

# 마산만 준설사업 및 하수처리장 가동에 따른 진해만의 수질변동

윤석진 · 이인철  
부경대학교 해양공학과

## Water Quality Variations in Jinhae Bay by Dredging & Operating the Sewage Disposal Plant

SUK-JIN YOON AND IN-CHEOL LEE

Dept. of Ocean Engineering, Pukyong National University, Pusan 608-737, Korea

**KEY-WORD:** Jinhae Bay 진해만, Water Quality variation 수질변동, Dredging 준설, Sewage Disposal Plant 하수처리장

**ABSTRACT:** This study investigates the spatial and temporal distribution characteristics and relationships among water quality parameters, which based on 6 years' data(from 1989 to 1994) measured at 16 stations on Jinhae Bay. The results of these analysis, monthly variations range between surface and bottom layer of water quality had a tendency to increase and decrease, and appeared to be at the maximum value in August. The relationships between concentration of COD and nutrients(DIN and DIP), which obtained by correlation analysis of water quality, were shown 85% and 74%, respectively. Using the cluster analysis to develop the division of the sea basin by the dendrogram, before and after dredging of Masan bay and operating a sewage disposal plant, the variation characteristics of water quality of Jinhae Bay were discussed. Through it, we can see the serious pollution of northern sea basin of Jinhae Bay(B2) although dredging Masan bay and operating the sewage disposal plant. As the results, it doesn't appear the improvement effect of water quality in spite of carrying out the effort of water quality improvement.

### 1. 서 론

남해안의 동쪽에 위치하고 있는 진해만은 동쪽으로는 가덕도 동두말에서 서쪽의 거제대교까지, 남북으로는 마산내만에서 장승포시까지로 복잡한 형태를 이루고 있는 폐쇄성이 강한 내만이다. 남북 방향의 길이는 약 25km, 동서 방향의 폭은 약 25km이며, 평균 수심이 약 10m인 천해의 내만으로 내부해역은 6개의 소규모만으로 이루어져 있고 주변 육상에서 만으로 유입되는 하천은 40여개이다. 진해만은 대구의 산란장이며 굴, 홍합, 피조개 등의 중요한 양식장으로 수산활동이 활발한 해역이다.

그러나 1960년대 이후 공업단지, 농공단지가 조성되고 연안 지역에 인구의 집중화 현상이 일어나면서 생활하수, 공장폐수, 축산폐수, 각종 토목건설사업 및 양식업의 밀식 등으로 많은 양의 생활하수와 다양한 산업폐기물들이 충분히 처리되지 않은 채로 마산, 진해만으로 방출되어 왔다. 게다가 1970년대 이후에는 적조가 발생되기 시작하여 1978년, 1981년, 1995년에는 대규모 적조 발생으로 수산생물이 대량 폐사하는 사건이 발생하였다.

그 후 계절에 상관없이 적조가 발생하고, 여름철에는 용존산소가 부족한 무산소층이 발생하여 유용 수산생물의 서식을 어렵게 만들고 있으며, 국민의 건강까지 위협하고 있다. 특히 진해만은 수심이 얕고 폭이 좁아 외해와의 해수교환율이 낮고, 유속이 느리며, 마산만 해역의 경우는 오염물의 지속적인 유입과 침강으로 인하여 오염 물질의 부하량이 점차 가중되어 양식어장으로서의 지속적 이용을 어렵게 만들고 있다.

이에 대해 우리나라에서는 1976년부터 지금까지 이 해역의 수질환경에 대한 물리, 화학, 생물학적 연구가 지속적으로 수

행되어 오고 있으며, 특히 부영양화, 성층화, 빈산소층 형성, 적조 등의 현상과악을 위한 연구가 한국해양연구소, 국립수산과학원 등의 기관을 중심으로 수행되고 있다. 특히 지난 1989년에는 마산 시민들의 자주적인 노력과 함께 환경부와 마산시가 '마산만 정화 계획'을 발표하였고, 1990년 7월부터 1994년 12월까지의 국내 최초의 해저 준설사업이 이루어지게 되었다. 또한 1993년 11월부터는 1984년 착공하여 1993년 완공된 마산 창원 하수처리장이 가동되기 시작하였다(해양수산부, 2002).

하지만 이러한 노력에도 불구하고 급속한 인구증가, 산업화로 인하여 현재 하루에 40만 톤이라는 엄청난 양의 하·폐수가 마산, 진해만으로 유입되고 있으며, 이것은 육지로부터 근본적인 오염원 차단 없이는 마산만 준설의 효과는 일시적일 수밖에 없다는 것을 여실히 보여주고 있다. 또한 하수처리장의 경우에도 1차 침전시설밖에 되지 않고 그나마 관로도 시내 구석구석까지 연결되지 않아 일일 폐·하수 처리용량 총 28만 톤의 20~25% 정도밖에 처리하지 못하여 나머지 60~70%는 처리되지 못한 채 그냥 바다로 흘러들고 있다.

따라서 본 연구는 당시 1989년부터 1994년까지의 5년간의 마산, 진해만의 수질변동 특성을 분석해보고, Cluster analysis를 통해 몇 개의 유사영역으로 구분하여 소해역별 수질환경공간 특성을 파악하고자 한다. 특히 마산만 준설이 행해졌던 1990년 7월부터 1994년 12월까지의 시기와 마산시 하수처리장이 설치되어 가동된 1993년 11월 시기를 전후로 변화 양상을 검증하여 그 실효성을 평가해 봄으로써 오염물질 유입에 대해 능동적 대처방안 마련 및 체계적인 해역 관리가 이루어질 수 있는 기초자료를 마련하고자 한다. 나아가 미래의 변화를 예측하여 진해만의 양식장 및 어장을 보존, 관리하고 해양의 공간이용, 재해방지 및 해양환경 보전을 위한 중요한 자료로서 이용

하고자 한다.

## 2. 자료 및 방법

이를 위해 본 연구는 국립수산진흥원에서 실시한 1989년부터 1994년까지의 진해만의 26개 정점에 대한 수질조사 결과를 바탕으로 수질의 경년변동과 수질상호간의 관련성에 대해 검토하였다. 진해만의 수질조사 정점은 Fig. 1에 나타난 바와 같으며, 분석한 수질항목은 수온(Temperature, °C), 염분(Salinity, ‰), 용존산소량(DO, mg/l), 화학적산소요구량(COD, mg/l), 용존무기질소(DIN, mg/l), 용존무기인(DIP, mg/l) 등 6개 항목을 이용하였다.

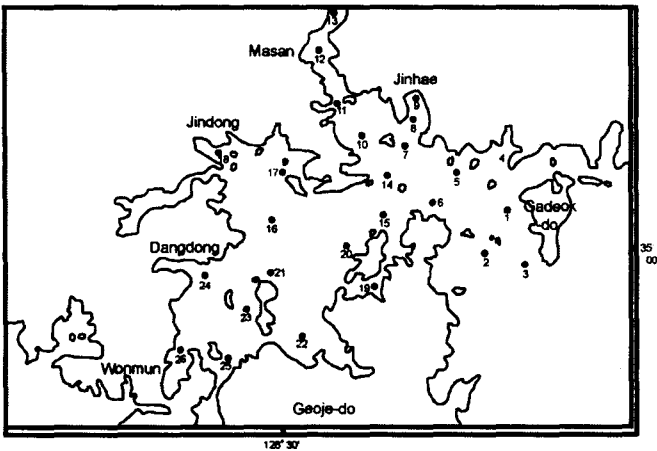


Fig. 1 Study area and observation stations of water quality in Jinhae Bay

수질의 경년변화는 1989년부터 1994년까지 6년간의 조사자료를 각 수질항목별로 전 해역 표·저층 자료를 모두 평균하여 통계 분석하였고 이를 바탕으로 연도별 특성 및 변화 추세를 살펴보았다. 또한 수질의 계절변화는 조사자료를 표·저층으로 나누어 수질항목별로 통계 분석하였고, 통계 분석 자료를 이용하여 계절별 수질 변동 사항 및 표·저층간의 변동폭을 살펴보았다.

수질항목별 상호관련성을 알아보기 위해 수질 상호간의 상관분석을 통하여 회귀식과 상관계수를 구하고 수질 항목간의 상관성을 살펴보았다. 각 정점별 수질변동 특성을 Cluster분석을 통해 유사영역으로 구분하여 비교·검토하였다. 또한 마산만 준설과 하수처리장 건설이 행해졌던 시기를 전후로 하여 변동 특성을 고찰해 보았다.

Cluster분석은 다변량 자료를 각 특성의 유사성에 따라 여러 그룹(군집 또는 집락)으로 나누는 통계 분석기법이다. 즉, 각 개체나 변수가 미리 정해진 기준에 맞추어 각 집락 내에 비슷한 것들끼리 모이도록 분류하는 것이다. 예를 들어, 동식물의 경우 외형적인 조건에 따라 성별을 구분하는 경우에는 명확한 분류기준이 있어 비교적 쉽다고 할 수 있으나, 변수가 많거나 또는 명확한 분류기준이 없는 경우에는 관찰대상들을 분류하

는 것이 쉬운 일이 아니다. 군집분석은 다양한 특성을 지닌 관찰대상을 유사성을 바탕으로 동질적인 집단으로 분류하는 데 쓰이는 기법이다.

## 3. 결과 및 고찰

### 3.1 수질의 경년변동

진해만 내 수질의 경년 변동을 알아보기 위해 1989년부터 1994년까지의 6년 동안의 조사자료를 평균하여 Fig. 2에 나타내었다. 수온은 매년 1°C 내외로 진동하는 형태의 그래프를 나타내며, 조금씩 감소하는 경향을 나타내고 있다. 1989년을 기준으로 두고 봤을 때, 1993년까지 약 1.5°C 정도 감소한다. 그러다가 다음 해인 1994년에는 연평균 수온이 15.55°C로 약 2°C 가량의 급격한 증가를 보이고 있다. 짙수 해에 증가, 홀수 해에 감소하는 식으로 매년 증감하는 추세를 보이고 있다.

염분의 경우도 매년 증감하는 추세를 보이는데, 특히 1992년에는 33.07psu로 6년 중 가장 높은 값을 기록했다. 1994년에는 1989년에 비해 1.6psu 증가하는 경향을 보이고 있다. DO의 농도변화는 지속적으로 증가하다가 1991년 이후부터 1993년까지 크게 감소하는 경향을 가진다. 1989년과 1994년을 비교해 보면 약 0.33mg/l 정도의 차이로 그다지 많은 차이가 나지 않는다.

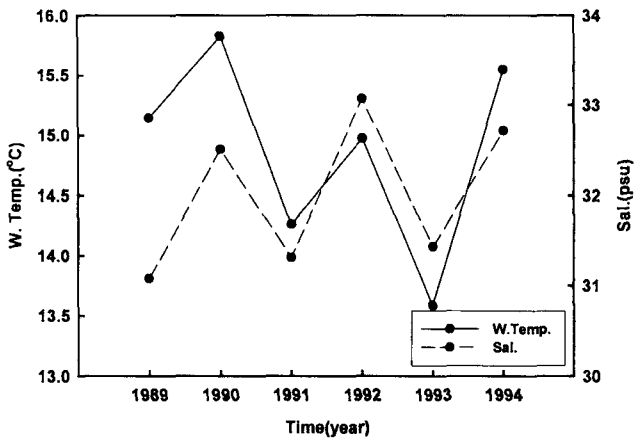
COD의 농도는 1989년과 비교해 1990년에 크게 감소한다. 그 후 4년간은 1991년에 약간의 증가를 보이는 하지만 1991년~1993년의 COD농도는 큰 변화가 없어 보인다. DIN, DIP의 농도는 1991년에 급격히 증가했고, 1989년과 1994년을 비교해 보면 두 해의 값이 큰 차이가 없음을 알 수 있다. DIN은 수온 및 염분의 경우와 반대로 홀수 해에 증가하고 짙수 해에 감소하는 것을 볼 수 있다. DIP는 1991년의 급격한 증가와 1992년의 급격한 감소를 제외하면, 나머지 4년의 값은 거의 일정하였으며, 1989년과 1994년의 농도를 비교해보면 거의 차이가 없었다.

### 3.2 수질의 계절변화

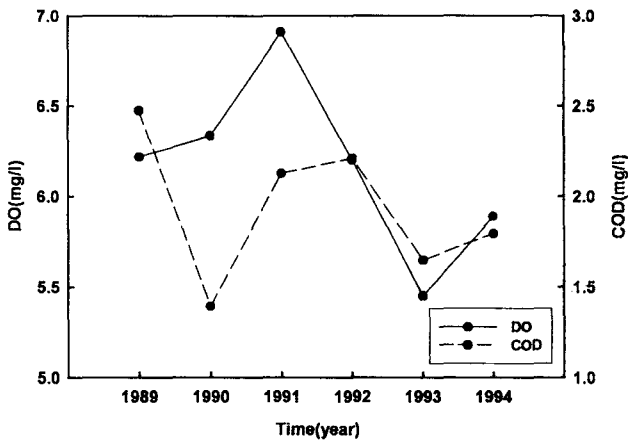
Fig. 3~4는 수질의 계절별 변동특성을 나타내기 위해 1989년부터 1994년까지 6년간의 자료를 통계 분석하였다. 아래의 그림에 보이는 검은색 원은 표층(surface)을, 흰색 원은 저층(bottom)을 의미한다. 계절별 상하층간의 수온 변화는 크지 않으나, 염분의 경우는 표층과 저층간의 변동이 여름철에 크게 나타나고 있으며(4psu 정도), 겨울철의 경우 거의 동일하다. DO의 경우도 염분과 비슷한 분포를 보이고 있다.

COD의 경우는 1990년, 1991년, 1992년, 1994년에는 표·저층간의 변동이 크게 나타나지 않고 있으며, 그 외 1989년과 1993년의 변동은 2월과 4월의 변화에 비해 8월과 11월의 변화가 비교적 크게 나타난다. DIN의 경우도 대체적으로 8월, 여름철에 가장 큰 변화를 보이고 있다. 반면에 DIP의 경우는 상하층간의 변동이 비슷한 분포를 보이고 있다.

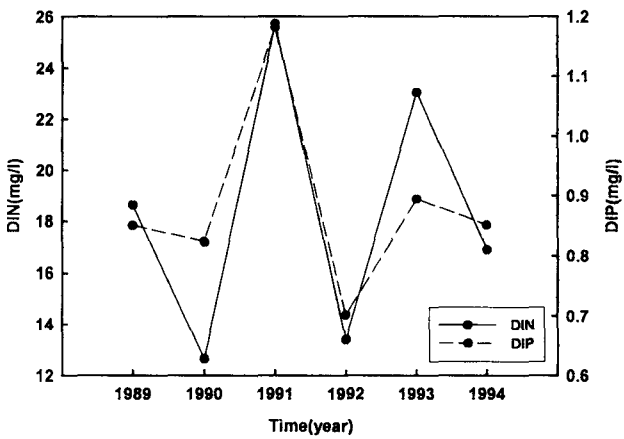
전반적으로 짙수 해에 비해 홀수 해의 계절별 변동폭이 큰 경향을 보이고 있으며, 달별로는 8월의 표·저층간의 변동폭이 크다는 것을 알 수 있다.



(a) W.Temp & Salinity

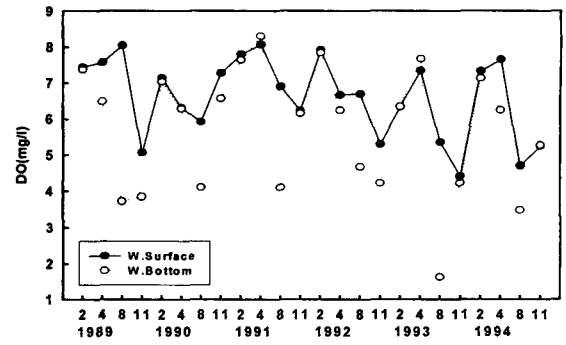


(b) DO & COD

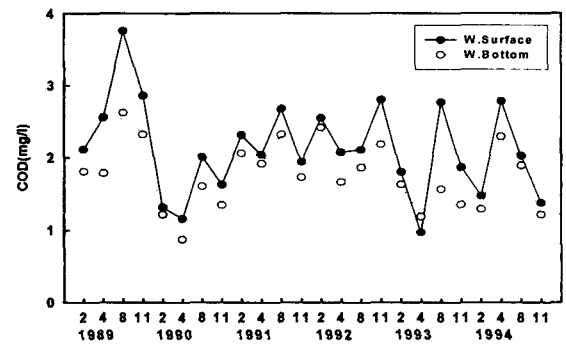


(c) DIN & DIP

Fig. 2 Annual changes of W.Temp and Salinity(a), DO and COD(b), DIN and DIP(c) (1989~1994)

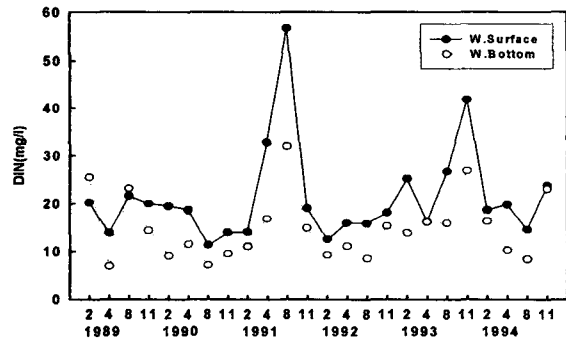


(a) DO

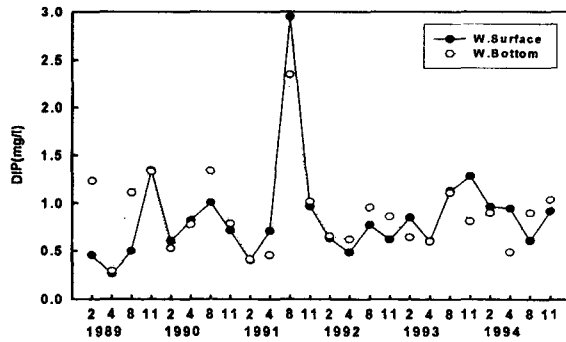


(b) COD

Fig. 3 Seasonal variations in DO(a) and COD(b) (1989~1994)



(a) DIN

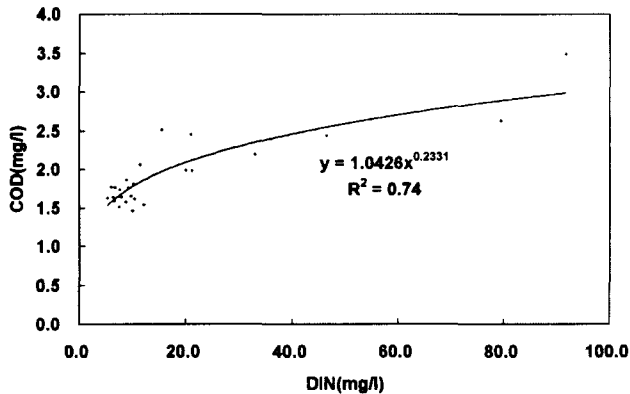


(b) DIP

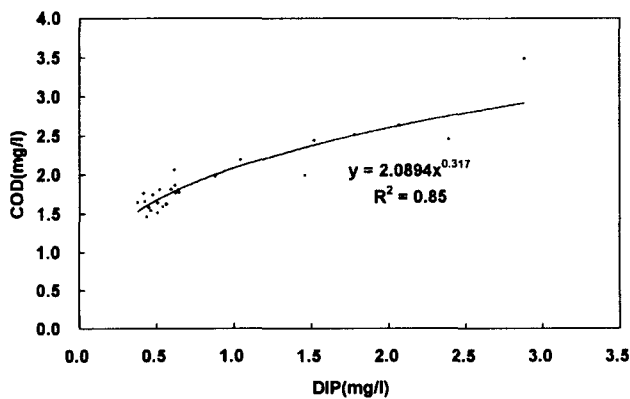
Fig. 4 Seasonal variations in DIN(a) and DIP(b) (1989~1994)

Table 1 Relationships among water quality parameters

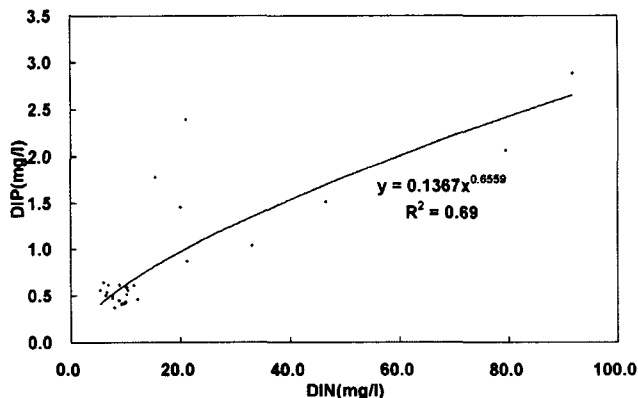
Items		Correlation coef.(R <sup>2</sup> )	Regression function
X-axis	Y-axis		
DIN	COD	0.74	$Y = 0.1367X^{0.6559}$
DIP	COD	0.85	$Y = 1.0426X^{0.2331}$
DIN	DIP	0.69	$Y = 1.0426X^{0.2331}$



(a) DIN and COD



(b) DIP and COD



(c) DIN and DIP

Fig. 5 Relationship between DIN and COD(a), DIP and COD(b), DIN and DIP(c)

### 3.3 수질항목별 상호관련성

Table 1은 수질조사자료로부터 1989년부터 1994년까지의 6년간 평균치를 이용하여 수질 상호간의 상관분석을 실시하였다. 상관도는 Fig. 5에 나타내었다. COD농도와 영양염(DIN, DIP)과의 관계는 Fig. 5(a), (b)에서 볼 수 있는바와 같이 영양염농도가 증가하면 COD농도도 증가하는 경향으로 상관계수도 각각 74%, 85%로 비교적 높게 나타난다. 여기서 DIP(용존무기인)가 DIN(용존무기질소)보다 COD농도에 더 많은 영향을 미친다는 것을 알 수 있다. 또한 DIN과 DIP와의 관계(Fig. 5(c))를 보면 상·하층에서 약 69%의 상관성을 나타내고 있다. 따라서 진해만에 있어서의 수질상호관련성은 영양염, 특히 DIP와 COD의 상관성이 높은 것으로 나타났다.

### 3.4 영역해석

앞에서 설명한 수질항목별 상관관계를 바탕으로 하여 1989년 수질개선사업(마산만 준설 및 하수처리장 가동) 시행 전(26개 정점)부터 1994년 수질개선사업 시행 후(26개 정점)까지 6개 항목의 수질자료를 바탕으로 Cluster analysis(집괴분석)를 수행하였다. Cluster간의 거리는 유클리드거리를 채택하였고 완전결합법에 의해 검토하였다.

Fig. 6과 Fig. 7은 진해만내 6개 항목의 수질자료로부터 수질개선사업(마산만 준설 및 하수처리장 가동) 전·후를 군집분석(Cluster analysis)에 의한 덴드로그램(Dendrogram)을 토대로 작성한 진해만의 해역분할도 및 해역분할에 따른 수질환경변화의 공간분포를 나타낸 것이다.

수질개선사업(마산만 준설 및 하수처리장 가동) 전인 1989년의 경우 진해만 동부(A), 북부(B), 중부(C), 남서부 2개 영역(D1, D2) 등 크게 5개의 특징적인 영역으로 구분할 수 있다(Fig. 6). 또한 수질개선사업 후인 1994년의 경우는 1989년과 달리 남서부의 두해역이 통합되고, 북부(B)가 두 영역(B1, B2)으로 세분화되어진다(Fig. 7).

수질개선사업 전인 1989년의 경우(Fig. 6) 해역의 염분의 최고치와 최저치는 각각 A영역에서 31.60psu와 30.61psu로서 약 1psu의 차이를 보이고 있다. 수질개선사업 후인 1994년의 경우(Fig. 7) 염분은 B2해역이 31.21psu이었고, 나머지 해역은 33psu내외로 거의 일정하게 나타났다.

COD는 A, C, D해역의 경우 0.7~1.36mg/l로 급격히 감소하였고, B해역의 경우는 B1의 경우 0.54mg/l 감소하는 반면 B2해역 경우에는 0.29mg/l 증가하였다. 수질개선사업 전과 비교하여 A, C, D해역의 수질 상태가 사업 후에 크게 향상된 데 비하여 B2해역은 B해역에서 세분화되면서 수질 상태가 더욱 악화되었음을 알 수 있다.

DIN는 B해역의 경우를 제외하고 두드러진 변화를 보이지 않고 있다. 여기서 B해역을 살펴보면, 타 해역에 비해 매우 높은 값을 가지던 B해역이 B1, B2해역으로 세분화됨으로 해서 B1해역은 1/2정도로 수치가 감소한데 비해서 B2해역은 약 2배 정도 그 값이 증가하였다. 이러한 경향은 DIP의 영역분포와도 유사하게 나타났다.

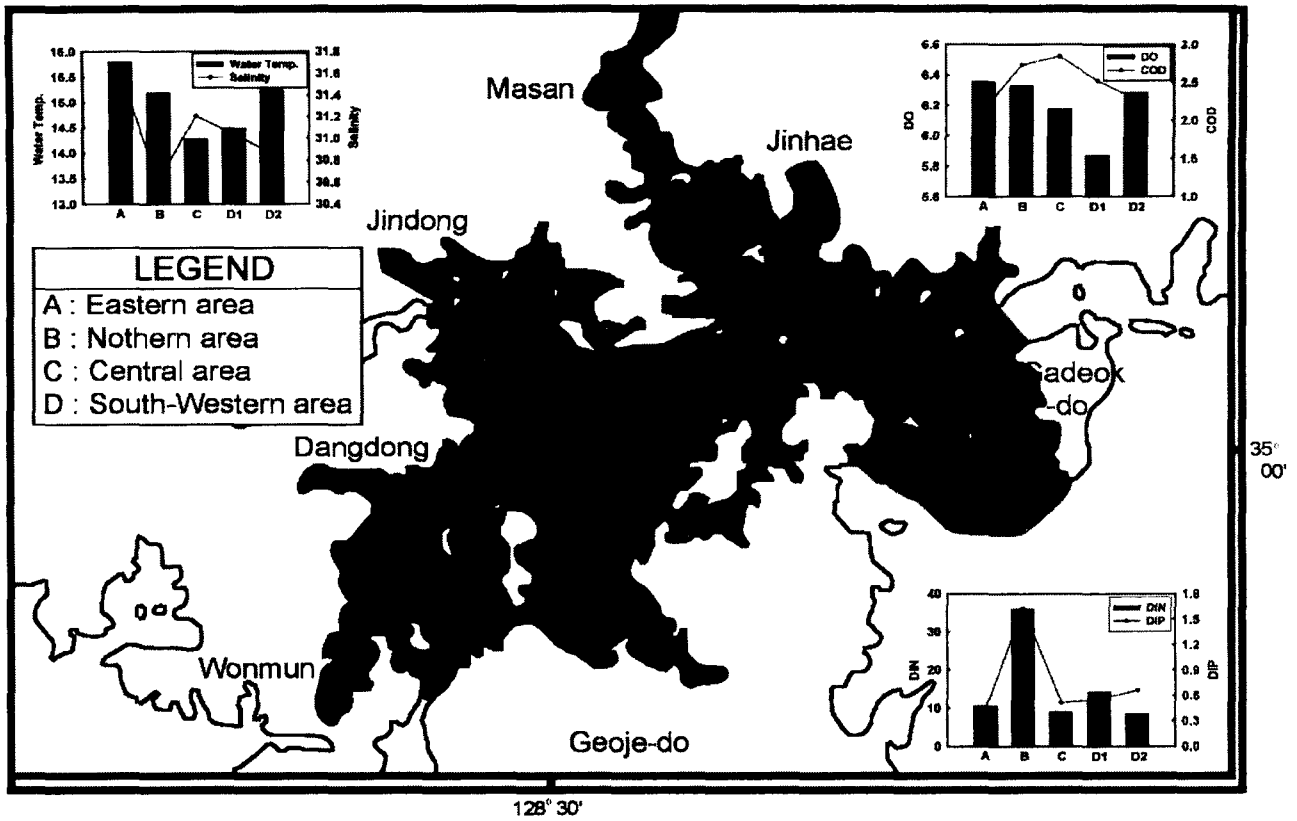


Fig. 6 Division of sea basin in the Jinhae Bay by cluster analysis and change of water quality at each sea basin by dendrogram (1989 year; before dredging and operating of a sewage disposal plant)

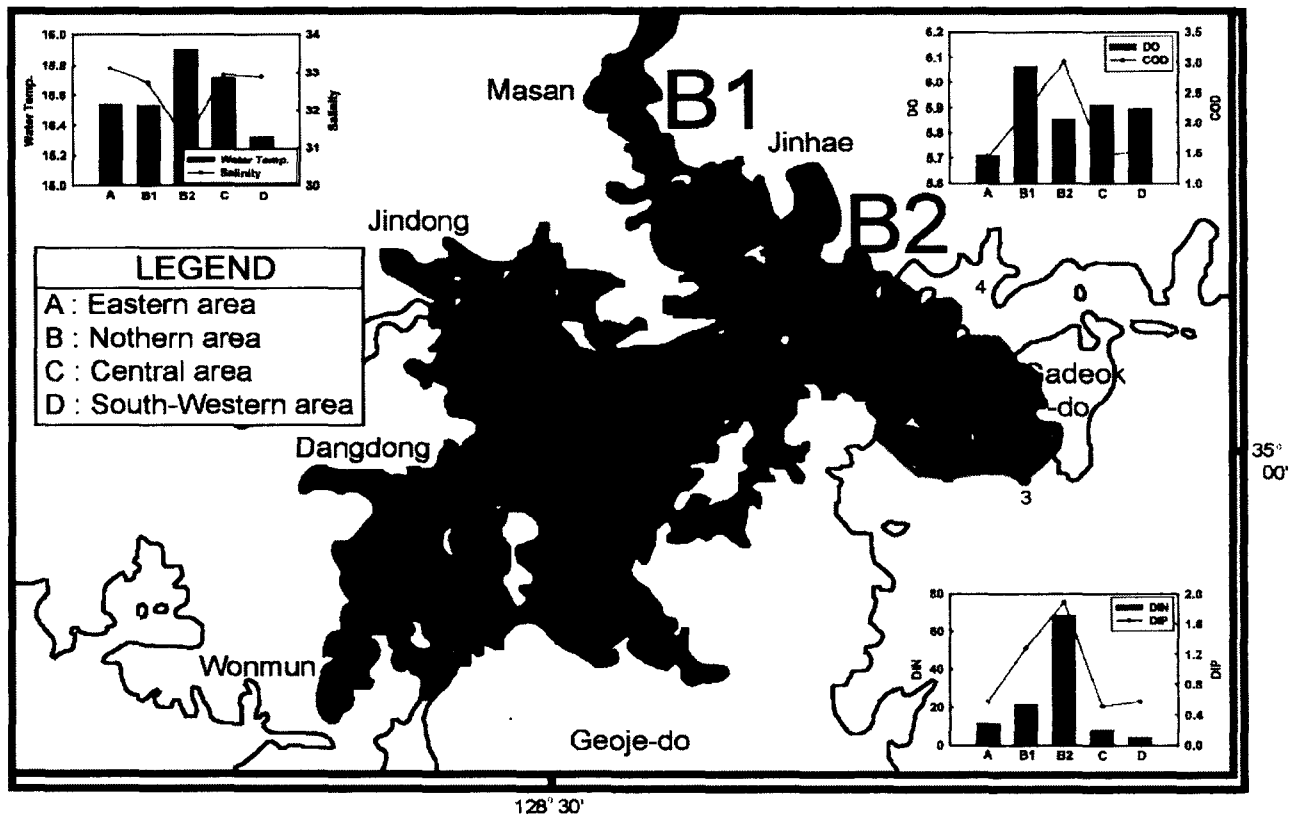


Fig. 7 Division of sea basin in the Jinhae Bay by cluster analysis and change of water quality at each sea basin by dendrogram (1994 year; after dredging and operating of a sewage disposal plant)

이와 같이 마산만 준설 및 하수 처리장 가동 등 수질개선사업에 의해 A, C, D해역은 수질이 향상되었다고 볼 수 있는 반면에 B해역은 세분화되면서 B2해역의 오염이 심각해졌음을 알 수 있다. A, C, D해역은 세 해역의 수질 정도가 비슷하다.

이상의 결과를 수질오염정도에 따라 각 영역별로 명암을 넣어 나타내었다. 명암이 짙을수록 수질 오염이 심화되고 있음을 보여준다. Fig. 6과 Fig. 7에서 C해역의 경우 수질개선사업 전인 1989년에 오염 상태가 가장 심각하다가 수질개선사업 후인 1994년에는 수질이 급격히 향상되었음을 알 수 있다. 그리고 A, B1, D해역도 마찬가지로 수질이 크게 향상되었음을 볼 수 있다. 반면, B2해역의 경우 B해역에서 세분화됨과 동시에 오염이 더욱 심각해졌음을 그림을 통해 알 수 있다.

#### 4. 결론 및 고찰

이상으로 진해만 수질의 시공간적 변동상황을 파악하기 위하여 진해만에 16개 조사점의 1989년부터 1994년까지 6년간 수질자료를 바탕으로 수질분포특성 및 수질항목별 상관성에 대해 해석하고 Cluster analysis를 통해 몇 개의 유사영역으로 구분하여 소해역별 수질환경 공간 특성을 파악해 보았다. 본 연구를 통해 얻어진 주요 결과는 다음과 같이 요약할 수 있다.

1. 진해만의 계절별 수질변동 특성에 있어서 표·저층간의 변동폭은 매년 증감하는 추세를 보이고, 월별로 8월이 가장 크다.

2. 수질 상호간의 상관분석을 통해 COD농도와 영양염(DIN, DIP)과의 관계는 DIP농도가 85%로 높은 상관성을 보였고, DIN농도와는 74%의 상관성을 보였다. 이로써 진해만에 있어서의 수질상호관련성은 DIP농도와 COD농도의 상관성이 높게 나타난다고 할 수 있다.

3. 집괴분석을 통해 마산만 준설 전·후, 하수처리장 가동 전·후에 대한 해역분할도를 작성하고 구역별 수질변화의 분포를 살펴보았다. 이를 통해 마산만 준설 및 하수처리장 가동으로 인해서 진해만 북부(B2)해역의 오염이 심각함을 알 수 있다.

4. 마산만 준설 및 하수처리장 가동에 따라 수질개선 효과를 기대하였다. 하지만, 수질개선사업 후 마산만 해역의 수질이 개선되지 않았음을 알 수 있다. 이에 대한 상세한 검토가 요구된다.

위의 결론은 앞서 언급하였듯이 수질 항목만을 가지고 평가를 하였다. 추후 진해만 해역의 지속적인 관리를 위해서 저질과의 관계를 고려한 연구가 수행되어야 할 것이다.

#### 참 고 문 헌

- 국립수산과학원 (1989-1994). 한국해양환경조사연보.  
국립수산과학원 (1989-1994). 해양조사연보.  
마산시 (1994). 마산만 준설에 따른 해양환경종합 모니터링.  
조흥연, 채장원 (1998). "진해·마산만 오염부하량의 특성분석",

한국해양해양공학회지, 제10권, 제3호, pp 132-140.

조흥연, 채장원, 정신택 (2000). "하수처리장 건설에 의한 마산만의 오염물질 수지변화", 한국해양해양공학회지, 제12권, 제3호, pp 149-155.

장선덕, 김차겸, 이종섭 (1993). "진해만 조류의 현장관측 및 수리모형실험", 한국수산학회지, 제26권, 제4호, pp 346-352.

한국과학기술원 해양연구소 (1982). 진해만의 적조 및 오염모니터링 시스템 개발을 위한 연구.

해양수산부 (2002). 환경관리해역 환경개선연구.

환경부 (1991). 진해만 일원 오염실태 조사보고서.