

자 료

진해 용원수로의 COD 및 영양염류 농도 추세분석
Trend Analysis of the COD and Nutrients Concentrations
in the Yongwon Channel, Chinhae

조홍연* · 채장원* · 박정규** · 구명서**

Hong Yeon Cho*, Jang Won Chae*, Joung Guy Park** and Myung Seo Koo**

요 지 : 부산 신항 개발사업으로 형성된 용원수로는 좁고 긴 형태로 해수흐름이 정체되어 환경악화가 우려되는 지역이다. 본 연구에서는 2003년부터 2007년까지의 월별 관측 자료를 이용하여 용원수로의 수질변화 양상을 분석하였다. 추정된 연평균 농도와 오차범위를 분석한 결과 용원수로 내부가 용원수로 입구에 비하여 전반적으로 뚜렷하게 수질이 악화되어 있는 것으로 파악되었다. 수로 입구의 수질농도를 기준으로 수로 내부의 수질농도는 COD, TN, TP 항목의 경우 각각 1.34배, 2.08배, 1.80배로 높은 것으로 파악되었다. 한편, Mann-Kendall 방법을 이용한 오염물질 농도변화의 추세검정 결과, 일반적으로 사용되는 95% 신뢰수준에서 추세를 가지는 경우는 SW-26 지점 TP 항목(증가추세)을 제외하고는 모두 뚜렷한 변화 추세를 없는(엄밀한 통계적인 용어로는 “있지 않은”) 것으로 파악되었다.

핵심용어 : 용원수로, 수질 변동, 오차범위, Mann-Kendall 추세 검정, 부산 신항

Abstract : Youngwon channel located in Chinhae city and formed by the Busan New Port Construction Project has been concerned about the water quality degradation problems because of the flow and pollutants stagnation due to its long-narrow shape. In this study, the water quality (hereafter WQ) variation is analysed by using the monthly WQ data measured in Yongwon channel from 2003 to 2007. The analysis shows that the TN and TP concentration in the inside Yongwon channel is definitely worse than the TN and TP concentration in the entrance of the Yongwon channel based on the 95% confidence level. The COD, TN, and TP concentrations in the Yongwon channel are 1.34, 2.08, and 1.80 times larger than that in the entrance of the Yongwon channel, respectively. It has been found that only the TP concentration in SW-26 station has an increasing trend based on the Mann-Kendall test with respect to 95% confidence level. The other stations and the other WQ constituent changes do not have the any significant trends.

Keywords : Yongwon channel, water quality variation, error bounds, Mann-Kendall trend test, Busan New Port

1. 서 론

진해 용원해역은 부산 신항 개발사업의 일환으로 추진된 북 Container 부두조성 사업 및 항만 배후단지 조성사업으로 전면(前面) 해역이 매립되어 원활한 해수흐름이 차단되고 송정천 하구 지점의 견마도 북쪽 통로를 이용한 선박이동만이 가능한 좁고 긴 수로형태로 변형되었다. 용원수로의 평균 너비는 약 100 m 정도이며, 길이는 3,600 m

정도로 세장비(細長比, 길이/너비 = 36)가 아주 큰 수로에 해당한다(Fig. 1 참조). 따라서 용원수로의 조석 유입 유출은 뚜렷한 일차원적 흐름으로 간주할 수 있으며 입구에서 용원수로 내부로 갈수록 조석유입은 점진적으로 감소하여 흐름이 정체되는 양상을 보이고 있다. 따라서 용원수로로 유입되는 오염물질은 수로에 체류되어 서서히 확산되는 양상을 보일 것으로 판단된다.

*한국해양연구원 해양환경방제연구부(Corresponding author: Hong Yeon Cho, Marine Environment & Pollution Prevention Research Department, KORDI, Ansan P.O. Box 29, Seoul 425-600, Korea, hycho@kordi.re.kr)

**서영엔지니어링 환경팀(SeoYoung Engineering Co. Ltd., Environment Team)



Fig. 1. Youngwon coastal zone before and after Busan New Port Project (Left & Right Images: before and after construction time, respectively).

부산 신항 개발공사와 더불어 용원수로의 수질악화 문제는 중요한 민원사항으로 대두되면서 용원수로의 수질변화에 대한 관심이 부각되어 용원수로의 수질은 사후환경 Monitoring 사업을 통하여 2002년 이후 용원입구 1개 지점과 용원수로 내부 2개 지점을 포함한 3개 지점에서 지속적으로 관측되어 왔다(부산지방해양수산청 등, 2007, 2008). 한편 진해 용원수로의 환경악화 문제 및 환경개선 문제와 관련하여 지속적으로 민원이 제기되고 있는 상황에서, 진해 용원수로의 정량적인 환경변화 양상 분석결과 없이는 명확한 답변 또는 효과적인 환경개선 대책수립이 곤란하므로 현황 분석차원에서 용원수로의 환경변화에 대한 객관적이고 정량적인 분석 결과를 필요로 하고 있다. 그러나 기존의 수질분석은 간단한 도식적인 분석(graphical analysis) 및 해역 수질등급 구분 정도로 제한되어 있는 실정이다. 따라서 본 연구는 용원수로의 월별 수질 관측 자료를 이용하여 다각적인 통계분석을 수행하여 보다 객관적이고 신뢰할 수 있는 수질변동 양상 분석결과 및 추세검정 결과 제시를 목적으로 수행하였으며, 수질 변동양상 분석에 사용한 자료는 향후 용원수로 환경개선 대책 수립 및 환경관리를 위한 기초자료로 활용할 수 있도록 부록에 제시하였다.

2. 수질 관측자료 및 분석 항목

용원수로의 수질관측은 2002년부터 시작하였으나, 상호비교가 가능한 3개 지점의 수질관측 자료가 모두 가용한 시기는 2003년 이후부터이므로 본 연구에서는 2003년부터 2007년까지의 자료를 이용하여 중점적으로 분석을 수행하였으며, 본 연구에서의 분석대상에 해당하는 COD, TN, TP 항목의 월별 수질변화 자료는 부록에 제시하였다. 수질관측은 용원수로 입구지점(SW-25 지점)과 용원수로 내부지점(SW-26, SW-27 지점)에서 수행하였으며, 표층에서만 채수하여 분석하였다. 관측항목은 pH, 염분, SS(부유



Fig. 2. Water quality measurement stations in Yongwon Channel.

Table 1. Water quality measurement stations in Yongwon Channel

Stations	Description of the stations	Location	
		Latitude	Longitude
SW-25	Eastern coast of the Gyeonmado	35°04'58"N	128°50'15"E
SW-26	South-East 100 m point from the Yongwon quay	35°05'27"N	128°47'06"E
SW-27	South-West 20 m point from the Yongwon quay	35°05'24"N	128°49'38"E

물질 농도), DO(용존산소), BOD, COD, TN(총질소), TP(총인) 농도이다(조사정점은 Table 1, Fig. 2 참조).

3. 수질변동 양상 분석

용원수로 수질변동양상은 공간적인 변화, 시간적인 변화, 추세검정으로 구분하여 분석하였다. 분석에 사용한 자료는 2003년~2007년 동안의 자료로 2003년 1월 SW-27 지점의 결측자료(missing data)는 자료가 가용한 기간의 SW-26 지점과 SW-27 지점의 평균 농도 비율을 이용하여 산정하였다.

3.1 공간적인 변화

용원수로의 공간적인 변화 양상은 가용한 모든 관측항목에 대하여 분석하였으며, 모든 자료에 대하여 지점별로 평균 및 표준편차를 계산하여 비교·제시하였다. 전반적으로 용원수로 입구에 해당하는 SW-25 지점이 DO 농도와 염분은 높고, SS, BOD, COD, TN, TP 농도는 낮게 나타난 것으로 보아 용원수로의 수질이 용원수로 입구를 포함한 해역보다 악화되어 있는 상태로 판단할 수 있다. 기본적인 오염물질 항목인 COD, TN, TP 항목의 경우 용원수로 내부지점의 농도는 용원수로 입구지점에 비하여 각각 134%, 208%, 180% 정도 높은 수준인 것으로 파악되었다(Table 2 참조).

SW-26, SW-27 지점은 유사한 변화 양상을 보이고 있으며, 용원수로 입구지점에 위치한 SW-25 지점은 용원수로에 비하여 전반적으로 양호한 수질(DO 농도는 높고, COD, TN, TP 항목의 농도는 낮은 상태)을 유지하고 있는 것으로 파악되었으며, 자료의 표준편차도 전반적으로

작게 나타났다. 실질적으로 용원수로의 환경을 대표할 수 있는 수질은 SW-26, SW-27 지점으로 판단되며, SW-25 지점은 용원수로 내부에 비하여 활발한 해수교환 작용으로 인하여 양호한 수질을 유지하고 있는 것으로 판단된다.

한편 오염물질의 농도가 큰 지점, 즉 오염물질이 유입되는 지점에서 표준편차가 더욱 크게 나타나는 일반적인 경향에 의거하면, 유기오염 지표인 COD, BOD 농도의 표준편차 변동이 크게 나타나는 SW-27 지점이 COD 오염 부하가 SW-26 지점에 비하여 보다 직접적인 영향을 받는 것으로 판단되며, TN, TP 항목의 오염부하는 SW-26 지점이 직접적인 영향을 받는 것으로 판단된다. 본 연구에서 사용한 TP 농도는 PO₄-P 농도를 의미하므로, TP 농도로 보기에 다소 무리가 있으나 전체적인 변화 양상은 TP 농도변화 양상과 유사할 것으로 가정하고 분석하였으며, 해역 수질등급에서 사용하는 TP 농도기준에 따른 등급 분석은 배제하였다.

3.2 시간적인 변화 - 연별 변화 분석

용원수로의 시간적인 농도변화 양상은 연별 변화(yearly variation) 분석을 우선적으로 수행하였다. 특히 매립공사 및 배후단지 조성사업이 활발하게 수행되어 용원수로 환경에 큰 영향을 미친 2003년을 기준으로 분석을 수행하였으나 COD 항목을 제외하고는 뚜렷한 변화양상을 보이지 않는 것으로 파악되었다. 한편, 용원수로 내부 환경을 대표하는 SW-26, SW-27 지점은 평균 농도자료를 이용하여 간주하여 분석하였다. 농도 변동양상 및 95% 신뢰수준에 대한 오차범위 분석(Student t-분포 이용; $t_{12-1,0.025} = 2.201$, $t_{24-1,0.025} = 2.069$)은 DO, COD, TN, TP 항목을

Table 2. Mean and standard deviation of the water quality constituents

Items	Stations		SW-26		SW-27		SW-25	
	Mean	Standard Deviation	Mean	Standard Deviation	Mean	Standard Deviation	Mean	Standard Deviation
Water temperature(°C)	16.8	7.01	16.7	6.95	16.4	6.14		
Salinity (PSU)	28.2	4.30	28.2	4.44	29.8	4.86		
pH(-)	7.9	0.36	7.8	0.31	8.0	0.45		
SS(mg/L)	66.3	101.16	78.6	132.70	30.4	57.95		
SS(mg/L)(*)	29.2	13.50	30.6	16.41	10.9	5.11		
DO(mg/L)	6.6	1.37	6.7	1.60	7.0	1.50		
BOD(mg/L)	2.1	1.26	2.2	1.55	1.4	1.08		
COD(mg/L)	3.5	1.87	3.8	2.46	2.8	1.98		
TN(mg/L)	1.11	1.021	1.09	0.809	0.53	0.220		
TP(mg/L)	0.054	0.0207	0.054	0.0170	0.030	0.0144		

Ref.: SS(*) = Mean SS concentration in the case the 2003 data are excluded.

Table 3. Yearly variation of the water quality constituents

Years	mean DO		DO standard deviation		DO error bounds			
	Channel	Entrance	Channel	Entrance	Channel		Entrance	
					Lower bound	Upper bound	Lower bound	Upper bound
2003	6.84	7.40	1.72	1.50	6.11	7.57	6.45	8.35
2004	7.53	8.07	1.08	1.35	7.07	7.99	7.21	8.93
2005	6.90	7.26	1.62	1.68	6.22	7.58	6.19	8.33
2006	6.07	6.48	1.15	1.11	5.58	6.56	5.77	7.19
2007	5.90	6.01	1.29	1.02	5.36	6.44	5.36	6.66
Mean	6.65	7.04	1.37	1.33	6.07	7.23	6.20	7.89
Mean(*)	6.60	6.95	1.29	1.29	6.06	7.14	6.14	7.77
Years	mean COD		COD standard deviation		COD error bounds			
	Channel	Entrance	Channel	Entrance	Channel		Entrance	
					Lower bound	Upper bound	Lower bound	Upper bound
2003	6.34	5.00	3.17	3.03	5.00	7.68	3.07	6.93
2004	2.90	1.80	0.75	0.99	2.58	3.22	1.17	2.43
2005	2.47	2.12	1.44	1.29	1.86	3.08	1.30	2.94
2006	3.68	2.82	0.74	0.82	3.37	3.99	2.30	3.34
2007	2.85	2.08	0.86	0.85	2.49	3.21	1.54	2.62
Mean	3.65	2.76	1.39	1.39	3.06	4.24	1.88	3.65
Mean(*)	2.98	2.20	0.95	0.98	2.57	3.38	1.58	2.83
Years	mean TN		TN standard deviation		TN error bounds			
	Channel	Entrance	Channel	Entrance	Channel		Entrance	
					Lower bound	Upper bound	Lower bound	Upper bound
2003	0.76	0.60	0.76	0.10	0.44	1.08	0.54	0.66
2004	1.30	0.64	1.30	0.34	0.75	1.85	0.42	0.86
2005	1.63	0.42	1.63	0.15	0.94	2.32	0.32	0.52
2006	0.85	0.46	0.85	0.21	0.49	1.21	0.33	0.59
2007	0.97	0.54	0.97	0.18	0.56	1.38	0.43	0.65
Mean	1.10	0.53	1.10	0.20	0.64	1.57	0.41	0.66
Mean(*)	1.18	0.52	1.18	0.22	0.69	1.69	0.38	0.65
Years	mean TP		TP standard deviation		TP error bounds			
	Channel	Entrance	Channel	Entrance	Channel		Entrance	
					Lower bound	Upper bound	Lower bound	Upper bound
2003	0.045	0.032	0.011	0.005	0.040	0.050	0.029	0.035
2004	0.055	0.030	0.022	0.024	0.046	0.064	0.015	0.045
2005	0.051	0.027	0.019	0.012	0.043	0.059	0.019	0.035
2006	0.063	0.034	0.013	0.014	0.058	0.068	0.025	0.043
2007	0.056	0.027	0.020	0.011	0.048	0.064	0.020	0.034
Mean	0.054	0.030	0.017	0.013	0.047	0.061	0.022	0.038
Mean(*)	0.056	0.030	0.019	0.015	0.048	0.064	0.020	0.039

Ref. : Mean(*) = Mean in the case the 2003 data are excluded. Channel = the mean value of the SW-26 and SW-27 station data, Entrance = the SW-25 station data.

중심으로 수행하였다(Table 3 참조; Kottagoda & Rosso, 1997; Emery & Thompson, 1997).

시간적인 수질변화 양상 분석결과도 공간적인 분석결과와 동일하게 수로입구보다 수로 내부의 수질이 악화된 상태를 유지하고 있는 것으로 파악되었다. 관측 자료의 표준의 개수와 표준편차를 이용한 95% 신뢰수준에서의 평균

COD 농도의 오차범위는 용원수로 내부에서 2.57~3.38(mg/L), 용원수로 입구에서 2.58~2.83(mg/L) 범위로 추정(해역 COD 농도기준 : II 등급)되었으며, 평균 TN 농도의 오차범위는 용원수로 내부에서 0.69~1.69(mg/L), 용원수로 입구에서 0.38~0.65(mg/L) 범위로 추정되었다(해역 TN 농도 기준 : 내부지점은 III 등급 수준, 입구지점은 II 등급 수

준). 한편, 평균 TP 농도의 오차범위도 용원수로 내부에서 0.048-0.064(mg/L), 용원수로 입구에서는 0.020-0.039(mg/L)로 추정되었다. 오차범위를 감안하면 COD 농도범위는 일부 중첩되는 부분이 있기 때문에 판단이 다소 곤란하나, TN 및 TP 항목은 95% 신뢰수준으로 용원수로 내부의 오염물질 농도가 용원수로 입구보다 확실하게 높다고 판단할 수 있다.

한편 수질자료의 월별 변화는 뚜렷한 양상을 보이고 있지 않는 것으로 판단된다. 그러나 유역에서의 오염부하가 뚜렷한 계절변화를 보일 것으로 추정되는 바 오염물질 유입에 의한 영향이 일시적이거나 유역에서의 오염부하와 더불어 용원수로의 수질에 영향을 미칠 것으로 판단되는 다른 오염원인도 유역 오염부하 정도의 영향을 미칠 수 있는 것으로 판단할 수 있다.

3.3 공간적인 상관관계 분석

용원수로 오염물질의 공간적인 상관관계 분석은 용원수로 중앙부분에 해당하는 SW-27 지점을 기준으로 SW-26 지점, SW-25 지점과의 결정계수 비교를 통하여 수행하였다(Table 4 참조). COD 항목은 지점간 상관관계가 비교적 높은 것으로 파악되었으나, TN, TP 항목은 상대적으로 상관관계가 낮은 것으로 파악되었다. TN 항목의 SW-26 지점과의 높은 상관관계는 TN항목의 오염물질 확산범위가 용원수로 내부에 한정되고 있는 것으로 판단할 수 있다. 한편 TP 항목의 지점간 낮은 상관관계는 TP 오염부하가 매우 국지적으로 한정되고 확산범위(영향범위) 또한 국지적으로 제한되고 있는 것으로 판단하는 근거가 될 수 있다.

3.4 오염물질 농도의 추세 검증

용원수로의 환경변화 분석은 용원수로의 평균 수질농도도 중요하지만 용원수로의 수질변화 추세를 파악하는 것이다. 수질이 악화되고 있는가? 개선되고 있는가? 아니면 특별한 경향이 없이 평형상태를 이루고 있는가? 용원수로를 포함한 일반적인 수질자료는 월별 변화가 심하기 때문에 도식적인 분석(graphical analysis)으로 추세를 판단하기에는 곤란한 부분이 있다. 따라서 본 연구에서는 시

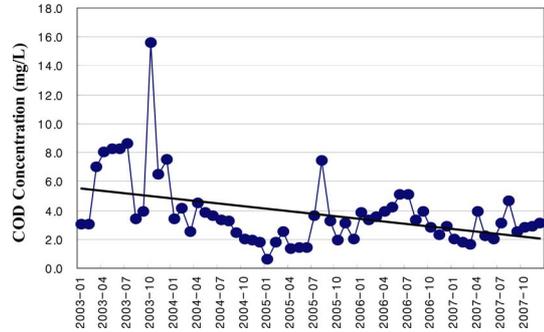


Fig. 3. Trend of the monthly COD concentration variation (SW-27 station).

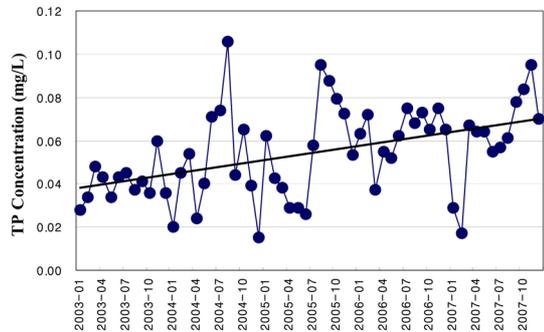


Fig. 4. Trend of the monthly TP concentration variation (SW-26 station).

계열 자료의 증가-감소양상을 부호로 처리하여 추세분석을 수행하는 Mann-Kendall 추세검정 방법(이하 MK 방법; Helsel & Hirsch, 2002, Wang et al., 2007, US EPA, 1998, 이 등, 2007)을 이용하여 95% 신뢰수준으로 분석하였다. 추세분석은 월별 관측 자료와 직전 12개 자료(1년간의 자료)를 평균한 이동평균 자료(실질적으로 연 평균 자료)를 이용하여 수행하였다.

MK 방법을 이용하여 추세 검정한 결과, SW-27 지점의 COD 농도, SW-26 지점의 TP 농도가 추세가 있는 것으로 파악되었으며(Fig. 3~4. 참조), 나머지 지점의 자료는 모두 뚜렷한 농도변화 추세를 보이고 있지 않은 것으로 파악되었다. SW-27 지점의 COD 농도추세는 2003년 기간의 심한 오염의 영향으로 점차 개선되는 추세를 보이고 있는 것으로 파악되었으며, 2002년 자료를 제외할

Table 4. Coefficient of the determination between measurement stations

Items	COD(SW-27)		TN(SW-27)		TP(SW-27)	
	SW-26	SW-25	SW-26	SW-25	SW-26	SW-25
Coefficient	0.7424	0.6124	0.8981	0.0183	0.3844	0.2700

경우에는 95% 신뢰수준으로 추세가 없는 것으로 검정되었다. 한편 SW-26 지점의 TP 농도 증가는 추세가 매우 뚜렷하게 보이는 바, 유역에서의 지속적인 TP 오염부하 및 제한된 해수교환으로 유입된 오염물질이 수로 내부에 체류하고 있다고 판단할 수 있다. 따라서 용원지역의 부산신항 개발사업 전·후의 수질변화 양상 분석은 자료부족으로 곤란하지만, 일단 용원수로가 형성된 이후의 수질변화는 SW-26 지점의 TP 항목을 제외하고는 뚜렷한 추세 변화가 없는 것으로 분석되었다. SW-26 지점의 뚜렷한 TP 항목의 증가에도 불구하고 SW-27 지점, SW-25 지점의 추세가 보이지 않는 이유는 수질항목의 공간적인 상관관계 분석에서도 제시한 바와 같이 TP 오염부하의 영향범위가 용원수로 전체로 미치지 않고 국지적으로 제한되는 것으로 판단할 수 있다.

4. 결론 및 제언

기본적으로 본 연구 분석 결과는 조석주기 동안의 단기간의 수질변동 양상을 분석한 것이 아니라 월별 관측 자료를 이용하여 추정한 연평균 수질농도의 시간적인 변화양상과 공간적인 변화양상을 분석한 장기적인 변동양상 분석이라고 할 수 있다. 또한 본 연구에서 사용한 수질자료는 층별 관측자료가 아니라 표층 관측자료이기 때문에 저층 퇴적물의 오염부하 등에 의한 영향 등은 고려되지 않을 수도 있으며, 하계 생물서식에 중요한 저층 DO 농도변화 양상 등도 분석할 수 없는 한계를 가지고 있다. 그러나 표층만의 수질자료만으로는 오염양상을 판단하기에 제한이 따르기 때문에 향후 저층을 포함한 층별 관측이 수행될 필요가 있을 것으로 사료된다. 본 연구에서 수행한 용원수로의 수질분석 결과로부터 파악된 주요한 결과는 다음과 같다.

우선 용원수로 내부는 용원수로 입구에 비하여 전반적으로 수질이 악화되어 있는 것으로 파악되었으며, 연별 오차범위 분석에서도 TN, TP 항목의 농도는 95% 신뢰수준으로 용원수로 내부가 용원수로 입구지점보다 높은 것으로 파악되었다. 한편 관측지점의 상관관계 분석 결과, TN 항목의 SW-27 지점과 SW-26 지점의 높은 상관관계는 TN 확산범위가 용원수로 내부에 국한되고 있는 것으로 판단할 수 있으며, TP 항목의 낮은 지점간 상관관계는 TP 오염부하가 매우 국지적이어서 확산범위(영향범위) 또한 국지적으로 제한(인근 관측지점까지도 확산되지 않는 것으로 판단)되고 있는 것으로 판단할 수 있다.

오염물질 농도의 추세검정 결과 95% 신뢰수준으로 추세를 가지는 경우는 SW-27 지점의 COD 항목의 감소 추세, SW-26 지점 TP 항목의 증가추세를 제외하고는 모두 뚜렷한 변화 추세를 있지 않은 것(엄밀한 통계적인 의미를 부여하기 위한 용어, ≠없는 것)으로 파악되었다. 그러나 COD 항목의 감소추세는 2002년의 높은 농도 영향으로 판단되며, 2003년 이후자료를 이용한 추세분석 결과에서는 추세가 있지 않은 것(≠없는 것)으로 파악되었다.

본 연구에서 수행한 용원수로의 수질변화는 유역에서의 오염부하 및 부산신항 개발사업에 의한 해수정체 및 해수교환 제한 효과 등 수질변화에 영향을 미치는 모든 요인이 작용한 결과에 해당하는 것으로 오염물질 농도의 원인분석과는 실질적으로 관계가 없다. 그러나 환경관리를 위해서는 오염부하와 오염물질의 시간적·공간적인 농도변화 양상을 관련지어 분석하여야 하므로 용원수로의 환경개선 대책 수립 및 지속적인 환경관리를 위해서는 유역에서의 오염부하 및 용원수로 입구에서의 정량적인 해수교환 효과, 용원수로 내부의 퇴적물 오염도 및 퇴적물이 수층에 미치는 정량적인 영향(퇴적물로부터의 오염물질 용출(release) 부하량) 등에 대한 조사·분석이 필요하다. 또한 TP 항목의 뚜렷한 증가추세는 용원수로의 부영양화 가능성을 크게 하는 요소이므로 현재의 PO₄-P 항목의 조사와 더불어 해역 수질등급 기준으로 활용되는 TP 항목과의 정량적인 관측·비교 등이 필요할 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구 사업은 한국해양연구원 하구관리 및 복원기술 개발사업(PE-9811A)의 지원을 받아 수행되었습니다. 또한 본 논문에서 사용한 인공위성 영상은 부산신항 해양수리현상 연구개발용역 사업에서 제공받았으며, 분석에 사용한 자료는 부산항 신항 사후환경영향 조사결과(부산해양항만청) 성과이며, 자료 및 영상제공에 감사드립니다.

참고문헌

- 부산지방해양수산청, 부산항건설사무소 (2007). 부산항 신항 해양수리현상 연구개발 용역(제1차) 보고서, 한국해양연구원, (주)세광종합기술단.
- 부산지방해양수산청, 부산항건설사무소, 부산신항만주식회사, 부산항만공사 (2007). 부산항 신항 사후환경영향조사 결과 통보서.

- 부산지방해양수산청, 부산항건설사무소, 부산신항만주식회사, 부산항만공사 (2008). 부산항 신항 사후환경영향조사 결과 통보서, Vol. 1.
- 이길하, 오남선, 정신타 (2007). 우리나라 연안의 Pan 증발량 변화양상 분석, 한국해양과학기술지, 19(3), pp. 244-252.
- Emery, W.J. and Thomson, R.E. (1997). *Data Analysis Methods in Physical Oceanography*, Chapter 3, Pergamon Press.
- Helsel, D.R. and Hirsch, R.M. (2002). *Statistical Methods in Water Resources*, Techniques of Water-Resources Investigations of the United States Geological Survey, Book 4, Hydrologic Analysis and Interpretation, Chapter A3, U.S. Department of the Interior.
- Kottegoda, N.T. and Rosso, R. (1997). *Statistics, Probability, and Reliability for Civil and Environmental Engineers*, McGraw-Hill Co.
- US EPA (1998). *Guidance for Data Quality Assessment, Practical Methods for data Analysis*, EPA QA/G-9, QA97 Version, EPA/600/R-96/084, United States Environmental Protection Agency, Quality Assurance Division.
- Wang, W., Chen, X., Shi, P., van Gelder, P. and Corzo, G. (2007). Extreme precipitation and extreme streamflow in the Dongjiang River Basin in southern China, *Hydrology and Earth System Sciences Discussions*, Vol. 4, pp. 2323-2360.

Received July 2, 2008

Accepted August 8, 2008

부록. Water quality data in Yongwon Channel

Year-Month	COD			TN			TP		
	SW-25	SW-26	SW-27	SW-25	SW-26	SW-27	SW-25	SW-26	SW-27
2003-01	2.6	2.8	3.0	0.658	0.674	0.657	0.024	0.028	0.028
2003-02	2.7	2.0	3.0	0.567	0.655	0.711	0.030	0.034	0.040
2003-03	7.0	7.4	7.0	0.659	0.758	0.851	0.043	0.048	0.055
2003-04	5.7	7.9	8.0	0.664	0.698	0.732	0.031	0.043	0.059
2003-05	5.5	7.7	8.2	0.651	0.663	0.693	0.031	0.034	0.040
2003-06	11.3	9.7	8.2	0.667	0.760	0.854	0.030	0.043	0.049
2003-07	8.0	7.4	8.6	0.501	0.622	0.687	0.038	0.045	0.053
2003-08	2.5	2.8	3.4	0.672	0.735	0.942	0.026	0.037	0.045
2003-09	2.8	3.6	3.9	0.634	0.700	0.886	0.037	0.041	0.062
2003-10	7.8	9.8	15.6	0.649	0.713	0.862	0.030	0.036	0.046
2003-11	2.2	4.0	6.5	0.446	0.857	1.076	0.034	0.060	0.081
2003-12	1.9	4.1	7.5	0.378	0.735	0.750	0.027	0.036	0.047
2004-01	1.4	2.6	3.4	0.367	0.506	0.774	0.014	0.020	0.038
2004-02	1.1	2.6	4.1	0.531	0.685	0.917	0.021	0.045	0.077
2004-03	1.0	3.2	2.5	0.697	1.141	0.837	0.017	0.054	0.038
2004-04	2.4	3.8	4.5	0.861	1.627	1.678	0.024	0.024	0.049
2004-05	2.2	3.2	3.8	0.579	0.802	0.907	0.003	0.040	0.057
2004-06	2.3	3.2	3.6	0.419	0.781	0.824	0.019	0.071	0.081
2004-07	4.2	3.1	3.3	1.488	1.531	1.597	0.082	0.074	0.098
2004-08	2.4	3.0	3.2	0.872	1.439	1.723	0.078	0.106	0.063
2004-09	1.9	2.4	2.4	0.733	0.982	1.063	0.025	0.044	0.062
2004-10	1.2	2.3	2.0	0.548	1.454	1.541	0.026	0.065	0.069
2004-11	0.7	1.7	1.9	0.274	1.564	1.564	0.031	0.039	0.054
2004-12	0.8	2.1	1.8	0.290	2.797	2.347	0.024	0.015	0.037
2005-01	0.4	0.7	0.6	0.212	2.236	1.803	0.018	0.062	0.042
2005-02	1.4	1.2	1.8	0.565	8.233	6.370	0.025	0.043	0.025
2005-03	2.2	2.2	2.5	0.229	1.338	0.649	0.013	0.038	0.025
2005-04	1.4	1.9	1.3	0.334	1.112	2.455	0.029	0.029	0.053
2005-05	1.8	3.6	1.4	0.716	1.390	1.721	0.029	0.029	0.035
2005-06	1.1	4.3	1.4	0.243	0.527	0.711	0.012	0.026	0.041
2005-07	4.0	3.1	3.6	0.510	1.307	0.711	0.021	0.058	0.046
2005-08	4.9	3.9	7.4	0.431	0.709	0.606	0.056	0.095	0.075
2005-09	2.5	2.0	3.2	0.434	1.139	0.863	0.038	0.088	0.065
2005-10	1.6	2.0	1.9	0.557	1.142	0.809	0.024	0.079	0.049
2005-11	2.9	2.6	3.1	0.407	0.924	0.765	0.030	0.073	0.061
2005-12	1.2	1.6	2.0	0.417	0.812	0.733	0.032	0.053	0.043
2006-01	2.2	3.2	3.8	0.312	0.752	0.771	0.035	0.063	0.052
2006-02	2.2	3.9	3.3	0.365	0.803	0.691	0.019	0.072	0.052
2006-03	3.1	3.7	3.5	0.305	0.659	0.611	0.011	0.037	0.041
2006-04	2.6	3.7	3.9	0.535	0.960	0.854	0.024	0.055	0.045
2006-05	2.5	4.3	4.2	0.512	1.217	1.029	0.036	0.052	0.043
2006-06	3.2	4.5	5.1	0.357	0.992	0.848	0.031	0.062	0.059
2006-07	3.9	4.5	5.1	0.846	1.236	1.356	0.059	0.075	0.082
2006-08	3.9	3.7	3.3	0.464	1.311	1.211	0.047	0.068	0.065
2006-09	2.9	4.0	3.9	0.889	0.911	1.280	0.046	0.073	0.071
2006-10	3.9	3.4	2.8	0.241	0.330	0.337	0.028	0.065	0.068
2006-11	1.4	2.3	2.3	0.353	0.526	0.514	0.049	0.075	0.069
2006-12	2.0	3.1	2.9	0.322	0.576	0.514	0.028	0.065	0.091
2007-01	0.8	1.8	2.0	0.430	0.589	0.673	0.013	0.029	0.023
2007-02	2.1	3.4	1.8	0.638	0.947	0.981	0.013	0.017	0.015
2007-03	1.0	2.5	1.6	0.526	1.073	0.910	0.038	0.067	0.028
2007-04	3.2	4.6	3.9	0.298	0.855	0.997	0.033	0.064	0.062
2007-05	1.6	2.8	2.2	0.421	1.086	1.096	0.020	0.064	0.062
2007-06	1.2	2.8	2.0	0.388	1.020	0.827	0.033	0.055	0.057
2007-07	3.2	3.2	3.1	0.669	1.287	1.169	0.033	0.057	0.055
2007-08	3.2	4.5	4.6	0.676	1.218	1.257	0.008	0.061	0.047
2007-09	2.0	2.9	2.5	0.471	0.904	0.971	0.020	0.078	0.073
2007-10	2.6	2.7	2.8	0.882	0.964	1.048	0.037	0.084	0.071
2007-11	2.1	2.5	2.9	0.783	0.986	0.754	0.041	0.095	0.061
2007-12	2.0	2.3	3.1	0.347	0.890	0.817	0.032	0.070	0.054