994)과 동일하다. 數值實驗結果를 이용하여 M_2 분조의 最强流速分布를 해석하고, 또한 파라메타 $\log(H/U^3)$ 을 산정하였다.

結果 및 考察

1. 鹽分과 水溫의 水平 및 鉛直 構造

1990년 8월 7일, 1991년 8월 9일, 1992년 8월 7일 및 1993년 8월 4일에 조사한 鹽分의 水平分布를 Fig. 3에 나타냈다. 調査期間前 마산축후소에서 관측한 강우량 자료에 의하면, 1990년 7월 11일~8월 7일에는 138.4 mm, 1991년 7월 11일~8월 9일에는 567.9 mm, 1992년 7월 11일~8월 7일에는 102.1 mm, 1993년 7월 11일~8월 4일에는 246.6 mm의 강우량을 기록하고 있다. 1990년 鹽分分布는 마산 만에서 26.0‰로 낮다가, 만의 입구인 가덕수로(32.0‰)로 갈 수록 점차 높아지고 있으며, 폐쇄성이 강한 鎭海灣의 서부해역에서는 31.0~32.0‰로 鹽

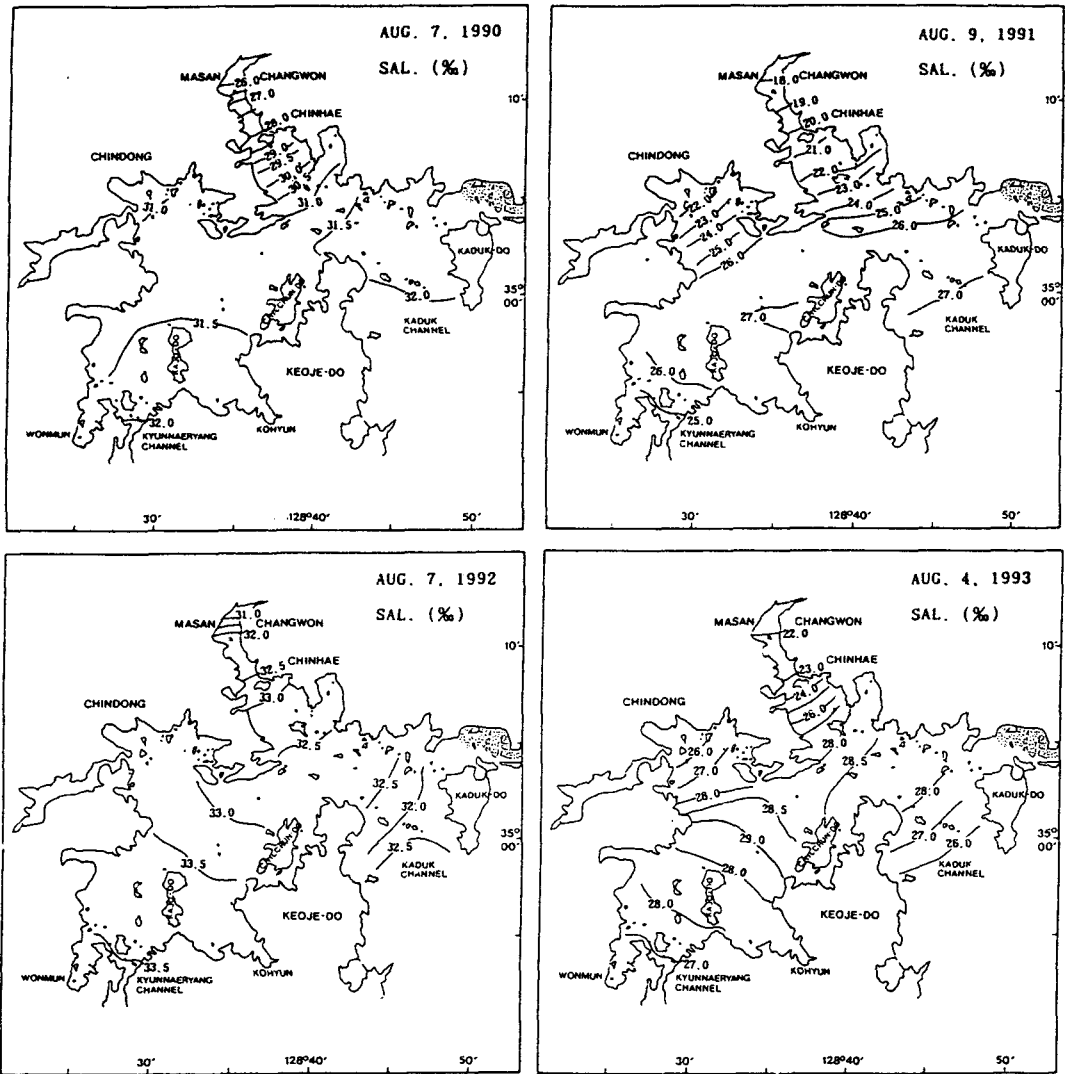


Fig. 3. Distribution of salinity at surface layer in August from 1990 to 1993.

分の 공간적 변화가 대단히 작다. 1991년에도 마산만에서는 18.0‰로 낮게 나타났으나, 가덕수로에서는 27.0‰로써 외해로 갈 수록鹽分이 높아지고 있으며, 鎭海灣의 서부해역에서는 22.0~27.0‰로 분포하고 있다. 마산만과 진동만 부근에서鹽分이 낮은 것은 주변 하천유출수의 영향인 것으로 생각된다. 1992년에는 조사기간 전에 강우량이 적었기 때문에 만 전체에 걸쳐鹽分이 31.0~33.5‰로 다른 년도에 비해 높고, 또한鹽分の 공간적 변동이 대단히 작다. 1993년에는 하천유출수의 영향으로 마산만에서 22.0‰로 낮다가 외해로 갈 수록 점차

증가하면서 거제도 북부해역에서는 28.5‰이었으나, 다시 외해로 갈 수록 감소하면서 만의 입구에서는 26.0‰로 나타났다. 이 때 鎭海灣의 서부해역에서는鹽分이 26.0~29.0‰로 만의 입구보다 최대 약 3.0‰ 높으며, 가덕수로에서鹽分이 낮은 것은 낙동강 유출수의 영향인 것으로 생각된다. 交通部水路局(1986)의 LANDSAT 衛星資料에 의하면, 夏季 豪雨時 落東江 流出水는 가덕수로까지 확산되고 있다. 본 연구결과에 의하면, 夏季 鎭海灣의 水塊構造는 강우량의 大小에 따른 주변 하천의 유출수에 의해 큰 영향을 받으며, 또한 鎭海灣의 大潮差

가 1.72 m 이상이기 때문에 潮時에 의한 영향도 크게 받는 것으로 생각된다. 鎮海灣 서부해역에서의 鹽分은 다른 해역에 비해 비교적 높고, 또한 鹽分의 공간적 변동이 작은 것으로 보아 河川流出水 및 潮時의 영향을 작게 받는 것으로 생각된다. 본 연구에서는 潮時別로 鹽分을 조사하지 않았기 때문에 潮時에 따른 鹽分의 변동은 해석할 수 없다.

1990년 2월 5일, 1991년 2월 4일, 1992년 2월 14일 및 1993년 2월 8일에 조사한 鹽分의 水平分布를 Fig. 4에 나타냈다. 만 전체에 걸쳐 鹽分의 공간분포차가 대단히 작고, 또한 冬季에는 강수량의 감

소로 인해 만내의 염분분포는 하계보다 높게 나타났다. 1990년에는 32.4~33.8‰, 1991년에는 32.4~33.8‰, 1992년에는 33.0~33.8‰, 1993년에는 30.0~33.8‰ 범위이다. 전반적으로, 外海水의 영향으로 만의 입구인 가덕수도와 견내량수역에서의 鹽分이 만내보다 약간 높으며, 마산만내에서는 유출수의 영향으로 鹽分이 상대적으로 낮게 나타났다. 冬季 가덕수도의 水塊는 낙동강 流出水의 감소로 인해 낙동강 流出水의 영향을 거의 받지 않는 것으로 생각되며, 또한 鹽分의 공간적 분포차가 작기 때문에 潮時에 따른 鹽分의 변동치도 대단히 작을

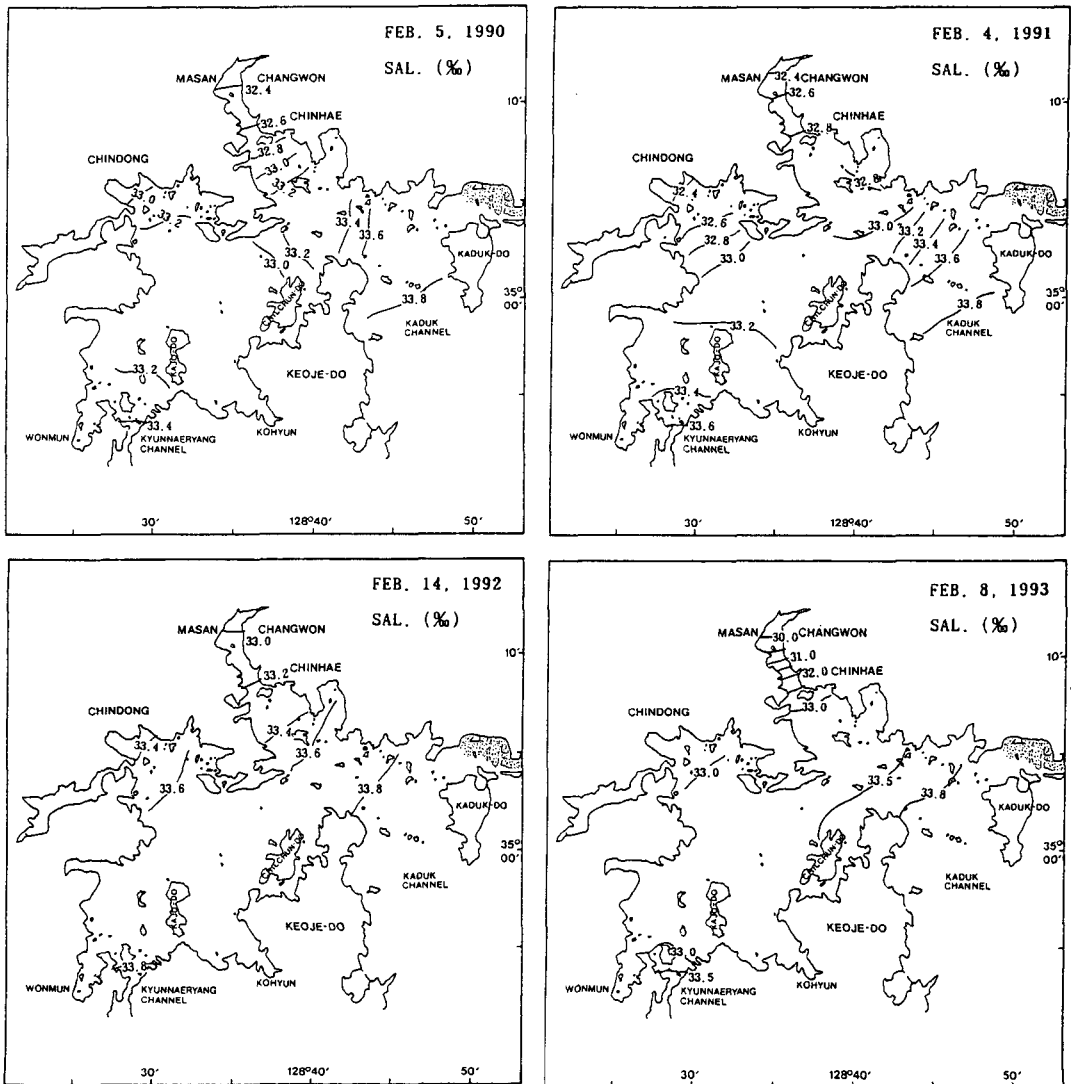


Fig. 4. Distribution of salinity at surface layer in February from 1990 to 1993.

것으로 생각된다.

1991년~1993년 8월에 조사한 수온의 수평분포를 Fig. 5에 나타냈다. 1991년 8월 9일의 수온은 마산만에서 24.0℃로 가장 높고, 가덕수로에서 22.2℃로 가장 낮으며, 灣内外의 수온차는 1.8℃ 이내이다. 수온의 수평傾斜는 거제도 북쪽해역과 진해만 중앙수로에서 가장 크다. 1992년 8월 7일의 수온은 鎭海灣의 서부해역과 북부해역에서는 25.6~26.0℃로 높고, 가덕수로에서는 24.4℃로 灣内に 비해 상대적으로 낮게 나타났다. 1991년과 유사하게 鎭海灣 중앙수로에서 수온의 수평傾斜가 가장 급하다.

1993년 8월 4일의 수온은 灣内에서는 23.0~23.8℃, 가덕수로에서는 22.0℃이며, 가덕도 북부해역에서 수온의 수평傾斜가 가장 크다. 1993년 8월 16일의 수온은 灣内에서는 23.4~24.0℃, 가덕수로에서는 23.0℃이며, 灣内外의 수온차는 1.0℃ 이내로 비교적 작다. 본 연구결과에 의하면, 수온은 灣内가 가덕수로보다 상대적으로 높고, 灣内外의 수온차는 약 1.8℃ 이내이다. 특히, 水深傾斜가 급한 가덕수로와 진해만의 중앙수로에서 수온의 수평傾斜가 가장 큰 것으로 보아 이 周邊海域에 前線이 형성된다는 것을 알 수 있다.

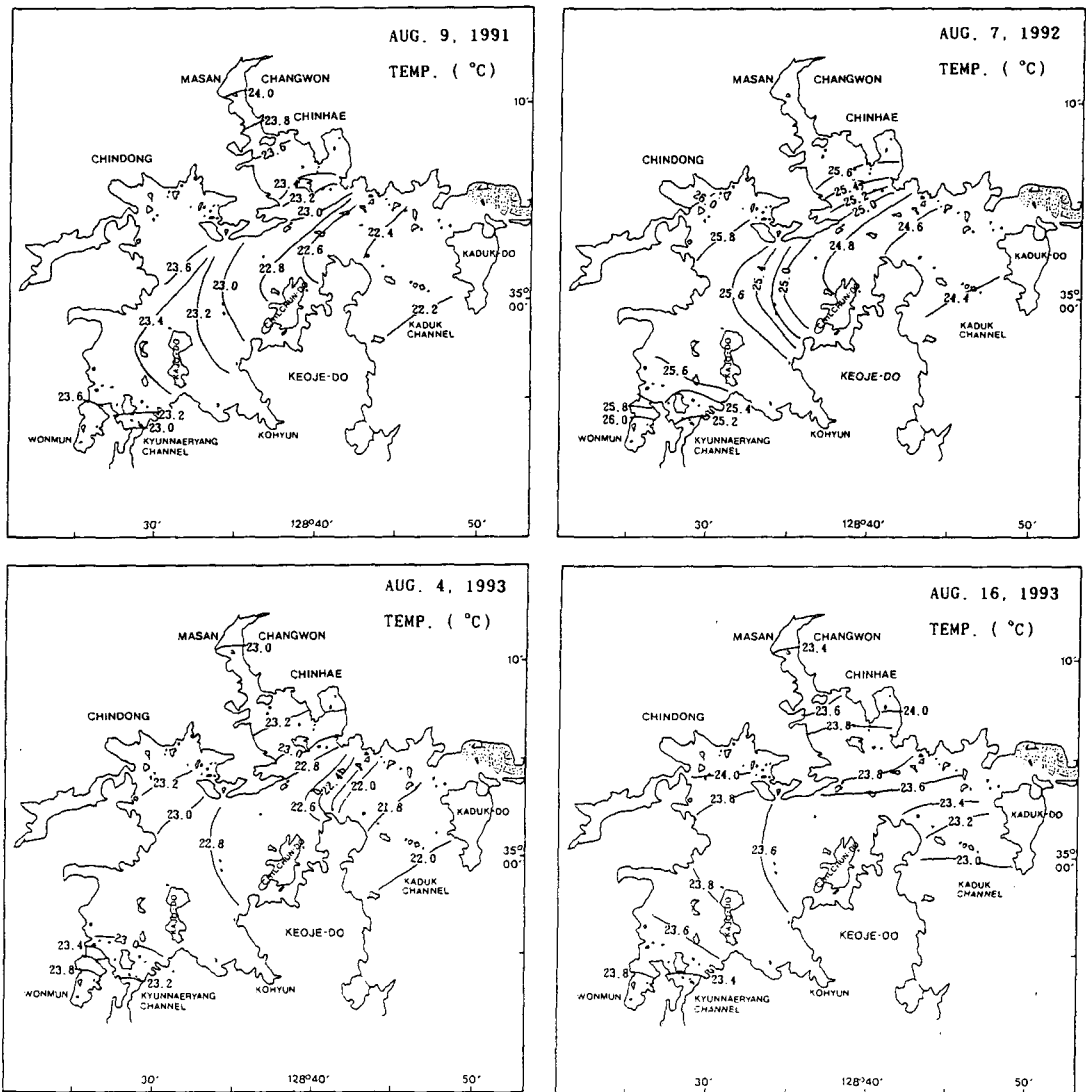


Fig. 5. Distribution of temperature at surface layer in August from 1991 to 1993.

1993년 8월 4일, 16일 및 11월 15일 가덕수로에서
마산만에 이르는 line A-B에서 鹽分과 水溫의 鉛

는 鹽分直分布를 Fig. 6에 나타냈다. 8월 4일과 16
일과 水溫의 成층化 現象이 뚜렷하게 나타나지

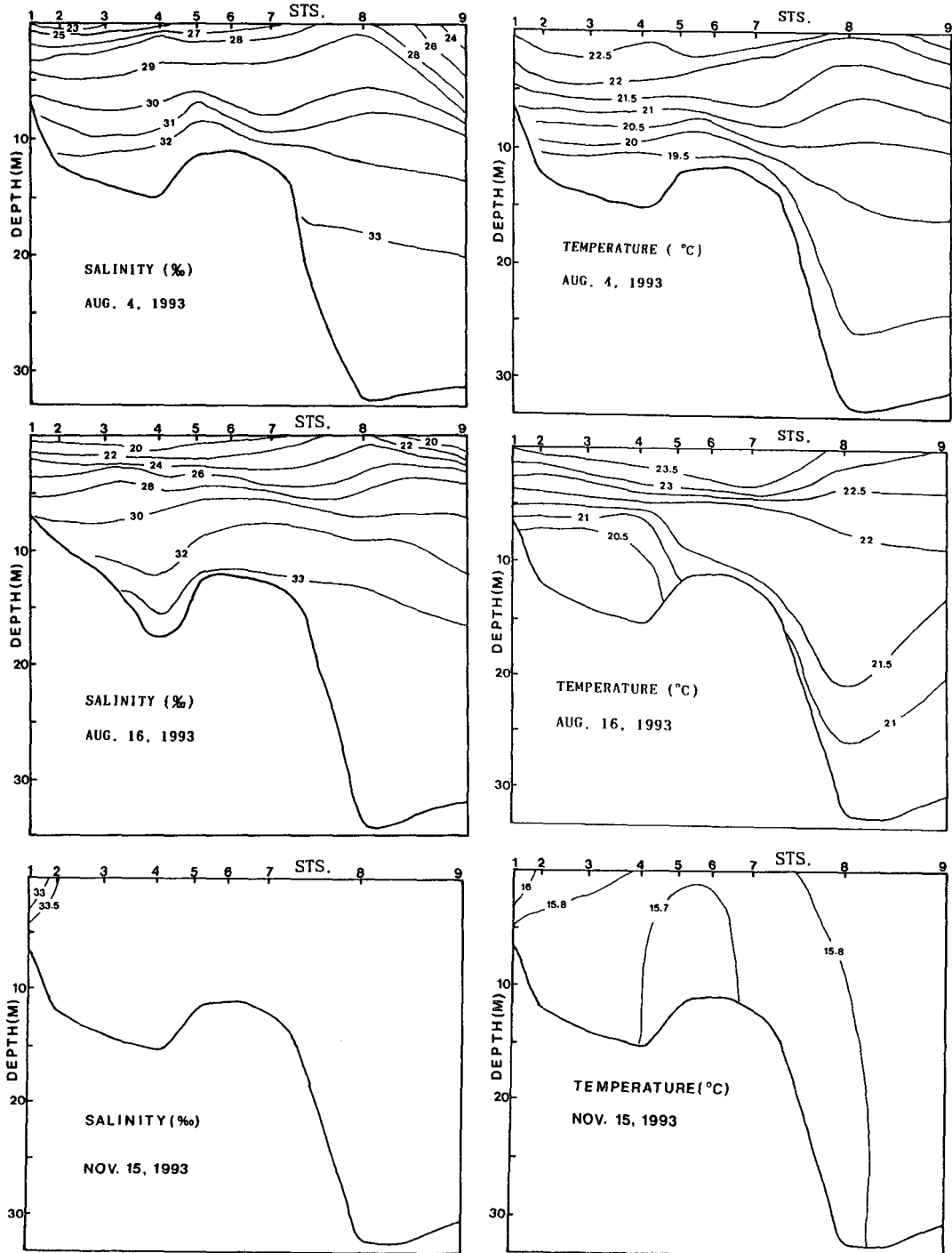


Fig. 6. Vertical distribution of salinity and temperature at line A-B in August and November, 1993.

만(Fig. 6의 상과 中), 11월 15일에는 강혼합형 형태를 나타내고 있다(Fig. 6의 下). 夏季에 表層과 底層의 鹽分差는 8월 4일에는 약 10.0‰, 8월 16일에는 약 13.5‰로 대단히 크며, 表層과 底層의 水溫差도 3.0~3.5℃로 크게 나타났다. 마산만과 가덕수로에서는 鹽分이 상대적으로 낮게 나타나고 있으며, 이것은 周邊 河川 流出水의 영향인 것으로 사료된다. 거제도 북쪽인 St. 8 부근에서는 鹽分이 상대적으로 높게 나타났다. 또한, 鹽分과 水溫의 鉛直경사가 Sts. 7~8 부근에서 큰 것으로 보아 Sts. 7~8 부근인 거제도 북쪽해역에서 前線이 뚜렷하게 形成되는 것으로 사료된다. 1993년 11월 15일에는 마산만내와 가덕수로와의 鹽分差는 0.7‰, 水溫差는 0.2℃로써 灣內와 灣入口와의 鹽分과 水溫差가 대단히 작게 나타났다.

Fig. 7은 夏季(8월 4일과 16일)에 가덕수로에서 鎭海灣의 서부해역까지인 line A-C에서 鹽分과 水溫의 鉛直分布를 나타낸다. Fig. 6과 유사하게

鹽分과 水溫의 성층화 현상이 뚜렷하며, 表層鹽分은 만내가 만의 입구보다 약 4.0~5.0‰ 높고, 表層水溫은 만내가 만의 입구보다 약 0.5~1.0℃ 높게 나타났다. 또한, St. 17 부근(칠천도 북쪽해역)에서 鹽分과 水溫의 鉛直경사가 급한 것으로 보아 St. 17 부근인 鎭海灣의 중앙수로에서 前線이 形成되는 것으로 사료된다.

본 연구결과에 의하면, 水深傾斜가 급한 가덕도 북부해역의 가덕수로와 진해만 중앙수로에서 水溫과 鹽分의 水平 및 鉛直 傾斜가 급한 것으로 보아 이 해역에 淺海前線(shallow water front)이 형성된다는 것을 알 수 있다. 이 淺海前線은 潮流와 密度成層의 相互作用에 의해 형성되는 일종의 潮汐前線일 가능성이 높으며, 前線의 形成位置는 潮差, 河川流量, 熱交換 等 氣象學의 要因에 따라 다소의 차이가 일어날 수 있다. 潮汐前線에 대한 形成理論은 大陸棚에서 成層한 領域(深海)과 鉛直 混合한 領域(成層 領域보다 淺海)의 境界에서 형성된다는

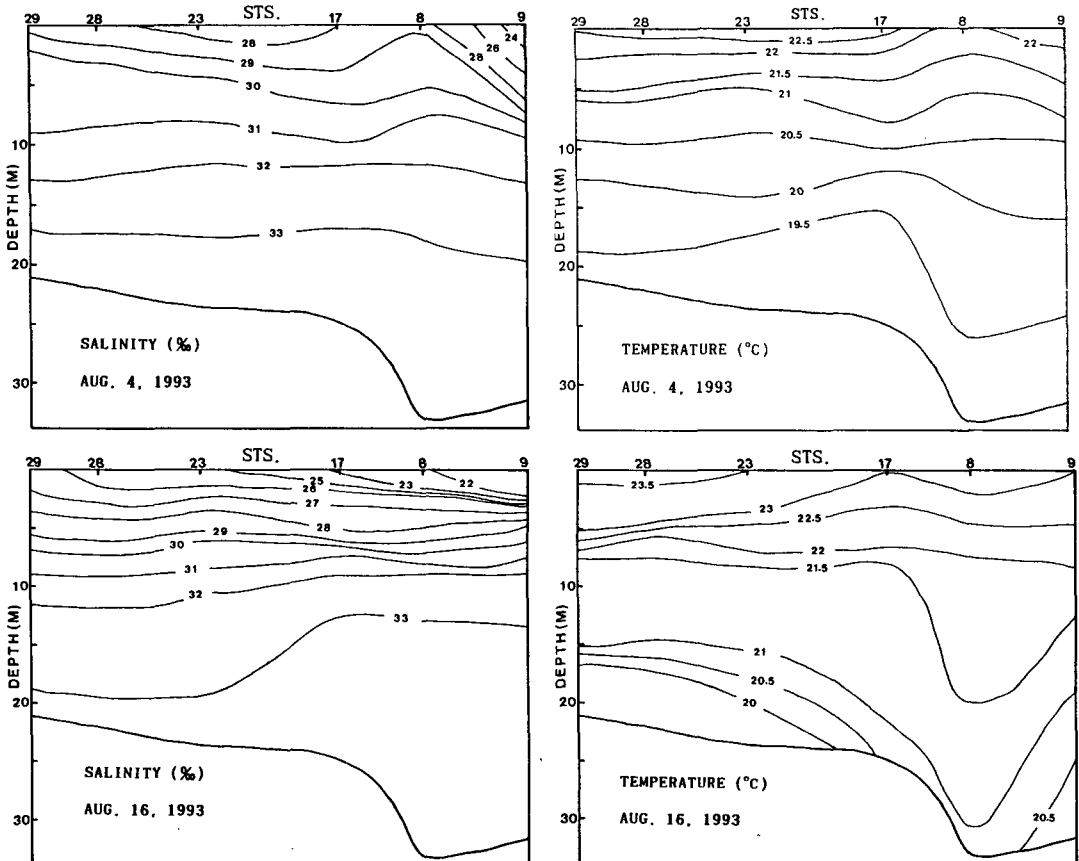


Fig. 7. Vertical distribution of salinity and temperature at line A-C in August, 1993.

Simpson and Hunter(1974) 이론과, 沿岸海域(주로 灣의 内·外海)에서 鉛直 混合한 領域(外海)과 成層한 領域(内海)의 境界에서 形成된다는 Yanagi and Yoshikawa(1987)의 이론이 있다. 본 연구결과인 가덕도 북부해역과 진해만 중앙수로에서 형성되는 前線은 Yanagi and Yoshikawa(1987)가 주장한 沿岸海域에서 형성되는 朝夕前線인 것으로 생각된다.

2. 底層 溶存酸素의 分布

1990~1993년 당해년도 低酸素 水塊形成이 가장

심했던 時期(夏季)의 底層 溶存酸素 分布를 Fig. 8에 나타냈다. 1990년 低酸素(2 mg/l 이하) 水塊는 서쪽으로는 鎭海灣 중앙부, 북쪽으로는 부도의 서쪽에 위치한 부도수로까지 形成되 있으며, 海水流動이 강한(金等, 1994; Kim, 1994) 칠천도 북쪽의 鎭海灣 중앙수로에서도 溶存酸素 농도가 3 mg/l로 비교적 낮다. 海水流動이 약하고, 養殖場이 밀집해 있는 鎭海灣의 서부해역인 가조도 주변해역, 진동만, 원분만, 고현만과 육지에서 오·폐수의 유입량이 많은 마산만에서는 1 mg/l 이하로 나타났다. 1991년에는 鎭海灣 중앙수로에서 4 mg/l 이상이고,

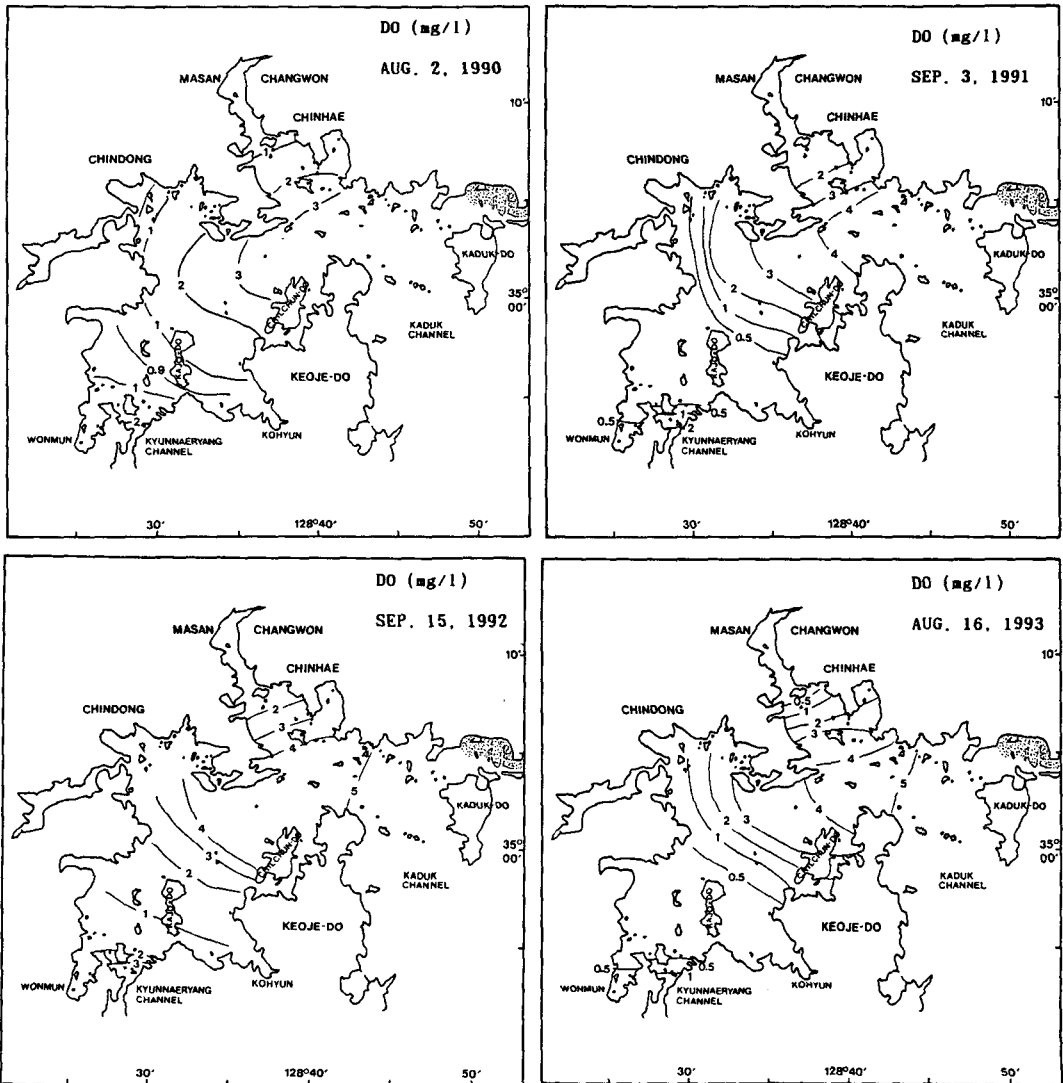


Fig. 8. Horizontal distribution of DO concentration at bottom layer in summer from 1990 to 1993.

鎭海灣 서부해역에서는 無酸素(0.5 mg/l 이하) 水塊가 形成되어 있으며, 마산만에서는 관측이 수행되지 않았기 때문에 溶存酸素 分布를 알 수 없다. 1992년에는 前年度에 비해 底層 溶存酸素 濃도가 비교적 높은 편이었으나, 가조도 주변해역, 원문만, 고현만 및 마산만에서는 2 mg/l 이하로 나타났다. 1993년의 溶存酸素 分布는 1991년과 유사하며, 無酸素 水塊는 鎭海灣 서부해역과 마산만내에서 일어났다. 견내량수로 북쪽해역에서는 溶存酸素 濃도가 1~3 mg/l로 비교적 낮으며, 특히 1993년에는 1 mg/l 이하로 대단히 낮게 나타났다. 이것은 견내량수로에서는 海水流動이 강하나, 水路의 북쪽해역에서는 流域面積의 급격한 증가로 인한 流入水의 分散으로 海水流動이 약하고(金 等, 1994; Kim, 1994), 또한 견내량수로 주변해역에는 양식장이 많이 설치되어 있기 때문에(황경처, 1991) 이로 인한 水質 및 底質의 惡化로 산소소모가 많기 때문인 것으로 생각된다. 鎭海灣의 低酸素 및 無酸素 水塊는 海水流動이 약하고, 養殖場이 밀집해 있는 鎭海灣의 서부해역과 육지에서 오·폐수의 유입량이 많은 부도의 북쪽해역에서 일어나고 있다. 海水流動이 강하고, 養殖場이 적은 가덕수로와 鎭海灣 중앙수로에서 溶存酸素 濃도는 약 3.5 mg/l 이상으로 나타났다. 본 연구결과에 의하면, 鎭海灣 溶存酸素 分布는 淺海前線의 形成位置와도 밀접한 관계가 있는 것으로 생각된다. 즉, 淺海前線이 형성되는 것으로 생각되는 견내만 중앙수로와 가덕도 북부해역을 기준으로 했을 때, 이 해역의 外側에서는 溶存酸素가 비교적 높고, 內側에서는 낮게 나타났다. 夏季 低酸素 및 無酸素 水塊가 形成되는 鎭海灣 서부해역에는 많은 양식장이 있기 때문에 夏季 低酸素 및 無酸素 水塊에 의한 수산생물의 피해가 예상된다. 이와 같은 해역에서는 海水의 水平 및 鉛直 混合이 약하기 때문에(金 等, 1993; Kim, 1994) 夏季에 水塊의 成層이 잘 발달되고, 또한 저질의 오염으로 인한 산소 소모와 양식 시설물의 밀집으로 인한 수산생물의 산소 소모로 인해 低酸素 및 無酸素의 水塊가 더욱 잘 발달되는 것으로 생각된다. 따라서, 低酸素 및 無酸素 水塊의 形成을 방지하고 水産生物의 피해를 경감시키기 위해서는 海水交換을 활발하게 할 수 있는 海水交換 促進法에 대한 연구가 요구된다.

Fig. 9는 가덕수로에서 마산만에 이르는 line A-B에서 溶存酸素의 鉛直分布를 나타낸다. 만내에서 溶存酸素 分布는 성층화 현상이 강하며, 溶存酸素 濃도 2 mg/l 이하는 St. 6인 부도수로에서 形成되

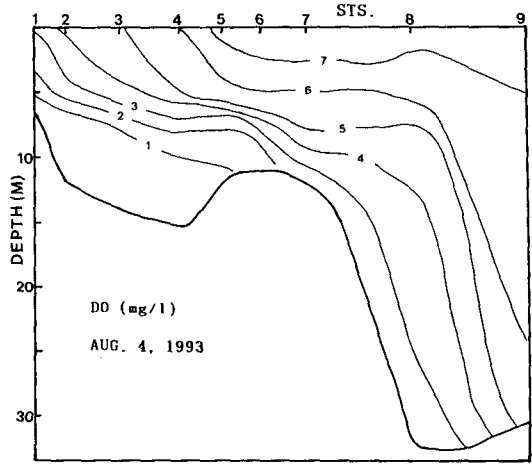


Fig. 9. Vertical distribution of DO concentration at line A-B in August, 1993.

있고, 1 mg/l 이하는 St. 5까지 形成되어 있다. 만의 입구인 St. 9에서는 해수유동이 강하기 때문에 溶存酸素 濃도가 5 mg/l 이상으로 높게 나타났다. 즉, 海水流動이 약하고, 陸地에서 오·폐수의 유입량이 많은 부도의 북쪽해역에서는 底層 低酸素水塊가 형성되고, 海水流動이 강하고 外海와 인접한 가덕수로에서는 溶存酸素가 높다.

3. 潮流 및 $\log(H/U^3)$ 分布

潮流의 數值計算은 가덕수로와 견내량수로에서 M_2 潮流의 진폭을 개경계조건으로 하여 ADI법으로 계산하였으며, 저조 4시간 후에 계산된 M_2 潮流의 等流速分布를 Fig. 10에 나타냈다. 가덕수로와 鎭海灣 중앙수로에서 M_2 潮流의 최대유속은 약 70 cm/s로써 유속이 강하나, 鎭海灣의 서부해역과 북부해역에서는 약 20 cm/s 이하로써 유속이 상대적으로 약하다. 流速의 等分布線은 Fig. 2에 나타낸 水深線과 거의 평행하게 나타났다.

M_2 潮流의 數值計算結果를 이용하여 산정한 파라메타 $\log(H/U^3)$ 의 分布는 Fig. 11과 같으며, 유속이 강한 가덕수로와 鎭海灣 중앙수로에서 $\log(H/U^3)$ 의 값은 2.0~2.5이다. Figs. 3~7에 나타낸 鹽分과 水溫의 水平 및 鉛直 分布와 비교·검토할 때 $\log(H/U^3)$ 의 값이 2.0~2.5에서 淺海前線(shallow water front)이 形成되며, 이 前線은 Yanagi and Yoshikawa(1987)가 주장한 沿岸海域에서 形成되는 潮流前線일 가능성이 높은 것으로 생각된다. Simpson and Hunter(1974)는 潮流前線이 파라메타 $\log(H/U^3)$ 에 의해 결정된다고 하였으며, Yanagi and

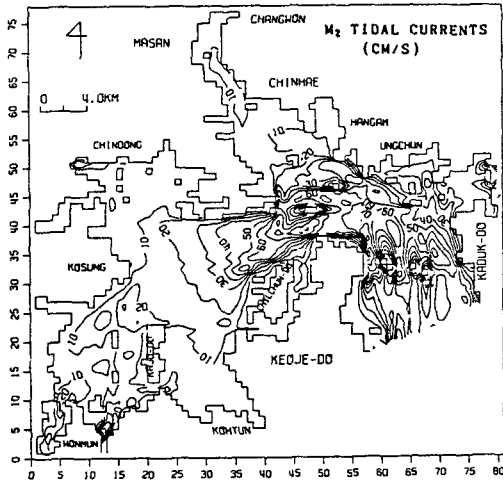


Fig. 10. Isovelocity(cm/s) of computed M₂ tidal current.

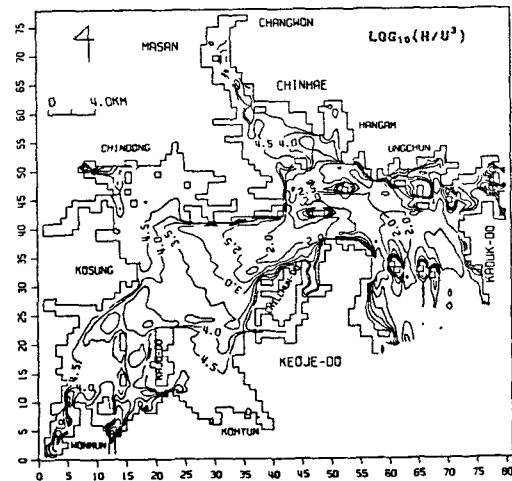


Fig. 11. Distribution of $\log(H/U^3)$, where H is the water depth and U is the amplitude of M₂ tidal current.

Takahashi(1988)는 大阪灣에서 潮汐前線은 $\log(H/U^3)$ 의 값이 2~3 범위에서 形成된다고 하였다.

Fig. 8에 나타낸 底層 溶存酸素 濃度の 等值線은 M₂ 潮流의 等流速分布(Fig. 10) 및 $\log(H/U^3)$ 의 等值線(Fig. 11)과 잘 대응하고 있는 것으로 생각된다. 底層 低酸素 水塊는 調査時 氣象學의 要因, 潮時, 生物 生産量 및 陸地에서 오·폐수의 유입량에 따라 차이는 있겠지만, M₂ 潮流의 流速이 약 20 cm/s 이하에서 形成되는 것으로 사료된다. 또한,

$\log(H/U^3)$ 의 等值線으로 볼 때 鎮海灣 低酸素 水塊는 $\log(H/U^3)$ 값이 약 3.5 이상에서 形成되고, $\log(H/U^3)$ 값이 2.0~2.5인 가덕수로와 진해만 중앙수로에서 溶存酸素 濃도는 3.5 mg/l 이상으로 나타났 다.

要約 및 結論

1990~1993년 夏季와 冬季에 水溫, 鹽分 및 溶存 酸素의 水平 및 鉛直 分布를 조사하였다. ADI 유 한차분법으로 M₂ 潮流의 수평 2차원 수치모형실험 을 실시하여 등유속분포와 파라메타 $\log(H/U^3)$ 을 산정하였다. 淺海前線(shallow water front)은 潮差, 河川流量, 熱交換 等 氣象學의 要因에 따라 다소의 차이는 있겠지만, 水深傾斜가 급하고, $\log(H/U^3)$ 의 값이 2.0~2.5인 가덕수로와 鎮海灣 중앙수로에서 形成되는 것으로 생각된다. 鎮海灣 溶存酸素 分布는 淺海前線의 형성위치와 밀접한 관계가 있는 것 으로 생각되며, 低酸素 및 無酸素 水塊는 海水유동 이 약하고 양식장이 밀집해 있는 鎮海灣의 서부해역과 육지에서 오·폐수의 유입량이 많은 부도의 북쪽해역에서 일어났다. 海水流動이 강하고 양식장이 적은 가덕수로와 鎮海灣 중앙수로에서 溶存酸素 濃도는 약 3.5 mg/l 이상으로 나타났다. 鎮海灣 低酸素 水塊의 形成은 潮差, 氣象學의 要因, 生物 生産量 및 陸地에서 오·폐수의 流入量에 따라 차이는 있겠지만, M₂ 潮流의 진폭이 약 20 cm/s 이하 및 $\log(H/U^3)$ 값이 약 3.5 이상에서 形成된다. 夏季 低酸素 및 無酸素 水塊가 形成되는 鎮海灣 서부해역에는 많은 양식장이 있기 때문에 夏季 低酸素 및 無酸素 水塊에 의한 水産生物의 피해가 예상된다. 따라서, 低酸素 및 無酸素 水塊의 形成을 방지하고 水産生物의 被害輕減을 위해서는 海水交換 促進法에 대한 연구가 요구된다.

參 考 文 獻

- 國立水産振興院. 1989. 韓國 沿岸漁場 保全을 爲한 環境汚染 調査研究. 第84號 事業報告, 347 pp.
- 國立水産振興院. 1991. 沿岸養殖漁場 環境容量 算定에 관한 研究. 科技處 特定研究報告, 139 pp.
- 交通部 水路局. 1986. LANDSAT 衛星資料에 의한 落東江 河川水의 流入擴散이 海洋環境에 미치는 影響. 147 pp.

- 金鐘華. 1984. 鎮海灣의 海水交換. 釜山水產大學校 水產物理學科 水產學碩士學位論文, 36 pp.
- 金次謙 · 張善德 · 李宗燮. 1994. 鎮海灣 潮流의 2차원 水理 및 數值 모델링. 한국해양학회지, 29(2), 83~94.
- 金昌式 · 李鍾贊 · 鄭泰成 · 姜始桓. 1989. 3次元 海水流動모델의 適用. 해양연구, 11(1), 45~55.
- 金鶴均. 1990. 馬山灣의 鞭毛赤潮의 發生과 環境特性. 釜山水產大學校 博士學位論文, 85pp.
- 朴周錫. 1982. 鎮海灣 赤潮의 特性과 環境變化. 國立水產振興院 研究報告, 28, 55~88.
- 朴清吉. 1975. 鎮海灣 海水의 富營養化와 Chlorhyll 分布. 韓國水產學會誌, 8(3), 121~126.
- 李弼容. 1993. 元門灣에서 低酸素 水塊의 出現과 季節的 變動. 韓國水產學會誌, 26(4), 392~400.
- 李弼容 · 朴周錫 · 康清美 · 崔熙九 · 朴鍾守. 1993. 鎮海灣의 低酸素水塊 現象에 關한 研究. 國立水產振興院 研究報告, 48, 25~38.
- 韓國海洋研究所. 1983. 赤潮 및 汚染모니터링 研究 (鎮海灣). BSPE 00048-80-7, 222pp.
- 환경처. 1991. 진해만 일원 오염실태 조사 보고서. 502 pp.
- Hong, J. S. 1987. Summer oxygen deficiency and benthic biomass in the Chinhae Bay System, Korea. J. Oceanol. Soc. Korea, 22(4), 246~256.
- Kim, C. 1994. Three-dimensional numerical model experiments of tidal and wind-driven currents in Chinhae Bay. J. Oceanol. Soc. Korea, 29(2), 95~106.
- Simpson, J. H. and J. R. Hunter. 1974. Fronts in the Irish Sea. Nature, 250, 404~406.
- Yanagi, T. and S. Takahashi. 1988. A tidal front influenced by river discharge. Dyn. Atmos. Oceans, 12, 191~206.
- Yanagi, T. and K. Yoshikawa. 1987. Tidal fronts in Hiuchi-Nada and Osaka Bay. Bull. Jap. Soc. Fish. Oceanogr., 51, 115~119.

1994년 3월 8일 접수

1994년 9월 3일 수리