

PF2 제주항에서 오염부하의 정량적 관리

조은일*, 강기봉, 김종구¹

제주대학교 환경공학과, ¹군산대학교 토목환경공학부

1. 서 론

제주항과 주변 연안 해역의 우수한 자연조건과 풍부한 자원을 지속적으로 이용하기 위해서는 자정능력에 근거한 합리적인 해양환경관리가 필요하고, 해역의 수질을 정량적으로 관리하기 위해서는 수질조사 자료에 근거한 수질 시뮬레이션을 통하여 장래의 수질을 예측할 수 있으며 대상해역의 환경용량을 파악함으로써 해역의 자정능력에 적합한 수질관리 방안을 도출할 수 있다. 일반적으로 해양의 수질예측에 많이 사용되는 부영양화모델의 하나인 물질순환모델은 생물체와 무생물체를 일괄하여 무기물질과 유기물질로 나누고 이들 상호간의 물질흐름을 취급하여 영양염류와 COD의 거동을 파악할 수 있으며, 모델구성은 해수의 유동특성을 시뮬레이션할 수 있는 해수유동모델과 비보존성 물질에 대한 수질을 시뮬레이션하기 위한 생태계모델로 구성되어 있다.

따라서 본 연구는 제주도내 주요 항만인 제주항을 대상으로 오염부하의 정량적인 관리를 위하여 물질순환모델을 적용하였고 시뮬레이션된 결과를 통해 본 모델의 제주항 적용 가능성을 검토한 후, 제주항 내 수질오염을 유발할 수 있는 외부부하인 하천오염부하와 내부부하인 저질용출부하를 이용하여 제주항 수질개선을 위한 저감량을 정량적으로 산정하는 것이 본 연구의 목적이다.

2. 재료 및 방법

2.1. 연구 대상 지역 및 자료 도출

수질 조사 자료는 제주항 내 5개 정점에서 총별로 조사된 전보 자료를 이용하였으며, 이들 자료를 바탕으로 수질시뮬레이션에 입력한 경계자료 및 초기 농도를 구하였고 모델 예측결과와 비교 분석하였다. 모델영역내인 제주항으로 유입되는 산지천의 오염부하량은 산지천 하류에서 수질조사한 값과 유량을 평균하여 각 항목별 입력자료로 적용하였다.

2.2. 물질순환모델의 구성

본 연구에 적용한 물질순환모델은 해수유동 시뮬레이션을 위한 다층모델(Hydrodynamic model : COSMOS)과 수질 시뮬레이션을 위한 생태계 모델(Ecosystem model : EUTROP2)로 구성되어 있다.

해수유동 모델을 이용하여 제주항의 해수유동을 시뮬레이션하기 위한 모델영역은 산지천 유출수가 해역에 미치는 영향을 고려하여 설정하였다. 격자는 X방향으로 75개, Y방향으로 89개 그리고 Z방향으로는 3층으로 격자망을 구성하였다.

생태계 모델의 모델영역은 해수유동모델에 사용된 격자망과 동일하게 적용하였고 해수유동모델의 계산결과 중에서 잔차류를 생태계모델의 시뮬레이션에 이용하였다.

2.3. 제주항의 수질시뮬레이션

제주항의 수질시뮬레이션을 하기 위해 해수유동모델과 생태계 모델로 구성된 물질순환모델을 이용하였고, 그 결과를 이용하여 제주항의 수질개선을 위한 오염부하량 저감방안을 평가하였다.

제주항의 수질관리를 위한 저감방안으로는 제주항으로 유입되는 오염부하를 크게 두 가지로 구분하여 평가를 하였으며, 외부부하인 산지천을 통하여 제주항 내로 유입되는 육상오염부하와 내부부하인 저질 영양염 용출부하를 선택하여 제주항의 수질개선을 위한 방안을 도출하였는데 해역수질항목으로는 COD, DIN 그리고 DIP를 이용하여 정량적으로 평가하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 해수유동 시뮬레이션

제주항에서의 조류분포특성은 전보¹⁾에서 나타낸 바와 같이 밀도류를 고려한 제주항의 경우 수심이 대체적으로 얕고 조석이 강함으로 인하여 표층, 중층 그리고 저층의 유동형태나 유속 크기는 큰 변화가 없었다. 잔차류 패턴을 보면 항만 입구부에는 강한 와류가 발생되는데 이것은 주로 유속이 강하게 작용하는 조석류의 비선형 성분에 의하여 발생된 것으로 사료된다.

3.2. 생태계 시뮬레이션

COD의 분포를 살펴보면 표층의 경우, 지점별 분포특성으로 제주항 내로 유입하는 산지천의 영향을 가장 크게 받는 정점 St. 1 부근의 농도는 3.5 mg/L에서 4.2 mg/L의 높은 농도값을 나타내었고, 전체적인 확산 경향을 보면 제주항의 부두와 접안시설이 있는 동쪽이 방파제가 있는 서쪽보다 확산이 지형적인 이유로 약해지는 경향을 보인다. DIN의 분포를 살펴보면 표층의 경우, 제주항 안쪽인 정점 St. 1 부근의 농도가 높게 나타나며 이는 산지천 유입지점에서는 매우 높은 농도로 나타나고 있으나 해역으로 유입되어 물리적인 희석현상으로 인하여 외해로 나갈수록 농도가 낮아지고 있다. DIP의 분포도 DIN과 유사한 확산 경향을 나타내고 있다.

모델의 적용가능성을 검토하기 위해서 제주항내 5개 정점에서 각 수층별 COD, DIN 그리고 DIP의 실측값과 계산값을 상대오차를 이용하여 비교하였고 계산치는 실측치와 높은 상관성을 가지며 대상해역의 수질현황을 적합하게 시뮬레이션된 것으로 사료된다.

3.3. 오염부하의 정량적 관리

대상해역의 수질을 예측하고 적절하게 관리하기 위해서는 물질의 유입 및 이동에 대한 정밀한 평가가 있어야 한다. 즉, 수질예측모델을 이용하여 대상해역에서 적절한 관리

대책의 효과를 정량적으로 평가하고 적용할 필요가 있다. 따라서 제주항에서 생태계 모델을 이용하여 COD, DIN 그리고 DIP의 저감량을 정량적으로 검토하였다.

3가지 평가방법으로 나누어 평가를 하였으며, 첫 번째로는 육상오염부하인 COD, DIN 그리고 DIP의 하천오염 부하량을 일률적으로 20%, 40%, 60%, 80%, 그리고 100% 감소시키면서 시뮬레이션한 농도분포를 각 정점별로 나타내어 제주항에 미치는 영향을 평가하였고, 두 번째로 내부부하인 저질 용출부하에 대하여 일률적으로 20%, 40%, 60%, 80%, 그리고 100% 감소시키면서 시뮬레이션한 제주항에서의 영양염의 농도 분포를 각 정점별로 나타내어 정량적으로 평가하였으며, 마지막 평가방법으로는 제주항의 총 부하 즉, 하천오염 부하량과 저질용출 부하량을 100% 저감시켰을 때 COD, DIN 그리고 DIP의 농도분포를 시뮬레이션하여 제주항의 수질개선 효과를 계산하였다.

1) 하천오염부하의 정량적 관리

제주항의 하천유입 부하량을 단계적으로 저감시켰을 때 해역 중의 COD농도의 각 정점별 저감을 보면 정점 St. 1에서는 100%저감시 41%정도의 저감효과를 보이고, 정점 St. 2에서는 약 24%의 저감 효과를 보이나 그 외의 정점에서 7%미만의 미미한 제거효과를 나타내었다. 각 정점별 DIN의 저감효과를 보면, 정점 St. 1에서는 100% 저감시 78%의 저감효과를 보이고 부하량의 60%정도만 제거해도 약 50%의 상대적으로 큰 저감효과를 보인다.

2) 저질 영양염 용출부하의 정량적 관리

내부부하인 저질 영양염 용출부하를 감소했을 경우의 제주항 내 영양염 농도의 저감 효과는 하천유입 부하량의 저감시와 상대적으로 비교하여 제주항의 하천 유입부보다는 만중앙부나 만 유입부의 수질개선에 효율적인 영향을 보이는 것으로 사료되며 특히, DIP의 경우 그 양상이 잘 나타났으며 제주항의 수질특성과 잘 일치하는 것으로 사료된다.

3) 총 오염부하의 정량적 관리

하천과 저질의 총 부하량을 100% 감소했을 경우, COD의 농도분포는 하천유입부인 정점 St. 1에서 약 44%정도의 저감효과를 나타내어 하천유입 부하량만을 감소했을 때보다는 저감효과가 증가하였지만 뚜렷한 경향을 보이지는 않았으며, 정점 St. 2에서는 약 31%정도의 저감효과를 나타내어 COD농도가 해역수질기준 II등급 이하로 개선되었다.

DIN의 경우를 살펴보면, 하천유입부인 정점 St. 1, 2에서는 용출부하보다는 하천오염 부하를 저감하였을 때 질소의 제거가 78~50%로 큰 효과를 나타내었으나, 이에 반해 정점 St. 3에서 만 외로는 하천오염부하보다 용출부하의 저감에 의한 저감효과가 크다는 것을 나타내고 있으며 용출부하 80% 저감시 정점 St. 4에서 해역수질기준 II등급($7.14 \mu\text{g-at/L}$ 이하)을 유지하는 것으로 나타났다.

DIP의 경우를 보면, 정점 St. 1은 유입하천부하를 100% 저감시켰을 때 52%의 효과를

나타내어 21%의 용출부하 저감에 의한 영향보다는 크게 나타났으나, 반면에 정점 St. 2, 3, 4 그리고 St. 5에서의 용출부하 저감시가 유입하천부하의 경우보다 각각 정점별 15%, 28%, 38% 그리고 28%의 차이를 보여 저감효과가 상승하는 경향을 나타내었으며, 용출부하를 약 60%정도 저감시 정점 St. 5에서 만 외부로 갈수록 해역수질기준 II등급 ($0.48 \mu\text{g-at/L}$ 이하) 이하를 유지하여 유출되는 경향을 나타내었다.

4. 요 약

제주항을 대상으로 오염부하의 정량적인 관리를 위하여 물질순환모델을 이용하여 해수유동특성과 COD, DIN 그리고 DIP의 농도분포를 시뮬레이션 하였고, 이 결과를 통해 해역의 수질개선대책으로 하천오염부하 감소와 저질개선을 통한 용출부하 감소에 따른 COD, DIN 그리고 DIP의 농도를 정량적으로 평가한 결과는 다음과 같다.

외부부하인 하천유입 부하량의 감소에 의한 제주항 내 오염물질 농도의 저감효과는 만 중앙부에서 만 외로 갈수록 그 영향범위가 미비하나 하천 유입부에 한정되어 큰 효과를 나타내고 있어 제주항 내로 오염부하의 유입을 방지함으로써 제주항의 하천 유입부 수질개선에 큰 영향을 줄 수 있다.

내부부하인 저질 영양염 용출부하를 감소했을 경우의 제주항 내 영양염 농도의 저감효과는 하천유입 부하량의 저감시와 상대적으로 비교하여 제주항의 하천 유입부보다는 만중앙부나 만 유입부의 수질개선에 효율적인 영향을 보이는 것으로 사료되며 특히, DIP의 경우 그 양상이 잘 나타났다.

하천과 저질의 총 부하량을 100% 감소했을 경우, COD의 농도분포는 하천유입부인 정점 St. 1에서 약 44%정도의 저감효과를 나타내어 하천유입 부하량만을 감소했을 때보다는 저감효과가 증가하였다. DIN의 경우는 하천유입부하와 저질 용출부하를 각각 따로 저감했을 경우에 비해 전체적으로 저감효율이 상승하고 있으며, 만 중앙부에서 만 유입부로 갈수록 그 경향이 잘 나타나고 있으며 총 부하를 저감시켰을 때 제주항내의 DIN 농도는 정점 St. 3 다음 지점부터 해역수질기준 II등급을 유지되는 수질개선 효과를 나타내었다. DIP의 경우는 DIN과 유사한 경향을 보였으며 정점 St. 4 이후로 해역수질기준 II등급 이하로 유지되는 수질개선 효과를 나타내었다.

이상의 결과로 볼 때, 현재 해역수질기준 III등급인 제주항 내에서 수질을 향상시키기 위해서는 하천유입부하량의 저감뿐만 아니라 항내 저질개선 등을 통하면 전체적으로 II등급 이하를 유지할 수 있을 것으로 예상된다.

참 고 문 헌

- 조은일, 1996, 생태계모델을 이용한 어장환경용량 산정, 부산수산대학교 대학원 박사학위 논문, 139pp.
- 김종구, 김양수, 조은일, 2002, 새만금 사업지구의 연안해역에서 부영양화관리를 위한 생태계모델의 적용(2), 한국수산학회지, 35(4), 356~365.
- 조은일, 박청길, 1998, 제주도 항만의 수질특성 및 예측, 제주대 해양연구논문집, 22, 16

3~171.

- 김광수, 최영찬, 2000, 생태계모델을 이용한 제주도 남부해역의 환경용량산정, 한국해양 환경공학회지, 3(1), 52~61.
- 조은일, 강기봉, 2003, 물질순환모델을 이용한 제주항의 수질관리(Ⅱ), - 제주항의 수질특 성과 오염부하량 산정 -, 한국환경과학회지, 12(3), 299~306.
- 조은일, 이병걸, 오윤근, 2002, 물질순환모델을 이용한 제주항의수질관리(Ⅰ) - 제주항의 물리해양환경의 변화 -, 한국환경과학회지, 11(1), 25~32.