

마산만 육상기인오염원의 오염기여율 모델링

정우성* · 홍석진**† · 이원찬** · 김형철** · 김진호** · 김동명***

*, ** 국립수산과학원 어장환경과, *** 부경대학교 생태공학과

Modeling for Pollution Contribution Rate of Land based Load in Masan Bay

Woo-Sung Jung* · Sok-Jin Hong**† · Won-Chan Lee** · Hyung-Chul Kim** · Jin-ho Kim** · Dong-Myung Kim***

*, ** Marine Environmental Management Division, National Institute of Fisheries Science, Busan 46083, Korea

*** Department of Ecological engineering, Pukyong National University, Yongso-ro, Nam-gu, Busan 48513, Korea

요 약 : 해역수질 관리를 위해 마산만으로 유입되는 육상기인오염원이 해역수질에 미치는 영향인 오염기여율을 생태계 모델을 이용하여 정량화하였다. 오염기여율은 마산만 해역으로 들어오는 16개 오염원 각각의 유무에 따라 해역 정점별 수질 농도변화를 통해 계산하였다. 오염기여율 결과로 만 내측의 하천들은 만 북부에서 COD는 20%, T-P는 62%로 나타났고, 만 중부에서는 COD는 10%, T-P는 16%로 나타났다. 따라서, 만 내측의 하천들은 마산만 북부와 중부수질에 영향을 주고 있는 것으로 나타났다. 또한, 만 북부로 유입되는 하천들의 T-P기여율이 COD기여율 보다 높기 때문에, COD부하보다 T-P부하가 수질에 미치는 영향이 더 큰 것으로 판단된다. 만 남부 오염원인 덕동하수처리장은 남부에서 COD는 26%, T-P는 11%, 중부에서 COD는 17%, T-P는 7%, 만 외측에서는 COD는 10%, T-P는 1% 기여하는 것으로 나타났다. 이는 저층 잔차류 흐름이 만 내측으로 향하고 있기 때문에 마산만 외측보다 남부와 중부에서 수질에 더 큰 영향을 미치고 있는 것으로 나타났다.

핵심용어 : 오염기여율, 생태계모델, 육상기인오염원, 마산만, 해역수질관리

Abstract : Pollution contribution rate that is effect on water quality from land based load in Masan bay was showed quantifiably for coastal water quality management by using ecological model. It was calculated by difference of water quality concentration at each points that is calculated by each scenarios that are presence or absence of each sources (16 points). Results show that, rivers of Northern Masan bay contributed in Masan bay COD is 20%, T-P is 62% at northern part and COD is 10%, T-P is 16% at middle part. As a result, rivers of Northern Masan bay had effect on water quality of northern Masan bay and middle Masan bay. Also, T-P load affects water quality bigger than COD load, because T-P contribution rate bigger than COD contribution rate of northern rivers. Dukdong WTP that is land pollution source of southern Masan bay contributed in Masan bay COD is 26%, T-P is 11% at middle part, COD is 17%, T-P is 7% at middle part and COD is 10%, T-P is 1% at outer part. It affects water quality bigger at southern and middle of Masan bay than outer bay, because residual flow of bottom flows toward inner of Masan bay nearby Dukdong WTP.

Key Words : Pollution concentration rate, Ecological Model, Land based load, Masan bay, Coastal Water Quality Management

1. 서론

마산만은 2005년도부터 연안오염총량관리제가 도입되어 현재까지 수질이 개선되고 있다(MOF, 2007; MOF, 2014). 그러나 수질 오염 및 빈산소수괴에 의한 생태계 교란은 반복되고 있다(NIFS, 2009; Kim et al., 2006; Kim et al., 2010).

해역의 수질관리는 유입되는 오염원을 삭감 했을 때 해역 수질농도가 어떻게 개선되는지가 매우 중요하다. 최근 생태계 모델을 이용하여 오염원 삭감에 따른 수질의 응답특성에 관해 시뮬레이션 하는 연구들을 흔히 볼 수 있다(Hong et al., 2007a; Gaddis and Voinov, 2010; Zhao et al., 2012). 이에 대해, 유입 부하량의 개선 노력이 해역의 수질 농도에 기여하는 정도를 정량화한다면 해양생태계 관리에 매우 유용할 것이다.

현재 오염원의 기여율은 대부분 유입되는 오염원 총량에서 차지하는 비율에 따라 계산되고 있다(Choi et al., 2012;

* First Author : seasoundjws@naver.com, 051-720-2527

† Corresponding Author : 71sj@daum.net, 051-720-2527

DePinto et al., 2009; Jung et al., 2014; Park, 2014). 하지만 실제 해역의 수질을 결정하는 요소는 육상에서 유입되는 오염원이 전부 아니다. 외해에서의 오염원 유입, 조류에 의한 순환, 지형, 생물학적 과정 등이 복합적으로 이루어져 해역의 수질을 결정한다. 따라서 위의 모든 요소를 고려할 수 있는 모델링을 통하여 육상오염원이 해역의 수질에 미치는 정도 즉, 실질적인 기여율에 대한 연구가 필요하다고 판단된다. 이와 같은 연구는 각각의 오염원이 해역에 미치는 영향을 알 수 있다. 또한 수질관리를 위한 오염원 관리 우선순위를 결정하는데 유용하게 사용할 수 있을 것으로 판단된다.

본 연구에서는 마산만 육상기인오염원이 수질에 미치는 오염기여율을 모델링하여 그 크기를 정량화하고자 하였다.

2. 재료 및 방법

2.1 해수유동 모델

본 연구에서 사용한 해수유동 모델은 EFDC(Environmental Fluid Dynamics Code)이다. 현재는 미국환경청(EPA)과 Tetra Tech, Inc.에 의해 개발·관리되고 있는 3차원 모델로 다양한 수환경에 적용이 가능하여 여러 연구가 진행되었다(Jung and Choi, 2011; Kang et al., 2011; Kim et al., 2008; Park et al., 2011; Zhao et al., 2012). 해수유동 모델의 수평방향 격자 개수는 x 방향으로 226개, y 방향으로 210개로 구성하였다. 수평방향 격자구성은 Fig. 1에 나타난 연구해역 범위 및 목적을 고려하여, 만 내측에서 외측으로 갈수록 격자가 커지도록 구성하였다. 격자크기는 x·y 방향으로 50 m~400 m 크기로 구성

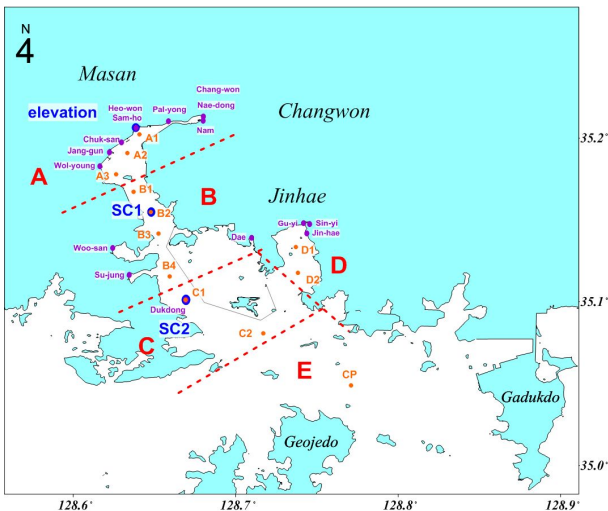


Fig. 1. Stations of study area (Red : Distribution area, Blue : Verification station of Hydrodynamic model, Orange : Observed station, Purple : station of land pollution source).

하였다. 해수유동 모델의 수직방향 격자는 진해만 전체수심을 고려하여 5개 층으로 하였으며, 시그마 격자로 구성하였다. 해수유동 모델의 계산기간은 연구시기와 모델의 안정화를 고려하여 30일을 계산하였고, 계산간격은 1초로 하였다. 하천유입에 따른 밀도류를 고려하기 위해 수온, 염분 및 기상상태를 입력하고 계산하였다. 하천의 수온·염분자료는 관측된 값을 사용하였으며(MOF, 2011), 해역의 수온, 염분 자료를 국립해양조사원의 자료를 사용하였다. 기상자료는 기상청 자료를 사용하였다. 해수유동 모델의 범위는 유동의 안정성을 위하여 진해만 전체를 포함하였다(Fig. 2, Table 1). 해수유동 결과를 잔차류로 변환하여 생태계 모델의 유동자료로 사용하였다.

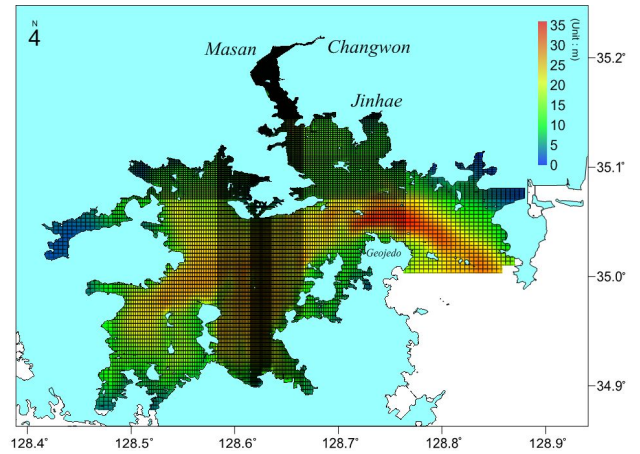


Fig. 2. Grid and depth of hydrodynamic model.

Table 1. Conditions of calculating(EFDC)

Items	Experiment condition
Model region	Jinhae Bay
The number of grid	226 × 210
Grid size	$\Delta x = \Delta y = 50 \text{ m} \sim 400 \text{ m}$
Vertical layers	5 layers
Calculation period	30 days
Time interval	1 sec

2.2 생태계 모델

본 연구에서 사용한 생태계 모델은 EM3(Ecological Model for Marine environmental Management)이다. EM3는 2008년 마산만 특별관리해역의 제 1차 연안오염총량관리제 도입 및 시행을 위해 구성되었다. EM3는 목적에 따라 상태변수와 프로세스의 추가 및 생략이 가능하고, 내부생산 COD등이 고려되어 있다.

해양 생태계 모델의 격자는 해수유동 모델과 동일한 가변

마산만 육상기인오염원의 오염기여율 모델링

Table 2. Conditions of calculating(EM3)

Items	Experiment condition
Model region	Masan Bay
The number of grid	111×144
Grid size	$\Delta x = \Delta y = 50 \text{ m} \sim 400 \text{ m}$
Vertical layers	5 layers
Calculation period	30 days
Time interval	400 sec
Load	Refer to Fig.3

Table 3. Boundary conditions of EM3

Items	Concentration	
Phytoplankton	0.001~80.00	(mgC/m ³)
Zooplankton	0.001~30.00	
POC	0.001~0.570	
DOC	0.001~1.050	
DIP	0.0001~0.0005	(mg/L)
Si	0.001~0.050	
NH ₄	0.0001~0.0005	
NO ₃	0.001~0.010	
DO	7.000~10.20	
COD	0.001~0.300	
T-N	0.001~0.080	
T-P	0.001~0.006	

격자로 구성하였으며, 계산범위는 ‘마산만 특별관리해역 연안오염총량관리 대상해역’을 포함하는 영역으로, 마산만의 가장 안쪽부터 Fig. 1의 거제도 북부해역(CP정점)까지로 설정하였다. 생태계 모델의 계산기간은 연안오염총량관리에서 정의하였던 하계(5월과 8월)를 기준으로 2010년 5월과 8월을 30 day씩 계산하였다. 생태계 모델의 계산 간격은 400 sec로 하였다(Table 2).

생태계 모델의 입력조건은 마산만 2차 연안오염총량관리와 동일한 자료를 활용하였다(MOF, 2012a; MOF, 2012b). 외경계값은 관측결과를 조절하여 입력하였다(Table 3). 수질항목으로는 식물플랑크톤, 동물플랑크톤, 탄소(입자성 유기탄소, 용존성 유기탄소), 영양염(용존무기인, 규소, 암모니아, 아질산) 및 용존산소, COD, T-P 등을 고려하였다. 퇴적층은 관측된 영양염 용출량 및 산소소비량 자료를 활용하여 대체하였다. 모델에서 고려한 오염원은 하천 14개와 하수처리장 2개로 총 16개 정점이며 오염원별 COD 및 T-P유입량은 다음과 같다(MOF, 2011). 덕동하수처리장에서 유입되는 COD는 3,658 kg/day, T-P는 201 kg/day이다. 삼호천에서 유입되는 COD

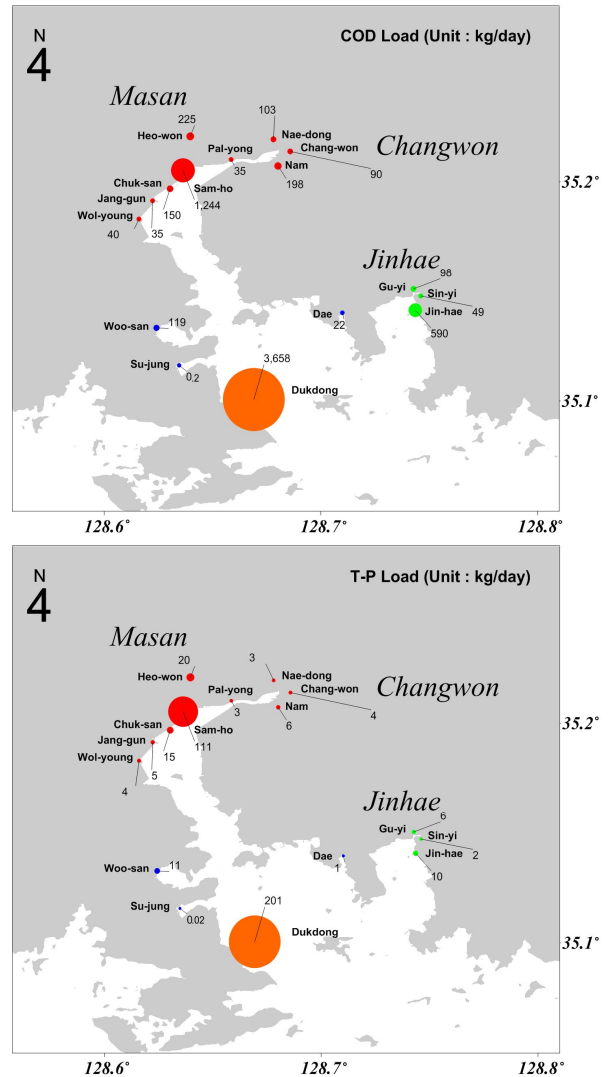


Fig. 3. land based load(Up : COD, Down : T-P).

는 1,244 kg/day, T-P는 111 kg/day이다. 진해하수처리장에서 유입되는 COD는 590 kg/day이며, T-P는 10 kg/day이다. 부하량은 덕동하수처리장에서 가장 많이 유입되며, 전체 유입부하의 50% 이상을 차지하는 것으로 나타났다. 다음으로 부하량이 많은 삼호천은 COD부하의 20%, T-P부하량의 30% 정도를 차지하는 것으로 나타났다(Fig. 3).

2.3 오염기여율

해역에 대한 육상오염원의 기여율 계산은 명확하게 정의된 바가 없다. 따라서 오염기여율은 수질관측 정점별 수질농도 변화율로 나타내었다. 즉, Fig. 1에 해역으로 유입되는 16개 오염원 각각이 해역에 유입될 때와 유입되지 않을 때를 시뮬레이션 한 후, 정점별 수질농도를 절대상대오차(ARE)으로 나타내었다. 식은 다음과 같다.

$$\text{Contribution rate of pollution (\%)} = \left| \frac{WQC_{inlow} - WQC_{noninlow}}{WQC_{inlow}} \right| \times 100 \quad (1)$$

WQC : Water Quality Concentration

식에 제시된 수질농도는 5월과 8월 표·저층 수질농도를 모두 평균해서 적용하였다. 오염기여율의 해석은 오염원의 위치와 특징에 따라 구역을 나누는 후, 구역별 오염원이 각 구역에 미치는 영향으로 판단하였다. 정점 A1부터 A3가 포함된 해역을 만 북부(A)로 설정하였다. 만 북부는 만 내측의 하천이 밀집된 특징을 가지고 있다. 정점 B1부터 B4가 포함되는 해역을 만 중부(B)로 설정하였다. 만 중부는 상대적으로 부하량이 작은 하천들이 모여 있는 지역이다. 정점 C1과 C2가 포함된 해역을 만 남부(C)로 설정하였다. 만 남부는 마산만으로 유입되는 오염원 중 부하량이 가장 많은 덕동하수처리장이 위치하고 있다. 정점 D1과 D2가 포함되는 해역은 행암만(D)으로 설정하였다. 대조정점인 CP가 포함된 나머지 해역을 만 외측(E)으로 설정하였다(Fig. 1).

3. 결과 및 고찰

3.1 해수유동 모델 검증

해수유동 모델의 조위검증은 Fig. 1의 Elevation 정점인 마산항 조위관측소 자료를 사용하였으며, 유향과 유속검증은 Fig. 1의 SC-1과 SC-2 정점 관측값을 조류타원도로 나타내었다. 조위검증은 관측값과 계산값의 경향 및 오차가 양호하게 나타났다. 조류타원도의 유향은 계산값과 관측값 비교시 약 10° 정도의 차이가 있지만 유속은 유사하게 나타났다(Fig. 4). 따라서 해수유동 모델 검증은 양호한 것으로 판단된다.

표층 잔차류 결과는 만 내측에서 외해로 빠져나가는 흐름을

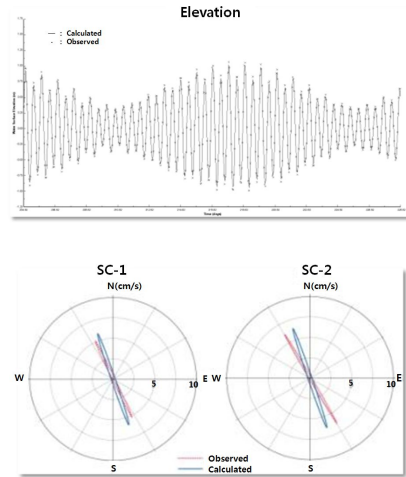


Fig. 4. Result of Elevation and Tidal ellipse (Up : elevation, Down : Tidal ellipse).

나타내었다. 표층 잔차류는 만 내측에서는 3 cm/sec ~ 7 cm/sec 내외로 나타났고 덕동하수처리장 부근에서는 6 cm/sec 내외로 나타났다. 내만에서 상대적으로 강한 유속이 나타났으며, 그 흐름이 약해지다가 덕동하수처리장 인근부터 강한 흐름이 일어나고 있다. 만 양 측면으로는 2 cm/sec 이하의 흐름이 발생하고 있다. 덕동하수처리장 방류구 좌측에서는 시계방향으로의 잔차류가 형성되고 있다. 행암만에서는 잔차류가 약 3 cm/sec ~ 7 cm/sec의 흐름이 나타나고 있으며, 마산만 내측부터 외해까지 이어지는 주 흐름과 구분되는 특징을 가지는 것으로 나타났다.

저층 잔차류 결과는 외해에서 만 내측으로 들어가는 흐름을 나타내었다. 전반적으로 표층 잔차류의 반대방향이며 유속이 상대적으로 표층 잔차류에 비해 전반적으로 약 2 cm/sec

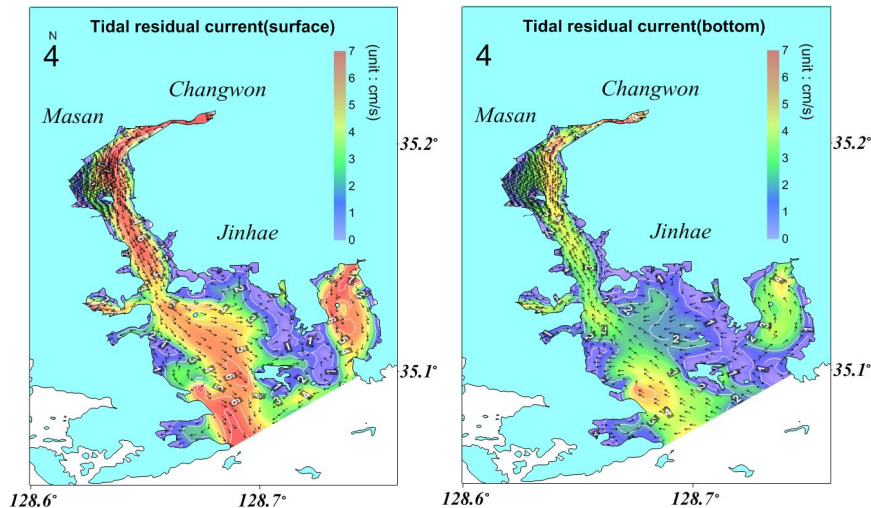


Fig. 5. Tidal Residual Flow (L : Surface, R : Bottom).

마산만 육상기인오염원의 오염기여율 모델링

~4 cm/sec 작게 나타났다. 덕동하수처리장 오염원은 저층흐름에 따라 만 내측까지 영향을 줄 것이라고 판단된다(Fig. 5).

MOF(2012b)의 1월에 관측된 층별 연속조류진행벡터도를 보면 SC-1정점의 표층에서는 약 5.4 cm/s로 외해로의 흐름을 나타내며, 저층에서는 약 1.5 cm/s로 내해로의 흐름을 나타낸다. SC-2정점의 표층에서는 약 5.8 cm/s로 외해로의 흐름을 나타내며, 저층에서는 약 5.5 cm/s로 내해로의 흐름을 나타냈다. 본 연구결과와 비교해보면 다음과 같다. 표층에서 외해로 빠져나가고 저층에서 내해로 들어가는 흐름방향은 일치하였다. SC-1의 표층잔차류 값은 약 6 cm/sec~7 cm/sec로 관측값에 비해 약 1 cm/sec 크게 나타났으며, 저층 잔차류 값은 3 cm/sec~4 cm/sec로 약 2 cm/sec 크게 나타났다. SC-2의 표층 잔차류 값은 약 5 cm/sec~7 cm/sec로 관측값보다 약 1.2 cm/sec 크게 나타났고, 저층 잔차류는 계산값이 약 4 cm/sec~5 cm/sec로 관측값에 비해 약 1 cm/sec 작게 나타났다. 본 연구는 상대적으로 유량이 많은 5월과 8월이 대상이므로 하천유입에 따른 밀도류가 고려되었다. 관측값은 갈수기인 1월에 실시되었기 때문에 계산값은 관측값과의 오차가 발생한 것으로 판단된다. 이를 종합해보면 마산만의 잔차류는 표층은 만 내측에서 외해로 나가는 경향이 나타나며 저층은 외해에서만 내측으로 들어오는 경향을 나타내는 것으로 판단된다. 본 잔차류 결과는 관측값의 경향 및 값을 잘 재현한 것으로 판단된다.

3.2 생태계 모델 검증

생태계 모델의 검증 정점은 Fig. 1에 나타낸 A2, B3, C1, D2, CP정점으로 하였다. 검증자료 부족으로 저층 Chl.a는 제외하였으며, 나머지 수질항목의 관측값과 계산값은 Fig. 6과 Fig. 7에 나타내었다.

기여율 산정 주요항목인 COD와 T-P의 결과를 보면 다음과 같다. 5월 COD 계산값의 평균은 2.15 mg/L, 관측값의 평균은 2.32 mg/L로 나타났다. 계산값과 관측값의 평균 상대오차는 8.2%, 정점별 상대오차의 평균은 30.9%로 나타났다. 8월 COD 계산값의 평균은 2.61 mg/L, 관측값의 평균은 2.09 mg/L로 나타났다. 계산값과 관측값의 평균 상대오차는 20.0%, 정점별 상대오차 평균은 43.1%로 나타났다. 5월 T-P 계산값의 평균은 0.045 mg/L, 관측값의 평균은 0.039 mg/L로 나타났다. 계산값과 관측값의 평균 상대오차는 14.1%, 정점별 상대오차의 평균은 48.3%로 나타났다. 8월 T-P 계산값의 평균은 0.040 mg/L, 관측값의 평균은 0.03 mg/L로 나타났다. 계산값과 관측값의 평균 상대오차는 14.0%, 정점별 상대오차 평균은 45.3%로 나타났다. 본 연구에서 COD와 T-P기여율산정은 5월과 8월 수질농도를 평균해서 계산하였기 때문에, COD와 T-P의 계산값

오차는 관측값과 유사한 값으로 보완되는 것으로 나타났다.

수질재현에 중요한 요소인 부하량 입력자료는 일정시점의 값을 계산 기간동안 일정하게 입력하고 있다. 또한, 5월과 8월은 상대적으로 강우량이 많은 시기였기 때문에, 비점

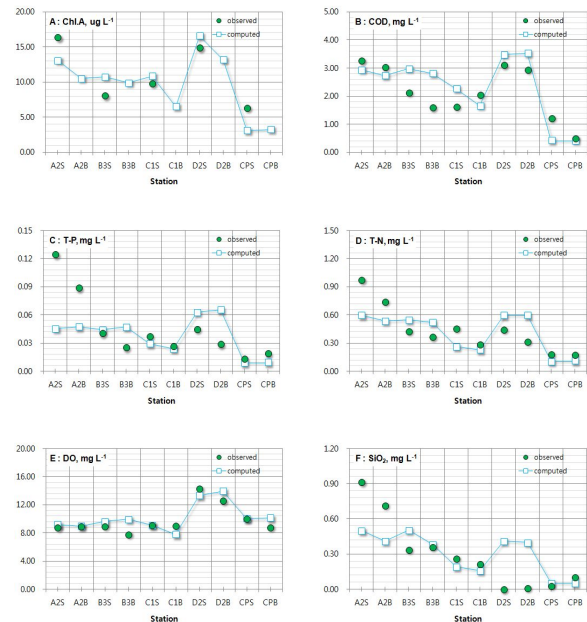


Fig. 6. Verification of water quality in May (S : Surface, B : Bottom).

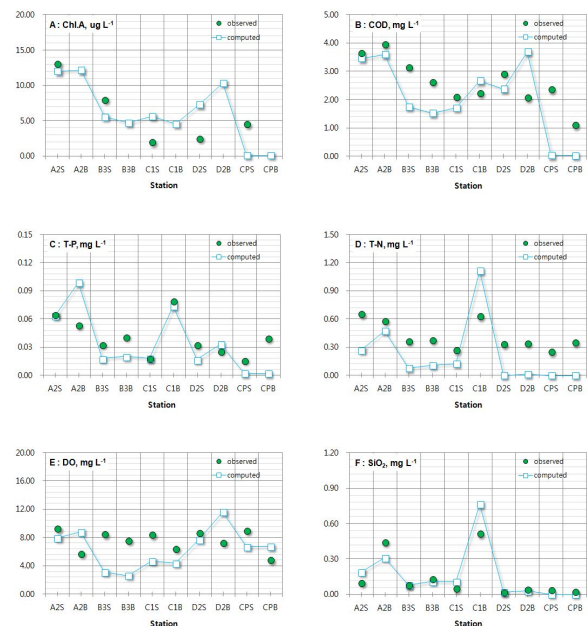


Fig. 7. Verification of water quality in August (S : Surface, B : Bottom).

오염원의 유입이 있었을 것이라 판단된다. 이는 부하량이 현실적으로 입력되지 않았음을 의미한다. 이를 고려하면 본 생태계 모델 결과는 정점별로는 양호하지 않은 부분이 있으나 전반적으로는 재현이 양호한 것으로 판단된다.

3.3 오염기여율 결과

오염기여율 결과는 전 구역별 평균 기여율(Fig. 8)과 하천이 밀집되어 있는 만 북부의 오염원별 기여율(Fig. 9)로 나타내었다. 마산만 북부해역으로 유입되는 하천부하가 해역전체의 수질에 기여하는 비율은 다음과 같다. 북부하천이 직 유입되는 만 북부에서 기여율은 COD변화의 약 20%, T-P변화의 약 62%로 나타났다. 하천별로 구분하면 삼호천, 회원천, 척산천, 남천 등의 순으로 기여율을 나타내었다. 이와 같은 하천수들은 해수의 흐름을 통해 만의 외측으로 이동하게 되고, 만 중앙부의 수질 변화에 COD의 10%, T-P의 16% 정도의 기여율을 보였다. 해역이 넓어지는 만 중부를 지난 이후로는 수질에 미치는 기여율이 미미하게 나타났다. 따라서 북부해역으로 유입되는 하천부하는 만 중부해역까지 수질에 뚜렷한 영향을 준다고 판단된다. 또한 Fig. 3을 보면 북부하천의 COD·T-P부하량이 유사한 경향을 나타내고 있지만 T-P 기여율이 COD 기여율에 비해 만 북부에서는 약 3배, 만 중부에서는 약 1.6배 높게 나타나고 있다. 따라서 만 북부와 만 중부는 만 북부 하천오염원의 COD부하보다 T-P부하가 수질에 더 큰 영향을 주는 것으로 판단된다.

만 중부해역으로 유입되는 하천부하는 다른구역에 비해 하천오염원이 개수가 적고 유입부하량이 작기 때문에 전 구역에서 COD·T-P기여율이 1.5% 이하를 나타내었다.

만 남부해역으로 유입되는 덕동하수처리장이 해역전체의 수질에 기여하는 비율은 다음과 같다. 덕동하수처리장이 직유입되는 만 남부의 기여율은 COD변화의 약 26%, T-P변화의 약 11%로 나타났다. 수중방류되는 덕동하수처리장 오염원은 해수의 흐름을 통해 만 내측으로 이동하게 되어 만 중앙부의 수질 변화에 COD의 17%, T-P의 7% 정도의 기여율을 나타내었다. 상대적으로 수질이 양호한 만 외측에는 약 COD의 10%, T-P의 1% 정도의 기여율을 나타내었다. 따라서 남부해역으로 유입되는 덕동하수처리장의 부하는 만 남부에 가장 큰 영향을 미치며 만 외측보다 만 중부에서 기여율이 더 크게 나타났다. 이는 덕동하수처리장이 수중방류이기 때문으로 판단된다. 덕동하수처리장 부하삭감시의 마산만 내측의 수질개선 효과에 관한 시뮬레이션에서도 유사한 결론을 제시했으며(Oh et al., 2005), 만 외측보다 만 내측의 수질이 유입되는 부하원에 의해 크게 좌우되는 과거 연구와도 유사한 결론을 나타내었다(Hong et al., 2007a; Hong et

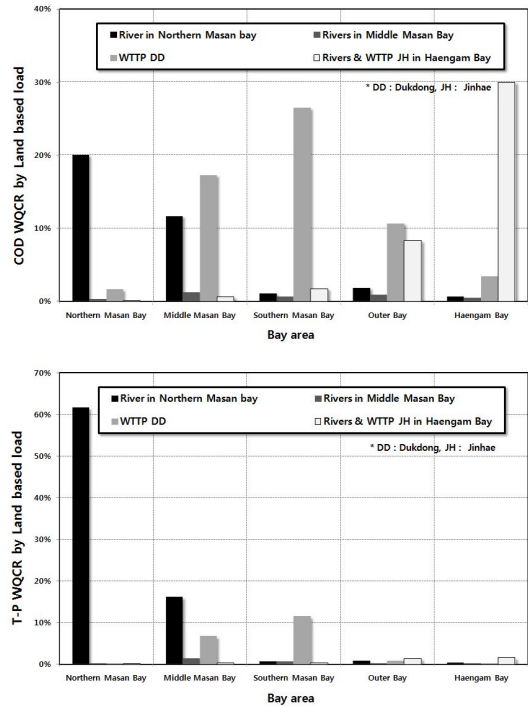


Fig. 8. Result of pollutant contribution rate (Up : COD, Down : T-P).

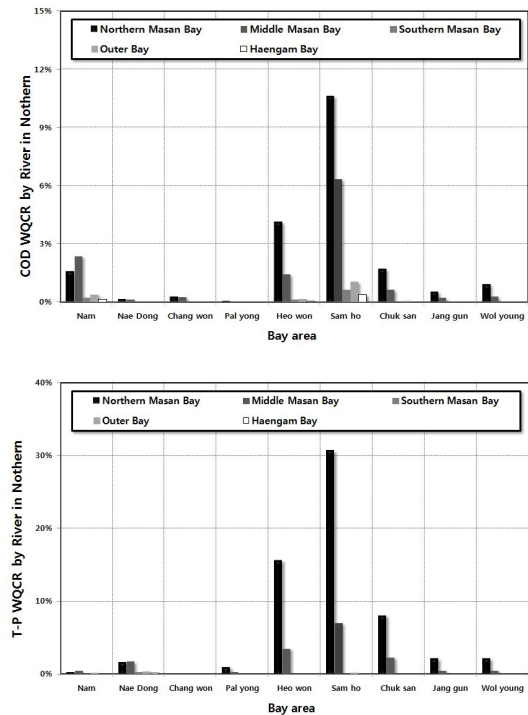


Fig. 9. Result of pollutant contribution rate at A area (Up : COD, Down : T-P).

al., 2007b; Lee and Moon., 2007). 또한 덕동하수처리장의 COD 기여율이 T-P기여율에 비해 만 남부에서는 약 2.3배, 만 중부는 약 1.6배로 나타났다. 따라서 만 남부 및 중부는 덕동하수처리장의 T-P부하보다 COD부하가 수질에 더 큰 영향을 주는 것으로 판단된다. 행암만으로 유입되는 하천 및 하수처리장이 해역전체의 수질에 기여하는 비율은 다음과 같다. 오염원이 직유입되는 행암만에서의 기여율은 COD변화의 약 30%, T-P변화의 약 2%로 나타났다. 행암만은 만 내측부터 외해까지의 주 흐름과 구분되기 때문에 행암만으로 유입되는 오염원은 행암만 수질에 주로 기여하는 것으로 판단된다. 또한 행암만 오염원의 COD기여율이 T-P기여율에 비해 약 15배로 나타났다. 이는 진해하수처리장이 덕동하수처리장에 비해 배출유량은 1/5, COD 부하는 1/6 수준인데 반해서 T-P 부하는 1/20로 상대적으로 낮기 때문이다. 이렇듯 영양염의 공급이 부족함에도 불구하고 하계에 적조가 발생하는 것은 물리적으로 긴 체류시간과(Park et al., 2009, Park et al., 2011) 생물 분해에 의한 생화학적인 순환이 자생 COD의 증가에 영향을 미치기 때문으로 판단된다(Hong et al., 2007b).

4. 결 론

마산만으로 유입되는 육상기인오염원의 오염기여율을 모델링 하였다.

계산 결과에 따르면 만 북부의 하천들은 해역의 북부에서 중부까지 해역수질에 뚜렷한 영향을 주고 있었다. 수질항목 별로 비교하면, COD에 비해 T-P농도가 만의 북부에서 약 3 배, 중부에서 약 1.6배 정도 크게 나타났다. 만 중부의 오염원은 다른 구역에 비해 하천 수와 유입부하량이 적기 때문에 전 구역에서 기여율이 미미하게 나타났다. 또한 만 중앙부의 수질은 북부 하천과 남쪽의 하수처리장 부하에 지배되는 것으로 나타났다.

해역 남쪽의 오염원은 해역의 중부에서 크게 영향을 주고 있는 것으로 나타났다. 이는 덕동하수처리장 방류수가 저층 흐름에 의해 만 내측으로 향하고 있기 때문이라고 판단된다.

행암만은 행암만에서 발생하는 오염원에 의한 한정적인 영향만을 나타내었다. 또한 행암만 오염원이 행암만에 미치는 COD기여율이 T-P기여율에 비해 약 15배로, 해역수질관리 는 영양염 보다는 유기오염의 제어가 중요한 것으로 보인다.

사 사

본 논문은 연안어장 생태계 통합평가 및 관리연구 (RP-2016-ME-003) 사업에 의하여 연구되었음.

References

- [1] Choi, D. H., J. W. Jung, K. S. Lee, Y. J. Choi, K. S. Yoon, S. H. Cho, H. N. Park, B. J. Lim and N. I. Chang(2012), Estimation of Pollutant Load Delivery Ratio for Flow Duration Using L-Q Equation from the Oenam-cheon watershed in Juam Lake, Journal of the Environmental Sciences, Vol. 21, No. 1, pp. 31-39.
- [2] DePinto, J. V., H. Holmberg, T. Redder, E. Verhamme, W. Larson, N. J. Senjem and H. Munir(2009), Linked Hydrodynamic-Sediment Transport-Water Quality Model for Support of the Upper Mississippi River - Lake Pepin TMDL, Proceedings of the Water Environment Federation, pp. 212-231.
- [3] Gaddis, E. J and A. Voinov(2010). Spatially explicit modeling of land use specific phosphorus transport pathways to improve TMDL load estimates and implementation planning, Water resources management, Vol. 24, No. 8, pp. 1621-1644.
- [4] Hong, S. J., W. C. Lee, R. H. Jung, H. T. Oh, J. H. Jang, J. H. Goo and D. M. Kim(2007a), Ecosystem Modeling for Improvement Summer Water Quality of Jinhae Bay in 2003, Journal of the Korean Society of Marine Environmental & Safety, Vol. 13, No. 2, pp. 103-110.
- [5] Hong, S. J., W. C. Lee, J. S. Park, H. T. Oh, S. P. Yoon, H. C. Kim and D. M. Kim(2007b), Ecological Modeling for estimation of Autochthonous COD in Jinhae Bay, Journal of the Environmental Sciences, Vol. 16, No. 8, pp. 959-971.
- [6] Jung, D. W., Y. S. Cho, I. C. Choi, K. H. Ahn, H. M. Chung and O. S. Kwon(2014), A Study on Impact of Public Sewage Treatment Works Affecting Water Quality of the Lake Uiam in Chuncheon City, Journal of Environmental Impact Assessment, Vol. 23, No. 5, pp. 406-416.
- [7] Jung, T. S. and J. H. Choi(2011), On reducing the computing time of EFDC hydrodynamic model, Journal of the Korean Society for Marine Environmental Engineering, Vol. 14, No. 2, pp. 121-129.
- [8] Kang, Y. S., Y. Chae and H. R. Lee(2011), Variation of Density Stratification due to Fresh Water Discharge in the Kwangyang Bay and Jinju Bay, Journal of the Korean Society of coastal and Ocean Engineers, Vol. 23, No. 1, pp. 126-137.
- [9] Kim, J. B., J. I. Park, C. G. Jung, W. J. Choi, W. C. Lee and Y. H. Lee(2010), Physicochemical Characteristics of seawater in Gamak bay for a period Hypoxic water mass

- disappearance, The Journal of the Korean Society of Marine Environment & Safety, Vol. 16, No. 3, pp. 241-248.
- [10] Kim, J. B., S. Y. Lee, J. Yoo, Y. H. Choi, C. S. Chang and P. Y. Lee(2006), The Characteristics of Oxygen Deficient Water Mass in Gamak Bay, The Journal of the Korean Society of Marine Environment & Safety, Vol. 9, No. 4, pp. 216-224.
- [11] Kim, J. K., G. I. Gyeong and J. H. Joeng(2008), Three-Dimensional Mixing Characteristics in Seomjin River Estuary, Journal of Korean Society for Marine Environmental Engineering, Vol. 11, No. 3, pp. 164-174.
- [12] Lee, C. W and S. W. Moon(2007), Variations of water quality and Management of Masan bay using a Water quality model, Environmental Research Institute, Kyungnam Univ, Vol. 30, pp. 35-42.
- [13] MOF(2007), Ministry of Oceans and Fisheries, Study on basic plan for Total Pollution Load Management (TPLM) of Masan bay.
- [14] MOF(2014), Ministry of Oceans and Fisheries, Study for implementation of Total Pollution Load Management (TPLM) of Masan bay, a special management area.
- [15] MOF(2011), Ministry of Oceans and Fisheries, Introduction and implementation of Total Pollution Load Management (TPLM) and management of land-based pollution source (I), pp. 305-417.
- [16] MOF(2012a), Ministry of Oceans and Fisheries, Introduction and implementation of Total Pollution Load Management (TPLM) and management of land-based pollution source (II), pp. 713-723.
- [17] MOF(2012b), Ministry of Oceans and Fisheries, Introduction and implementation of Total Pollution Load Management (TPLM) and management of land-based pollution source (III), pp. 168-170.
- [18] NIFS(2009), National Institute of Fisheries Science, Oxygen Deficient Water Mass of Korean Coastal.
- [19] Oh, H. T., J. H. Goo, Y. S. Choi, R. H. Jung, W. J. Choi, W. C. Lee and J. S. Park(2005), Analysis of Water Quality caused by Improvement of Sewage Treatment Plant in Masan Bay, Journal of the Environmental Sciences, Vol. 14, No. 8, pp. 777-783.
- [20] Park, S. J(2014), Evaluation of the Contribution Ratio that the Pollution Loads of the Drainage Areas Affect Soyang-lake, Journal of the Korea Academia-Industrial, Vol. 15, No. 8, pp. 5363-5368.
- [21] Park, S. E., S. J. Hong and W. C. Lee(2009), Calculating Average Residence Time Distribution Using a Particle Tracking Model, Journal of the Korean Society of Ocean Engineers, Vol. 23, No. 2, pp. 47-52.
- [22] Park, S. E., W. C. Lee, S. J. Hong, H. C. Kim and J. H. Kim(2011), Variation in Residence Time and Water Exchange Rate by Release Time of Pollutants Over a Tidal Cycle in Masan Bay, Journal of the Korean Society for Marine Environmental Engineering, Vol. 14, No. 4, pp. 249-256.
- [23] Zhao, L., X. Y. Liu, B. He, X. Zhu, R. Zou and Y. Zhu(2012), Three-dimensional hydrodynamic and water quality model for TMDL development of Lake Fuxian, China. Journal of Environmental Sciences, Vol. 24, No. 8, pp. 1355-1369.

Received : 2015. 12. 21.

Revised : 2016. 02. 11. (1st)

: 2016. 02. 19. (2nd)

Accepted : 2016. 02. 25.