

도수후 동천의 수질환경개선 효과분석

최종욱[†] · 유숙진 · 김주인 · 손정원 · 권기원
환경조사과

Evaluation of Aquatic Environmental Quality in the Dong Stream After Supplying Clean Sea Water

Jong-Wook Choi[†], Sook-Jin Yoo, Chu-In Kim, Jeong-Won Son and Ki-Won Kwon
Environmental Research Division

Abstract

The pumping system was constructed to supply clean sea water into Dong stream for improving water quality by dilution effect and for obtaining better environmental condition by maintaining adequate water volume in 2010. Total 50,000 t/d of clean sea water is pumped from sea potter below the down region of Dong stream. And then 30,000 t/d, 10,000 t/d and 10,000 t/d of them are separately supplied to Kangmoo bridge of upper region, Bum4 bridge and Bum3 bridge of middle region in Dong stream, respectively. In order to compare aquatic environmental quality after supplying sea water, water quality, sediment oxygen demand(SOD) and benthic macroinvertebrates in sediment were investigated in Dong stream. In 2010, the yearly mean concentration of DO sharply increased to 8.7 mg/L at Kwangmoo bridge being close to supplying point of clean sea water compared to that of DO 2.7 mg/L in 2007 and 2.3 mg/L in 2008. And that of DO in 2010 was ranged from 4.0 mg/L from 5.6 mg/L at other sites compared to ranged from 0.9 mg/L to 1.9 mg/L in 2008. The level of DO was steadily maintained at Kwangmoo bridge, while that of DO was influenced and fluctuated by combined sewer overflow(CSO) at other sites. The yearly mean concentration of COD was improved to 3.5 mg/L at Kwangmoo bridge after supplying sea water compared to 13.4 mg/L in 2007 and 12.5 mg/L in 2008. That of COD was 7.3 mg/L and 6.3 mg/L at Jeonpo junction and Bum4 bridge in 2010 compared to 17.4 mg/L and 11.7 mg/L in 2008, respectively. But that of COD was not varied after and before supplying sea water at Bum1 bridge, lower region of Dong stream. In SOD analysis, DO was consumed 2.73 mg/L by sediment based on 5 hours running in Dong stream, which was calculated 2.65g/m² · d of SOD. The level of SOD in Dong stream was classified to inlet sediment of urban swage line. Benthic macroinvertebrates was investigated after supplying sea water. Four species were collected and most of them were Limnodrilus gotoi, indicator of polluted watershed. The number of Limnodrilus gotoi becomes increased with time after supplying sea water.

Key words : Dong stream, Water quality, SOD, Benthic macroinvertebrates, Limnodrilus gotoi

서론

도시하천의 수질은 유역의 인구증가와 토지 이용도에 따라 상하류간에 매우 이질적인 양상을 보여 상류유역은 다수의 농경지 내지는 산지들로 농촌 성향이 강하고, 중하류유역은 시가지를 갖춘 전형적인 도시성향이 강하다^{1,2,3}. 도시하천은 불수층 증가의 긴천화, 인공지형변화의 수계 변화, 유출량 증가의 유량 변화, 지하수 고갈과 오염 및 하수에 의한 수질오염

등으로 인한 다양한 문제점을 수반하고 있다^{4,5}. 특히 도심을 관통하는 하천은 대부분이 복개되어 하천으로서의 역할보다는 도시 하수구같이 생활하수의 배출통로로 이용되어 왔기 때문에 친수공간으로서의 하천 복원은 매우 복잡하고 어려워 많은 예산과 시간이 필요한 현실적 문제이다. 부산의 대표적 도시하천인 동천의 경우도 80% 이상이 복개되어 있기 때문에 복개 내부로 오염원 유입관리가 쉽지 않고 비가 오면 쉽게 오염이 심화되는 하천관리가 쉽지 않은 하천 중 하나이다.

[†]Corresponding author. E-Mail: jemichoi@korea.kr
Tel : +82-51-757-6937, Fax : +82-51-759-2964

부산광역시에서는 2004년 이후로 동천환경개선을 통하여 북개 내부에서 유입되는 하수를 줄이기 위하여 하수관거를 확충 정비하는 등의 사업으로 10여년전 광무교의 BOD가 50 mg/L이상 되었던 것이 2007년도에는 11.5 mg/L로 수질이 개선되고 있다는 가시적인 효과로 나타났지만⁶⁾ 우기시 하수관거 월류수의 유입, 감소하천으로 인한 유입 오염원의 하천내 잔류, 유지용수의 부족 등으로 수질 개선에 많은 어려움이 상존하였다.

이러한 동천의 문제점을 보다 근원적으로 해결하기 위하여 부산광역시에서는 유지용수 확보계획 중 가장 효율성이 높은 동천 하류 북항의 맑은 해수를 도수하는 방안을 채택하였다. 따라서 153억원의 예산을 투입하여 유지용수 확보를 위한 해수도수사업, 하상의 퇴적오니 준설사업, 하천주변 환경정비사업 등을 함께 추진하였다. 해수도수 사업은 도수시 수질변화 예측 시뮬레이션 기초연구 결과를 토대로 74억원의 사업비를 투입하여 북항의 해수 5만톤을 끌어올려 미복개 구간 상류인 광무교 지점 5만톤/일, 범4호교 1만톤/일, 범3호교 1만톤/일을 각각 분배 방류하도록 공사를 실시하여 2010년 5월에 완료하여 본격적인 해수 도수를 시작하였다.

본 연구에서는 해수도수 이후 동천의 수환경 변화를 비교분석하기 위하여 하천으로 유입된 오염물질에 대한 오염도조사를 비롯하여 하상저질의 거동 파악을 위한 저질산소소모량(SOD, sediment oxygen demand)분석과 도수 이후 생태 변화를 파악하기 위한 저서성대형무척추동물 서식조사를 실시하였다.

재료 및 방법

시료채취

동천의 해수도수는 북항 입구의 바닷물 5만톤을 미복개 구간 상류의 광무교 지점에 3만 t/day을 시작으로 하류쪽으로 내려오면서 범4호교 지점에 1만 t/day, 범3호교 지점에 1만 t/day을 분배 방류하도록 설계되었으며 해수도수 도식도와 시료채취 지점은 Fig. 1과 같다. 도수 전, 후의 수질비교를 위해서 시료채취는 부산지역 하천 수질측정망 지점과 일치하는 광무교(St.1), 전포천 합류지점(St.2), 범4호교(St.3), 범일교(St.5) 지점과 방류지점인 범3호교(St.4) 지점 등 총 5개 지점에 대하여 공사 완료시점인 2010년 4월부터 매월 실시하였고, 하천 저질의 용존산소 소비를 거동을 위한 SOD분석을 위한 시료채취는 범4호교 지점에서 실시하였고, 생태변화 조사를 위한 저서성 무척추동물에 대한 조사는 광무교 지점의 낙차공 전후와 나머지는 수질시료 채취지점과 동일한 지점에서 실시하였다.

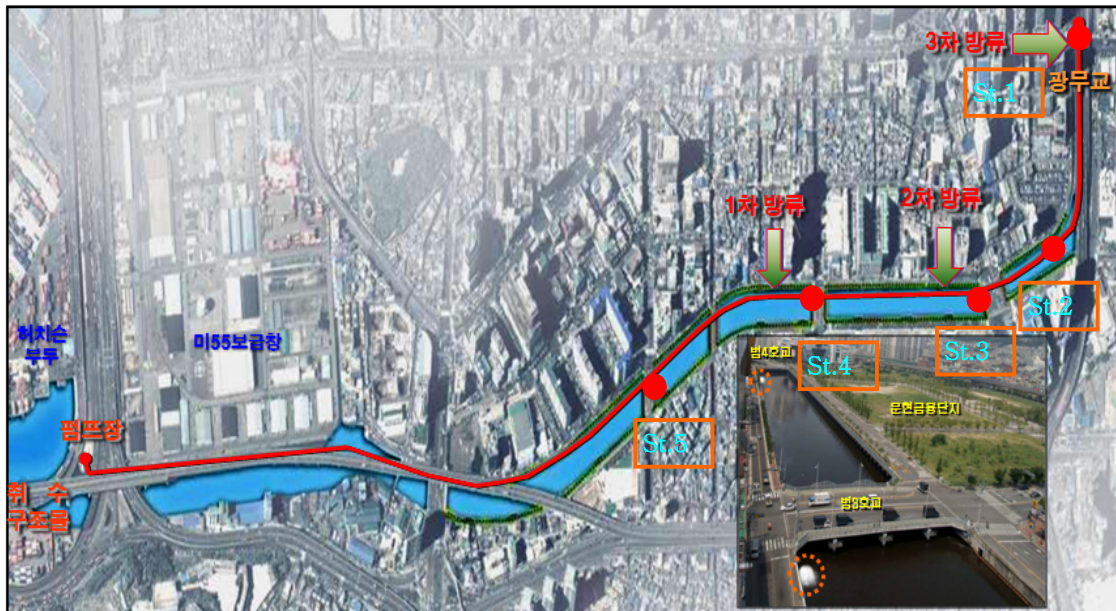


Fig. 1. Schematic of sea water supplying line and sampling sites.

분석항목 및 실험방법

수질조사

현장측정기(YSI 556MPS)를 이용하여 현장측정 항목인 수온, pH, 염분, 용존산소를 현장에서 측정하였고, 시험실 분석 항목은 도수 이후 바닷물에 가까운 염분도가 유지되고 있는 관계로 BOD는 조사 항목에서 제외하고 COD 등 5개 항목에 대하여 수질오염공정시험방법⁷⁾에 따라서 분석하였다.

SOD 측정

하천으로 유입되는 오염물질이 하천 오염의 주요인이지만 하천 내부적으로는 하상저질이 오염도에 미치는 영향도 있다는 지적이 되고 있다⁸⁾. 해수 도수로 인해 과거보다 용존산소의 농도가 높아졌지만 아직도 동천 하상저질은 합류식 관거로 인해 우수시 하수 유입으로 유기물이 쉽게 쌓이는 형태를 보여 왔다. 따라서 동천의 하상저질에 의한 용존산소의 소모량도 상당할 것으로 판단되어 SOD 분석장치를 이용하여 측정하였다.

저서성 대형무척추동물 조사

도수 후 생태 변화 조사를 위한 저서성 대형무척추동물의 서식조사는 광무교 낙차공 전, 후 지점에서는 계류용 정량채집망인 Surber net(30×30cm, 망목 0.5mm)를 이용하였고, 나

머지 지점은 Van veen grab을 이용하여 각 조사지점에서 3회씩 정량 채집하여 실시하였다.

결과 및 고찰

도수 전, 후 수질비교 분석

도수 후의 수질조사는 도수 토목공사가 완료되고 시험가동을 시작한 2010년 4월부터 12월까지 매월 실시하였다. 도수 공사로 인하여 2009년도는 정상적인 수질 시료채취가 어려워 2009년도 수질조사는 이루어지지 않아 2007년과 2008년의 수질측정망 지점인 광무교, 전포천 합류지점, 범4호교, 범일교의 수질자료를 도수후인 2010년과의 비교 분석을 하였다. Fig. 2와 같이 도수 전, 후의 용존산소를 비교해 보면 광무교 지점에서는 도수되는 북향 바닷물의 DO 농도는 평균적으로 7.1 mg/L 수준으로⁹⁾ 높은데다 통수지점이 water screen 형태로 폭기 효과까지 가해져 조사기간 동안의 광무교의 평균 DO 농도는 8.7 mg/L로 포화농도(20℃, no chlorinity시 9.1 mg/L)에 가깝게 나타나 2007년 평균농도 2.7 mg/L와 2008년도 2.3 mg/L에 비하면 도수 후 DO의 농도는 상당히 좋게 개선된 것으로 나타났다.

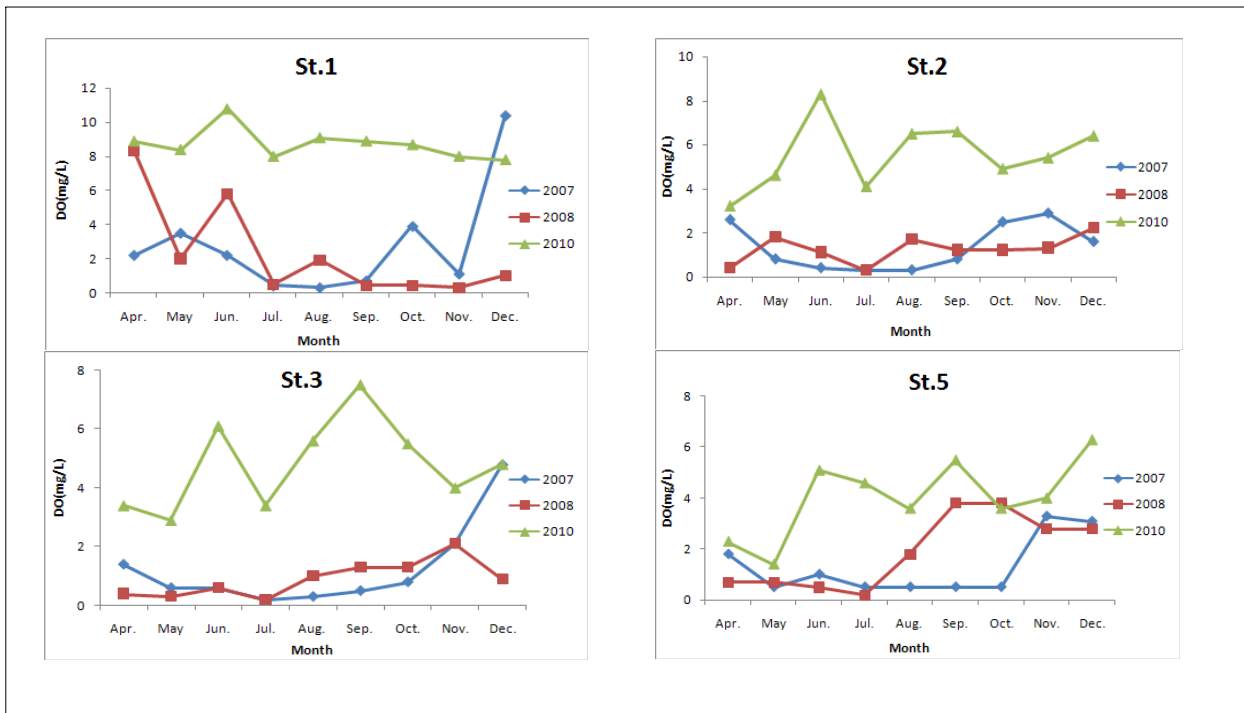


Fig. 2. Variation of DO concentration after(2010) and before(2007, 2008) supplying of sea water.

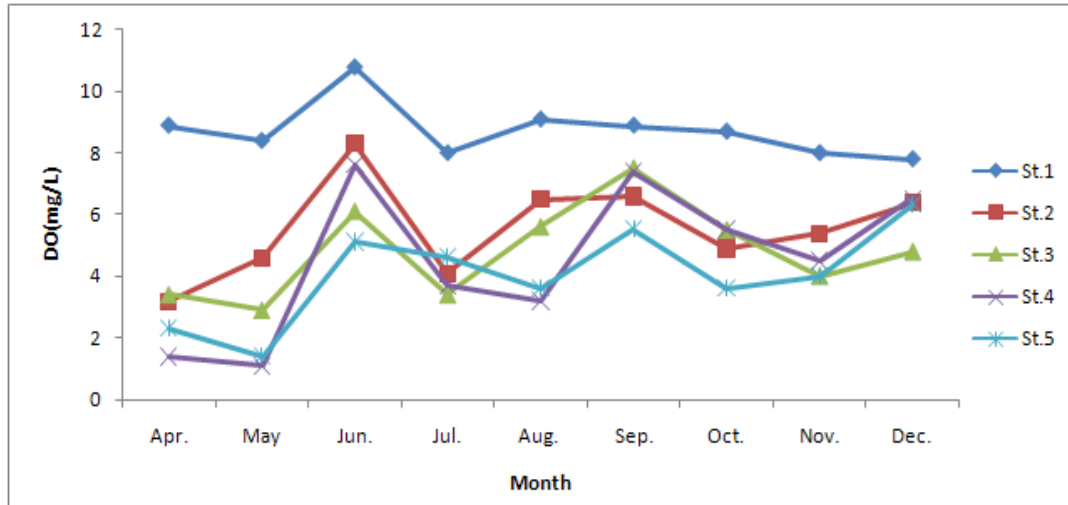


Fig. 3. Monthly variation of DO concentration of Dong stream in 2010.

전포천 합류지점의 2007년과 2008년 평균 DO농도는 1.4 mg/L, 1.2 mg/L로 거의 바닥 수준으로 나타났지만 2010년 해수도수 사업의 영향과 전포천 유역의 합류식 하수관거 정비 등으로 우기시를 제외하고는 하수 유입이 거의 없기 때문에 2010년 평균 DO 농도는 5.6 mg/L로 상당히 개선된 수준을 보여 주었다. 범4호교 지점에서도 도수 전 용존산소의 수준은 2007년 DO 평균농도 1.0 mg/L, 2008년 0.9 mg/L로 생물이 서식하기에 어려운 정도의 수준이었으나 해수도수 이후 평균 농도가 4.8 mg/L를 유지하면서 동천 하류 복항에서 올라온 송어 같은 어류가 자주 관찰되기도 하였다. 하루 1만톤의 해수가 도수되는 범3호교 지점의 2010년 평균 DO 농도는 범4호교와 비슷한 4.5 mg/L로 나타났고, 시료채취 지점 중 가장 하류쪽인 범일교에서는 2007년과 2008년의 DO 평균농도가 1.3 mg/L, 1.9 mg/L로 조사되었지만 도수 이후의 DO 평균 농도는 4.0 mg/L로 다소 높게 나타났다.

Fig. 3과 같이 도수 후 월별 DO농도의 변화를 살펴보면, 해수도수 지점과 근접해 있는 광무교지점은 상대적으로 오염원 유입의 영향이 작기 때문에 6월을 제외하고는 매월 비슷한 수준의 농도를 보여주고 있으나 타 지점들은 월별 변화의 폭이 다소 있는 것으로 나타났는데, 이는 동천 유역의 하수관거가 합류식 시스템이기 때문에 비가 오면 복개내부에서 흘러 들어오는 오수가 쉽게 하천으로 유입되고, 또한 유입된 오수는 어느 정도의 시간이 지날 때까지 하천내 잔류하기 때문에 DO농도의 월별 변화가 나타나는 것으로 보인다.

대부분의 도심하천과 같이 동천의 수질도 강우시에는 비점오염원 유입, 합류식관거 월류수 유입, 복개 내부 미지 하수 유입 등으로 쉽게 악화된다. 특히 동천은 하상경사가 완만하고 감조하천으로 유입된 오염원이 쉽게 하류로 밀려 내려가지 못

하고 정체하는 단점이 있다. 조사기간 중 6월의 DO농도가 전 지점에서 가장 높게 나타난 것은 부산지역 6월의 강우량이 94.4 mm(5월 186.8, 7월 291.9 mm)로 상대적으로 비가 적게 왔기 때문으로 보인다.

해수도수 이후 광무교 지점의 염분은 24,000~32,000 ppm으로 바닷물과 거의 같은 수준이고 타 지점도 대체적으로 바닷물에 가까운 염분도를 유지하고 있기 때문에 수질오염도 분석을 위하여 염분에 영향을 받는 BOD 대신 COD 선택하여 분석하였다. Fig. 4와 같이 광무교 지점에서 도수 전의 평균 COD농도는 2007년 13.4 mg/L, 2008년 12.5 mg/L로 나타난 반면에 도수 후인 2010년에는 3.5 mg/L로 나타나 깨끗한 바닷물 유입으로 인해 수질이 좋아진 것으로 나타났다. 도수전인 2007년과 2008년에는 COD 농도가 월별에 따라 변화의 폭이 컸던 것에 비하여 도수 후는 월별에 따라 큰 차이가 없이 일정한 수준을 유지하는 것으로 나타났다.

전포천 합류지점에서 2007년과 2008년도의 월별 COD 농도의 편차가 많이 나는 것은 시료채취 시 유입된 오염원의 잔류에 따른 변화 폭이 큰 것으로 보이며 이는 우기 시 하수 유입 또는 미지의 하수 유입이 얼마나 지속적으로 영향을 미치는가에 따른 차이로 보인다. 2007년 COD 평균농도 16.4 mg/L, 2008년 17.4 mg/L에 비하여 도수 후인 2010년의 평균농도는 7.3 mg/L로 상당량이 감소된 것으로 나타났으며 4월을 제외하고는 월별 농도의 변화는 비교적 크지 않게 나타났다. 특히 4월의 경우 염분이 7,400ppm으로 도수된 해수의 희석효과보다는 유입된 하수의 오염 영향이 더 큰 것으로 나타나 COD 농도는 23.5 mg/L로 상당히 높게 나타났다. 범4호교 지점에서 2007년과 2008년의 평균 COD 농도는 각각 10.9 mg/L와 11.7 mg/L로 나타난 반면 도수후의 평균 농도는 6.3 mg/L로

해수도수로 인한 오염도 저감효과가 나타났으며 4월 COD 농도가 16.0 mg/L로 특히 높은 것은 그 당시 염분이 9,900 ppm으로 하수의 유입 영향에 기인된 것으로 보인다.

동천 하류인 범일교의 경우 도수 전인 2007년 COD 평균농도는 6.8 mg/L, 2008년은 5.0 mg/L로 타 지점에 비하여 비교적 양호한 수준을 보였고 도수 이후 5.8 mg/L로 평균 농도의 차는 크지 않았지만 도수 이전보다 월별 편차는 작게 나타났다.

2010년도 지점별 월별 COD와 TN농도는 Fig. 5와 같다. 하수 유입의 영향이 많이 미치지 않는 광무교 지점의 COD 농도는 양호한 상태로 일정하의 영향이 반면 타 지점에서는 하수의 유입이 많았던 4월의 경우에 COD 농도가 월등하의 입의 영향이 이후로는 큰 변화의 폭을 보이지 않았다. 2010년 월별 TN 농도 변화에서 4월 전포천 합류지점이 22.015 mg/L로 최고의 농도로 이TN농암모니아 농도가 15.864 mg/L를 차지함으로써 하수의 유입을 확인하의 보여주었다. 전포천 합류지점은 타지점보다 년평균 TN농도가 점에서는 하입의 영향이 많이

오수의 유입 또는 유입된 오수의 10가 수 유심하 많았던 4월의 경년.

하상저질 SOD 측정

하천의 퇴적물은 수역의 유속이 저하되고 정체되는 지점에서 퇴적현상이 가속화되고 유기물 등의 분해로 인해 하천의 자정작용 한계를 초과 할 때 수체의 DO를 고갈시킨다. 하천 저질과 수질 오염과의 연계되는 과정을 Fig. 6과 같이 설명할 수 있다.

미국 EPA에서는 SOD 측정을 위하여 퇴적물 표층에서 종단 면도에 따라 확산되는 산소 유동을 이용한 모델법, 반응조를 사용한 실험실 측정법, 최근에 많이 적용하고 있는 반응조를 직접 현장에 설치하여 측정하는 현장법 등을 추천하고 있다¹⁰⁾. 이 중에서 상대적으로 장비의 준비 및 설치가 용이 한 실험실 측정법을 이용하여 동천 저질의 SOD 측정을 실시하였다.

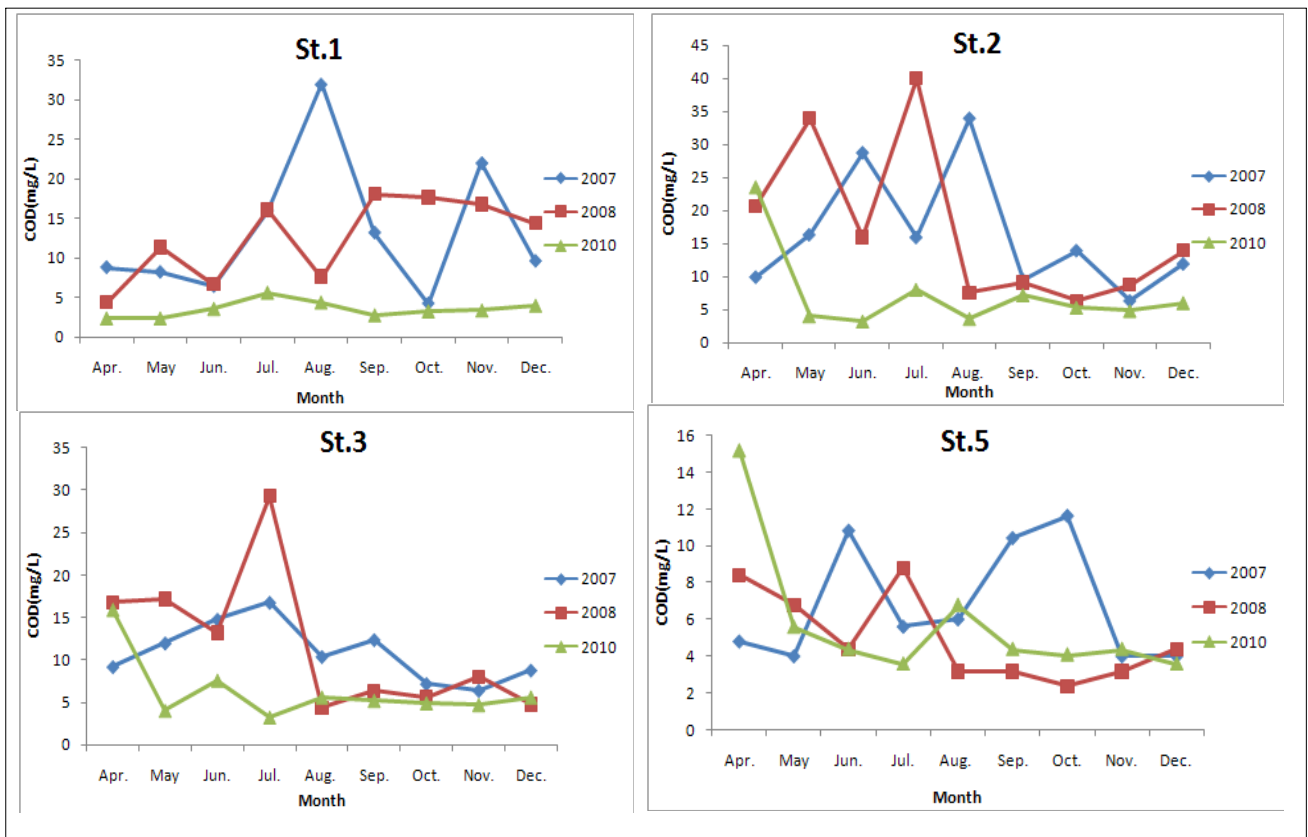


Fig. 4. Variation of COD concentration after(2010) and before(2007, 2008) supplying of sea water.

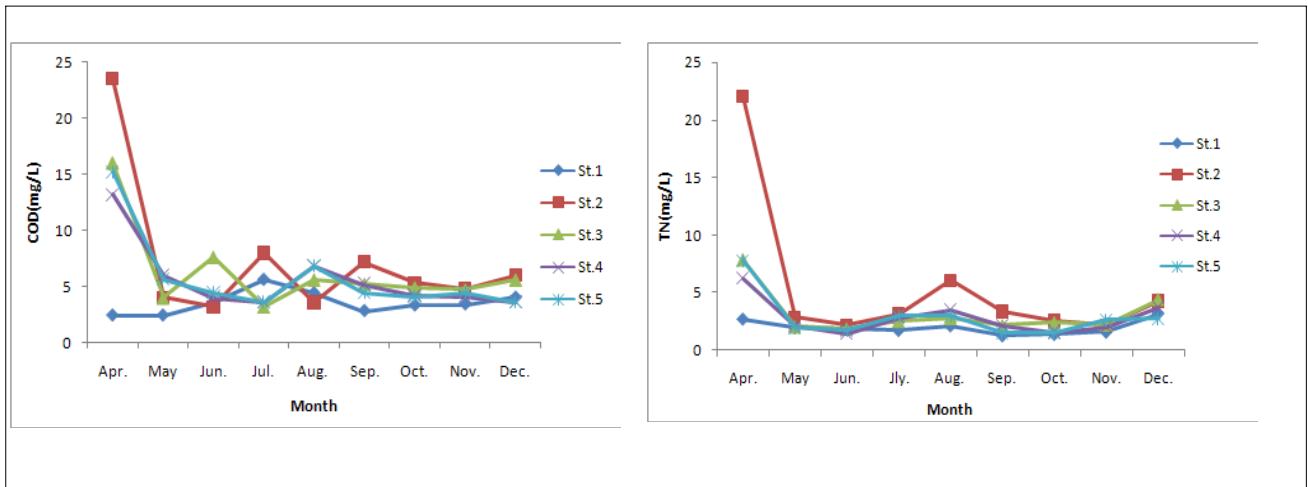


Fig. 5. Monthly variation of COD and TN concentration of Dong stream in 2010.

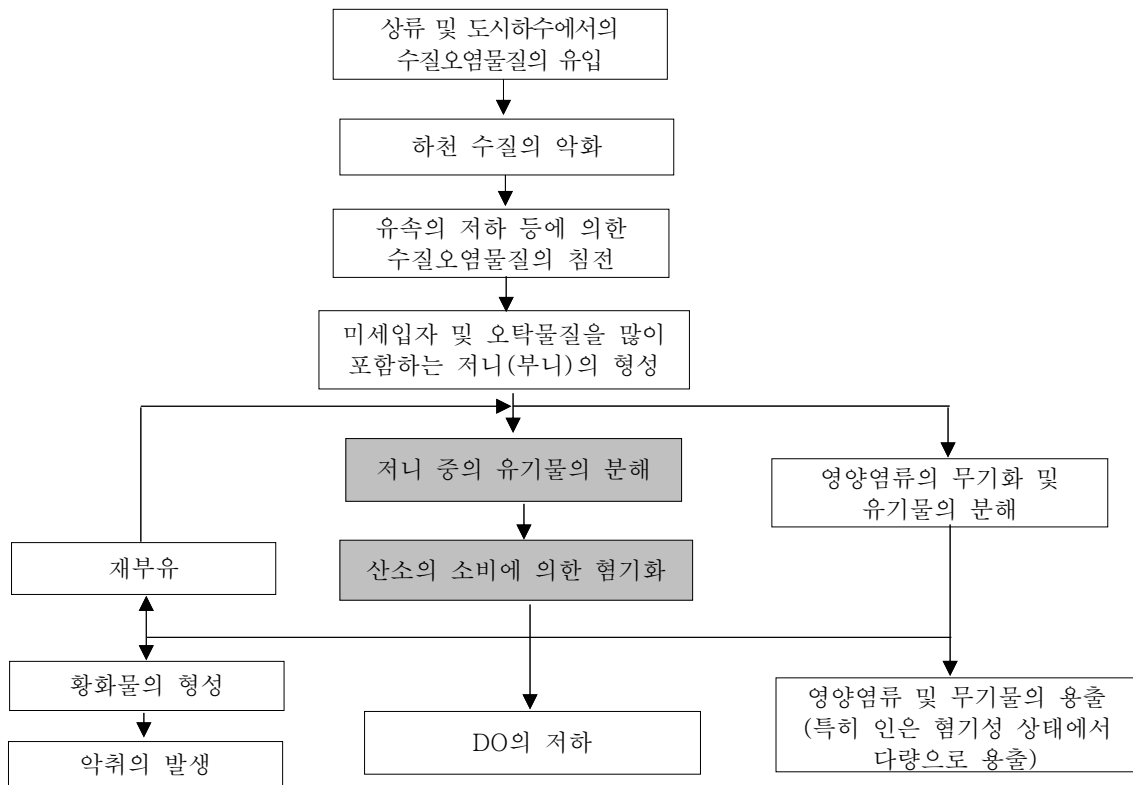


Fig. 6. Reaction flowchart between water quality and contaminated sediment.

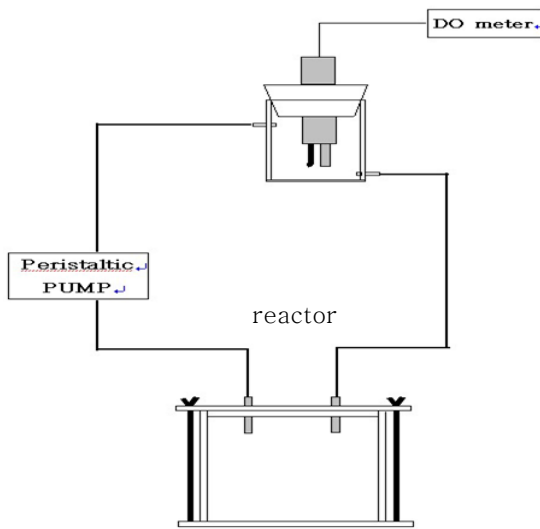


Fig. 7. Schematic of SOD measurement apparatus.

반응조 내의 물의 순환은 연동펌프(peristaltic pump, Thermo)를 사용하여 약 110~120 mL/분으로 순환시켰으며 DO meter와 연속적으로 접촉되도록 하여 2분 안에 혼합이 이루어지도록 하였다. 모든 SOD의 측정은 20±1℃로 유지되도록 햇빛이 차단된 곳에서 실시하였으며 퇴적물의 깊이는 5 cm로 하였다. 직상수는 퇴적물의 교란이 일어나지 않도록 천천히 교반 시켰고 공기는 펌프 튜빙시에 반응조에서 제거하였다. 반응조의 뚜껑은 너트로 단단히 고정시켜 1시간 동안 안정화시킨 후 실험을 실시하였다.

SOD 계산

본 연구에서는 2010년 10월에 동천 저질에 대한 SOD 분석을 비교 대상으로서 자연형 하천의 형태와 수질을 유지하고 있는 서낙동강 유역의 주중천 저질과 동시에 실시하였다. 주중천은 산지계곡에서 흘러내리는 용존산소가 8 mg/L이상, COD는 2 mg/L이내의 수질이 양호한 서낙동강의 지천 중 하나이다. 두 하천에서 저질에 의한 용존산소 소비 거동 형태는 Fig. 8과 같이 나타났다. 5시간 연속으로 실시된 실험에서 동천 저질은 2.73 mg/L의 DO가 소비된 것에 비하여 주중천의 용존산소의 소비가 더 빨리 진행되는 것으로 나타났다. 주중천은 0.69 mg/L만 소비되었는데, 동천의 경우 저질의 오염도가 높아서 용존산소의 소비가 더 빨리 진행되는 것으로 나타났다.

$$SOD(g/m^2 \cdot d) = \text{용존산소감소율}(mg/L \cdot hr) \times \text{직상수 부피}(L) \times \text{반응조 단면적}^{-1}(cm^{-2}) \times 240 \quad (1-1)$$

SOD량 계산은 위의 식 1-1을 이용하여 산정된 동천의

SOD는 2.65(g/m²·d), 주중천은 0.67(g/m²·d)로 각각 나타났다. Table 1의 SOD 기준값 분류에서 동천의 저질 수준은 도시하수 유입구 범위에 속하고 주중천의 저질은 모래 하상 수준에 속하는 것으로 나타났다. 해수도수 공사시 동천의 저질을 좋은 토양으로 치환을 하였음에도 불구하고 쉽게 저질이 오염되는 현실을 감안할 때 저질에 대한 지속적인 관리가 필요할 것으로 보인다.

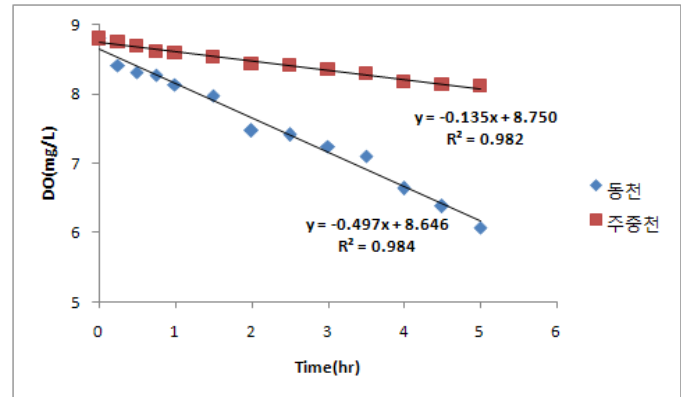


Fig. 8. Consumption rate of DO by sediment in Dong stream and Jujung stream.

Table 1. Some Sediment Oxygen Demand Values(1)

바닥 형태와 위치	SOD(g O ₂ /m ² -day)@20℃	
	범위	평균
도시하수 유입구	2~10.0	4
도시하수 하류부	1~2	1.5
하구빨	1~2	1.5
모래 하상	0.2~1.0	0.5
무기질 하상	0.05~0.1	0.07

도수 후 저서성 대형부척추동물 조사

도수 후 생태환경의 변화를 보기 위하여 수행한 저서성 대형무척추동물의 조사한 결과는 Table 2와 같다. 2010년 6월과 10월에 두 번에 걸쳐 조사를 하였는데, 전체 4개 종이 채집되었고 대부분의 종이 오염수역의 지표종인 실지렁이로 관찰되었다. 6월 조사에 비하여 10월 조사에서는 실지렁이의 개체수가 큰폭으로 증가하는 양상을 보여, 해수 도수 이후 하상 저질에 산소공급이 원활해짐으로서 점차 생물서식이 시작되는 것으로 나타났다. 광무교 낙차공 이후 지점에서는 갯지렁이가 소수 관찰되는 등 점차 해양생태계로 전환 중인 것으로 보였고 하류인 범일교에서는 상류에서 관찰되지 않았던 단각류가 관찰되었다. 해수 도수 이후 6개월 정도밖에 시간이 지나지 않았기 때문에 시간적으로 생태변화 조사에 한계

Table 2. Species of benthic macroinvertebrates isolated in sediment of Dong stream

연번	종명	총계	광무교 (낙차공 전)		낙차공 후		전포천합류		범4호교		범3호교		범일교	
			1차	2차	1차	2차	1차	2차	1차	2차	1차	2차	1차	2차
			1	실지렁이	8168	4	12	22	160	0	7500	0	50	0
2	나방파리	12	12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	단 각 류	750	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	300	450
4	갯지렁이	2	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0

점이 있다. 따라서 향후 더 오랜 시간 지속적인 관찰을 통하여 생태의 변화를 조사 할 필요가 있다.

에서는 도수 전, 후 큰 편차는 없었으며 2010년 평균농도는 5.8 mg/L로 나타났다.

결 론

동천의 수질을 보다 궁극적으로 개선하기 위하여 2010년 5월 동천 하류 북항의 깨끗한 바닷물을 도수하여 미복개 부분 상류인 광무교로부터 하류쪽으로 범4호교, 범3호교에 총 5만톤의 바닷물을 분배하여 흘려보내기 시작하였다. 따라서 본 연구에서는 도수 이후의 수질변화를 분석하기 위하여 하천의 수질오염도 조사, 하상 저질의 SOD분석을 통한 저질 상태 조사, 도수 이후의 생태 변화 조사 등을 하였고 다음과 같은 결과를 얻었다.

1. 해수 도수된 바닷물의 직접적인 영향을 받는 광무교 지점의 도수후 평균 DO 농도는 8.7 mg/L로 도수전인 2007년, 2008년 평균농도 2.7 mg/L, 2.3 mg/L에 비하면 도수 후의 용존산소 상태가 상당히 개선된 것으로 나타났으며, 그 외 지점들에서도 도수 전 평균 DO 농도범위가 0.9~1.9 mg/L이었던 것이 2010년에는 4.0~5.6 mg/L 범위로 더 높게 나타났다. 도수 후 월별 용존산소의 변동에서 광무교 지점은 오수 유입의 영향이 작기 때문에 변동 폭이 크지 않았으나 타 지점에서는 합류식 하수관거에서 유입된 월류수의 영향으로 월별 농도 편차가 다소 높았다.
2. 도수 이후 동천은 염분도가 높아졌기 때문에 BOD대신 COD를 비교 분석하였다. 광무교 지점에서는 도수 전인 2007년과 2008년 COD 평균농도가 13.4, 12.5 mg/L였다가 도수 후는 3.5 mg/L로 오염도가 많이 저감되어 나타났다. 전포천 합류지점과 범4호교 지점에서도 도수 후 평균농도가 7.3, 6.3 mg/L로 나타나 2008년도 평균농도인 17.4, 11.7 mg/L보다 많이 좋아졌고, 하류인 범일교

3. 동천 하상저질의 산소소비량은 5시간 기준으로 용존산소가 2.73 mg/L 소비되었고 비교군인 서낙동강 지류인 주중천의 하상저질에서는 0.69 mg/L만 소비되는 양상을 보여 상대적으로 동천의 저질 오염정도가 높은 것으로 나타났다. 동천 저질의 SOD 계산결과 2.65 g/m²·d로 도시하수 유입구 범위에, 주중천은 0.67 g/m²·d로 모래 하상수준에 속하는 것으로 비교되었다.
4. 해수도수 이후로 동천에 서식하는 저서성대형무척추동물 조사에서 4개 종이 채집되었고 대부분은 오염수역의 지표종인 실지렁이로 관찰되었다. 두번째 조사에서 실지렁이의 개체수가 크게 증가하는 양상을 보였다.

참 고 문 헌

1. 신재기, 조주래, 황순진, 조경제, 평택호와 유역 주요 하천의 수환경 및 오염도 평가, 한국육수학회지, 33, p.387~394(2000).
2. Faulkner H, Edmonds-Brown V and Green A, Problems of Quality Designation in Diffusely Polluted Urban Streams—the Case of Pymme's Brook, North London, Environmental Pollution, 109, pp.91~107 (2000).
3. Mancini L, Formichetti P, D'Angelo AM, Pierdominici E, Sorace A, Bottoni P, Iaconelli M, Ferrari C, Tancioni L, Rossi N and Rossi A, Freshwater Quality in Urban Areas : a Case Study from Rome, Italy, Microchemical Journal, 79, pp.177~183(2004).
4. 심재현, 우리나라 도시하천관리의 문제점, 도시문제, 33, pp.71~78(1998).
5. Wagner A and Geiger WF, New Criteria for

- Stormwater Discharges into Urban Streams, *Water Science and Technology*, 34, pp.41~48(1996).
6. 최종욱, 강성원, 윤나나, 박정옥, 서윤하, 권기원, 동천환경실태조사연구, 부산시보건환경연구원보, 제17-1권, pp.76~86(2007).
 7. 환경부, 수질오염공정시험방법(2000).
 8. 환경처, 팔당호 시험준설 영향조사 보고서, p.252~253(1990).
 9. 최종욱 등, 해수도수에 따른 동천 수질개선 효과 모의분석, 부산시보건환경연구원보, 제18-1권, pp.110~111(2008).
 10. 김창모, 하천 유기퇴적물 오염현황 및 특성연구, 한양대학교 석사학위 논문, pp.14~18(1999).
 11. Thomann, R. V. and Mueller, J. A., *Principles of Surface Water Quality Modeling and Control*, HAPPER & ROW PUBLISHERS, New York, p.292(1987).