

EMT-3D 모델을 이용한 울산만 Dioxins 거동에 관한 시나리오 분석

김동명*

* 부경대학교 생태공학과

Scenario Analysis of Dioxins Behaviors in Ulsan Bay of Korea using EMT-3D Model

Dong-Myung Kim*

* Department of Ecological Engineering, Pukyong National University, Busan, 608-737, Korea

요 약 : EMT-3D 모델을 사용하여 내분비계 장애물질인 Dioxins를 대상으로 울산만에서의 적용성을 검토하였으며 민감도 분석 및 오염부하에 대한 해역의 응답성 분석을 수행하여 영향인자를 판별하고 대안에 따른 영향을 평가하였다. 대상해역의 실측치와 모델의 계산치를 비교한 결과 상관계수(R)값은 0.7951, 결정계수(R²)값은 0.6265로 나타나 계산치가 비교적 잘 재현된 것으로 사료된다. 민감도 분석을 실행한 결과 수층의 용존 Dioxins와 입자성 유기물질내 Dioxins의 경우 분배계수와 침강속도의 순으로 영향이 큰 것으로 나타났으며, 식물플랑크톤 체내 Dioxins의 경우 생물농축계수의 증감에 따른 농도변화가 가장 큰 것으로 나타나 이들 계수에 대한 정밀한 고찰이 필요할 것으로 사료된다. 하천 및 대기로부터 유입되는 오염부하 저감에 따른 해역의 용존 Dioxins 및 입자성 유기물질내 Dioxins의 응답성을 평가하였다.

핵심용어 : EMT-3D, Dioxins, PCDDs, PCDFs, 해양환경, 유기화학물질, 잔류성 오염물질, 내분비계장애물질, 생태계 모델

Abstract : A three dimensional ecological model(EMT-3D) was applied to Ulsan Bay for the simulation of Dioxins. The simulated results of dissolved Dioxins were in agreement with the observed values, with a correlation coefficient(R) of 0.7951 and a coefficient of determination(R²) of 0.6265. The results of sensitivity analysis showed that partition rate, adsorption rate and bioconcentration factor were important factors. Therefore, the parameters must be carefully considered in the modeling. In the case of 50% and 80% total loads reduction, concentration of dissolved Dioxins was shown to be lower than 0.150 and 0.250 pg WHO-TEQ/L, respectively.

Key Words: EMT-3D, Dioxins, PCDDs, PCDFs, Marine environment, Organic chemicals, POPs, EDCs, Ecological model

1. 서 론

인간의 건강이나 생태계에 유해한 영향을 가져올 수 있는 POPs(Persistent Organic Pollutants), EDCs(Endocrine Disrupting Chemicals), PBTs(Persistent Bio-accumulative and Toxic substance) 등과 같은 화학물질에 대한 관심과 연구가 증가하고 있지만, 이런 물질에 의한 오염은 점점 복잡화, 다양화되고 있는 실정이다(Kim et al., 2004).

다이옥신(PolyChlorinated Dibenzo-para-Dioxins, PCDDs)과 퓨란(PolyChlorinated DibenzoFurans, PCDFs)은 비의도적으로 생산된 독성유기오염물질로 통칭하여 다이옥신류(PCDD/DFs)라고 부른다. 다이옥신(PCDDs)은 75종의 이성체를, 퓨란(PCDFs)은 135종의 이성체를 가지며 이들 210종을 통틀어 다이옥신이라고 하는데 그 화합물 자체의 독성(Toxicity), 잔류성(Persistence), 장거리 이동성(Long range transport)으

로 인해 인간의 건강과 환경에 유해한 영향을 초래하는 물질로 지적되고 있다(Fiedler et al., 1996).

다이옥신은 내분비계장애물질(Endocrine Disrupting Chemicals, EDCs) 중에서도 우선순위의 화학종으로 동물 실험 및 사고 등을 통한 연구에서 발암성과 성호르몬의 변화, 면역체계의 약화, 간 손상, 갑상선 기능 저하 및 피부병 유발 등의 다양한 영향들이 보고되고 있다(Caramaschi et al., 1981; Mocarelli et al., 1991).

다이옥신류(PCDD/DFs)는 PCBs와 같은 화학제품 생산 및 금속과 비철금속의 제련, 펄스 제조 등 산업공정에 의한 불순물로 생성되거나 산불 발생, 번개, 화산활동 등의 자연적 연소과정에서도 발생된다. 또 PCB 함유제품의 소각, 도시 쓰레기 및 유해 폐기물의 소각, 운송수단의 배기가스 등을 통해 대기로 배출되며 하·폐수 처리장의 처리수, 펄프 및 제지 공장의 배출수 등을 통한 하천 오염과 산업 폐기물의 매립 등을 통한 토양 오염을 유발하고, 결국 해양 오염의 원인이 된다.

해양생태계로 유입되는 화학물질의 종합적인 평가 및 관리를 위해서는 동 화합물질의 해양환경 중의 거동 및 운명, 생태

* 중신회원, dmkim@pknu.ac.kr, 051-629-6545

계에의 영향, 관리방안에 따른 화학물질의 변화 예측, 노출량의 시공간적 변동 및 리스크 평가 등을 행할 필요가 있다. 이를 위해서는 화학물질에 대한 생태계 모델이 유용한 수단이 될 수 있다(Kim et al., 2004).

울산만은 한반도의 남동해안에 위치하여 있으며 수심이 비교적 깊고 외해와 연결되어있는 개방형의 만이다. 울산만 주변 육지가 1960년대 초 특정공업지역으로 지정되면서 해안의 공업 단지 조성과 산업시설의 확장에 의해 울산만의 해양환경이 오염되기 시작하였고 1970년대를 기점으로 해양오염이 심화되었다(국토해양부, 2008). 이에 따라 1982년 정부는 울산만을 특별관리 해역으로 지정하였으며 다이옥신배출량 산정기법 개발(환경부, 2002a), 다이옥신 실측사업(환경부, 2002b)등의 연구를 통해 오염물질의 환경 중 배출량을 중점적으로 조사해왔다.

울산만은 Dioxins 등의 유해화학물질에 의한 해양생태계의 영향이 우려되는 지역이지만 현재까지 이 해역에 대한 Dioxins의 거동에 관한 연구는 진행된 적이 없었다. 본 연구에서는 3차원 생태계 모델(EMT-3D)을 사용하여 울산만의 Dioxins를 대상으로 그 적용성을 검토하였으며, 민감도 분석 및 오염부하에 대한 해역의 응답성 분석을 수행하여 영향인자를 판별하고 대안에 따른 영향을 평가하였다.

2. 모델링 시스템

본 연구에서 적용된 생태계모델은 수환경으로 유입된 화학물질의 이류·확산작용에 의한 이송현상과 생물, 화학적인 반응을 고려한 EMT-3D 모델로서, 기존의 여러 해양유체역학모델과의 연결이 용이하고 여러 화학물질에 대하여 적용성 및 데이터 존재 상황에 따른 유연성을 가지는 3차원 생태계 모델이다(Kim et al., 2004; 김, 2011).

모델 내 구성요소의 시간에 따른 변화는 다음의 식(1)에 의해서 기술된다. 여기서 B는 대상 화학물질, u는 x방향의 유속, v는 y방향의 유속, w는 z방향의 유속이고, Kx, Ky는 x방향과 y방향의 수평확산계수이며, Kz는 z방향의 수직확산계수이다.

$$\frac{\partial B}{\partial t} = -u \frac{\partial B}{\partial x} - v \frac{\partial B}{\partial y} - w \frac{\partial B}{\partial z} + \frac{\partial}{\partial x} \left[Kx \frac{\partial B}{\partial x} \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[Ky \frac{\partial B}{\partial y} \right] + \frac{\partial}{\partial z} \left[Kz \frac{\partial B}{\partial z} \right] \quad (1)$$

Chemical transport by advection

Chemical transport by turbulent diffusion

$$+ \frac{dB}{dt}$$

Biological and chemical processes

3. 결과 및 고찰

3.1 대상해역 및 모델의 적용

EMT-3D를 사용하여 울산만을 대상으로 Dioxins의 거동을 시뮬레이션 하였다. 대상해역은 수평방향으로는 각 200 m, 수직방향으로는 5개의 층으로 구분하여 71×71×5(25,205개)의 격자로 구성하였다(Fig. 1).

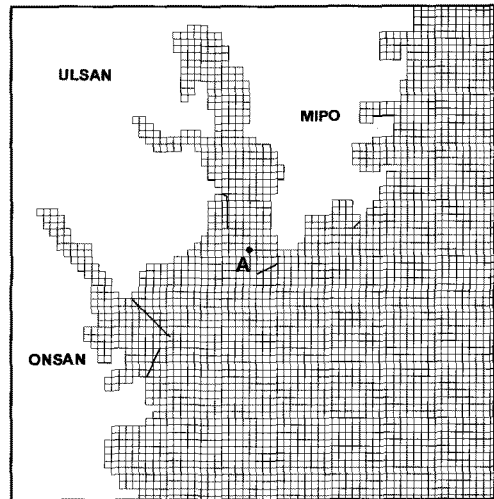


Fig. 1. Model region and grid map.

유입부하는 2008년 조사된 자료(국토해양부, 2008)를 사용하여 울산만으로 유입되는 하천수로부터의 부하와 대기로부터의 부하를 고려하였다. 하천수로부터 유입되는 Dioxins의 부하량은 풍수기와 갈수기의 평균값인 0.734 mg WHO-TEQ/day를 적용하였고, 대기로부터 유입되는 Dioxins의 부하량은 울산만 지역 대기 침적물의 평균 침적 Flux인 28.739 mg WHO-TEQ/m²·year을 바탕으로 모델 대상면적에 대해 계산된 12.137 mg WHO-TEQ/day를 적용하였다.

생물, 화학적인 과정은 데이터의 존재 상황 등을 고려하여 흡탈착, 분비와 호흡, 침강, 건침적 등을 고려하였다. 입력조건 및 파라메타는 Table 1에 나타내었다. 울산만의 유동장은 Choi(1980) 및 해양과학공동연구소(2001)를 바탕으로 재산정하였다. 입자성 유기물질에 대한 분배계수, 흡탈착 속도는 Kobayashi(2004), Mackay et al.(2006), Kim et al.(2004)의 연구결과를 바탕으로 산정하여 적용하였고 식물플랑크톤에 대한 농축계수, 섭취 및 호흡계수는 Naito(2004), Jorgensen(1994), Jorgensen et al.(2000)의 연구결과를 바탕으로 적용하였다.

대상해역에서 실측한 용존 Dioxins는 0.510~0.824 pg WHO-TEQ/L의 분포를 보여 평균 0.670 pg WHO-TEQ/L였고, 퇴적물 중 Dioxins의 농도는 1.970~15.489 pg WHO-TEQ/g의 범위로 평균 4.000 pg WHO-TEQ/g이었다.

실측한 용존 Dioxins와 퇴적물 중 Dioxins의 농도를 계산된 Dioxins의 농도와 비교한 결과, 용존 Dioxins의 절대오차는 0.014~0.176 pg WHO-TEQ/L의 범위로 평균 0.103 pg WHO-TEQ/L.

Table 1. Input data

Parameters	Input value
Model region	Ulsan Bay
Target chemicals	Dioxins
Used model	Modified POM EMT-3D
Mesh size	$\Delta x = \Delta y = 200$ m
Layer	5 layer
Considered biological and chemical processes	Adsorption, Desorption, Uptake and Sorption, Excretion and Respiration Sedimentation, Dry deposition
Bioconcentration factor of phytoplankton (L/kg)	7.0 E+4
Uptake rate of phytoplankton (L/[kg day])	2.5 E+4
Excretion rate of phytoplankton (1/day)	1.1 E+0
Adsorption rate of organic particulates (L/[kg day])	5.0 E+4
Desorption rate of organic particulates (1/day)	6.8 E+0
Partition factor of particulates (L/kg)	1.5 E+5
Sinking velocity (m/day)	4.3 E-1
Horizontal eddy viscosity and diffusivity (cm ² /s)	1.0 E+6

를 보였고, 상대오차는 2.2~30.4%의 범위로 평균 15.7%로 계산되었다. 퇴적물 중 Dioxins 농도의 절대오차의 범위는 0.040~0.989 pg WHO-TEQ/g으로 평균 0.075 pg WHO-TEQ/g이었고, 상대오차의 범위는 0.5~25.1%로 평균 2.0%이다.

표층에서 계산된 용존 Dioxins, 입자성 유기물 내의 Dioxins, 식물플랑크톤 체내의 Dioxins, 퇴적물 중 Dioxins의 분포를 Fig. 2에 나타내었다. 용존 Dioxins의 경우, 하천으로 부터의 유입부하가 집중되어 있는 울산 인근 해역에서 가장 높은 농도를 나타내었으며, 만 바깥쪽으로 갈수록 낮아졌다. 울산 인근 해역의 경우는 0.775 pg WHO-TEQ/L 이상의 값을 나타내었으며, 만 중앙부는 0.675 pg WHO-TEQ/L, 울산만 동부해역은 0.650 pg WHO-TEQ/L 정도의 값을 나타내었다.

입자성 유기물 내의 Dioxins의 경우도 용존 Dioxins와 유사한 경향을 나타내었다. 울산 인근 해역의 경우는 175.0 pg WHO-TEQ/g 이상의 값을 나타내었으며, 만 중앙부는 150 pg WHO-TEQ/g, 울산만 동부해역은 125.0 pg WHO-TEQ/g 이하의 농도값을 나타내었다.

식물플랑크톤 체내의 Dioxins의 경우는 울산 인근 해역에서는 19.0 pg WHO-TEQ/g 이상의 농도값을, 만 중앙부에서는 17.0 pg WHO-TEQ/g 정도의 값을 나타내었다. 울산만 동부해역에서 16.0 pg WHO-TEQ/g 이하의 농도값을 나타내었다.

퇴적물 중의 Dioxins 농도는 울산 인근 해역과 만 중앙부에서는 4.0 pg WHO-TEQ/g 이상의 값을, 울산만 동부해역에서 2.0 pg WHO-TEQ/g 이하의 농도값을 나타내었다.

Kobayashi et al.(2004)에서 예측된 동경만의 Dioxins 농도는 입자성 유기물질 내에서 2.5~200 fg-TEQ/L의 분포를 보였고, 용존 Dioxins의 농도는 1.0~2.0 fg-TEQ/L로 본 연구에서 예측한 울산만의 농도보다 낮은 분포를 나타냈다.

3.2 민감도 분석

계수의 민감도를 분석을 위해 모델 보정에 적용된 계수값에 대하여 각 계수값의 2배 및 1/2배에 해당하는 값을 증감시켰을 때 나타나는 상태변수 결과값의 변동량을 산정하였고, 그 결과를 Table 2에 나타내었다. 상태함수의 농도결정에 미치는 영향이 클수록 민감도 분석의 결과 값이 큰 값을 나타낸다.

수층의 용존 Dioxins의 경우 입자성 유기탄소에 대한 분배계수의 증감에 따른 농도변화가 12.500% 및 -16.192%로 다소 크게 나타났다. 침강속도에 따른 농도변화가 8.872% 및 -12.623%로 나타났으며, 입자성 유기탄소에 대한 흡착 속도의 증감에 따라 -3.080% 및 2.081%의 농도변화가 나타났다.

수층의 유기입자 내 Dioxins의 경우는 입자성 유기탄소에 대한 분배계수의 증감에 따른 농도변화가 -42.332% 및 60.839%로 가장 영향이 큰 계수로 나타났으며, 다음으로는 침강속도, 입자성 유기탄소에 대한 흡착 속도, 생물농축계수 순으로 나타났다.

수층에서 식물플랑크톤 체내의 Dioxins의 경우는 식물플랑크톤의 생물농축계수의 증감에 따른 농도변화가 -49.711% 및 98.187%로 가장 큰 것으로 나타났다.

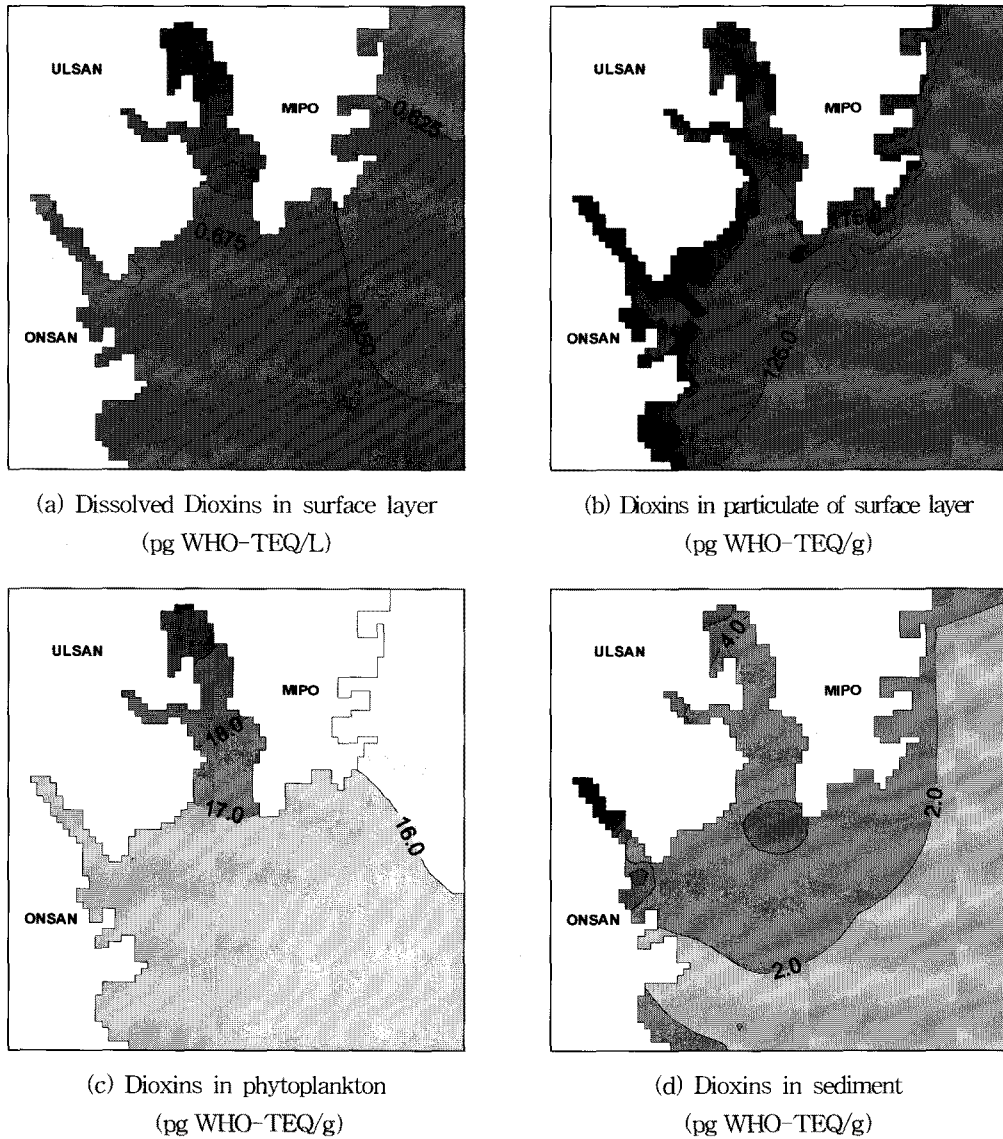


Fig. 2. The distribution of the simulated Dioxins in the surface layer.

Table 2. Sensitivity analysis of Dioxins concentration by change of values of parameters

Item		The changes Dioxins (%)		
		in Water	in POC	in Plankton
Bioconcentration factor of plankton	x 1/2	0.456	0.403	-49.771
	x 2	-0.910	-0.775	98.187
Particulates sinking velocity	x 1/2	8.872	12.016	8,824
	x 2	-12.623	-16.967	-12.555
Plankton uptake rate	x 1/2	0.001	0.001	0.005
	x 2	-0.001	-0.001	-0.002
POC adsorption rate	x 1/2	-3.080	5.511	-3.063
	x 2	2.081	-2.994	2.075
POC partition coefficient	x 1/2	12.500	-42.332	12.467
	x 2	-16.192	60.839	-16.149

따라서 추후의 Dioxins에 대한 모델 적용 시에는 목적하는 상태변수에 따라 이들 계수에 대한 정밀한 고찰이 필요할 것으로 사료된다.

3.3 시나리오 분석

유입부하의 변화가 대상해역의 용존 Dioxins 및 입자성 유기물질내 Dioxins에 미치는 영향을 시뮬레이션 하기 위하여 시나리오를 구성하여 해역의 응답성을 평가하였다. 시나리오의 구성은 해역으로부터 유입되는 오염부하에 대하여 저감율 30%, 50%, 80% 각각 적용하여 시뮬레이션 하였으며, 퇴적물에 미치는 영향도 평가하였다. 각 경우별 세부사항은 Table 3와 같다.

Table 3. Composition of scenario

Case	Scenario
1	30% reduced loads from the rivers
2	30% reduced loads from the air
3	30% reduced loads from both the rivers and the air
4	50% reduced loads from the rivers
5	50% reduced loads from the air
6	50% reduced loads from both the rivers and the air
7	80% reduced loads from the rivers
8	80% reduced loads from the air
9	80% reduced loads from both the rivers and the air
10	Applied present input loads after sediments dredging

하천으로부터의 유입부하를 30% 저감 시(Case 1) 표층의 용존 Dioxins의 경우 울산만 중앙부의 농도가 0.025 pg WHO-TEQ/L 정도 낮아지는 것으로 나타났으며, 현재 상대적으로 높은 농도

인 울산 인근 해역으로 갈수록 감소폭이 다소 증가하는 경향을 나타내었다. 또한, 입자성 유기물질내 Dioxins의 경우 표층에서 현상태와 유사한 형태를 나타내었다. 대기로부터의 유입부하를 30% 저감시킨 경우(Case 2)는 용존 Dioxins의 경우 울산만 중앙부의 농도가 표층에서 0.05 pg WHO-TEQ/L 정도 낮아지는 것으로 나타났으며, 입자성 유기물질내 Dioxins의 경우 표층에서 125.0 pg WHO-TEQ/g 이하를 나타내는 지역이 다소 확장되는 현상을 나타내었다.

하천 및 대기로부터의 유입부하를 동시에 감소시킨 경우(Case 3), 표층의 용존 Dioxins에서 울산만 내측에서 0.15 pg WHO-TEQ/L 정도 농도가 감소하였으며, 울산만 중앙부에서 0.10 pg WHO-TEQ/L 정도 농도가 감소하였다. 입자성 유기물질내 Dioxins의 경우는 대상해역 전체에서 25.0 pg WHO-TEQ/g 정도 농도가 감소하는 것으로 나타났다(Fig. 3).

하천으로부터의 유입부하 50% 저감 시(Case 4) 용존 Dioxins의 경우, 표층에서 울산만 중앙부의 농도가 0.600 pg WHO-TEQ/L 정도로 나타나며, 만 내측의 고농도에서 감소폭이 큰 것으로 나타났다. 입자성 유기물질내 Dioxins의 경우 표층에서 만 내측의 농도는 25.0 pg WHO-TEQ/g 정도 감소하였으나, 만의 바깥쪽 부분은 현상태와 유사한 농도를 나타내었다.

대기로부터의 유입부하 50% 저감 시(Case 5) 표층의 용존 Dioxins은 전반적으로 약 0.2 pg WHO-TEQ/L 정도 농도가 낮아지는 경향을 나타내었으며, 입자성 유기물질내 Dioxins은 표층에서 75.0 pg WHO-TEQ/g 정도 농도가 감소하는 경향을 나타내었다. 또한, 대부분의 지역에서 100.0 pg WHO-TEQ/g 이하의 농도를 나타내었다. 하천 및 대기로부터의 유입부하를 50% 저감할 경우(Case 6) 용존 Dioxins은 울산만의 표층 대부분에서 0.500 pg WHO-TEQ/L의 농도를 나타내었으며, 입자성 유기물질내 Dioxins의 경우 표층 대부분의 지역에서 100.0 pg WHO-TEQ/g의 농도를 나타내었다(Fig. 4).

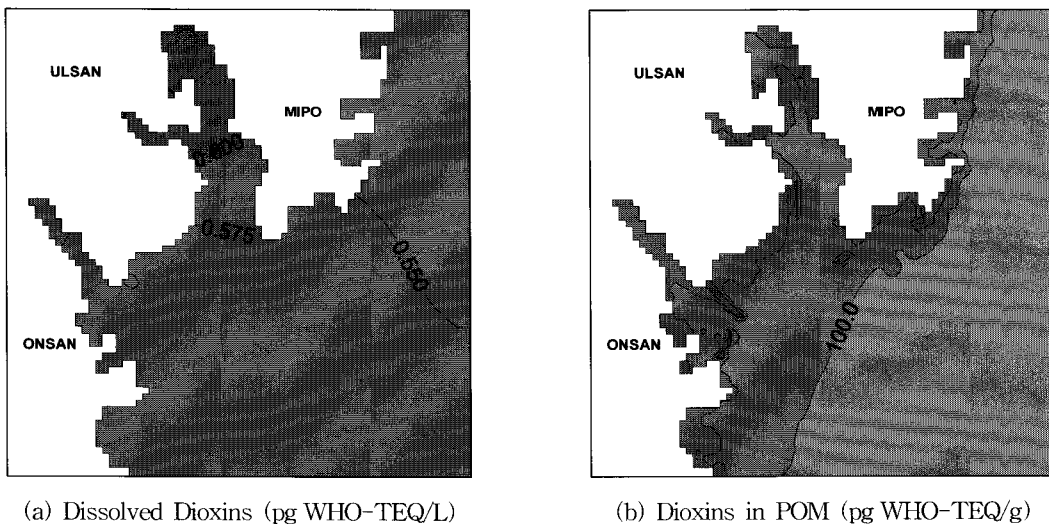


Fig. 3. The result of the simulation for 30% reduced loads from both the rivers and the air(surface layer).

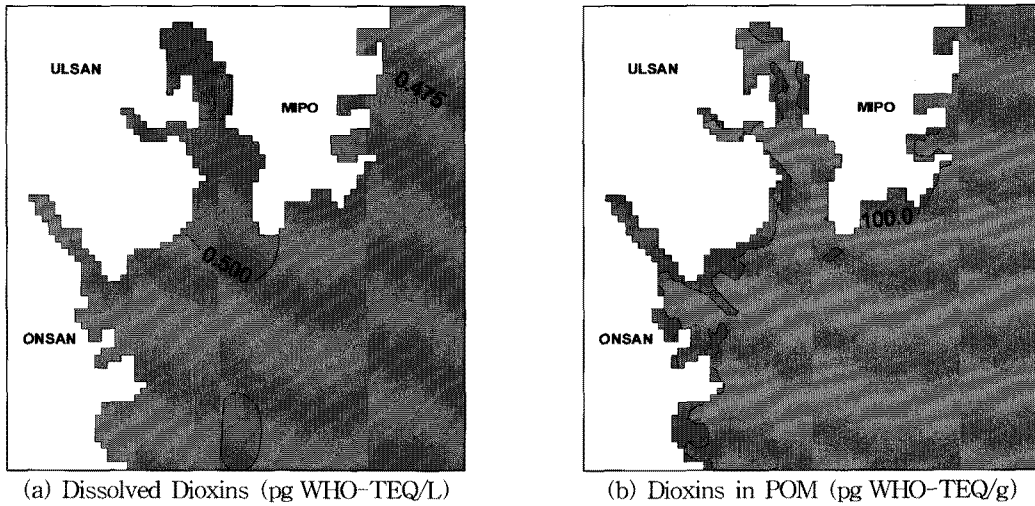


Fig. 4. The result of the simulation for 50% reduced loads from both the rivers and the air(surface layer).

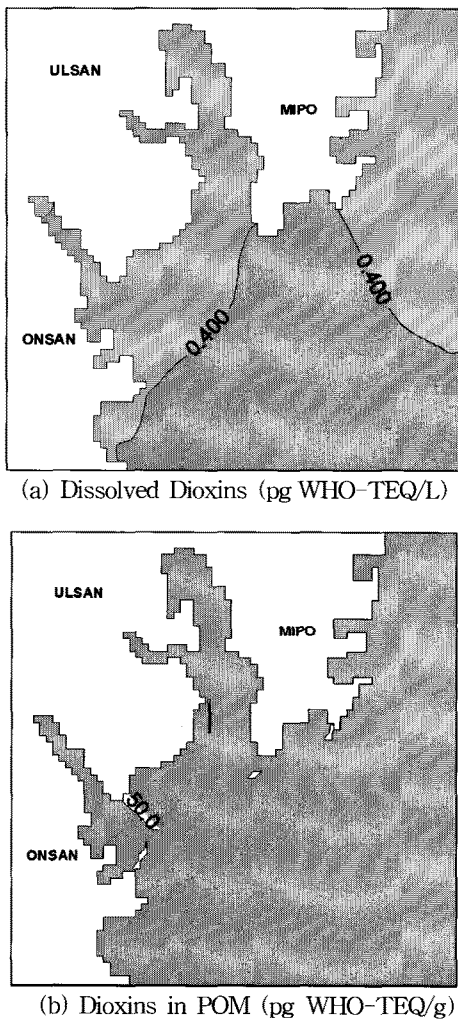


Fig. 5. The result of the simulation for 80% reduced loads from both the rivers and the air(surface layer).

하천으로부터의 유입부하 80% 저감 시(Case 7) 표층의 용존 Dioxins의 경우, 대상해역의 대부분의 지역에서 0.550 pg

WHO-TEQ/L 정도의 농도를 나타내었다. 입자성 유기물질내 Dioxins의 경우 표층의 만 내측 지역에서는 현상태와 비슷하게 나타났으며, 대상지역의 중앙부는 25.0 pg WHO-TEQ/g 정도의 농도가 감소한 것으로 나타났다. 대기로부터의 유입부하의 80% 저감 시(Case 8) 용존 Dioxins의 경우 표층에서 0.155~0.175 pg WHO-TEQ/L 정도 농도의 감소가 나타났으며, 입자성 유기물질내 Dioxins의 경우 울산만 내측 지역을 제외한 대부분의 지역 표층에서 75.0 pg WHO-TEQ/g의 농도를 나타내었다. 하천 및 대기로부터의 유입부하를 동시 80% 저감할 경우(Case 9) 표층의 용존 Dioxins은 대상해역 대부분의 지역에서 0.400 pg WHO-TEQ/L 이하의 농도를 나타내었으며, 고농도의 지역에서의 감소효과가 더 크게 나타났다. 입자성 유기물질내 Dioxins의 경우는, 대상해역 대부분의 지역 표층에서 50.0 pg WHO-TEQ/g 이하를 나타내었다(Fig. 5).

퇴적물 준설 후 현재 유입부하를 적용할 경우 퇴적물에서 Dioxins의 농도가 현재의 농도 수준까지 도달하는 시간을 개략적으로 산정하였다(Case 10). Fig. 1의 A지점에서 측정된 현재 퇴적물의 농도인 3.45 pg WHO-TEQ/g까지 도달하기 위해서는 준설 후 약 5.5년 정도가 소요되는 것으로 나타났다(Fig. 6).

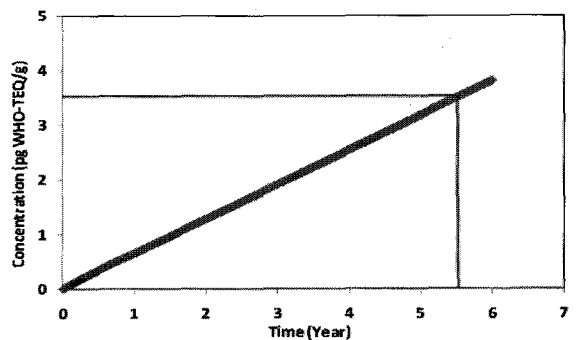


Fig. 6. Estimation of concentration change in sediments after sediments dredging.

4. 결론

울산만을 대상으로 Dioxins의 환경동태를 EMT-3D를 사용하여 시뮬레이션 하였다. 본 모델에서 유입부하는 2008년 6월 및 8월 실측자료를 바탕으로 울산만으로 유입되는 하천수로부터의 부하와 대기로부터의 유입부하를 고려하였으며, 생물·화학적 인 과정은 흡탈착, 분비와 호흡, 침강, 건침적 등을 고려하였다.

실측한 용존 Dioxins와 퇴적물 중 Dioxins의 농도를 계산된 Dioxins의 농도와 비교한 결과, 용존 Dioxins의 절대오차는 평균 0.102 pg WHO-TEQ/L를 보였고, 상대오차는 평균 15.7%로 계산되었다. 퇴적물 중 Dioxins 농도의 절대오차는 평균 0.075 pg WHO-TEQ/g이었고, 상대오차는 평균 2.0%이다.

모델 재현 후 모델 보정에 적용된 계수값에 대하여 민감도 분석을 시행한 결과, 수층의 용존 Dioxins의 경우, 입자성 유기탄소에 대한 분배계수의 증감에 따른 농도 변화가 크며, 다음으로 침강 속도, 흡착 속도의 순으로 나타났다. 유기입자 내 Dioxins의 경우는 입자성 유기탄소에 대한 분배계수의 증감에 따른 영향이 가장 크며, 다음으로 침강 속도, 입자성 유기탄소에 대한 흡착 속도, 생물농축계수 순으로 나타났다. 식물플랑크톤 체내의 Dioxins의 경우는 생물농축계수의 증감에 따른 농도 변화가 가장 큰 것으로 나타났다. 이들 계수에 대해서는 추후의 Dioxins에 대한 모델 적용 시 정밀한 고찰이 필요할 것으로 사료된다.

유입부하의 변화가 대상해역의 용존 Dioxins 및 입자성 유기물질내 Dioxins에 미치는 영향을 시뮬레이션하기 위하여 시나리오를 구성하여 해역의 응답성을 평가하였다. 시나리오 구성은 해역으로부터 유입되는 오염부하에 대해 저감율 30%, 50%, 80%를 각각 적용하여 시뮬레이션 하였으며, 퇴적물에 미치는 영향을 평가하였다. 용존 Dioxins은 하천 및 대기로부터의 유입부하를 30% 저감하였을 경우 울산만 중앙부에서의 농도가 표층에서 0.100 pg WHO-TEQ/L 정도 감소하는 것으로 나타났다. 유입부하 50% 저감 시와 유입부하 80% 저감 시의 경우는 각각 울산만 중앙부에서 농도가 표층에서 각각 0.150 pg WHO-TEQ/L, 0.250 pg WHO-TEQ/L 정도 감소하는 것으로 나타났다. 입자성 유기물질내 Dioxins의 하천 유입부하에 따른 변동은 상대적으로 미미한 것으로 나타났다. 대기로부터의 부하와 하천 및 대기로부터의 부하를 30% 저감시킨 경우 대상지역의 농도가 표층에서 100.0~125.0 pg WHO-TEQ/g 정도의 범위를 나타내었다. 하천 및 대기로부터의 유입부하 50% 저감시의 경우 표층에서 100.0 pg WHO-TEQ/g 이하의 농도를 나타내는 영역이 확장되어 나타났다. 대기로부터의 유입부하, 하천 및 대기로부터의 유입부하를 각각 80% 저감하였을 경우 표층 대부분의 지역에서 각각 75.0 pg WHO-TEQ/g 및 50.0 pg WHO-TEQ/g 이하의 농도를 나타내었다. 퇴적물 준설 후 현재 유입부하를 적용할 경우 현재의 퇴적물 농도 수준까지 도달하는 시간을 개략적으로 산정한 결과 약 5.5년 정도가 소요되는 것으로 추정되었다.

본 연구에서 예측한 울산만의 농도는 다른 해역(예. 동경만)의 Dioxins 농도보다 다소 높은 것으로 나타나 지속적인 연구와 관리가 필요할 것으로 사료된다.

사 사

이 연구는 국립수산물품질관리원(내분비계 장애물질 해양내 거동 연구)의 지원에 의해 수행되었습니다.

참 고 문 헌

- [1] 국토해양부(2008), 2008년 해양생태계내 내분비계 장애물질 연구보고서, p. 793.
- [2] 김동명(2011), EMT-3D 모델을 이용한 진해만 PAHs의 거동 예측 시뮬레이션, 해양환경안전학회지, 제17권, 제1호, pp. 7-13.
- [3] 환경부(2002a), 다이옥신배출량 산정기법 개발, p. 219
- [4] 환경부(2002b), 다이옥신실측사업, p. 908
- [5] 해양과학공동연구소(부경대학교)(2001), 음식물 잔재물 해양배출에 따른 타당성 조사연구 보고서, p. 80.
- [6] Caramaschi, F. G. del Caion and C. Favaretti(1981), Chloracne following environmental by TCDD in Seveso, Italy. Int. J. Epidemiol. 10, pp. 135-325.
- [7] Choi, B. H.(1980), A tidal model of the Yellow Sea and the Eastern China Sea. Korea Ocean Research and Development(KORDI), rep. 80-02, p. 70.
- [8] Fiedler, H.(1996), Sources of PCDD/PCDF and Impact on the Environment, Chemosphere 32, pp. 55-64.
- [9] Jørgensen, S. E.(1994), Fundamentals of Ecological Modelling. 2nd ed., Elsevier, p. 632.
- [10] Jorgensen, L. A., S. E. Jorgensen and S. N. Nielsen (2000), Ecological Modelling and Ecotoxicology, Elsevier, Electronic DB file.
- [11] Kim, D. M., N. Nakada, T. Horiguchi, H. Takada, H. Shiraishi and O. Nakasugi(2004), Numerical simulation of organic chemicals in a marine environment using a coupled 3D hydrodynamic and ecotoxicological model, Marine Pollution Bulletin 48(7-8), pp. 671-678.
- [12] Kobayashi, N.(2004), Fluxes and mass balance of dioxins in the Tokyo Bays basin, Aquabiology 26(5), pp. 410-417.
- [13] Kobayashi, N., K. Nakata, T. Eriguchi, F. Horiguchi, J. Nakanishi and S. Masunaga(2004), Application of a mathematical model to predict dioxin concentrations in the Tokyo Bay estuary, Organohalogen Compounds 66, pp. 2341-2347.
- [14] Mackay, D., W. Y. Shiu, K. Ma and S. C. Lee (2006),

Physical-Chemical Properties and Environmental Fate for Organic Chemicals. Second Edition, Taylor & Francis, p. 4216.

- [15] Mocarelli, P., L. L. Needham, A. Marocchi(1991), Serum concentrations of 2,3,7,8,-tetrachlorodibenzo-p-dioxin and test results from selected residents of Seveso, Italy, J. Toxicol. Environ. Health, 32, pp. 357-366.
- [16] Naito, W.(2004), Bioaccumulation of dioxins for aquatic organisms in Tokyo Bays, Aquabiology 26(5), pp. 427-433.

원고접수일 : 2011년 02월 17일

원고수정일 : 2011년 03월 02일 (1차)

: 2011년 06월 03일 (2차)

게재확정일 : 2011년 06월 23일