

겨울철 부산항 주변해역의 수질과 표층퇴적물 환경특성

박영철 · 양한섭* · 이필용 · 김평중
국립수산진흥원 환경과 · *부산수산대학교 해양학과

Environmental Characteristics of the Seawater and Surface Sediment in the vicinity of Pusan Harbor Area in Winter

Young-Chul PARK, Han-Soeb YANG, Pil-Yong LEE and Pyoung-Joong KIM

National Fisheries Research and Development Agency, Pusan, 626-900, Korea

*Department of Oceanography, National Fisheries University of Pusan, Pusan, 608-737, Korea

The chemical constituents for the seawater and sediment were measured to evaluate pollution in the sea around Pusan Harbor in winter, 1992. The average value of trophic state index (TSI) was 19.4 at the outside of Buk Harbor, 50.4 at the inside of Buk Harbor, 56.3 at the Nam Harbor and 5.0 at the Kamchun Harbor. The high correlation found in salinity-nutrients diagram with AOU suggested that the enrichment of nutrients in Pusan Harbor during winter was mainly due to the influx of terrestrial effluents and partially by regenerated nutrients from suspended organic matters in the water column. The mean values of total ignition loss (TIL), COD and total sulfide in the surface sediments were 12.1%, 17.5 mg/g.dry wt. and 1.18 mg/g.dry wt. respectively. The highest level of those parameters was shown mostly at the inside of Buk Harbor. The mean concentration of total organic carbon (TOC), total organic nitrogen (TON), and total phosphorus were 24.9 mg/g.dry wt., 1.3 mg/g.dry wt. and 0.69 mg/g. dry wt., respectively. Both of the highest level for TOC and total phosphorus have found at the Nam Harbor. On the other hand, the highest level for TON was found at the inside of Buk Harbor. The TOC/TON atomic ratio with a range of 10.2~60.2 (mean value of 22.5) strongly indicated the active role of the input from the terrestrial organic pollutants.

Key words : Pusan Harbor, mixing diagram, TSI, TOC/TON atomic ratio

서론

부산항은 세계에서도 보기드문 미항의 지형조건을 갖추고 있고, 1992년 컨테이너 처리실적 세계 5위의 국내 최대 무역항으로서 1876년 개항된 이후 여러 차례 기능적 변화를 거치면서 우리나라 관문의 기능을 수행하여 왔다. 최근 해양공간의 이용 및 해양레저활동의 증가 등으로 인해 각종 중추기능이 임해지역으로 집중되고, 또한 연안역 개발사업이 활발히 추진되고 있어 부산항이 국제적인 항구로 위상을 높이기 위해서는 친수공간, 조경정리, 경관사용 등도 중요하지

만 수자원의 보전관리 측면도 고려해야 할 것이다.

지금까지 부산항 및 인접수역에 관한 연구로는 부산항 퇴적물 오염 조사연구 (Ro, 1975)에서 저질 COD의 농도분포는 동천하구와 남항지역에서 다소 높고, 중금속의 농도는 이들 지역에서 부산항의 다른 지역에 비해 2배 정도 높다고 보고되었다. 또한, 해수 중 중금속의 농도는 외양수보다 높다는 보고가 있다 (Park, 1975). 부산항의 개발에 따라 해양생태계가 부유물질에 의해 일시적으로 변화 할 것으로 예측한 바 있으며 (Maritime and Port Authority, 1991), 북외항에서 북내항으로 접근할수록 오염 지표종인 *Acartia*

*omorii*의 분포가 우세하다는 연구 보고(Hong et al., 1994)가 있으나, 부산항 수역의 부영양화 및 표층 퇴적물의 유기물 오염과 관련한 조사연구는 전무한 실정이다.

따라서, 본 연구에서는 부산항 항만구역 즉, 북내항, 북외항, 남항, 감천항에 대한 수질의 부영양화 및 표층퇴적물의 화학적 특성에 관하여 연구를 하였으며, 부산항 수역의 환경보전대책 수립을 위한 기초자료로 제공하고자 한다.

재료 및 방법

부산항 주변 해역에서 1992년 12월 해수 및 표층퇴적물의 이화학적 환경특성을 조사하기 위하여 방파제를 중심으로 북외항 (A), 북내항 (B), 남항 (C) 및 감천항 (D)의 4개 해역에서 총 19개 정점 (Fig. 1)에 대하여 현장 관측 및 표·저층수를 Van Dorn 채수기로 채수하였으며, 퇴적물 시료는 중력식 core sampler로 표층퇴적물을 채취하였다.

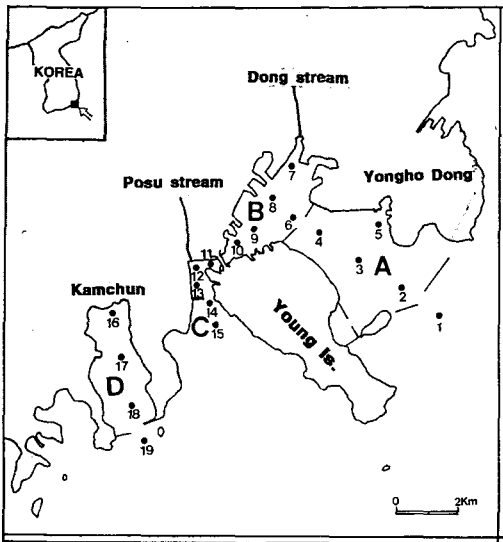


Fig. 1. Location of sampling stations in Pusan Harbor area. (A: outside of Buk Harbor, B: inside of Buk Harbor, C: the Nam Harbor and D: Kamchun Harbor)

수온과 용존산소 (dissolved oxygen, DO)는 현장에서 수질측정기 (Hydrolab surveyer III)로 직접 측정하였고, 나머지 성분들은 채수후 polyethylene 병에 담아 실험실로 옮겨 분석하였다. 해수중 염분은 salinometer (Model 601 MK III)로 측정하였으며, 화학적산소 요구량 (chemical oxygen demand, COD)은 알카리성 과망간산칼륨법 (Carlberg, 1972)으로 측정하였다. 암모니아 질소($\text{NH}_4^+\text{-N}$), 아질산 질소($\text{NO}_2^-\text{-N}$), 질산 질소($\text{NO}_3^-\text{-N}$) 및 인산 인($\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$)은 Strickland and Parsons(1972) 법으로 비색정량하였다. 용존무기질소 (dissolved inorganic nitrogen, DIN)는 암모니아 질소, 아질산 질소 및 질산 질소의 합으로 나타내었다.

표층퇴적물중 총강열감량 (total ignition loss, TIL)은 함수율을 측정한 후 시료를 550°C 에서 4시간 동안 회화시켜 회화 전후의 중량 차이로부터 계산하였다. 화학적산소요구량은 퇴적물 2~3g을 정평한 후 KMnO_4 법으로 정량하였다. 총인 (total phosphorus)은 시료를 막자사발 내에서 미세하게 분쇄한 다음 $\text{K}_2\text{S}_2\text{O}_8$ 과 H_2SO_4 를 첨가한 후 131°C , 2기압하에서 2시간 동안 산분해 시킨 후 인산 인 정량법으로 비색정량하였다. 총황화물은 습시료 0.5~2.0g을 정확히 취하여 가스발생관에 넣고 18N H_2SO_4 용액 2ml를 가스발생관에 첨가하여 검지관으로 측정하였다 (日本水産資源保護協會, 1980). 총유기탄소 (TOC) 및 총유기질소 (TON)는 습시료 약 5g 정도를 비이커에 넣고 1N HCl 용액 약 20ml 정도를 첨가하여 50°C 에서 1시간 동안 가열하여 CaCO_3 를 구축한 후 상등액을 원심분리시킨 다음, 50°C 에서 24시간 동안 건조시켜 미세하게 분쇄한 후 CHN Analyzer (Perkin Elmer Model 2400)로 측정하였다.

결과 및 고찰

1. 수질의 공간적 변화

해수중 각 성분의 해역별 특성을 파악하기 위해 수온, 염분, 용존산소포화도 (dissolved oxygen saturation), 화학적산소요구량 및 영양염류의 정점별 농도 분포 양상을 Fig. 2에 나타내었다.

수온의 범위는 표층수에서 $11.59\sim 14.04^\circ\text{C}$ (평균

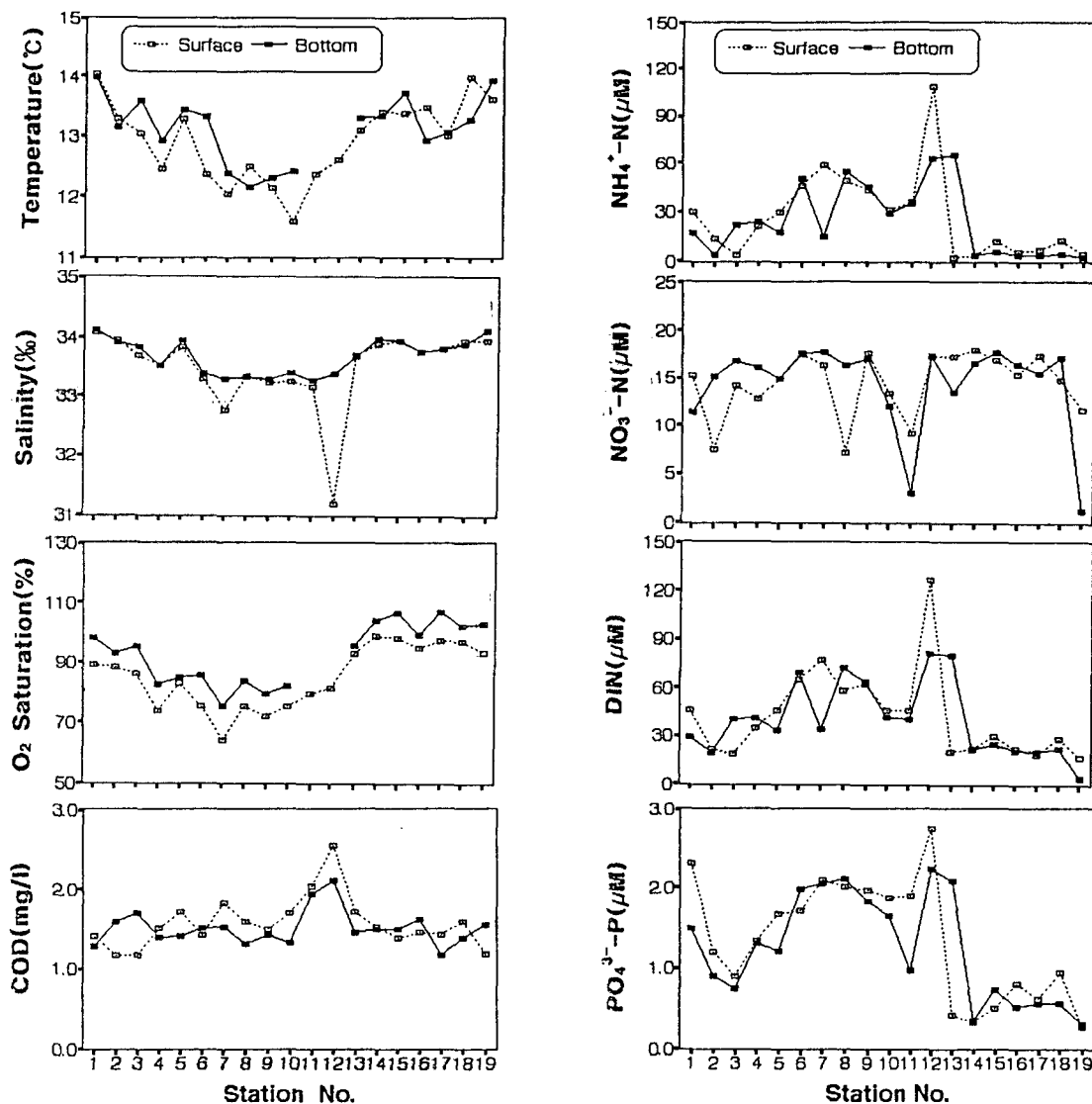


Fig. 2. Distribution of temperature, salinity, O₂ saturation, COD, NH₄⁺-N, NO₃⁻-N, DIN and PO₄³⁻-P in seawaters of Pusan Harbor in winter.

12.93°C)이고, 저층수에서 12.15~13.98°C(평균 13.13°C)로 표층에서 다소 낮으며, 해역별로는 북내항이 남항, 북외항 및 감천항 보다 1°C 정도 낮았다. 염분의 농도 범위는 표층수 31.20~34.07‰(평균 33.48‰), 저층수 33.26~34.12‰(평균 33.67‰)로 동천과 보수천의 영향을 받고 있는 것으로 생각되는 정점 7과 정점 12의 표층수에서 각각 32.75‰ 및 31.20‰로 가장 낮고, 수층별 차이도 크지만, 그의 정점들에서는 표·저층간의 농도차가 그다지 크지 않다. 해역별로는 북

내항과 남항이 북외항과 감천항 보다 약 0.6‰ 정도 낮다. 용존산소포화도는 표층수에서 64.2~98.6%(평균 84.9%)이고, 저층수에서 75.4~107.0%(평균 92.7%)로 저층보다 표층에서 약 8% 정도 낮다. 해역별로는 북내항(76.8%)이 가장 낮고 감천항(99.1%)이 가장 높다. 특히, 용존산소포화도는 수온과 염분의 분포양상과 유사한 경향을 보였다.

화학적산소요구량은 표층수에서 1.16~2.54 mg/l(평균 1.57 mg/l), 저층수에서는 1.16~2.10 mg/l(평균

1.50 mg/l)의 범위로 표·저층간 농도차이는 크지 않으나, 대체적으로 남향과 북내항은 표층수에서 다소 높았으며, 감천항과 북외항에서는 저층수가 다소 높다. 이는 남향과 북외항의 경우 동천과 보수천의 영향을 직접적으로 받고 있기 때문이라고 생각된다.

질소계 영양염류의 농도 분포를 보면, 암모니아 질소의 농도는 표층수에서 2.67~107.97 μM (평균 27.38 μM), 저층수에서 2.12~65.37 μM (평균 24.66 μM)의 범위로서 층별 농도 차이는 그다지 크지 않다. 정점별로는 염분농도가 비교적 낮은 정점 7과 정점 12를 중심으로 이들 정점들과 인접한 정점들에서 암모니아 질소의 농도가 상대적으로 높은 농도를 보인다. 질산 질소의 농도 범위는 표층수와 저층수에서 각각 7.13~17.89 μM (평균 14.38 μM) 및 1.23~17.68 μM (평균 14.34 μM)로 정점별 농도 차이는 다소 크지만, 수층별 차이는 매우 작다. 용존무기질소는 표층수에서 16.48~126.74 μM (평균 42.51 μM), 저층수에서 4.03~81.53 μM (평균 40.00 μM)의 범위로 동천과 보수천의 영향을 받고 있는 정점 7과 정점 12, 13에서는 층별 차이가 크지만, 나머지 정점들에서는 층별 차이가 그다지 크지 않다. 또한, 용존무기질소중 암모니아 질소가 차지하는 비율은 북내항과 남향이 각각 72% 및 68%로 가장 높고, 감천항이 27%로 가장 낮았다. 이처럼 북내항과 남향에서 암모니아의 비율이 높은 것은 동천과 보수천의 영향 때문이라고 생각된다. 이러한 값은 Maritime and Port Authority (1991)가 부산항 일대에서 측정 보고한 연평균값인 35%에 비해 감천

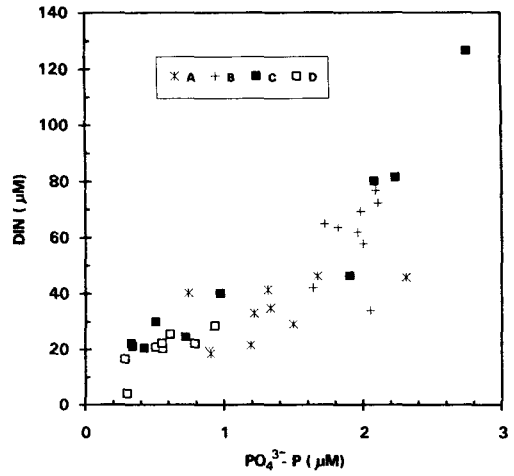


Fig. 3. Plot of DIN versus $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$ in the sea-water of Pusan Harbor in winter. Each symbol indicates the sampling areas.

항이 다소 낮았으며, 생활하수와 공장폐수의 유입원이 없는 득량만에서의 4~11% (Yang et al., 1995) 보다는 현저히 높았다. 인산 인은 표층수에서 0.28~2.75 μM (평균 1.35 μM), 저층수에서 0.30~2.11 μM (평균 1.24 μM)로서 표층수가 저층수에 비해 약간 높다. 특히, 북내항에서 항 바깥쪽으로 갈수록 급격히 감소하다가 항외의 정점 1에서 다시 증가하는 양상을 보이는데 (Fig. 2), 이는 부산항의 해수유동 특성인 왕복류와 밀접한 관련이 있는 것으로 추론되나, 확실한 증거를 찾을 수 없었다.

용존무기질소와 인산 인의 관계 (Fig. 3)를 보면,

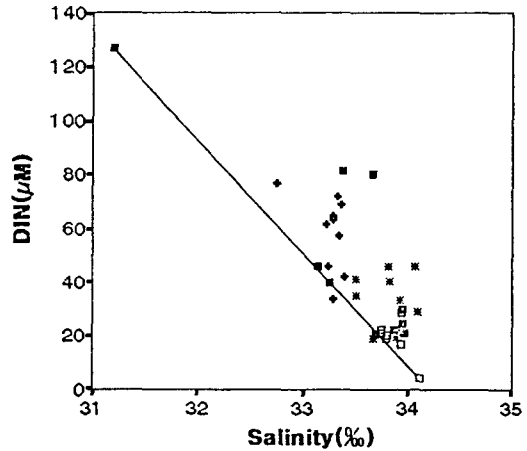
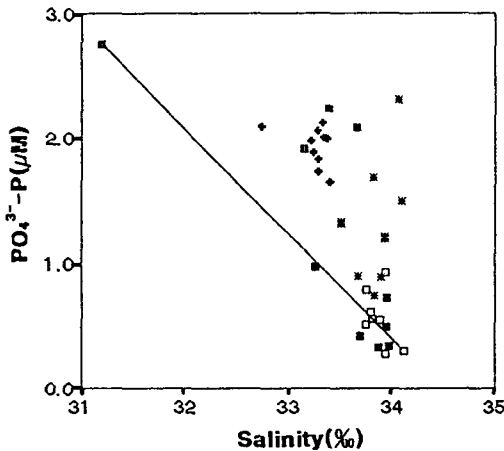


Fig. 4. Plots of $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$ and DIN versus salinity in the seawater in Pusan Harbor in winter. Each symbol is the same as in Fig. 3.

해역에 따라 분산이 다소 심하지만 대체적으로 인산 인이 증가함에 따라 용존무기질소의 농도도 증가하는 양상을 보인다. 특히, 동천과 보수천의 영향을 받고 있는 북내항과 남항에 위치한 대부분의 정점들에서는 인산 인에 비해 용존무기질소의 농도가 현저히 높았다. 해역별 DIN/P의 원자비는 남항이 46으로 가장 높고, 북외항이 27로 가장 낮으며, 전해역의 평균값은 35로서 동계 경기만에서 보고한 평균값 30.2 (Chung and Park, 1988)와 비슷하지만, 일반적으로 해양에서의 N/P의 원자비인 약 15 (Redfield et al., 1963) 보다는 2배 정도 높았다. 이는 인산염에 비해 용존무기질소의 농도가 높은 하천수의 영향을 받고 있기 때문이라고 생각된다.

사 해역별 화학적산소요구량 및 영양염류의 농도가 갑천항 및 북외항에 비해 남항과 북내항에서 높은 이유 중 하나는 동천 및 보수천으로부터의 하천수 유입에 의한 유기물질과 영양염류의 부하량이 현저히 높기 때문이라고 생각된다.

2. 영양염의 변동요인

해수중 영양염 농도를 변화시키는 요인으로는 크게 물리적 요인, 화학적 요인 및 생물학적 요인으로 나눌 수 있다. 특히, 하구역 및 연안역에서 비보존성 성분의 거동을 파악하기 위해 mixing diagram이 주로 이용된다 (Aston, 1978; Saino, 1985). 일반적으로 보존성

성분 (conservative constituent)으로 염분을 사용하며, 염분과 비보존성 성분 (nonconservative constituent)과의 관계로부터 비보존성 성분의 거동을 파악한다. 즉, 서로 다른 두 수괴의 end member를 연결한 이론적 희석직선 (theoretical dilution line)을 긋고, 이 직선의 상부에 plot 될 경우는 비보존성 성분의 첨가 (addition)라 하며, 주로 대기로부터의 유입, 해저퇴적물로부터의 용출, 수주내의 유기물 분해에 의한 비보존성 성분의 생성 등을 들 수 있다. 반면에 이론적 희석직선 보다 아래에 plot 될 경우는 비보존성 성분의 제거 (removal)를 의미하며, 주로 식물플랑크톤 등에 의한 흡수나, 수주내에서 입자물질 등에 흡착 제거될 경우를 들 수가 있다 (Saino, 1985). Fig. 4는 염분에 대해 인산 인 및 용존무기질소의 농도를 plot 한 것이다. Mixing line은 조사자료중 가장 저염을 보인 정점 12의 표층수 (염분 31.20‰)와 최대염분은 나타낸 정점 19의 저층수 (염분 34.12‰)를 end member로 하여 연결하였다. 특히 정점 12의 측정값을 end member로 사용하여 외삽법으로 계산한 농도는 인산 인이 28.93 μM, 용존무기질소가 1,438 μM로 Choi (1986)가 보고한 동천과 대연천에서 인산 인의 농도 40 μM 및 용존무기질소의 농도 1,300 μM과 그다지 큰 차이로 보이지 않는다. 따라서, 본 조사해역에서 영양염의 공급원은 일차적으로 항내로 유입되는 하천수 및 도시하수임을 알 수 있다. 한편, 이러한 기원

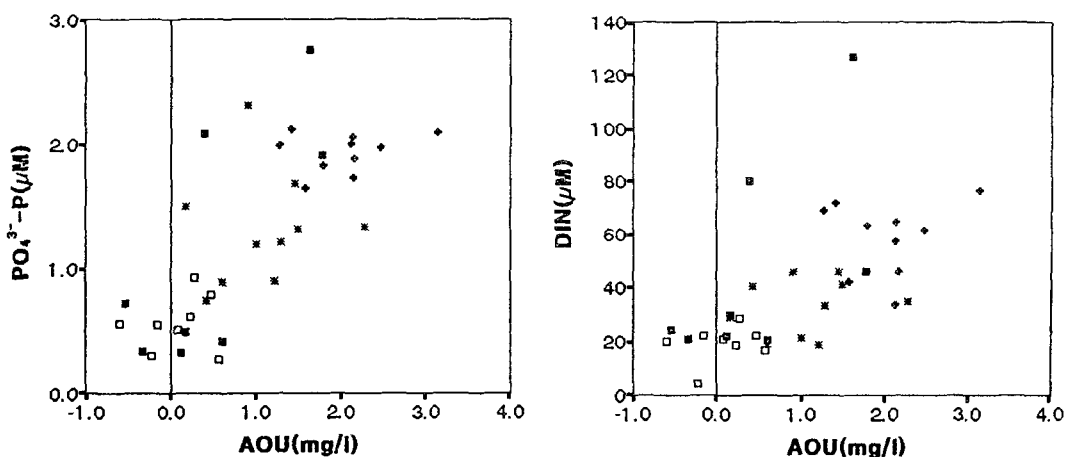


Fig. 5. Plots of $PO_4^{3-}\text{-P}$ and DIN versus AOU in the seawater Pusan Harbor in winter. Each symbol is the same as in Fig. 3.

Table 1. Trophic state index(TSI) of seawater in Pusan Harbor and reference area (Mean values and standard deviations are in parenthesis)

Area	Surface	Bottom	Reference
A (sta. 1~ 5)	5.7~43.3 (23.3 ± 15.3)	8.0~22.0 (15.5 ± 4.5)	This work
B (sta. 6~10)	42.6~85.8 (56.2 ± 15.4)	26.6~60.0 (44.7 ± 13.7)	〃
C (sta. 11~15)	3.3~258.1 (64.8 ± 98.4)	3.1~111.3 (42.8 ± 41.7)	〃
D (sta. 16~19)	1.6~12.2 (6.5 ± 3.9)	0.5~5.0 (3.6 ± 1.8)	〃
Masan Bay	16.1~56.8 (32.4 ± 14.8)	8.3~36.1 (18.2 ± 9.1)	Choi (1993)
Masan Harbor	9.4~729.0 (205.5 ± 255.2)		BNFRDA (1993)

으로부터 유입된 영양염이 오직 물리적 혼합에 의해서만 조절된다면 항내에서 염분과 인산 인 및 용존무기질소 농도와와의 관계에서 이론적 혼합직선상에 plot 될 것이다. 그러나, 본 연구에서 측정된 영양염 농도 자료의 대부분은 이론적 회색직선 상부에 plot 되는 것으로 보아, 또다른 요인, 즉 수주 (water column) 내의 유기물 분해에 의한 영양염류의 재생 혹은 해저 퇴적물로부터 용출되어 해수중으로 공급되어지는 것을 가정할 수 있다. 생화학적 과정인 유기물 분해에 의한 영양염 재생을 알아보기 위해 겉보기 산소요구량 (apparent oxygen utilization, AOU)과 영양염과의 관계를 Fig. 5에 나타냈다. AOU는 포화산소량에서 실측한 용존산소량을 뺀 값으로, (+) 값은 유기물 분해로 소비된 산소량, (-) 값은 광합성에 의해 생성된 산소량을 의미한다. Fig. 5를 보면, 감천항의 정점 17, 18, 19와 남항의 바깥쪽에 위치한 정점 14, 15의 저층수를 제외한 모든 정점에서 AOU와 인산 인 및 용존무기질소와의 관계에서 AOU가 (+) 값을 보이는 것으로 보아 수주내에서 유기물의 생화학적 분해 과정에 의해 영양염이 재생되는 것으로 사료된다. 그러므로, 북내항과 남항에서 영양염 농도의 변동 요인은 첫째 부산항으로 유입되는 하천수이고, 둘째 수주내에서 유기물질의 생화학적 분해에 의한 영양염 재생에 기원된 것이다. 그러나, 감천항과 남항의 바깥쪽 정점들에서 AOU값이 (-)를 보이는 것은 이 정점들의 염분농도가 다른 정점들에 비해 상대적으로 높은 것으로 보아 용존산소농도가 풍부한 외해수의 영향을 받기 때문이라고 생각된다.

3. 부영양화 지수(TSI)

해역의 부영양화를 판정하는 지표인 부영양화 지수 (trophic state index, TSI)는 다음 식으로 계산된다 (Carlson, 1977).

즉, 부영양화 지수

$$= \frac{\text{COD}(\text{mg/l}) \times \text{DIN}(\mu\text{M}) \times \text{PO}_4^{3-}\text{P}(\mu\text{M})}{3.43}$$

여기서, 부영양화 지수 1은 초기 적조발생시 규조류 세포수 1,000 cells/ml를 한계로 이 때 규조류중 탄소량 0.83 mg/l (COD로서 1.0 mg/l)과 용존무기질소 및 인산 인의 적조발생 가능농도 (日本水産資源保護協會, 1972)인 7.14 μM 및 0.48 μM의 상태를 의미한다. 위 식으로부터 계산한 부영양화 지수를 Table 1에 나타내었다. 표층수중 부영양화 지수는 1.6~258.1 (평균 39.3)이고, 저층수에서는 0.5~111.3 (평균 27.9)의 범위로 표층수가 저층수보다 다소 높은 값을 보인다. 해역별로는 남항과 북내항에서 평균 50이상, 북외항에서 평균 23정도이며, 감천항에서는 평균 6으로 가장 작다. 또한, 남항과 북내항에 대한 부영양화 지수는 마산만 (Choi, 1993) 보다는 다소 높지만 마산항에서 하계에 조사한 값 (BNFRDA, 1993) 보다는 현저히 작다 (Table 1). 이처럼, 부영양화 지수가 1이상에서는 연속적이고 장기간에 걸친 식물성부유생물의 대량번식 가능성이 있다.

4. 표층퇴적물의 환경 특성

가. 각 성분의 정점별 농도분포

표층퇴적물중 COD의 농도 범위는 5.05~43.67 mg/g.dry(평균 17.45 mg/g.dry)로 동천입구에 인접한 정점 7에서 가장 높고, 이 정점을 중심으로 한 북내항 정점들에서 상대적으로 높은 농도를 보인 반면, 감천항에서 가장 낮은 농도를 보인다(Fig. 6). 또한, 북의항에서는 항내 정점에서 항 바깥쪽으로 갈수록 농도가 급격히 감소하는 경향을 보인다. 대체적으로 남항의 항내 정점들과 북내항의 정점들에서는 오염퇴적물 기준(日本水産資源保護協會, 1972)인 20 mg/g.dry를 초과하고 있으나, 진해만에서 표층퇴적물중의 평균 농도인 약 30 mg/g.dry(Choi, 1993; BNFRDA, 1993) 보다는 훨씬 낮다. 그러나, 부산항에서 1991년 동계 측정값 15~42 mg/g.dry(Maritime and Port Authority, 1991)과는 비슷한 범위이다. 한편, Ro(1975)가 본 조사해역에서 조사한 결과와 비교해 보면(Fig. 7) 감천항에서는 18년 전의 값과 비슷하나 북내항에서는 약 3배, 남항에서는 약 2배 정도 증가하였다.

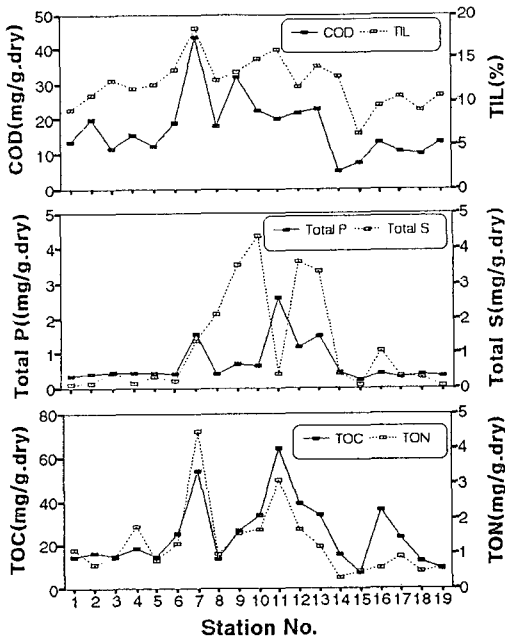


Fig. 6. Concentration of COD & TIL, total P & total S and TOC & TON in the surface sediment of Pusan Harbor in winter.

표층퇴적물중 총강열감량은 6.3~18.5%(평균 12.1%)의 범위로 정점별 농도 차이가 그다지 크지 않음

나, COD와 마찬가지로 북내항에서 가장 높고, 감천항에서 최소값을 보인다. 그리고, 북내항에서의 총강열감량의 평균농도 14.6%는 진해항에서의 10.6%(BNFRDA, 1993)에 비해 다소 높다. 또한, Ro(1975)의 해역별 평균치 자료에 비하면 본 연구결과가 북내항에서는 약 2배 정도 높았으나 나머지 해역에서는 1.4~2.6% 높다(Fig. 7). 이처럼, 북내항에서 총강열감량이 18년 전보다 현저히 높아진 것으로 보아 해저퇴적물중 유기물 오염이 급속히 진행 되었음을 알 수 있다.

표층퇴적물중 총화화물의 농도는 0.06~4.37 mg/g.dry(평균 1.18 mg/g.dry)의 범위로 정점별 차이가 다소 크다. 오염퇴적물 기준(日本水産資源保護協會, 1972)인 0.2 mg/g.dry에 비해 북내항에서는 최고 22배, 남항에서는 최고 18배 정도 높다. 이러한 값들은 양식활동이 활발한 진동만에서의 0.34 mg/g.dry(BNFRDA, 1994), 원문만에서의 0.21 mg/g.dry(BNFRDA, 1991) 및 경기만, 천수만, 여자만, 가막만, 광양만, 한산-거제만, 진해만 및 영일만에서 각각 0.06, 0.28, 0.04, 0.46, 0.11, 0.12, 1.12 및 0.48 mg/g.dry(Kang et al., 1993)보다는 훨씬 높다.

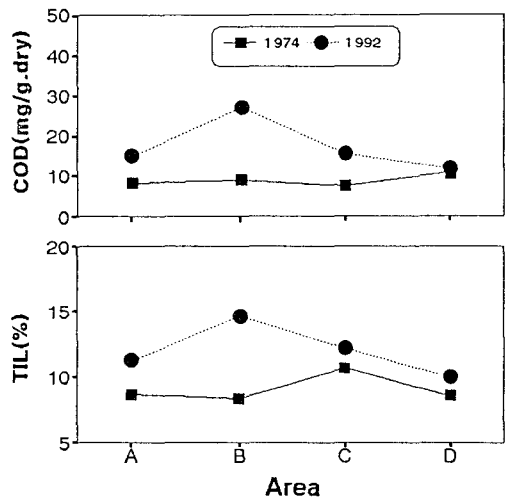


Fig. 7. A secular of COD and TIL contents in the surface sediment in Pusan Harbor in winter.

표층퇴적물중 총인의 농도범위는 0.23~2.62 mg/g.dry(평균 0.69 mg/g.dry)로 동천의 영향을 받고 있는 북내항의 정점 7 및 보수천의 영향을 받고 있는 남항의 정점 11에서 13까지의 해역에서는 1.0 mg/g.dry

이상의 농도로 비교적 높으나, 그밖의 다른 정점들에서는 0.3 mg/g.dry 전후의 농도로 정점별 차이는 매우 작다. 또한, 위의 4개 정점을 제외한 나머지 정점들에서의 농도범위는 원문만에서의 평균값 0.65 mg/g.dry (Park, 1993)과도 비슷하다. 이처럼, 표층퇴적물중 총인의 정점별 농도 차이가 크지 않은 것은 퇴적물과 저층수 사이에서 인산 인의 흡탈착 및 용출이 계속적으로 일어나는 완충작용에 기인된 결과 때문이라고 생각된다 (Watanabe and Tsunogai, 1984).

표층퇴적물중 총유기탄소 농도범위는 7.1~63.8 mg/g.dry (평균 24.9 mg/g.dry)로 남향과 북내향이 각각 31 mg/g.dry 및 32 mg/g.dry로 가장 높았고, 북외향에서는 15 mg/g.dry로 가장 낮았다. 그리고, 남향의 정점 11과 북내향의 정점 7에서 다른 정점들에 비해 높은데, 이는 보수천과 동천의 직접적인 영향을 받고 있기 때문이라고 생각된다. 이들 두 정점의 농도는 경기만, 천수만, 여자만, 가막만, 광양만, 한산-거제만, 진해만 및 영일만에서 각각 평균 5.3, 7.4, 7.9, 10.1, 12.2, 16.8, 23.6 mg/g.dry 및 12.3 mg/g.dry로서 (Kang et al, 1993) 경기만보다 최대 12배, 진해만보다 최대 3배정도 높다.

표층퇴적물중 총유기질소의 농도범위는 0.3~4.5 mg/g.dry (평균 1.3 mg/g.dry)로 북내향이 2.0 mg/g.dry로 가장 높고, 감천항이 0.7 mg/g.dry로 가장 낮다. 본 연구 해역에서 총유기질소의 농도는 경기만, 천수

만, 여자만, 가막만, 광양만, 한산-거제만, 진해만 및 영일만에서 각각 0.8, 1.1, 1.3, 1.4, 1.1, 1.9, 2.6 mg/g.dry 및 2.1 mg/g.dry (Kang et al, 1993)로서 경기만 보다 최대 5배, 진해만 보다 최대 2배정도 높다.

나. 표층퇴적물의 C/N 비

총유기탄소와 총유기질소의 비(C/N ratio)는 해양 퇴적물 내로 유입되는 유기물질의 기원을 밝히는 추적자(indicator)로서 널리 이용되고 있으며, C/N 비가 10 이상일 경우는 육상기원 유기물질 유입의 영향을 크게 받고 있음을 의미하며 (Parsons, 1975), 그 비가 8 이하일 경우는 수역 자체에서 생성된 생물기원 유기물질의 퇴적이 큰 것으로 이해할 수 있다 (Pocklington and Leonard, 1979). 본 연구해역에서 조사한 표층퇴적물중 총유기탄소와 총유기질소 및 총인과의 상관관계를 Fig. 8에 나타내었다.

표층퇴적물중 총유기탄소와 총유기질소 사이에는 분산이 다소 심하지만 대체적으로 좋은 정의 상관성 ($TOC = 12.22 \times TON + 8.93$, $r = 0.81$)을 나타내고 있으며, 기울기가 10 이상인 것으로 보아 육상기원 유기물질의 유입에 의한 영향을 받고 있다고 생각된다. 또한, C/N 비의 해역별 평균값은 감천항과 남향이 각각 31.6과 27.6으로 북내향과 북외향 보다 약 2배 정도 높은데, 이는 북내향에서의 총유기탄소가 남향과 비슷하지만 감천항보다 약 1.6배 정도 높은 반면에, 총유기질소는 북내향이 남향 보다 약 1.5배 높고 감천

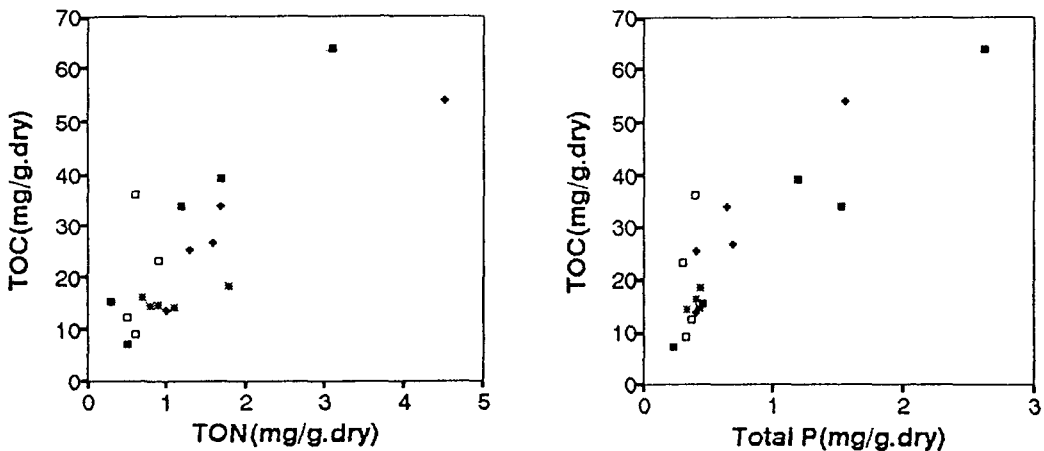


Fig. 8. Plots of TON and total Phosphorus against TOC in the surface sediment of Pusan Harbor in winter.

항 보다는 약 3배 정도 높은 것으로 보아 북내항의 경우 주로 생활하수의 영향을 많이 받고 있는 반면에 남항과 감천항에서는 목재폐기물과 같은 육상식물조각들이 혼합되었기 때문이라고 생각된다 (Iseki et al., 1984). 또한, 감천항과 남항에서의 C/N 비는 Kang et al. (1993)이 보고한 서해 경기만, 군산연안, 목포연안, 득량만, 광양만, 한산거제만 및 진해만의 7~11 범위 값에 비해 약 2~3배의 높은 값을 보인다. 이처럼 부산항의 표층퇴적물중 C/N비 값이 다른 연안해역들 보다 높은 것은 육상기원 유기물질의 유입에 의한 영향을 크게 받고 있는 것으로 사료된다.

표층퇴적물중 총유기탄소와 총인 사이에는 비교적 좋은 정의 상관성 (Fig. 8)을 보이며, 두 성분 간의 상관관계식은 $TOC=22.07(Total P)+9.58$ ($r=0.88$)이다. 이처럼, 두 성분 사이에 좋은 상관성을 보이는 것으로 보아 총인의 기원 또한 육상기원 유기물질의 유입에 의한 영향을 받고 있는 것으로 생각된다.

요 약

부산항 주변 해역의 이화학적 특성을 파악하기 위하여 1992년 12월에 해수 및 표층 퇴적물중 오염지표 항목들을 측정하였다.

염분과 영양염류, AOU와 영양염류의 상관관계로 보아 겨울철 부산항에서 영양염류의 농도는 주로 도시하수의 유입에 의해 좌우되며, 수주내의 유기물 분해와 같은 생화학적 과정에 의한 영양염 재생에 따른 영향도 다소 나타나고 있다.

부영양화 지수 (TSI)는 평균 33.6 (범위 0.5~258.1) 이고, 북외항, 북내항, 남항 및 감천항에서 각각 평균 19, 50, 56 및 5로 남항에서 가장 높은 부영양화 지수를 보인다.

표층퇴적물중의 총강열감량, COD 및 총황화물의 평균 농도는 각각 12.1%, 17.5 mg/g.dry 및 1.18 mg/g.dry 였으며, 북내항에서 가장 높다. 그리고, Ro (1975)의 자료에 비해 총강열감량과 COD는 북내항에서 2~3배 정도 높은 농도를 보인다.

표층 퇴적물중 총유기탄소와 총유기질소 및 총인의 평균 농도는 각각 24.9, 1.3 및 0.69 mg/g.dry 였으며, 총유기탄소와 총인의 농도는 남항에서 가장 높은 농

도를 보인 반면에, 총유기질소의 농도는 북내항에서 가장 높은 농도를 보였다. 특히 부산항 퇴적물중 TOC/TON 비값은 평균 22.5 (범위 10.2~60.2)로서 육상기원 유기물질의 퇴적이 우세하였다.

참 고 문 헌

- Aston, S. R. 1978. Conservative and non-conservative behaviour during estuarine mixing. In "Chemical Oceanography" (ed. by I. J. P. Riley and G. Skirrow), 2nd ed., Vol. 7, Academic Press. London, England, 508pp.
- Bull. Nat. Fish. Res. Dev. Agency. 1991. Studies on environmental capacity in the coastal growing area of Wonmun Bay. 139pp.
- Bull. Nat. Fish. Res. Dev. Agency. 1993. Studies on the development of restoration techniques to improve the polluted sediments of coastal shellfish and finfish growing areas. 317pp.
- Bull. Nat. Fish. Res. Dev. Agency. 1994. Study on the phenomena of coastal eutrophication and red tide. 181pp.
- Carlberg, D. R. 1972. New Baltic manual with method for sampling and analysis of physical, chemical and biological parameters. Inter, Council for Exploration of the sea, Charlottelund slot, Dk-2920 Charlottelund, Denmark.
- Carlson, R. E. 1977. A trophic index for lakes. *Limnol. Oceanogr.*, 21(2), 361~369.
- Choi, W. J. 1986. Effects of nonpoint pollution on water quality of streams in Pusan. M. thesis, Nat. Fish. Univ. of Pusan, 44 pp.
- Choi, W. J. 1993. Numerical simulation of the oxygen deficient water mass in Jinhae Bay. Ph. D. thesis, Nat. Fish. Univ. of Pusan, 97 pp.
- Chung, K. H. and Y. C. Park. 1988. Primary production and nitrogen regeneration by macrozooplakton in the Kyunggi Bay, Yellow Sea. *J. Oceanogr. Soc. Korea*, 23, 194~206.
- Hong, S. Y., C. W. Ma and Y. S. Kang. 1994. Distri-

- bution of Copepod indicator species and zooplakton communities in Pusan Harbor, Korea. *J. Oceanogr. Soc. Korea*, 29(2), 132~144.
- Iseki, K., R. W. Macdonald and C. S. Wong. 1984. Effect of wood waste dumping on organic matter in seawater and surficial sediments of Albermi Inlet, British Columbia. *J. Oceanogr. Soc. Japan*, 40, 213~220.
- Kang, C. K., P. Y. Lee, J. S. Park and P. J. Kim 1993. On the distribution of organic matter in the nearshore surface sediment of Korea. *J. Kor. Fish. Soc.*, 26(6), 557~566.
- Maritime and Port Authority. 1991. An environmental assessment on the four level development of Pusan Harbor. 546 pp.
- Park, S. Y. 1975. Determination of rare heavy metal concentrations in the sea water from Pusan harbour. A collection of learned papers of Korea Maritime University, Vol. 10, 169~178.
- Park, J. S. 1993. Fractionation and release rate of phosphorus in sediment of Wonmun Bay. M. thesis, Nat. Fish. Univ. of Pusan, 37 pp.
- Parsons, T. R. 1975. Particulate organic carbon in the sea. in J. P. Riley and G. Chemical Oceanography(ed. by J. P. Riley and G. Skirrow), 2nd ed., Academic Press. London, England, 647 pp.
- Pocklington, R. J. and D. Leonard. 1979. Terrigenous organic matter in sediment of the St. Lawrence Estuary and the Saguenay Fjord. *J. Fish. Res. Bd. Can.*, 36, 1250~1255.
- Redfield, A. C., B. H. Ketchum and F. A. Richards. 1963. The influence of organisms on the composition of seawater. in "The Sea"(ed. by M. N. Hill), Wiley Interscience, 26~77.
- Ro, Y. J. 1975. Distribution of heavy metals in bottom mud of the Pusan Bay. A collection of learned papers of Pusan University, Vol.19, 171~179
- Saino, T. 1985. Nutrient dynamics in the esturine and coastal withers. *Bull. Coastal Oceanogr.* 23 (1), 88~103.
- Strickland, J. D. H. and T. R. Parsons. 1972. A practical handbook of seawater analysis. *Bull. Fish. Res. Bd. Canada*, 167, 311 pp.
- Watanabe, Y. and S. Tsunogai. 1984. Adsorption-desorption control of phosphate in anoxic sediment of a coastal sea, Funka Bay. *Japan Mar. Chem.*, 15, 71~83.
- 日本水産資源保護協會. 1972. 水産環境水質基準. 87 pp.
- 日本水産資源保護協會. 1980. 水質汚濁調査指針. 257 pp.

1995년 8월 5일 접수

1995년 9월 11일 수리

겨울철 부산항 주변해역의 수질과 표층퇴적물 환경특성

Appendix 1. Water quality condition near Pusan Harbor in winter, 1992

Sta. No.	Layer	Temp. (°C)	Sal. (‰)	DO		COD (mg/l)	PO ₄ ³⁻ -P	NH ₄ ⁺ -N	NO ₂ ⁻ -N	NO ₃ ⁻ -N	DIN
1	S	14.04	34.07	7.43	1.40	2.31	29.73	1.06	15.19	45.98	
	B	13.98	34.10	8.18	1.28	1.49	17.02	0.80	11.37	29.19	
2	S	13.28	33.93	7.48	1.16	1.19	13.30	0.80	7.51	21.62	
	B	13.16	33.90	7.89	1.58	0.89	13.80	0.68	15.08	19.56	
3	S	13.03	33.68	7.32	1.16	0.90	3.68	0.86	14.07	18.61	
	B	13.58	33.83	8.01	1.69	0.74	22.19	1.39	16.73	40.31	
4	S	12.45	33.51	6.38	1.50	1.33	21.29	0.93	12.74	34.96	
	B	12.93	33.51	7.07	1.39	1.31	24.48	0.90	16.08	41.46	
5	S	13.28	33.82	7.03	1.71	1.67	30.13	1.26	14.89	46.28	
	B	13.44	33.93	7.16	1.40	1.21	17.46	0.81	14.86	33.13	
6	S	12.37	33.29	6.53	1.42	1.72	46.28	1.30	17.42	65.00	
	B	13.32	33.37	7.41	1.50	1.98	50.37	1.41	17.49	69.27	
7	S	12.04	32.75	5.63	1.83	2.09	58.84	1.88	16.21	76.93	
	B	12.38	33.29	6.54	1.52	2.05	15.46	0.87	17.68	34.01	
8	S	12.50	33.34	6.53	1.58	2.00	49.18	1.52	7.13	57.83	
	B	12.15	33.33	7.30	1.31	2.11	54.61	1.39	16.21	72.21	
9	S	12.13	33.22	6.25	1.49	1.96	43.12	1.50	17.51	62.13	
	B	12.31	33.29	6.89	1.41	1.82	45.44	1.31	17.02	63.77	
10	S	11.59	33.24	6.66	1.69	1.87	31.52	1.34	13.34	46.20	
	B	12.41	33.40	7.09	1.32	1.64	29.03	1.18	11.97	42.18	
11	S	12.36	33.15	6.90	2.04	1.90	36.02	1.32	9.05	46.39	
	B	-	33.26	-	1.94	0.97	35.84	1.35	2.96	40.15	
12	S	12.61	31.20	7.12	2.54	2.75	107.97	1.58	17.19	126.74	
	B	-	33.38	-	2.10	2.23	62.84	1.39	17.30	81.53	
13	S	13.10	33.70	7.91	1.71	0.42	2.67	0.56	17.21	20.44	
	B	13.30	33.67	8.10	1.44	2.08	65.37	1.33	13.49	80.19	
14	S	13.40	33.88	8.34	1.52	0.33	3.57	0.77	17.89	22.23	
	B	13.34	33.97	8.80	1.49	0.34	4.06	0.52	16.49	21.07	
15	S	13.37	33.95	8.29	1.37	0.50	12.09	0.97	16.90	29.96	
	B	13.71	33.95	8.94	1.49	0.72	6.21	0.83	17.63	24.68	
16	S	13.47	33.75	7.98	1.45	0.79	6.29	0.74	15.33	22.36	
	B	12.93	33.75	8.47	1.62	0.51	3.68	0.72	16.38	20.78	
17	S	13.00	33.80	8.30	1.41	0.61	7.43	0.76	17.36	25.55	
	B	13.05	33.81	9.12	1.16	0.56	4.12	0.79	15.36	20.27	
18	S	13.98	33.94	8.08	1.58	0.93	12.88	0.93	14.74	28.55	
	B	13.27	33.89	8.64	1.37	0.55	4.52	0.70	17.10	22.32	
19	S	13.61	33.94	7.85	1.18	0.28	4.23	0.71	11.54	16.48	
	B	13.92	34.12	8.60	1.54	0.30	2.12	0.68	1.23	4.03	

Appendix 2. Sediment quality condition near Pusan Harbor in winter, 1992

St. No	TIL (%)	(mg/g.dry)					C/N
		COD	Total S	TOC	TON	Total P	
1	9.1	13.42	0.11	14.30	1.10	0.34	13.0
2	10.8	19.79	0.12	16.30	0.70	0.41	23.3
3	12.4	11.56	0.45	14.70	0.90	0.43	16.3
4	11.5	15.34	0.13	18.40	1.80	0.44	10.2
5	12.0	12.43	0.31	14.60	0.80	0.43	18.3
6	13.7	18.94	0.19	25.40	1.30	0.41	19.5
7	18.5	43.67	1.37	53.90	4.50	1.55	12.0
8	12.5	17.84	2.16	13.80	1.00	0.41	13.8
9	13.4	32.05	3.52	26.80	1.60	0.69	16.8
10	14.9	22.50	4.37	34.00	1.70	0.65	20.0
11	15.9	20.15	0.41	63.80	3.10	2.62	20.6
12	11.7	21.73	3.64	39.20	1.70	1.19	23.1
13	14.0	22.87	3.37	34.00	1.20	1.52	28.3
14	12.9	5.05	0.40	15.50	0.30	0.46	51.7
15	6.3	7.43	0.07	7.10	0.50	0.23	14.2
16	9.5	13.10	1.07	36.10	0.60	0.40	60.2
17	10.6	10.57	0.33	23.40	0.90	0.30	26.0
18	9.0	10.00	0.30	12.50	0.50	0.37	25.0
19	10.7	13.14	0.06	9.10	0.60	0.33	15.2