

간이변환 수질예측모델에 의한 영일만 내부생산성 평가

윤한삼 · 류청로 · 이인철 · 김헌태
부경대학교 해양공학과

Numerical Simulation of water quality by Δ COD method for Inner Productivity Estimation of Yeong-Il Bay

HAN-SAM YOON, CHEONG-RO RYU, IN-CHEOL LEE AND HEON-TAE KIM
Dept. of Ocean Engineering, Pukyong National University, Pusan 608-737, Korea

KEY-WORD: Yeong-Il bay 영일만, pollutant loads 오염물질, seasonal variation 계절변동 Inner productivity 내부생산성

ABSTRACT: This study investigated the yearly variation of pollutant loads outflowing from six watershed of Yeong-il Bay and compared the relationship of pollutant load and water quality, and estimated the Inner productivity of Yeong-Il Bay by using Δ COD method which analysis nonlinear process of water quality. As the estimated results for the pollutant loads of Yeong-Il Bay, total COD load outflowing from Hyeong-san river in flood season(summer) of 2001 year was 2275.0 kg/hr and in dry(low water) season(winter) 852.8 kg/hr, respectively. Load quantity in flood season was about 2.67 times than that in dry season. And as the calculated results of the net-flux of water for seven divisions, it showed that the net-flux of water increased for the divisions of the north coast and inner sea of Yeong-Il Bay but decreased for the south coast. On the contrary, for the cases which water quantity increase from land, the net-flux of water in estuary front of Hyeong-san river decreased but outflowing quantity of that though division of the south coast of Homi-got increased. Finally, this study compared the Inner productions for flood and dry season of Yeong-il Bay by using Δ COD method

1. 서 론

부영양화가 진행중인 해역에서는, 대상해역에 유입하는 물질량과 해역내의 물질존재량 혹은 물질농도의 관계가 물리적, 화학적, 생물학적 과정에 의해 비선형적인 거동을 보인다(박, 1998). 또한 일반적으로 수질오염은 식물플랑크톤의 내부생산(기초생산)에 의한 유기오염이 주원인인 것으로 알려져 있으며(中西와 淳田, 1975), 堀加 등(1998)은 일본 오사카만에서의 유기오염의 80% 이상이 이러한 내부생산에서 유래된 것으로 보고하여 만내에서의 식물플랑크톤의 내부생산성이 수질에 미치는 영향은 매우 크다고 지적한 바 있다. 이러한 내부생산에 의해 생성된 자생유기물은 해역의 부영양화를 진행시켜 만성적인 적조 현상이나 빈산소수괴의 발생을 초래하게 된다(이, 2001).

영일만의 경우(Fig. 1) 청정해역인 동해로 개방된 지형적 특성을 가지고 있음에도 불구하고 포항제철을 비롯한 대규모 공업단지에서 배출되는 산업폐수와 인근도시지역에서 배출되는 생활폐수 등이 영일만에 유입됨으로써 만내오염물질의 절대량이 증가하여 영일만내의 수질이 점차 악화되고 있는 실정이다(강 등, 2002). 이에 대해서 김 등(2001)은 영일만내 정체성 해역의 발생 및 수질분포와 유동특성을 고찰한 후 수질악화 및 적조발생은 조류잔차류의 연직방향 유동구조특성과 밀접한 관계를 가지고 있다고 밝힌 바 있다.

기존 연구자들에 의하면 영일만내 유입오염물질 수송체계나

정체성 구역의 생성, 이로 인한 적조나 부영양화 발생 현상을 육상으로부터의 과도한 오염부하량 유입과 조석의 조석잔차류에 의한 물질수송기구에서 원인을 찾으려는 노력이 계속되어 왔다.

그러나 이와 관련해서 오염해역발생의 주된 요인으로 생물학적 과정에 의한 오염물질의 체류시간의 변화에서 찾으려는 연구는 찾아보기 힘든 실정이다.

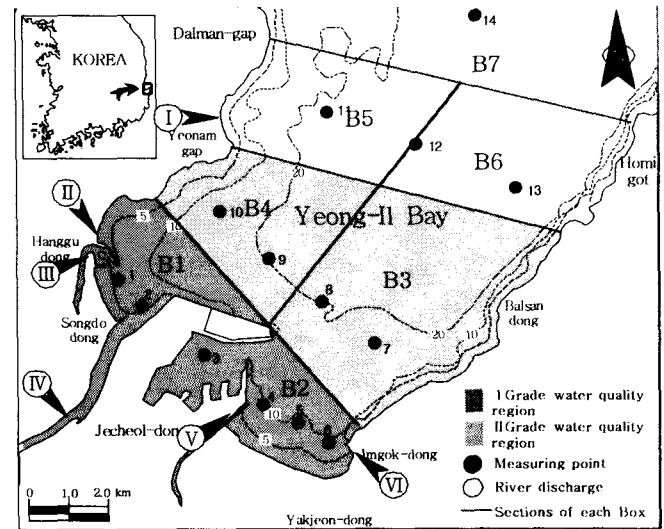


Fig. 1 The present conditions and division of the sea in Yeong-il Bay

이점에 대해서, Li(1993)에 의하면 해역전체의 물질체류시간은 부영양화에 의한 플랑크톤 사이즈의 변화에 의해 연속적인 물질수송이 영향을 받아 Coastal Trapping(武岡 등, 1992) 현상을 통하여 변화하는 것으로 지적하였다. 즉, 부영양화가 개선되면, 동물성 플랑크톤이 대형화되기 때문에 Coastal Trapping이 보다 효과적으로 작용하며, 물질 체류시간이 길어짐에 따라 수질이 곧바로 개선되지 않게 된다. 이것은, 영양염인 오염부하와 수역의 영양염 농도간의 비선형적인 관계를 의미하는 것으로, 영양염 농도와 내부에서 생산되는 COD농도간에 1차 생산을 통한 비선형성 효과가 나타나는 것에 주목할 필요가 있음을 의미한다. 이러한 메카니즘에 대해서는 개념적으로는 논의가 되고 있지만, 실측치의 경시적, 공간적인 해석에 의해 실증적으로 나타난 것은 드물고, 이에 대한 예측모델연구도 미비한 실정이다.

유입물질의 거동 및 수질예측에 관한 연구로서 内田 등(1994)은 경년적인 자료가 갖추어져 있는 해역의 경우, 통계적인 간이모델에 의해서도 수질예측이 가능함을 제안하고 있다. 이는 부영양화 해역에 있어서 COD는, 육역으로부터 유입하는 외부부하성의 COD와 해역내에서 생산되는 내부생산 COD로 구분될 수 있기 때문이다(李 등, 1995; 박, 1998).

이에 본 연구에서는 内田 등(1994)에 의해 제안된 간이변환 수질예측 모델을 이용하여 영일만의 내부생산성에 대한 평가를 검토하고자 한다. 이를 위해 영일만을 대상으로 육역으로부터 유입하는 오염부하량의 계절별 변동과 및 부하량과 수질간의 상호관계를 비교 검토함과 아울러, 최종적으로 수질의 비선형성 해석과정을 간이변환 수질예측모델을 사용하여 계절별 영일만의 내부생산성을 평가해보고자 한다.

2. 자료 및 방법

대상해역 공간분할

Fig. 1에서 보는 바와 같이 현재 영일만은 국내 해역관리등급을 기준으로 3개 등급의 수질환경관리영역으로 나누어 관리되고 있다. 이에 수질등급 3개에 대해 총 7개의 BOX로 분할한 후 각 영역별 물질수송량을 평가하고 육역으로부터의 유입량과 해역의 기저 수질농도간의 상호작용을 고려하여 각 BOX내부에서의 내부 생산성을 평가하고자 한다. 모두 7개의 BOX를 구체적으로 살펴보면 B1, B2는 포항신항을 중심으로 양쪽에 1등급 수질을 가진 해역이며, B3, B4는 2등급 수질의 해역이고, B5, B6, B7은 동해와 인접한 3등급 수질의 해역이다.

하천유량과 유입오염부하량의 산정

본 연구에서의 유입오염부하량은 윤 등(2002)에 의해 영일만 유입 수계유역에 대해 Tank모델을 사용하여 산정된 2001년 일별하천유량 계산치와 월별 평균 BOD, COD, SS, 총질소(T-N), 총인(T-P)의 5개 수질항목에 대한 유입오염부하량 산정 결과를 기초하였다. 만내 유입오염부하량은 Fig. 1에서 나타난 바와 같이 모두 6개의 대표적 오염유입지점에 대해서 계절별로 산정하였으며, 만내 수질은 국립수산과학원(구 국립수산진흥원)에서 실시한 2001년 영일만 수질조사자료를 이용하여 영일만 수질의

계절변동특성을 고찰하였다. 각 소유역별 하천에서(Fig. 1에서 I ~ VI) 발생하는 오염부하량은 산정된 1일 하천유량에 관측된 수질오염물질 농도를 곱하여 구한 것으로 수질의 경년변동에 대해서 더욱 자세한 내용은 윤 등(2002)의 연구를 참고하기 바라며 본 논문에서는 지면상 생략한다.

실험조건으로는 영일만내 오염부하량 유입지점별 공간분포 및 하천유량이 없을 시(Case 1), 홍수기(Case 2, 여름철) 및 갈수기(Case 3, 겨울철)의 3가지 경우에 대한 계절별 유입오염부하량을 산정하였으며, 산정되어진 결과를 간이변환 수질예측모델의 입력자료로 사용하였다.

유입오염부하량과 만내 수질의 관계

박(1998)에 의하면 오염부하량 자료를 기초로 하여 수질의 경년변동과 대응시켜, 해역의 오락경위와 더불어 수질오락의 상황에 따른 양자의 상호관련성을 파악하여 그 개념도를 Fig. 2와 같이 제시한 바 있다. Fig. 2에 따르면 해역내의 수질변화는 유입부하량에 대하여 1차적인 관계를 보인다고 할 수 있으나, 실제로는 유입된 영양염은 생물생산에 이용됨에 따른 생·화학적 과정을 통하여 비선형적인 관계를 나타내는데 이는 연안역이나 내만에서의 물질체류시간이나 해역의 지형적 특성에 따른 유동구조, 해역의 생물생산의 능력과 밀접한 관계가 있을 것으로 생각된다.

따라서 본 연구에서는 앞서 산출한 영일만 유입오염부하량과 만내 수질과의 상호관계는 계절별로 구분하여 비교하였으며 오염부하량 유입지점과 BOX별 수질농도와의 관계는 정성적인 방법으로 고찰하고자 한다.

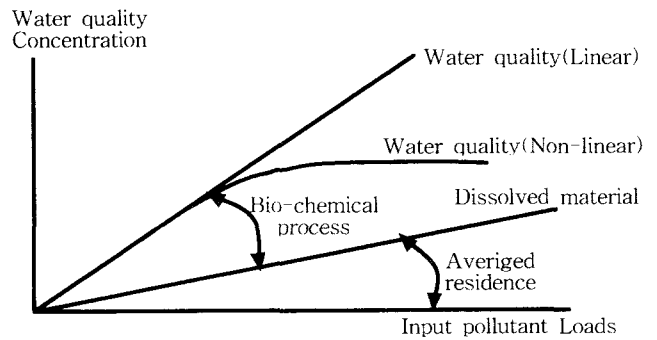


Fig. 2 General concept of nonlinear relationship between water quality and pollutant discharge in coastal sea area.

구역별 물질수지 계산

영일만 내부의 정체적 해역의 발생원인 및 오염물질의 거동에 원인이 되는 항류성분의 특성을 파악하기 위해 해수유동 수치모형실험을 수행하고 각 구역별(BOX) 경계면에서의 물질 플럭스를 계산하였다.

사용되어진 해수유동 수치모형은 2차원 수심적분 모델로서 2차원 연속방정식과 Navier-Stokes 방정식을 기본방정식으로 하여, 연직면($-h \leq z \leq \zeta$)에 대해 평균하고, 외력으로 지구 자전에 의한 영향, 바닥의 마찰력 및 중력을 포함시키고, 표층에서 바람에 의한 응력을 무시하였다. 또한 본 수치모델은

Leendertse(1971)에 의해 조류·확산 계산에 응용되어, 현재 널리 사용되고 있는 ADI법(Alternating Direction Implicit method)을 사용하였다.

실험조건은 앞서 서술한 바와 같이 하천유량이 없을 시(Case 1), 홍수시(Case 2, 여름철) 그리고 갈수시(Case 3, 겨울철)로 세부화하여 육상으로부터의 외력조건에 따른 영일만 내부의 유동 변화 패턴을 알아보고자 하였다. 또한 각 구역별(BOX) 경계면에서의 물질 플럭스(net-flux) 변동을 계산시 홍수기와 갈수기시의 하천유량을 계산조건으로 해수유동실험을 수행하였다. 단면유량의 계산결과는 유동장 계산시 안정상태라고 판단된 후의 최종 24시간동안의 각 구역별(BOX) 유량수질로서 나타내었다.

오염물질 확산계산

내부생산 COD평가를 위한 수치모의 방법으로는 오염물질의 확산실험을 바탕으로 하였는데, 또한 물질확산방정식은 유동장내에서의 확산물질이 연속운동에 의한 난류확산과정을 가질 것으로 보고 2차원화된 물질확산 기초방정식을 사용하였다. 확산 모델은 후술하는 각 영역별 ΔCOD 를 계산하고, 각 영역간의 순플럭스(net flux) 계산결과에 계산되어진 각 구역별(BOX) COD 부하량을 곱함으로써 각 구역별 부하량 공간변동 특성을 고찰하고자 한다. 해수유동 조건과 아울러 확산계산 조건은 M2분조와 K1분조이며, 총 계산시간은 7조석동안 계산하였다.

영일만의 내부생산성 평가

앞서 서술한 바와 같이 본 연구는 内田 等(1994)에 의해 제안된 간이변환 수질예측 모델을 바탕으로 부영양화 해역에 있어서의 COD를 식(1)~식(5)와 같이 육역으로부터 유입하는 외부부하성의 COD와 해역내에서 생산되는 내부생산 COD로 구분하였다. 내부생산 COD(ΔCOD)의 평가개념은 Fig. 3과 같다.

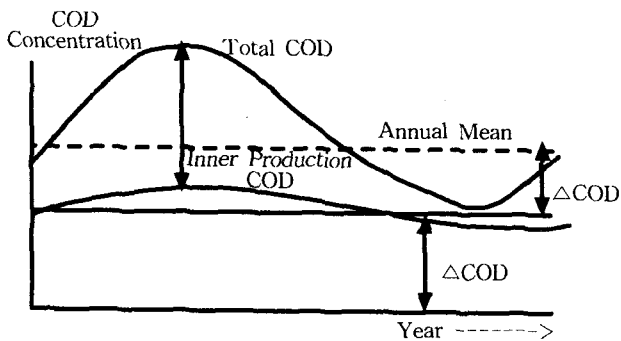


Fig. 3 Evaluation concept of inner production COD(ΔCOD) in coastal sea area.

해역에 있어서 1차 COD의 평균농도는 COD_b 는 수질확산 시뮬레이션에 의한 1차 COD 농도를 나타내고 있으며, 본 연구에서의 내부생산 COD(ΔCOD)는 식 (2)에 나타내어진다. 실제 α_p 는 실제 현장에서의 많은 관측자료를 통해 산정하여야 하지만, 해역의 관측자료의 부재로 인해 연구과정의 어려움이 많은 실정므로, 본 연구에서는 영일만의 내부생산에 미치는 변환율

α_p 를 역으로 산출하는 방식을 산정하였다. 즉, 이 값은 해역전체의 수송력을 표현하는 것으로, 해역에서의 물질농도를 결정하는데 크게 작용하는 고유상수이다.

$$\text{COD} \equiv \text{COD}_b + \Delta\text{COD} \quad (1)$$

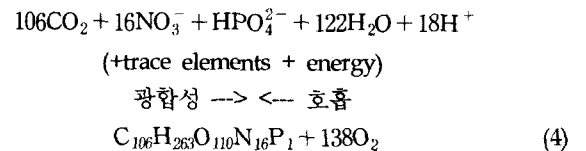
$$\Delta\text{COD} \equiv \alpha_p \times \text{COD}_p \quad (2)$$

상술한 바와 같이 식(2)로부터 변환율 α_p 는 다음과 같이 제시되어질 수 있는데 식에서 COD값은 기존 실제 대표 관측치를 대입하여 구하였다.

$$\alpha_p = (\text{COD} - \text{COD}_b) / \text{COD}_p \quad (3)$$

여기서, COD: 해역내에서의 COD 농도의 년평균치, COD_b : 1차 COD농도(육역유래의 COD 유입부하의 확산치), ΔCOD : 2차 COD 농도(내부생산 COD 농도의 년평균치), COD_p : 식물성 플랑크톤의 생산반응식 식(4)에 의해 구한 TP 농도로부터 내부생산 가능한 COD의 이론적 최대농도(11/4 등, 1975),

$\text{TOD}_p = 143 * \text{TP}$, $\text{COD}_p = \text{TOD}_p / 2.26$, α_p : 변환율 (실제로 내부생산되는 COD 농도의 COD_p 에 대한 비율)



3. 결 과

하천유량과 유입오염부하량의 산정

Table 1에 6개 하천별로 산정되어진 하천유량과 수질농도 COD의 유입량을 나타내었다. 먼저 홍수시(여름) B1영역내로 유입되는 총하천유량은 $40.29\text{m}^3/\text{sec}$ 이며, 갈수기시(겨울) B1영역내로 유입되는 총하천유량은 $16.42\text{m}^3/\text{sec}$ 이다. 홍수기와 갈수기의 하천유량은 약 2.45배의 차이를 보였다.

Table 1 Seasonal river discharge and COD load from 6 rivers

Division	Region	Region and pollutant loading locations					
		B5		B1		B2	
		I	II	III	IV	V	VI
Summer (Case2)	River discharge (m^3/sec)	0.47	0.24	0.54	39.51	3.25	1.44
	COD %	3.63	2.05	21.05	63.61	9.02	0.98
	load kg/hr	129.8	73.3	752.8	2275.0	322.4	34.9
Winter (Case3)	River discharge (m^3/sec)	0.19	0.10	0.22	16.10	1.32	0.59
	COD %	3.63	2.05	21.05	63.61	9.015	0.98
	load kg/hr	48.7	27.5	282.2	852.8	120.9	13.1

윤 등(2002)에 의해 산출되어진 영일만내 유입오염부하량의 공간분포 자료를 바탕으로 홍수기와 갈수기의 유입오염부하량을 계절별로 산출해 보면 다음과 같다.

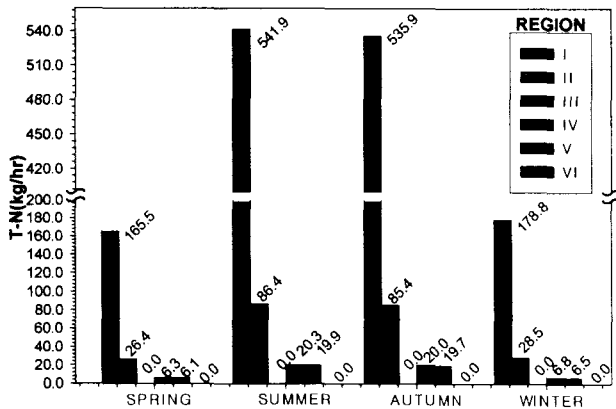


Fig. 4 Seasonal mean pollutant load of T-N(2001yr)

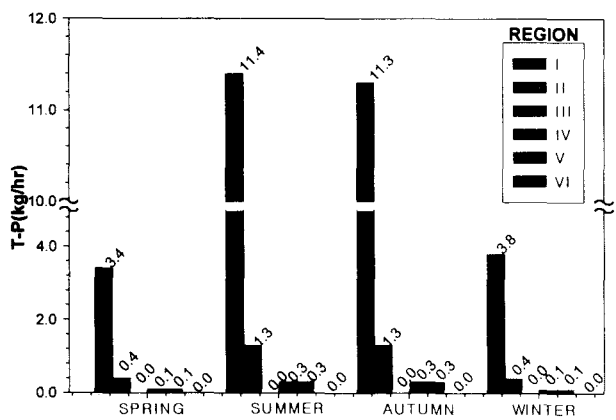


Fig. 5 Seasonal mean pollutant load of T-P(2001yr)

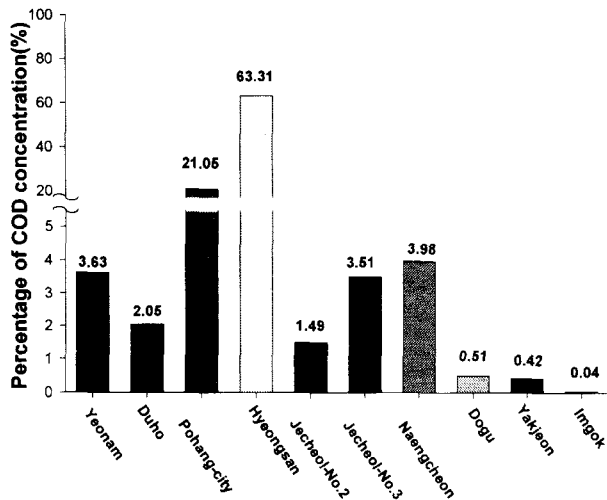


Fig. 6 Percentage of COD concentration from each river sources

Fig. 4에서 갈수기시(겨울) B1영역내로 유입되는 총질소 오염 유입부하량은 178.8kg/hr이며, 홍수시(여름) B1영역내로 유입되는 총질소 오염유입부하량은 541.9kg/hr이다. 갈수기와 홍수기의 총질소 오염유입부하량은 약 3.03배의 차이를 보인다. 또한 Fig. 5에서 갈수기시(겨울) B1영역내로 유입되는 총인 오염유입

부하량은 3.8kg/hr이며, 홍수시(여름) B1영역내로 유입되는 총인 오염유입부하량은 11.4kg/hr이다. 갈수기와 홍수기의 총인 오염유입부하량은 약 3.0배의 차이를 보인다.

유입부하량과 만내 수질의 관계

본 연구에서 대상으로하는 오염물질인 COD에 대해서는 형산강에 대한 자료에 한정되어 있으므로 각 유입지점별 오염부하량은 기존 영일만 자료(포항영일지구 주변해역 어업피해 조사연구, 1990)로부터 연평균치의 COD 기여율을 산정하고 형산강 COD량을 각 유입지점별로 비례식으로 할당하는 방법으로 산정하였다.

각 유입지점별 COD 할당 비율(Fig. 6)과 산정결과는 Table 1에 제시한 바와 같다. 여름철 형산강을 통한 총 COD부하량은 2275.0kg/hr이며, 구포항시 도시하천과 냉천을 통한 COD부하량은 각각 752.8kg/hr과 322.4kg/hr으로 그 다음을 차지하였다. 또한 겨울철의 형산강을 통한 총 COD부하량은 852.8kg/hr이며, 구포항시 도시하천과 냉천을 통한 COD부하량은 각각 282.2kg/hr과 120.9kg/hr으로 그 다음을 차지하였다. 이를 통해 여름철 형산강을 통한 영일만내로의 유입COD는 겨울철에 비해 약 2.67배 큰 것으로 산정되었다.

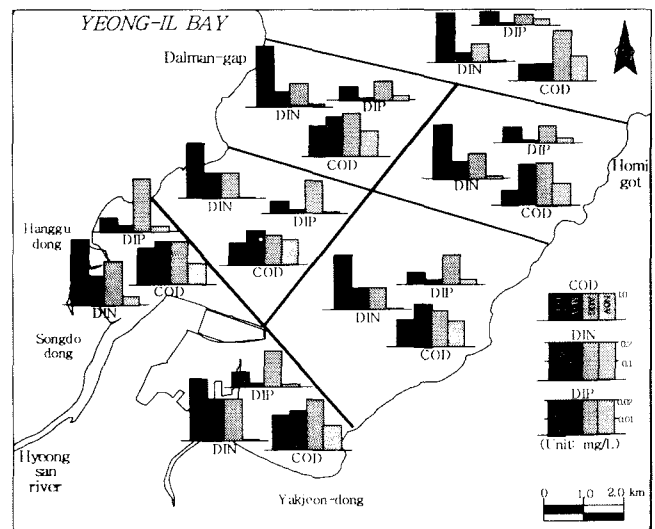


Fig. 7 Seasonal and spatial distribution of mean concentration of water quality(2001yr)

Table 2 Divisional mean water quality(2001yr)

Division	Water Volume ($\times 10^3 m^3$)	Mean of water quality(mg/L)		
		COD	T-N	T-P
I	88,000	1.337	0.2050	0.0107
II	124,000	1.385	0.2075	0.0089
III	594,000	1.241	0.1348	0.0077
IV	306,000	1.061	0.1458	0.0076
V	379,000	1.299	0.1325	0.0055
VI	446,000	1.075	0.1283	0.0060
VII	-	1.018	0.1050	0.0045

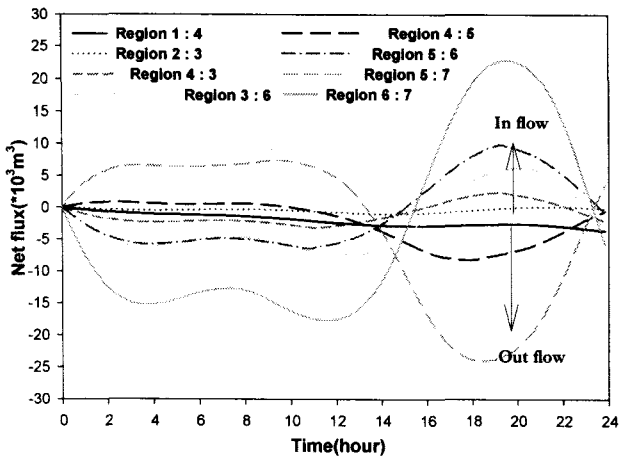


Fig. 8 Temporal variation of the net-flux water(Case 2)

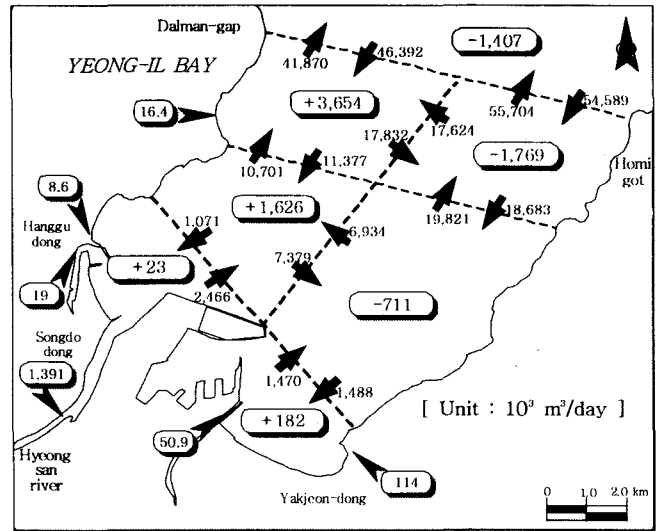


Fig. 11 Divisional distribution of the net-flux water(Case 3)

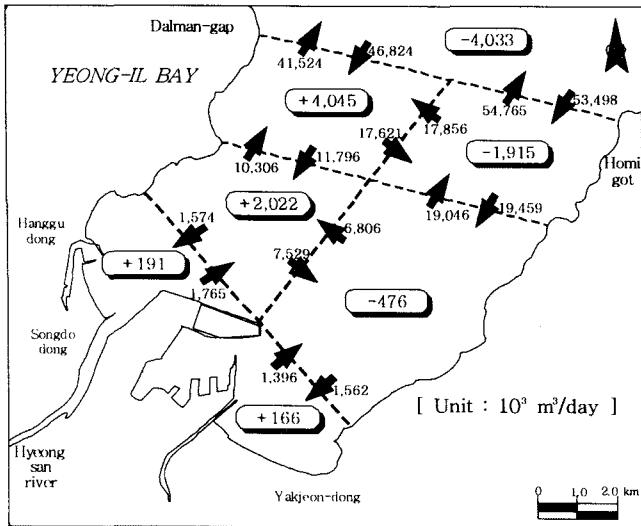


Fig. 9 Divisional distribution of the net-flux water(Case 1)

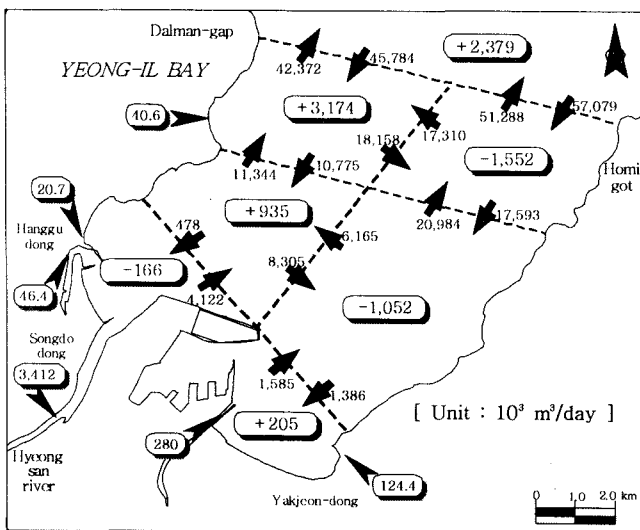


Fig. 10 Divisional distribution of the net-flux water(Case 2)

또한 만내 수질은 대상해역의 BOX별로 구분해서 계절별로 나타내었는데 그 결과는 Fig. 7과 같으며 연평균값으로 나타낸 것이 Table 2와 같다. 이를 통해 앞서 제시한 바와 같이 영일만은 수질환경관리영역으로 나누어 관리되어지는 것과 같이 B1, B2영역이 오염이 가장 심하고 외해로 갈수록 평균농도 수치가 낮아지는 것을 알 수 있다. 이는 T-N, T-P의 경우에도 동일한 경향을 나타내었다.

구역별 물질수지 계산결과

구역별 물질수지 계산결과는 Fig. 8~Fig. 11과 같이 나타낼 수 있다. Fig. 8은 Case 2의 홍수시(여름철)의 각 구역별 경계단면에서의 netflux를 정(+, BOX내로 유입되는 경우)과 부(-, BOX외로 유출되는 경우)로 구분하여 시간변동에 따른 경향을 살펴보고자 하였다. 대체적으로 B5구역을 통해서는 B7로부터 유입하고 B6을 통해서는 B7로 유출되는 결과를 나타내었는데 이는 기존 영일만내의 조석잔차류 거동을 제안한 많은 연구자들의 결과와 일치하는 경향을 나타내었다(이 등, 1995; 김, 2001).

또한 각 Case 별로 유량수지의 공간분포를 살펴보면 Fig. 9~Fig. 11과 같이 나타낼 수 있다. Fig. 9에서 하천유량이 없을 시 단면을 통한 유량은 B1, B2, B4, B5 구역에서는 수렴하고 B3, B6, B7구역은 발산하는 것으로 나타났다. Fig. 10에서 홍수기시(여름철) 단면을 통한 유량은 B2, B4, B5, B7 구역에서는 수렴하고 B1, B3, B6구역은 발산하는 것으로 나타났다. 또한 Fig. 11에서 갈수기시(겨울철) 단면을 통한 유량은 하천유량이 없는 Fig. 9와 마찬가지로 B1, B2, B4, B5 구역에서는 수렴하고 B3, B6, B7 구역은 발산하는 것으로 나타났다. 이를 통해 영일만 내부의 유량수지는 대체로 북측 해안과 만내 깊은 곳에서는 유량이 상승하는 반면 남측 해안은 감소하는 경향을 나타내었다. 이는 B5를 통한 외해로부터의 유입이 많음을 나타내고 있다. 그러나 육상으로부터 하천유량이 증가할 시에는 형산강 하구부인 B1은 감소하고 B6구역을 통한 외해로의 유출이 증가하는 것을 알 수 있다.

간이변환 수질예측에 의한 내부 생산성의 평가

영일만 내부의 내부생산 COD(Δ COD)를 오염물질 확산실험을 통해서 평가하고자 하였다. 계산 입력조건은 Table 2와 같이 홍수기와 갈수기의 두가지 경우에 대해서 적용을 하였으며, 수질확산시뮬레이션에 의해 해역에 있어서 1차 COD의 평균농도인 COD_b 를 산정하여, 식(2)와 식(3)에 의해 영일만의 내부생산성을 평가하였다.

4. 요약

본 연구에서는 영일만을 대상으로 육역으로부터 유입하는 오염부하량의 경년 동향파악 및 부하량과 수질간의 상호관계를 비교 검토함과 아울러, 수질의 비선형성 해석과정을 간이변환 수질예측모델을 사용하여 영일만의 내부생산성을 평가하였다. 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

- (1) 유입물질의 거동 및 수질예측에 관한 연구로서 영일만 해역의 경우, 통계적인 간이모델에 의해서도 수질예측이 가능함을 알 수 있었다.
- (2) 영일만을 대상으로 육역으로부터 유입하는 오염부하량의 계절별 변동파악 및 부하량과 수질간의 상호관계를 비교 검토하였다. 이를 통해 먼저 홍수시(여름) 형산강 하구해역으로 유입되는 총하천유량은 $40.29m^3/sec$ 이며, 갈수기시(겨울) 유입되는 총하천유량은 $16.42m^3/sec$ 이다. 홍수기와 갈수기의 하천유량은 약 2.45배의 차이를 보였다.
- (3) 또한 갈수기시(겨울) 형산강 하구해역으로 유입되는 총질소 오염유입부하량은 $178.8kg/hr$ 이며, 홍수시(여름) 총질소 오염유입부하량은 $541.9kg/hr$ 이다. 갈수기와 홍수기의 총질소 오염유입부하량은 약 3.03배의 차이를 보인다. 또한 이와 유사하게 총인 오염유입부하량은 약 3.0배의 차이를 보였다.
- (4) 여름철 형산강을 통한 총 COD부하량은 $2275.0kg/hr$ 이며, 겨울철의 형산강을 통한 총 COD부하량은 $852.8kg/hr$ 로서 여름철 형산강을 통한 영일만내로의 유입COD는 겨울철에 비해 약 2.67배 큰 것으로 산정되었다.
- (5) 구역별 물질수지 계산결과, 이를 통해 영일만 내부의 유량수지는 대체로 북측 해안과 만내 깊은 곳에서는 유량이 상승하는 반면 남측 해안은 감소하는 경향을 나타내었다. 이는 달만갑 해역을 통한 외해로부터의 유입이 많음을 나타내었다. 그러나 육상으로부터 하천유량이 증가할 시에는 형산강 하구부 해역은 유량이 감소하는 반면 호미곶 해역을 통한 외해로의 유출이 증가하는 것을 알 수 있었다.
- (6) 최종적으로 수질의 비선형성 해석과정을 간이변환 수질예측모델을 사용하여 홍수기시와 갈수기시의 영일만 내부생산성을 평가하였다.

참 고 문 헌

강양순, 김귀영, 심정민, 성기탁, 박진일, 공재열(2002), 영일만

수질의 시공간적 변동, 한국수산학회, 제35권 4호, pp43 1~437.

- 김기태(1992), 동해남부해역의 연구, 영남대 출판부, pp17~33.
- 김헌덕, 김종인, 류청로(2001), 영일만내 유동과 수질특성에 관한 연구, 한국해양공학회지, 제15호 4호, pp28~37
- 김종규(2001), 영일만의 조석잔차류 거동특성, 한국환경공학회지, 제4권 1호, pp14~23.
- 박철석(1998), 연안역 어업환경변화의 해석과 어업보상평가 연구, 부경대학교 박사학위논문, pp30~47.
- 이인철(2001), 부영양화해역의 내부생산효율에 대한 계절변동 예측, 한국해양공학회지, 제15호 4호, pp53~59.
- 이종섭, 김차겸, 김종화, 임기봉(1995), 영일만의 해수유동 구조 및 확산특성. 한국해양학회지, 30(5), pp467~479.
- 윤한삼, 이인철, 류청로, 박종화(2002), 영일만내 개발에 따른 오염물질의 시·공간적 변동특성, 한국수산학회, 춘계학술발표논문.
- 최강호(1993), 영일만의 해양학적 특성, 부산수산대학교 석사학위논문, P47.
- 李寅鐵, 浮田正夫, 藤田健一, 關根雅彦(1995), 瀬戸内海における流量收支と水質應答特性に関する研究, 日本環境工學研究論文集, 第32卷.
- 武岡英陸(1992), 營養物質負荷の變化に對する大阪灣の應答 -Coastal Trappingによる物質輸送の非線型性-, 1992年度 日本海洋學會春季大會講演要旨集, 213-214, 1992.
- 上 眞一(1993), 低次營養段階におけ生物過程の時間的變動, 沿岸海域研究ノート, 第30卷 第2号, 165-176.
- 内田唯史, 浮田正夫, 關根雅彦, 中西 弘(1995), 富營養化海域の水質の非線型性とそのモデリングに関する研究, 土木學會論文集, No.503/II-29, 187-195, 1994.