

MIKE 21 모형을 이용한 인천연안의 수질 확산 모의에 관한 연구

The Quality Diffusion Study Of Coast in Incheon by Using MIKE 21

최계운*, 이호선**, 이승우***, 권용현****

Gye Woon Choi, Ho Sun Lee, Seung Woo Lee, Yong Hyun Kwon

요 지

최근 들어 인천지역의 개발사업으로 인해 인천연안으로 방류되는 오염물질의 농도가 점점 악화되고 있는 실정이다. 특히, 하수종말처리장 방류수에 의한 인근해안의 영향분석은 중요한 문제 중에 하나라고 할 수 있다.

따라서 본 연구에서는 MIKE21 모형을 이용하여 경기만의 조석전파특성 및 대상지역의 유동상황을 재현하기 위해 하수처리장 종설 지역을 중심으로 경기만 전체를 포함하여 유동해석을 수행하였으며 전체 지역에 대한 유동해석 후 확보한 조석자료를 활용하여 하수처리장 인근지역에 대한 오염물질의 확산 영향에 대해 모의하고 확산방지를 위한 대안을 설정하여 분석을 수행하였다.

핵심용어 : 인천연안, MIKE21, 수질확산모의

1. 서 론

지역적 특성상 해안 및 해양의 중요성이 큰 인천지역은 최근 들어 해안선을 따라 개발사업이 활발히 일어나고 있어 인천연안으로 방류되는 오염물질의 농도가 악화되고 있는 실정이다. 그렇기 때문에 인천지역의 개발에 앞서 개발 이후에 초래될 수 있는 환경적 영향에 대한 충분한 검토가 필수적이다.

본 연구에서는 MIKE 21 수치모형을 활용하여 인천의 M하수처리장의 해수유동변화를 모의하고, M하수처리장 확장 전후 상황에 대하여 COD, T-N, T-P 항목의 확산 및 영향에 대한 영향을 분석을 수행하였다.

2. 이론적 배경

2.1 유동모형의 기본 방정식

MIKE21 모형의 유동모형의 2차원 해석을 위한 지배방정식은 질량보존 방정식과 2차원 레이놀즈 평균 Navier-Stoke 방정식이다. 또한, 2차원 해수유동 모듈(HD)은 질량 보존과 운동량 보전의 2가지 요소를 요구한다.

MIKE21에서 해수유동 모듈은 식(2.1)과 식(2.2)에 의해 성립된다.

$$\frac{1}{\rho c_s^2} \frac{\partial P}{\partial t} + \frac{\partial u_j}{\partial x_j} = SS \quad (2.1)$$

$$\frac{\partial u_j}{\partial t} + \frac{\partial(u_i u_j)}{\partial x_j} + 2\Omega_{ij} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial x_i} + g_i + \frac{\partial}{\partial x_j} [v_T (\frac{\partial u_i}{\partial x_i} + \frac{\partial u_j}{\partial x_j}) - \frac{2}{3} \delta_{ij} k] + u_j SS \quad (2.2)$$

* 정회원 · 인천대학교 토목환경시스템공학과 교수 · E-mail : gyewoon@incheon.ac.kr

** 정회원 · 인천대학교 토목환경시스템공학과 박사과정 · E-mail : indejavu@incheon.ac.kr

*** 정회원 · 인천대학교 토목환경시스템공학과 석사과정 · E-mail : swlee@incheon.ac.kr

**** 정회원 · 인천대학교 토목환경시스템공학과 석사과정 · E-mail : hyun-9206@hanmail.net

여기서, ρ : 물의 밀도	c_s : 바닷물 내 소리전달 속도	$u_{i,j}$: x, y 방향 속도
Ω_{ij} : 코리올리 텐서	P : 물의 압력	g_i : 중력
v_T : 난류 점성	δ : 크로네커 델타	k : 난류유동에너지
SS : 점유입(Source) 또는 점유출(Sink)		

2.2 확산모형의 기본 방정식

확산모형은 모의하고자 하는 대상에 따라 물리학적, 화학적, 생물학적 모형으로 분류되는데, 일반적으로 확산모형은 수질 항목간 상호작용을 모의할 수 있는 모형으로 정의된다. 지배방정식의 골격은 기본적으로 이 송·확산 항을 고려한 질량보존방정식의 형태를 지닌다. 이류-확산 모듈은 식 (2.3)과 같이 성립된다.

$$\begin{aligned} & \frac{\partial c}{\partial t} + u \frac{\partial c}{\partial x} + v \frac{\partial c}{\partial y} \\ &= \frac{\partial}{\partial x} (D_x \frac{\partial c}{\partial x}) + \frac{\partial}{\partial y} (D_y \frac{\partial c}{\partial y}) + S \end{aligned} \quad (2.3)$$

여기서, c : 스칼라(예, 염분 또는 농도)

u, v : x, y 방향의 속도성분(m/s)

D_x, D_y : x, y 방향에서의 확산계수(m²/s)

S : 점유입(Source) 또는 점유출(Sink)

t : 시간

x, y : 방향

수질모형(WQ)은 일반적인 수질항목간 상호작용을 모의할 수 있는 모형으로, 지배방정식은 이송-확산방정식에 모의하고자 하는 수질항목의 반응항 및 용출, 흡입항이 추가된다. 이류확산과 물질 간 상호작용에 의한 농도변화를 계산하기 위한 미분방정식은 식 (2.4)와 같다.

$$\frac{dc_i}{dt} = Sc_i + AD_i \quad (2.4)$$

여기서 Sc_i 는 모든 화학적 또는 생물학적 상호작용을 나타내는 항이며, AD_i 는 한 지점의 이류확산으로 인해 발생하는 i성분의 농도의 변화로서 상수로 주어진다. AD_i 는 식 (2.5)와 같이 나타낼 수 있는데,

$$AD_i(t) = - \frac{c_i^*(t + \Delta t_{WQ}) - c_i(t)}{\Delta t_{WQ}} \quad (2.5)$$

여기서 Δt_{WQ} 는 WQ 모듈의 계산 시간간격이며, $c_i^*(t + \Delta t_{WQ})$ 는 Δt_{WQ} 동안 AD모듈에서 보존성 물질로 취급되어 이류확산 되는 농도이다. 서로 연계된 방정식은 표준 4차 Runge-Kutta 알고리즘에 의해 계산되어 상미분 방정식의 형태로 주어지며, 이류-확산과 화학적 반응에 의한 변화량이 동시에 계산된다.

3. 경계조건의 구성 및 수치 실험안 구성

3.1 경계조건의 구성

본 연구에서 사용한 경계는 그림 1과 같이 바다와 접하는 부분을 좌측면으로 하는 open boundary를 사용하였으며 좌측면에 그림 2와 같은 조석자료를 입력하여 해석에 활용하였다. 경계조건으로 사용된 조석자료는 가장 수질이 악화되는 동절기 자료 중 최근의 관측데이터를 적용하기 위하여 2006년 1월 2일부터 2006년 1월 16일까지 관측된 대부, 인천조위관측소 실측자료를 연보정하여 사용하였다.

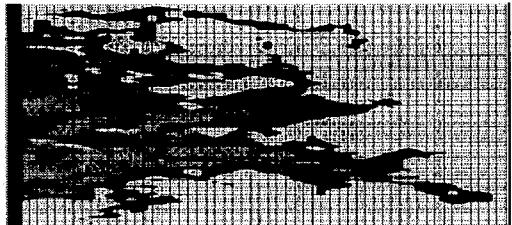


그림 1 경제조건 구성도

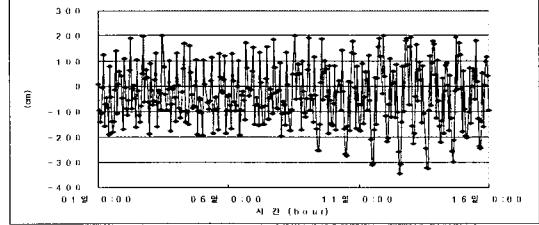


그림 2. 모형의 경계조건

3.2 수치 실험안 구성

M하수처리장은 그림 3과 같이 인천시 남서쪽에 위치하여 현재상태의 방류량은 일평균 70,000m³/일이며, 방류수질은 월평균 COD 8.3mg/l, T-N 13mg/l, T-P 0.5mg/l이하로 운영되고 있으며, M하수처리장의 경우 2020년 완성 후 방류량은 일평균 96,000m³/일로 계획되어 있으며, 계획 방류수질은 표 1과 같이 COD 20mg/l 이하, T-N 20mg/l 이하, T-P 2mg/l 이하로 운영될 예정이다.

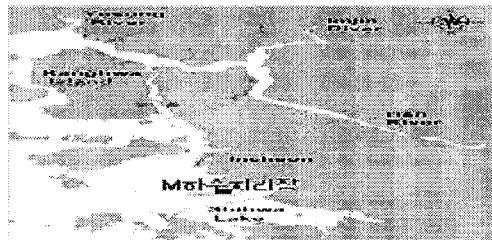


그림 3 M하수처리장의 위치

표 1. M하수처리장 질해석 조건

단위: mg/l

처리장	항목	COD	T-N	T-P
M하수 처리장	유입수질	146	38.9	5.5
	방류수질	20이하	20이하	2이하

4. 모형의 보정

2개 조석 정점(인천항)과 2개조류 정점에서 관측된 자료를 모델 보정 및 검증에 사용하였다. 모형해석의 보정 및 검증에 사용된 조석자료는 그림 4와 같이 국립해양조사원의 고정 검조소인 인천조위소, 대산조위소에서 그림 5와 그림 6과 같이 2006년 1월1일부터 1월31일까지 관측된 자료를 기준으로 연보정한 자료이다.

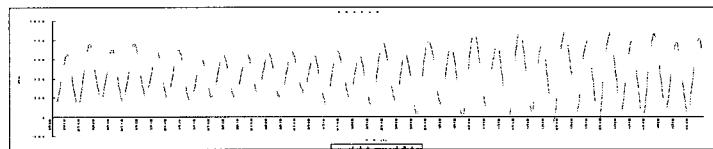


그림 5 인천 측점에서의 관측치와 해석치

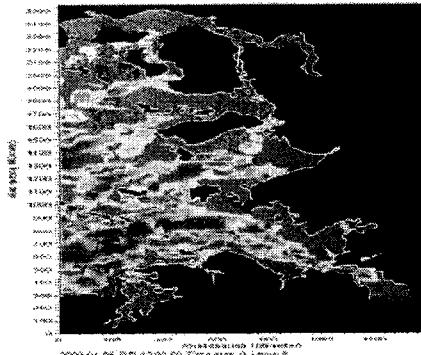


그림 4 모형의 검보정 지점

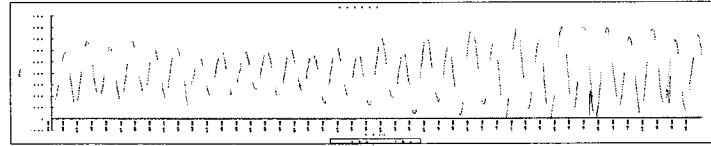


그림 6 인천 측점에서의 관측지와 검보정

5. 해석 결과

5.1 유동해석 결과

현상태의 창·낙조류 등조속도와 등백터도를 그림 7에서 그림 10에 나타내었다. 창조류는 경기만 북서쪽에서는 북향 또는 북동향으로, 남측에서는 북동향 또는 동향으로 흐르는 것으로 나타났다. 낙조류는 창조류와 반대의 경로를 따라 경기만 북서쪽에서는 남향 또는 남서향으로, 남측에서는 남서향 또는 서향으로 흐르는 것으로 나타났다.

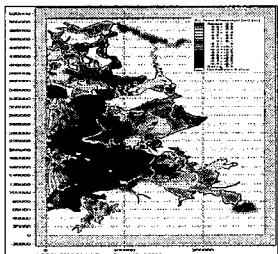


그림 7. 창조류시
등조석도

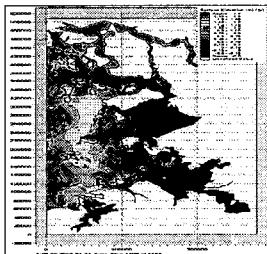


그림 8. 낙조류시
등조석도

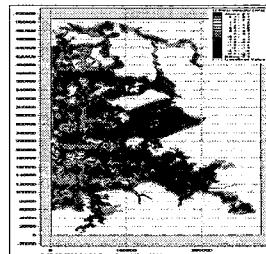


그림 9. 최강창조류시
등유속도

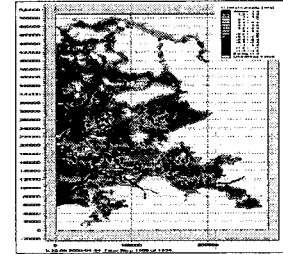


그림 10. 최강낙조류시
등유속도

5.2 확산해석 결과

5.2.1 하수처리장 증설 후

오염물질의 가중치 곡선 중 1.0 mg/l 이상이 해역 환경에 민감한 영향을 미치는 것으로 사료되며, 해석 결과 중 창·낙조 최강류의 평균농도 분포를 검토하면 하수처리장의 농도분포는 COD(1mg/l)의 경우 그림 11과 같이 서쪽방향으로는 약 1.1km , 남측방향으로는 0.8km 확산되는 경향을 나타내고 있다. T-N(1mg/l)의 경우 그림 12와 같이 서쪽방향으로는 약 0.73km , 남측방향으로는 0.65km 확산되는 경향을 나타내고 있다. T-P(1mg/l)의 경우 그림 13과 같이 서쪽방향으로는 약 0.12km , 남측방향으로는 0.06km 확산되는 경향을 나타내고 있다.

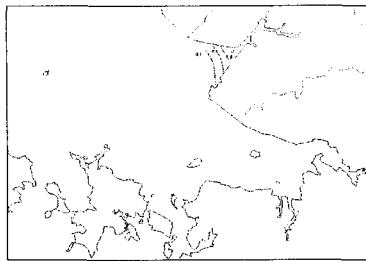


그림 11. 증설전의 COD 변화

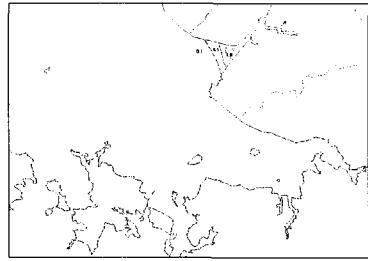


그림 12. 증설전의 T-N 변화

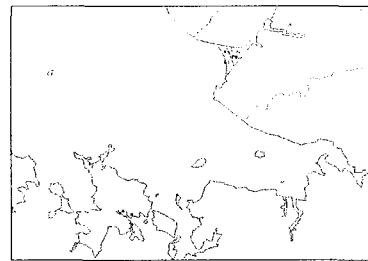


그림 13. 증설 전의 T-P 변화

5.2.2 하수처리장 증설 후

오염물질의 가중치 곡선 중 1.0 mg/l 이상이 해역 환경에 민감한 영향을 미치는 것으로 사료되며, 해석결과 중 창·낙조 최강류의 평균 농도 분포를 검토하면 하수처리장의 농도분포는 COD(1mg/l)의 경우 그림 14와 같이 서쪽방향으로는 약 0.8km , 남쪽방향으로는 0.6km 확산되는 경향을 나타내고 있어 증설 전보다는 영향범위가 줄어드는 것으로 나타났다. T-N(1mg/l)의 경우 그림 15와 같이 서쪽방향으로는 약 0.53km , 남쪽방향으로는 0.45km 확산되는 경향을 나타내고 있다. T-P의 경우 그림 16과 같이 서쪽방향으로는 약 0.08km , 남쪽방향으로는 0.02km 확산되는 경향을 나타내고 있다.

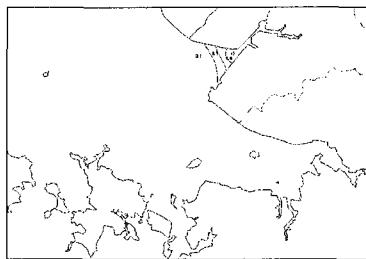


그림 14. 증설 후의 COD 변화

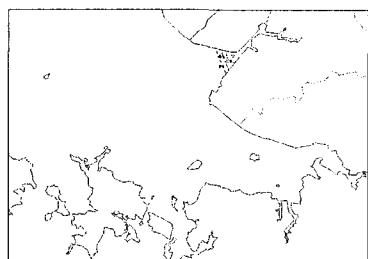


그림 15. 증설 후의 T-N 변화

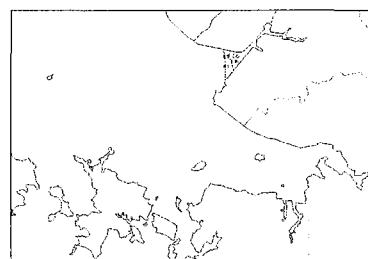


그림 16. 증설 후의 T-P 변화

6. 결 론

인천 M하수처리장 인근해역에 대해서 MIKE21 모형을 구축한 후 하수처리장 증설 전과 후에 대해서 분석을 수행하여 다음과 같은 결론을 도출하였다.

첫째, 확산모의를 수행하기 위한 유동모델 구축은 총 142,626개의 격자를 구축하였으며, M2분조에 대한 open boundary를 적용하여 해석하고 검보정을 수행한 결과 인천, 대산조석 관측소의 실측치와 비교적 잘 일치하는 것으로 나타났다.

둘째, 창조류와 낙조류 시 인근해역의 흐름방향은 각각 북동 방향과 남서 방향으로 나타나는 것으로 조사되었으며 이는 실제 해양조사원에서 수행한 실측치와 일치하는 흐름을 나타내었다.

셋째, 하수처리장 증설 전에 대해 모의한 결과 증가된 오염부하량이 인근해역에 직접 방류되어 확산범위가 보다 넓게 분포되고 오래 정체되는 것으로 나타났다.

넷째, 하수처리장 증설 후에 대해 모의한 결과 하수방류기준으로 증설시 처리장이 운영된다면 각 지표별로 확산에 의한 영향은 미비한 것으로 나타나 하수처리장 증설이 필수적임을 나타내었다.

참 고 문 헌

1. 강주환, 문승록, 박선중, 정재웅 (2004), “해수유통시설에 따른 대흑산도항 오염화산양상 변화”, 공업기술연구논문집
2. 김지원, 양윤모, 권정곤 (1995), “수영만 해역의 오염물질 거동에 대한 수치평가 모델의 개발”, pp489 ~ 492
3. 김천일, 여운왕 (1997), “MIKE 21 모형의 현지 적용성 검토에 관한 연구”, 명지대학교 대학원 논문집, 공학계열, 제1집, pp401 ~ 407
4. (주) 한국해양과학기술 (1995), “가덕도 신항개발 기본계획 해양조사, 수심 및 지반조사 보고서”