

Original Article

부유사 확산 영향 평가의 실태 분석 및 합리성 제고 방안

정진현 · 탁대호 · 임재현 · 이대인[†]
국립수산과학원 해역이용영향평가센터

Analysis and Improvement for Impact Assessment of Suspended Solids Diffusion by Marine Development Projects

Jin-Hyun Jeong, Dae-Ho Tac, Jae-Hyun Lim, and Dae-In Lee[†]

Marine Environmental Impact Assessment Center, National Institute of Fisheries Science, Busan 46083, Korea

요 약

본 연구에서는 해역이용협의 및 환경영향평가 단계에서 이루어지는 부유사 확산 평가의 실태를 분석하여 문제점을 파악하고, 이에 대한 개선 방안 및 향후 과제의 방향을 제시하였다. 분석 대상은 2012년부터 2014년까지 해역이용영향검토기관에서 검토된 평가서 중 부유사 확산이 중점 평가된 사업 총 64건이었으며, 사업 유형은 공유수면 매립, 준설 그리고 구조물 설치 사업이었다. 현재 해역이용협의 시 수반되는 부유사 확산 예측에서 현장 조사, 수치모형 실험의 과정 및 결과에서 일부 문제가 내포되어 있는 것으로 나타났다. 즉, 해역별로 사업 규모와 부유사 발생량(강도), 부유사 발생량과 확산 면적, 그리고 사업 규모와 확산 면적에 대하여 검토한 결과, 부유사 발생량 산정 시 원단위의 임의적인 사용, 입경 및 침강 속도의 고려 문제, 수치모형 결과의 검증 과정 미흡 그리고 확산 결과가 사업 규모와 특성을 반영하지 못해 비합리적으로 산출되는 문제 등이 나타났다. 실제 사례 분석 결과는 이러한 문제들이 부유사 확산 실험 결과의 재현성과 신뢰성을 크게 낮추는 주요 원인인 것으로 나타났다. 따라서, 부유사 확산 실험 결과의 합리성 향상을 위해서 심층적인 현장 관측을 토대로 우리나라 연안에 적합한 주요 입력 및 검증 자료의 확보와 예측 수행 시 각 과정에 대한 세부적인 지침의 정립이 반드시 필요할 것으로 사료된다.

Abstract – We analyzed the current status for the assessment of suspended solids diffusion related to the environmental impact in the documents of Sea Area Utilization Consultation for marine development projects such as reclamation, dredging and structure construction in the Korean coastal areas from 2012 to 2014. The analysis suggested that there was a lack of reproducibility and reliability in the simulated results of suspended solids diffusion because of 1) non-consideration of major input data such as background concentration, particle size and sinking velocity of suspended solids, 2) arbitrary use of reference unit load values, 3) setting of the unsuitable grid size and boundary condition in the numerical model, and 4) unreasonable verification of prediction results. In order to improve these problems mentioned above in the simulated results of suspended solids diffusion, therefore, it is necessary to secure major input and verification data applicable to the Korean coastal areas based on long-term field observations and establish detailed guidelines in each process of prediction simulation.

Keywords: Marine development project(해양 개발 사업), Environmental impact(환경 영향), Suspended solids diffusion(부유사 확산), Unit load(원단위), Particle size and sinking velocity(입경과 침강 속도), Guideline(가이드라인)

1. 서 론

해양에서의 개발 사업은 다양화 및 대형화되고 있으며, 2016년의 해역이용협의 건수가 2,274건에 이르는 등 지속적으로 증가하는 추

세에 있다. 이러한 개발 사업은 주변 해역의 다양한 환경 변화를 초래한다. 특히, 공유수면 매립과 준설, 방파제 등의 구조물 설치 사업을 포함하는 해상 공사 시 발생하는 부유사의 확산은 탁도 증가로 인한 광투과량 감소, 식물플랑크톤의 응집과 침강으로 인한 먹이사슬의 파괴, 퇴적상 변화로 인한 해양 생물 군집 및 서식지 훼손, 수산 자원과 어장의 직·간접적인 피해와 영향 등을 유발시키는 것으로

[†]Corresponding author: dilee70@korea.kr

알려져 있다(KEI[2005]; Shin and Kim[2010]). 또한, 항로 유지 및 확장 등의 대규모 준설사업이나 지속적이고 반복적으로 이루어지는 바다모래 채취 등의 경우, 부유사로 인한 누적환경영향이 진단되고 있고(Lee *et al.*[2009]; Lee *et al.*[2010]), 나아가서 영향으로 인한 어업피해 관련 조사 및 갈등이 나타나고 있다. 따라서, 해상 공사 시 수반되는 부유사 확산에 의한 영향을 최소화하기 위한 적절한 저감 방안을 수립하는 것은 필수적이며, 이를 위해 평가 단계에서 부유사의 정도 및 시·공간적인 영향 범위를 정확하게 파악하고 그 적절성을 검토하는 것은 매우 중요하다.

부유사의 발생과 확산 범위는 토사의 양과 입경, 침강 속도, 대상 해역의 수리학적 조건 등 다양한 요인들의 영향을 받기 때문에, 실제 관측을 통해 정확하게 파악하기는 현실적으로 어렵다. 또한, 각종 개발 사업에 따른 사업 단계별 영향 변화를 평가하기 위해서는 기초 자료를 토대로 한 예측이 필수적으로 요구된다(Choo *et al.*[2017]). 이러한 이유로, 부유사 확산에 의한 영향 평가(해역이용협의 및 환경영향평가 제도)는 수치모형 실험을 통한 예측에 의존하게 된다. 일반적으로 수치모형 실험을 통한 정확한 영향 예측을 위해서는 대상 해역에 대한 종합적인 현황 조사 및 분석을 토대로 한 적합한 수치모델의 선정 및 구성, 관측 자료와 비교를 통한 모델의 보정 및 검증, 사업에 따른 영향의 합리적인 예측 등의 과정으로 구성되어야 한다(KEI[2003]). 그러나, 각 평가 과정에 대한 세부적인 지침이 규정되어 있지 않아, 현황 조사의 미흡으로 인한 기초 자료의 부실, 국지적인 현장 관측 및 기존 문헌 자료의 획일적인 사용으로 인한 대상 해역 특성의 대표성 문제, 부유사 발생량 산정 및 침강 속도 등에 대한 고려 여부, 그리고 모델 선정 및 격자 구성, 검증, 예측 과정의 불합리한 수행 등으로 인해 동일 해역의 유사 사업임에도 불구하고 예측 결과가 상당히 다르게 나타나는 등 수치모형 예측 결과의 재현성 및 신뢰성에 의문이 제기되고 있다(KEI[2003]).

정확한 부유사 확산 영향 예측을 수행하기 위한 노력으로, KEI[2003]는 해수 유동 및 부유사 확산의 예측 기법에 대한 전반적인 연구를 수행하였다. 또한, Jung *et al.*[2004]은 해상 공사 시 발생하는 부유사의 이동 및 확산 과정의 예측을 위한 모의 시스템을 개발하였으며, Jung[2010]은 조위 및 조류 예측의 정확도를 개선하기 위한 방법을 제안하였다. Tac *et al.*[2015]은 입자추적법을 이용하여 소규모 하천 및 해역으로의 부유사 확산 예측을 수행하였으며, Choo *et al.*[2017]은 사업 개발 단계별 부유사 농도 추정을 위한 수문학적 접근 방법을 제안하였다. 그러나, 해상 공사 계획 시 수반되는 해역이용협의 또는 환경영향평가 등 실제 평가서의 실태에 대한 현황 파악은 매우 미흡하다. 즉, 해역이용협의 시 부유사 확산 영향평가에 대한 작성 실태 진단, 문제점 파악 및 개선 방안 강구에 대한 연구는 부족한 실정이다.

따라서, 본 연구에서는 해양 환경과 관련된 영향평가 단계에서 부유사 확산 영향에 대한 합리적인 평가 방향과 검토 기법 및 유형별 평가 지침 정립을 위한 목적으로, 부유사 확산 예측이 수행된 해역이용협의서를 분석하여 부유사 확산 영향 평가에 대한 작성 실태를 파악하고, 노출된 문제점을 개선하기 위한 방안을 제시하였다.

2. 재료 및 방법

본 연구에서는 2012년부터 2014년까지 해역이용영향검토기관인 해역이용영향평가센터에서 검토된 평가서 중 부유사가 중점 평가 사항인 사업 64건을 대상으로 부유사 확산 영향 평가의 실태를 분석하였다. 사업의 구분은 협의 대상 및 주요 사업 내용에 따라 공유수면 매립, 준설 그리고 방파제와 같은 구조물 설치 사업으로 구분하였다. 연구는 해역별 사업 유형에 따른 부유사 확산 영향 평가의 작성 현황 분석, 부유사 영향 평가의 실태 진단 및 문제점 도출, 그리고 개선 방안에 대하여 수행하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 부유사 확산 분석 대상 사업

2012년부터 2014년까지 최근 3년간 부유사가 중점 평가 사항인 공유수면 매립과 준설, 구조물 설치 사업 등 본 연구의 분석 대상 현황은 Fig. 1에 제시하였다. 해역별 사업 현황은 남해에서 37건, 서해에서 19건, 동해에서 8건으로, 총 64건의 사업이 수행되었다. 사업 유형별로 남해와 서해에서는 어항 조성 및 연안 정비 등을 위한 매립 사업이 각각 19건과 10건으로 가장 많았으며, 동해에서는 방파제 등 구조물 설치 사업이 5건으로 가장 많이 수행된 것으로 나타났다.

3.2 부유사 및 해수 유동 현황 조사

부유사는 해수 유동에 의해 이동·확산되므로, 사업으로 인한 부유사 영향의 범위 및 정도를 예측하기 위해서 해수 유동 실험과 부유사 확산 실험이 병행되고 있다. 이러한 예측 실험에서 현장 조사는 대상 해역의 현황 파악뿐만 아니라 사업에 따른 영향을 예측하기 위한 수치모델의 기초 및 검증 자료로 이용되므로, 수치실험 결과의 재현성과 신뢰성을 높이고 실질적인 저감방안을 설정하는데 매우 중요하다(KEI[2003]).

최근 3년간 부유사 확산이 중점 평가 사항인 사업들을 분석한 결과, 부유사에 대한 현장 조사는 남해에서 81%(30건), 동해에서 88%(7건), 서해에서 89%(17건)로 나타나, 부유사 영향 예측 시 전반적으로 현장 조사를 토대로 한 영향 예측이 수행되고 있었다. 사업 유형별 현장 조사 비율은 매립 사업이 84%(26건), 준설 사업이 92%(11건) 그리고 구조물 설치 사업이 81%(17건)으로 나타났다(Table 1).

사업에 따른 해수 유동 조사는 대부분 조석과 조류만을 고려하는 것으로 나타났으며, 조석의 경우 모든 사업에서 문헌 조사를 인용하고 있었다. 조류 역시 문헌 조사가 남해에서 84%(31건), 동해에서 38%(3건), 서해에서 74%(14건)로 높은 비중을 보였다. 사업 유형별 조류에 대한 현장 조사 비율은 공유수면 매립, 준설 그리고 구조물 설치 사업에서 각각 29%(9건), 17%(2건) 그리고 24%(5건)로 나타나(Table 2), 현장 조사가 중요함에도 불구하고 대부분의 사업에서 문헌 조사를 토대로 한 해수 유동 변화 예측이 수행되는 것으로 나타났다. 이는 아마도 비용적인 문제나 조석 및 조류의 특성상 그 변동이 크지 않다고 여기는 관행 때문인 것으로 사료된다.

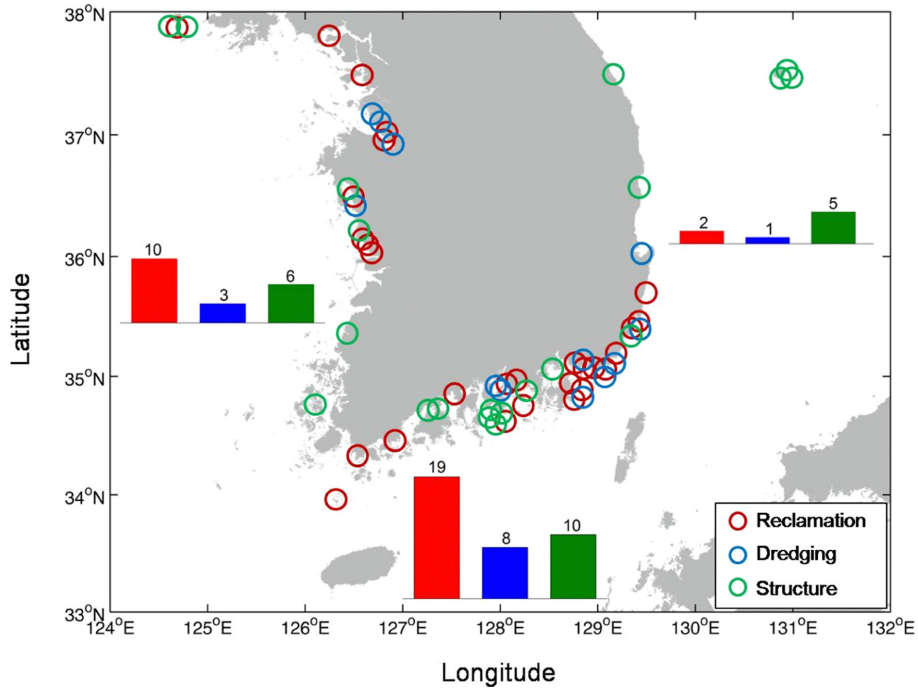


Fig. 1. The status of marine development projects (reclamation, dredging and structure construction) in the Korean coastal area from 2012 to 2014.

Table 1. The status of marine development projects(reclamation, dredging and structure construction) classified according to three sources(in-site observation, citation and no presentation) of suspended solids presented in the Sea Area Utilization Consultation

Development Type	South Sea			East Sea			West Sea		
	In-site	Citation	None	In-site	Citation	None	In-site	Citation	None
Reclamation	16	2	1	1	1	0	9	1	0
Dredging	7	1	0	1	0	0	3	0	0
Structure	7	3	0	5	0	0	5	1	0
Total	30	6	1	7	1	0	17	2	0

Table 2. The status of marine development projects classified according to three sources of tidal current presented in the Sea Area Utilization Consultation

Development Type	South Sea			East Sea			West Sea		
	In-site	Citation	None	In-site	Citation	None	In-site	Citation	None
Reclamation	3	16	0	2	0	0	4	6	0
Dredging	1	7	0	0	1	0	1	2	0
Structure	2	8	0	3	2	0	0	6	0
Total	6	31	0	5	3	0	5	14	0

3.3 부유사 확산 실험 과정 분석

3.3.1 부유사 확산 실험 및 모형 종류

해역이용협의 시 부유사 확산 실험을 통한 합리적인 영향 예측이 수행되는지 알아보기 위해, 부유사 확산 실험 건수, 모형의 종류, 주요 기초 입력 자료 및 실험 결과의 적정성에 대한 현황을 분석하였다. 주요 입력 자료로는 부유사 발생량, 입경 및 침강 속도를 고려하였으며, 실험 결과의 적정성에 대해서는 수치모델의 검증, 부유사 가중 농도 그리고 확산 면적에 대해 중점적으로 분석하였다.

최근 3년간 총 64건의 사업들 중 부유사 확산 실험이 수행된 경우는 남해 27건, 동해 8건, 서해 18건 등 총 53건으로, 수행 비율은

약 83%로 나타났다(Table 3). 이러한 예측 비율은 부유사 현장 조사의 수행 비율(84%)과 유사하였으며, 해수 유동 현장 조사의 수행 비율(25%)보다는 3배 이상 높은 것으로 나타났다. 부유사 확산 예측을 위해 적용하는 수치모델은 해역이나 사업 유형에 관계없이 대부분 Environmental Fluid Dynamics Code(EFDC)를 사용하고 있었다. 그 밖의 사용된 수치모델로는 남해에서 Random Walk 3건, Simulation Model of Seil Hydrodynamic-Diffusion(SMSH) 1건, Alternating Direction Implicit Method(ADI) 1건 그리고 Princeton Ocean Model(POM) 1건이었으며, 동해에서는 ADI 2건, 서해에서는 SMSH, ADI 그리고 POM이 각각 1건으로 나타났다(Table 3).

Table 3. The status of marine development projects classified according to five numerical models(EFDC, Random Walk, SSMH, ADI and POM) applied to simulate the suspended solids diffusion

Development Type	South Sea					East Sea					West Sea				
	EFDC	Random Walk	SSMH	ADI	POM	EFDC	Random Walk	SSMH	ADI	POM	EFDC	Random Walk	SSMH	ADI	POM
Reclamation	11	3	1	0	1	1	0	0	1	0	9	0	0	1	0
Dredging	7	0	0	1	0	1	0	0	0	0	2	0	0	0	1
Structure	3	0	0	0	0	4	0	0	1	0	4	0	1	0	0
Total	21	3	1	1	1	6	0	0	2	0	15	0	1	1	1

Table 4. The status of marine development projects (applied the simulation of the suspended solids diffusion) classified according to three major input data

Development Type	South Sea						East Sea						West Sea					
	Generation rate		Particle size		Sinking velocity		Generation rate		Particle size		Sinking velocity		Generation rate		Particle size		Sinking velocity	
Reclamation	14	(16)	0	(16)	2	(16)	2	(2)	0	(2)	0	(2)	10	(10)	0	(10)	1	(10)
Dredging	8	(8)	0	(8)	2	(8)	1	(1)	0	(1)	0	(1)	3	(3)	0	(3)	1	(3)
Structure	3	(3)	0	(3)	1	(3)	5	(5)	0	(5)	1	(5)	5	(5)	0	(5)	0	(5)
Total	25	(27)	0	(27)	5	(27)	8	(8)	0	(8)	1	(8)	18	(18)	0	(18)	2	(18)

(): Total number of marine development projects performed the simulation of suspended solids diffusion.

3.3.2 부유사 확산 실험의 입력 자료 분석

부유사 확산 실험이 수행된 사업을 대상으로 한 주요 입력 자료에 대한 분석 결과는 Table 4에 제시하였다. 부유사 발생량은 대부분의 사업들에서 적용되고 있었지만, 남해에서 수행된 공유수면 매립 사업 2건에서는 부유사 발생량을 고려하지 않았음에도 불구하고 부유사 확산 실험을 수행한 것으로 나타났다.

부유사는 시간에 따른 침강으로 인하여 그 농도가 감소되는 특징을 갖기 때문에, 부유사의 입경과 입경별 침강 속도는 중요한 평가 요소이다. 그러나, 입경의 경우 모든 사업에서 고려되지 않았으며, 침강 속도가 고려된 경우 역시 남해에서 19%(5건), 동해에서 13%(1건), 서해에서 11%(2건)에 불과하였다. 또한, 침강 속도에 대해서는 대부분 Buller and McManus[1979] 및 Tanimoto and Hoshika[1994]의 연구 결과를 인용하고 있었지만, 입경에 대한 자료가 제시되지 않아 침강 속도의 적절성을 평가하기 어려웠다.

종합적으로, 부유사 확산 실험 시 주요 입력 자료에 대해 부유사 발생량은 전반적으로 고려되고 있었지만, 입경 및 입경별 침강 속도에 대한 자료 제시 및 평가는 매우 미흡한 것으로 나타났다.

3.3.3 부유사 확산 결과 제시 현황

부유사 확산 실험 결과의 제시 현황은 Table 5에 제시하였다. 부유사 확산 실험에서 모델 결과와 현장 관측 자료의 비교를 통한 모델의 검증은 보다 정확한 부유사 영향 예측을 위한 매우 중요한 과정 중 하나이다. 부유사 확산 예측 결과는 현장에서 실제 관측된 연속부유사를 시계열로 비교·검증하고, 계산결과의 오차를 정량적으로 제시하여야 한다. 그러나, 앞선 현황 조사 분석에서 부유사와 관련하여 대부분 현장 조사가 수행되는 것으로 나타났음에도 불구하고, 현장 관측 자료를 이용하여 부유사 확산 실험 결과에 대한 검증을 수행한 경우는 남해에서 33%(9건), 동해에서 50%(4건), 서해에서 39%(7건)에 불과하였다.

부유사 확산 면적을 결정하기 위한 부유사 가중 농도는 해역이나 사업에 따라 다르게 적용되고 있었다. 이는 부유사 가중 농도에 대한 기준이 지침으로 수립되어 있지 않기 때문으로 판단된다. 가중 농도는 모든 해역에서 1 mg L⁻¹이 가장 많이 적용되고 있었다. 가중 농도 0.5 mg L⁻¹은 남해, 동해 그리고 서해에서 각각 6건, 1건 그리고 1건으로 나타났으며, 가중 농도 2 mg L⁻¹을 적용한 경우도 서

Table 5. The status of marine development projects (applied the simulation of the suspended solids diffusion) classified according to three categories (1. existence of verification, 2. difference of weighted concentration of suspended solids, 3. existence of the simulated diffusion area)

Development Type	Verification	South Sea						East Sea						West Sea							
		Weighted concentration (mg L ⁻¹)			Diffusion area (1mg L ⁻¹)	Verification	Weighted concentration (mg L ⁻¹)			Diffusion area (1mg L ⁻¹)	Verification	Weighted concentration (mg L ⁻¹)			Diffusion area (1mg L ⁻¹)						
		0.5	1	2			0.5	1	2			0.5	1	2							
Reclamation	5	(16)	3	9	0	12	(16)	1	(2)	0	2	0	2	(2)	4	(10)	1	7	1	9	(10)
Dredging	3	(8)	1	4	0	5	(8)	0	(1)	1	0	0	1	(1)	1	(3)	0	1	2	3	(3)
Structure	1	(3)	2	1	0	3	(3)	3	(5)	0	5	0	5	(5)	2	(5)	0	4	1	5	(5)
Total	9	(27)	6	14	0	20	(27)	4	(8)	1	7	0	8	(8)	7	(18)	1	12	4	17	(18)

(): Total number of marine development projects performed the simulation of suspended solids diffusion.

해에 4건 있었다. 가장 많이 적용된 가중 농도 1 mg L^{-1} 을 기준으로 확산 면적이 평가된 경우는 남해에서 74%(20건), 동해에서 100%(8건), 서해에서 94%(17건)로 나타났다.

3.4 부유사 확산 평가 실태 분석 및 문제점 제시

최근 3년간 부유사 확산 실험이 수행된 53건의 사업을 대상으로 부유사 확산 예측 결과를 비교하여, 현재 수행되고 있는 부유사 확산 예측 평가에 대한 실태를 진단하고 그 문제점을 파악하고자 하였다.

3.4.1 부유사 확산 예측 결과의 비교 분석

부유사 확산 예측에 대한 평가 실태를 진단하기 위해서 해역별 사업 유형에 따라 사업 규모, 부유사 발생량 그리고 확산 면적에 대해 분석하였다. 여기서, 확산 면적은 부유사 가중 농도 1 mg L^{-1} 을 기준으로 한 면적만을 고려하였다. 공유수면 매립 사업에 대한 분석 결과는 Fig. 2에 나타내었다. 해상 공사 시 부유사로 인한 영향 범위는 사업 규모 및 부유사 농도와 밀접한 연관을 갖는 것으로 알려져 있다(Kang et al.[2007]). 즉, 사업 규모와 부유사 발생량, 부유사 발생량과 확산 면적, 그리고 사업 규모와 확산 면적에 대해서는 그 해역의 특성에 따라 다소 달라질 수 있지만, 대부분 비례 관계를 갖고 있는 것이 주지의 사실이다. 그러나, 본 연구 결과에서는 동일한 해역에서 유사한 사업 규모에도 불구하고, 부유사 발생량 및 확산 면적은

매우 큰 차이를 보였다. 예를 들면, 남해의 매립 사업 4건에서 매립 면적은 약 $1,000 \text{ m}^2$ 로 유사하나, 부유사 발생량은 최소 8.32 kg h^{-1} 부터 최대 23.06 kg h^{-1} 까지로 2배 이상의 차이를 보였으며(Fig. 2a), 확산 면적은 최소 0.01 km^2 부터 최대 1.43 km^2 까지 약 140배 이상의 차이를 보였다(Fig. 2g). 서해 역시 매립 면적이 $1,000 \text{ m}^2$ 인 사업에서 부유사 발생량과 확산 면적은 77.40 kg h^{-1} 과 0.02 km^2 로 평가되었으나, 매립 면적이 2배 이상인 사업($2,453 \text{ m}^2$)에서 부유사 발생량은 8.58 kg h^{-1} 로 약 9배 정도 작은 반면 확산 면적은 0.31 km^2 로 약 16배 크게 평가되는 등 매립 면적, 부유사 발생량 그리고 확산 면적 사이에서 연관성은 나타나지 않았다(Fig. 2c and i).

준설 사업에 대한 분석 결과는 Fig. 3에 나타내었다. 준설 사업의 경우, 동해와 서해에서 수행된 사업건수는 각각 1건과 3건으로 예측 평가 실태를 진단하기에 부적합한 것으로 판단하여, 남해에서 수행된 준설 사업만을 분석하였다. 남해에서 수행된 최소 규모와 최대 규모의 준설 사업을 비교해 본 결과, 준설량은 $93,403 \text{ m}^3$ 과 $20,312,000 \text{ m}^3$ 로 200배 이상의 차이가 났으나, 부유사 발생량은 23.8 kg h^{-1} 과 14.8 kg h^{-1} 로 최대 사업 규모에서 약 2배 작게 평가된 반면, 확산 면적은 6.09 km^2 와 44.73 km^2 로 최대 사업 규모에서 7배 이상 크게 평가되었다(Fig. 3a, d and g).

구조물 설치 사업 역시 매립 및 준설 사업과 유사한 결과를 보였다(Fig. 4). 남해에서 수행된 200 m 규모의 방파제 축조 공사에서도 부

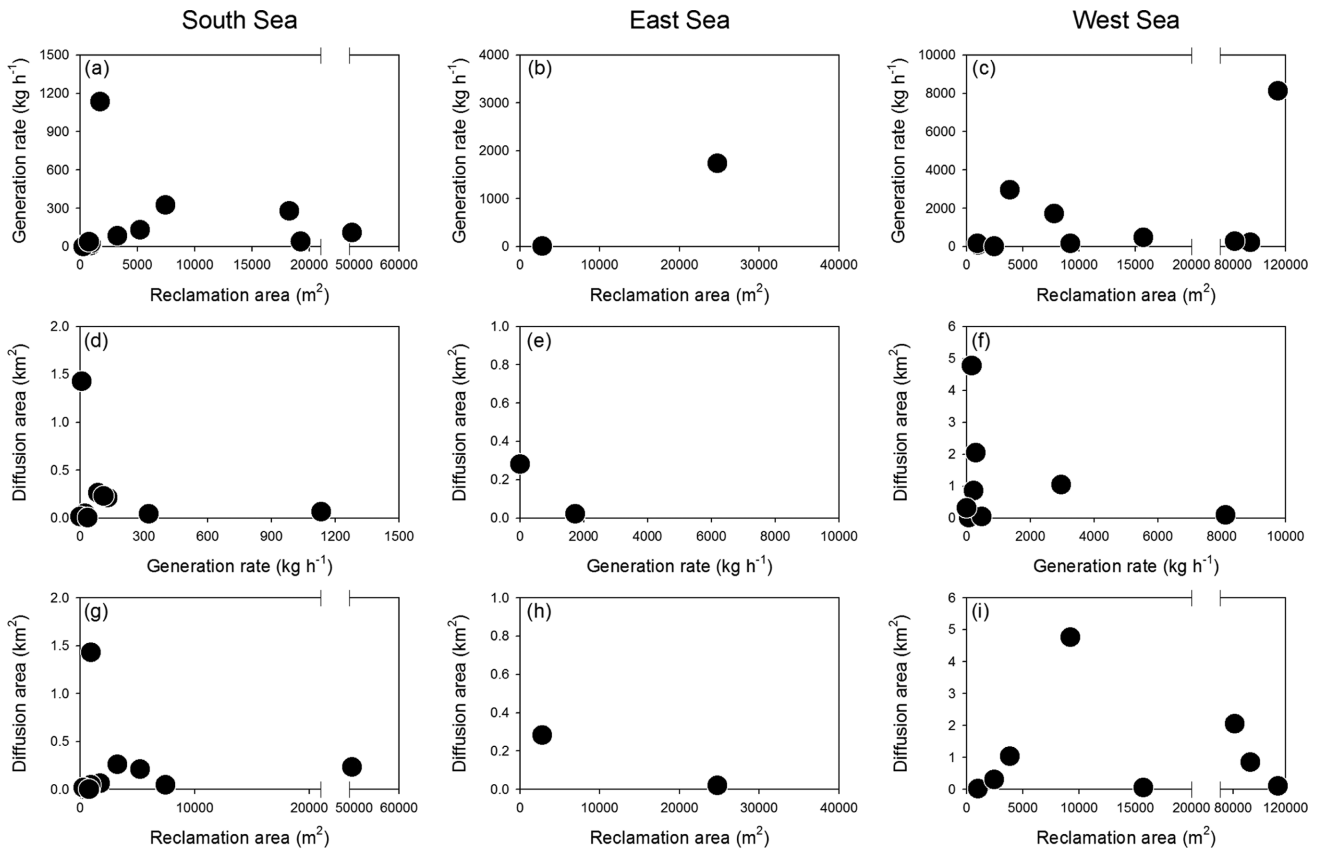


Fig. 2. Relationship with three factors (reclamation area, generation rate and diffusion area of suspended solids) according to reclamation project areas (South Sea, East Sea and West Sea).

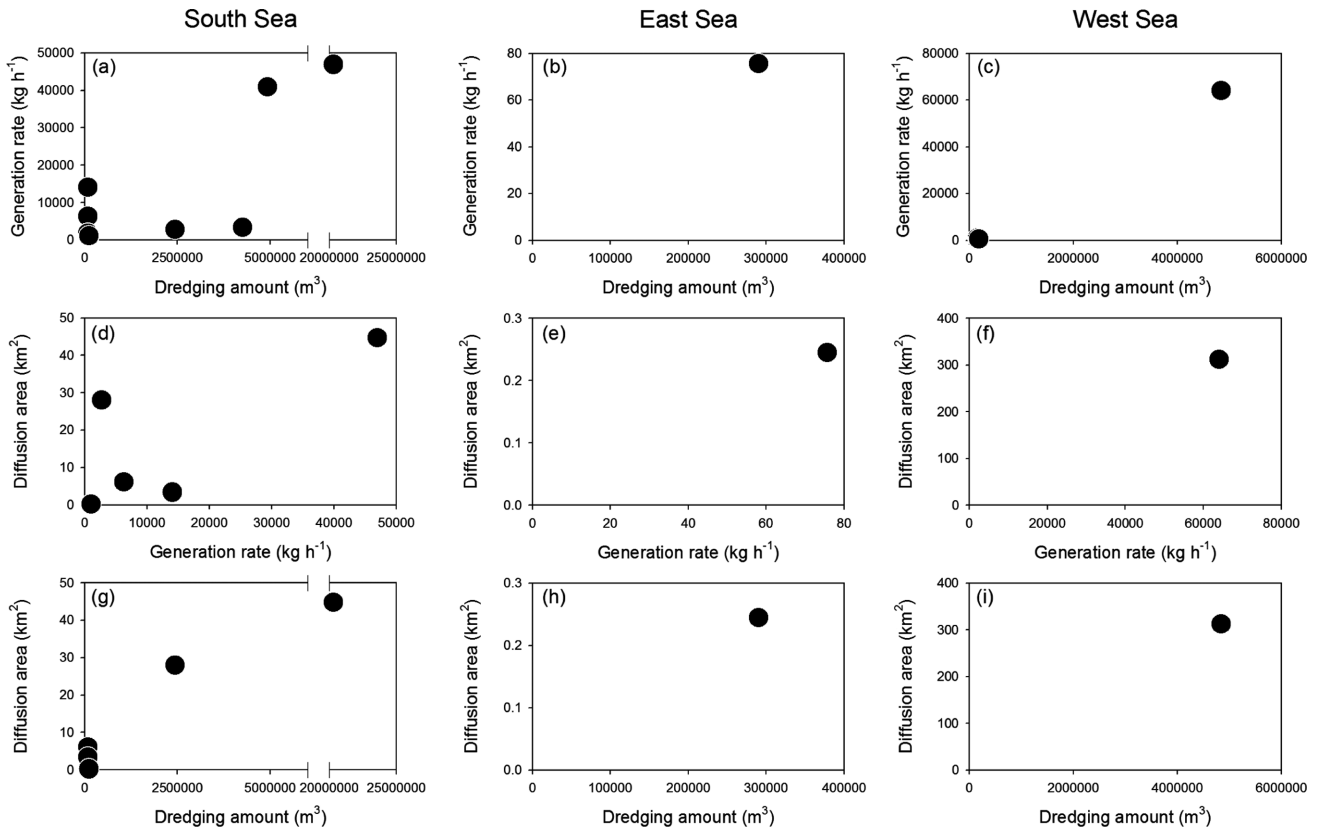


Fig. 3. Relationship with three factors (dredging amount, generation rate and diffusion area of suspended solids) according to dredging project areas (South Sea, East Sea and West Sea).

유사 발생량은 891.87 kg h⁻¹로 산정하였으며, 이에 따른 확산 면적은 0.10 km²로 평가하였다. 그러나, 3,100 m 규모의 방파제 축조 공사에서도 부유사 발생량과 확산 면적은 각각 951.9 kg h⁻¹과 0.07 km²로 평가되어, 사업 규모가 15배 차이가 남에도 불구하고 부유사 발생량과 확산 면적은 유사하게 평가되었다(Fig. 4a, d and g). 동해에서도 사업 규모가 30 m인 사업에서 부유사 발생량과 확산 면적은 각각 114.8 kg h⁻¹과 0.06 km²로 평가되었으나, 사업 규모가 10배 이상인 345 m 규모의 사업에서 부유사 발생량은 약 3배 낮은 38.9 kg h⁻¹로 산정하였으며, 확산 면적은 5.08 km²로 약 90배 높게 평가하였다(Fig. 4b, e and h). 서해 역시 5 m, 110 m, 195 m, 그리고 380 m의 사업 규모에서 부유사 발생량은 각각 199.5 kg h⁻¹, 299.0 kg h⁻¹, 222.4 kg h⁻¹, 그리고 3450 kg h⁻¹로 산정하였으며, 확산 면적도 0.94 km², 0.41 km², 0.07 km², 6.10 km²로 평가되는 등 구조물 규모, 부유사 발생량 그리고 확산 면적 사이에서 유의한 상관성은 나타나지 않았다(Fig. 4c, f and i).

3.4.2 문제점 제시

부유사 확산 평가 실태를 분석한 결과, 해역별 동일한 유형의 사업에서 사업 규모가 유사함에도 불구하고 부유사 발생량 및 이에 따른 확산 면적이 매우 큰 차이를 보이거나 사업 규모가 큰 차이를 보임에도 불구하고 부유사 발생량 및 확산 면적이 유사하거나 작게 평가되는 등 현재 부유사 확산 실험 결과의 신뢰성에 문제가 있는 것으로 나타나 이에 대한 원인을 분석해 보았다.

(1) 부유사 발생량

부유사 확산 실험에서 가장 기본적이며 중요한 요소 중 하나는 부유사 발생량 산정이다. 일반적으로 공사에 따른 부유사 발생량 산정 시 부유사 발생 원단위, 공사 물량 그리고 공사 기간 등이 고려된다. 사업 계획 시 사업의 규모와 기간은 명확히 제시되므로, 결국 부유사 발생 원단위는 부유사 발생량을 결정하는데 매우 중요한 요인이 된다.

부유사 확산 실험이 수행된 53건 사업에 대한 부유사 발생 원단위를 분석한 결과, 부유사 발생량 산정 시 대부분의 사업에서 1982년에 만들어진 일본 운수성 제4항만건설국 해역정비과(이하 MOT) 자료와 2002년 수행된 해양수산부(이하 MOF)의 연구 결과를 적용하고 있었다(Fig. 5). 현재 우리나라 연안 공사에 적합한 원단위 산정에 대한 연구가 매우 미흡하여 기존의 원단위를 적용할 수밖에 없는 실정인 한, 그 적용 근거 및 방법에 대한 문제점이 나타났다. 예를 들면, MOF[2002]에서 제시된 원단위는 준설 사업에 적용되는 원단위이나, 매립 및 구조물 설치 사업에서 명확한 근거 없이 적용되고 있었다(Fig. 5b and f). 또한, MOF[2002]는 입경 및 유속 등을 고려한 원단위 산출 방정식을 제안하였지만 이 방정식 역시 매립과 구조물 설치 사업에 사용되고 있었으며, 사용 여부는 명확한 근거 없이 평가자의 주관적인 판단에 의해 결정되었다. 그 결과, 동일 해역의 사업 규모가 약 30 m인 구조물 설치 사업들에서 원단위가 최소 2.91 kg m⁻³에서 최대 8.4 kg m⁻³까지 다르게 나타나는 등 사업

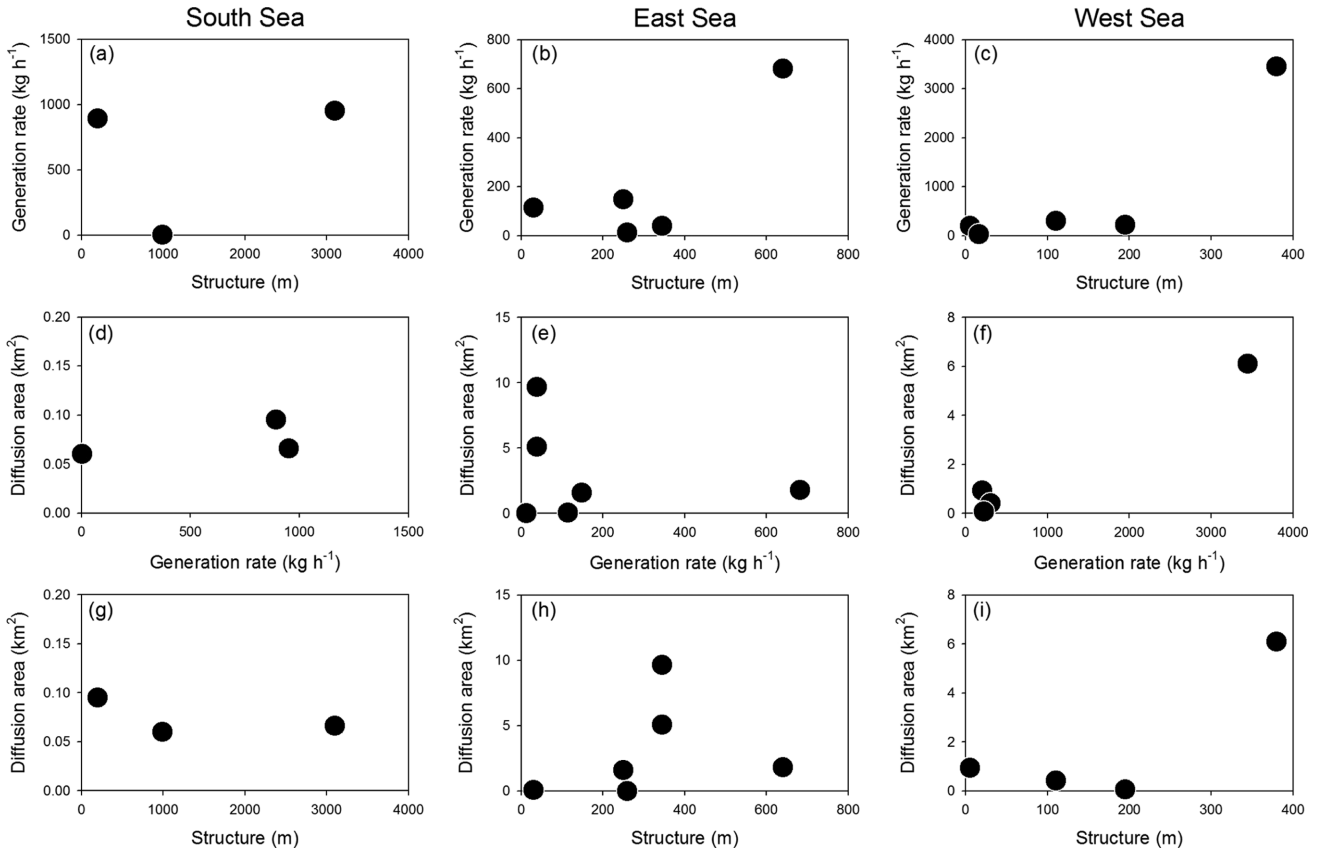


Fig. 4. Relationship with three factors (structure scale, generation rate and diffusion area of suspended solids) according to structure construction project areas (South Sea, East Sea and West Sea).

규모가 유사함에도 불구하고 원단위는 차이를 보였다(Fig. 5b and f).

준설 사업의 경우, 상기 문제들에 해당되지는 않지만 MOT[1982]와 MOF[2002]에서 제시된 원단위를 혼용함에 따른 문제점이 나타났다. MOT[1982]와 MOF[2002]에서 제시되는 원단위는 그 범위의 차이가 크기 때문에 어느 것을 적용하느냐에 따라 그 결과가 크게 달라지므로 신중하게 적용되어야 한다. 예를 들면, 그래프를 이용한 준설의 경우 MOT[1982]와 MOF[2002]에서 제시된 최대 부유사 발생 원단위는 각각 38.00 kg m⁻³과 110.66 kg m⁻³이므로, 만약 사업 기간이 유사하다고 가정하면 동일한 사업 규모임에도 불구하고 최대 부유사 발생량은 약 70%까지 차이가 날 수 있다. 따라서, 준설 사업시 원단위를 적용함에 있어 근거 자료와 이를 이용한 부유사 발생량 산출 과정을 명확히 제시하는 것은 필수적이다. 그러나, 모든 준설 사업에서 원단위 산정의 근거를 명확하게 제시하지 않아 평가자의 주관적인 판단에 따라 달라지고 있는 것으로 나타났다.

(2) 입경 및 입경별 침강 속도

부유사의 입경 및 침강 속도는 확산 면적과 직접적인 연관이 있으므로 부유사 확산 예측에 있어 이에 대한 자료가 제시 및 평가되어야 한다. 그러나, 53건의 사업들 중 입경에 대한 조사가 이루어진 사업은 없었으며, 침강 속도를 평가한 사업은 8건에 불과하였다(Table 4). 또한, 8건 모두 침강 속도는 Buller and McManus[1979] 및 Tanimoto and Hoshika[1994]의 입경별 침강 속도 결과를 인용하

고 있었으나, 입경을 이용한 침강 속도의 적절성에 대한 평가는 수행되지 않았다. Buller and McManus[1979]의 적용 입경은 0.00098-0.063 mm인 반면 Tanimoto and Hoshika[1994]의 적용 입경은 0.001-2 mm로, 적용 범위가 서로 달라 입경에 대한 평가 없이 침강 속도를 적용하는 것은 문제가 된다. 두 연구 결과의 입경과 침강 속도에 대한 상관성을 토대로 동일한 입경에서의 침강 속도를 추정해 본 결과(Fig. 6), 입경이 0.0015 mm일 때 Buller and McManus[1979]의 침강 속도는 약 0.002 mm s⁻¹이었으며 수심 10m까지 침강하는데 57.8일이 소요되는 것으로 나타난 반면, Tanimoto and Hoshika[1994]의 침강 속도는 약 0.014 mm s⁻¹이었으며 수심 10m까지 침강하는데 8.4일이 소요되는 것으로 나타났다. 이는 부유사 확산 예측 시 어떤 입경 및 침강 속도를 인용하느냐에 따라 확산 범위가 약 7배까지 차이날 수 있음을 지시한다. 따라서, 최근 3년간 부유사 확산 예측이 수행된 모든 사업에서 입경에 대한 자료 제시 및 침강 속도에 대한 적절성 평가가 수행되지 않아 부유사 확산 예측 결과의 신뢰성은 상당히 낮을 것으로 판단된다.

본 연구의 분석 대상 사업들 중 침강 속도와 확산 면적이 모두 제시된 6건의 사업을 분석한 결과, 침강 속도와 확산 면적 사이에서 상관성은 낮은 것으로 나타났다(Fig. 7). 이러한 원인으로는 확산 면적과 직접적으로 관련된 변수들인 침강 속도, 해수 유동 및 부유사 발생량 등 해역과 사업 특성에 따라 지배하는 인자가 다양하기 때

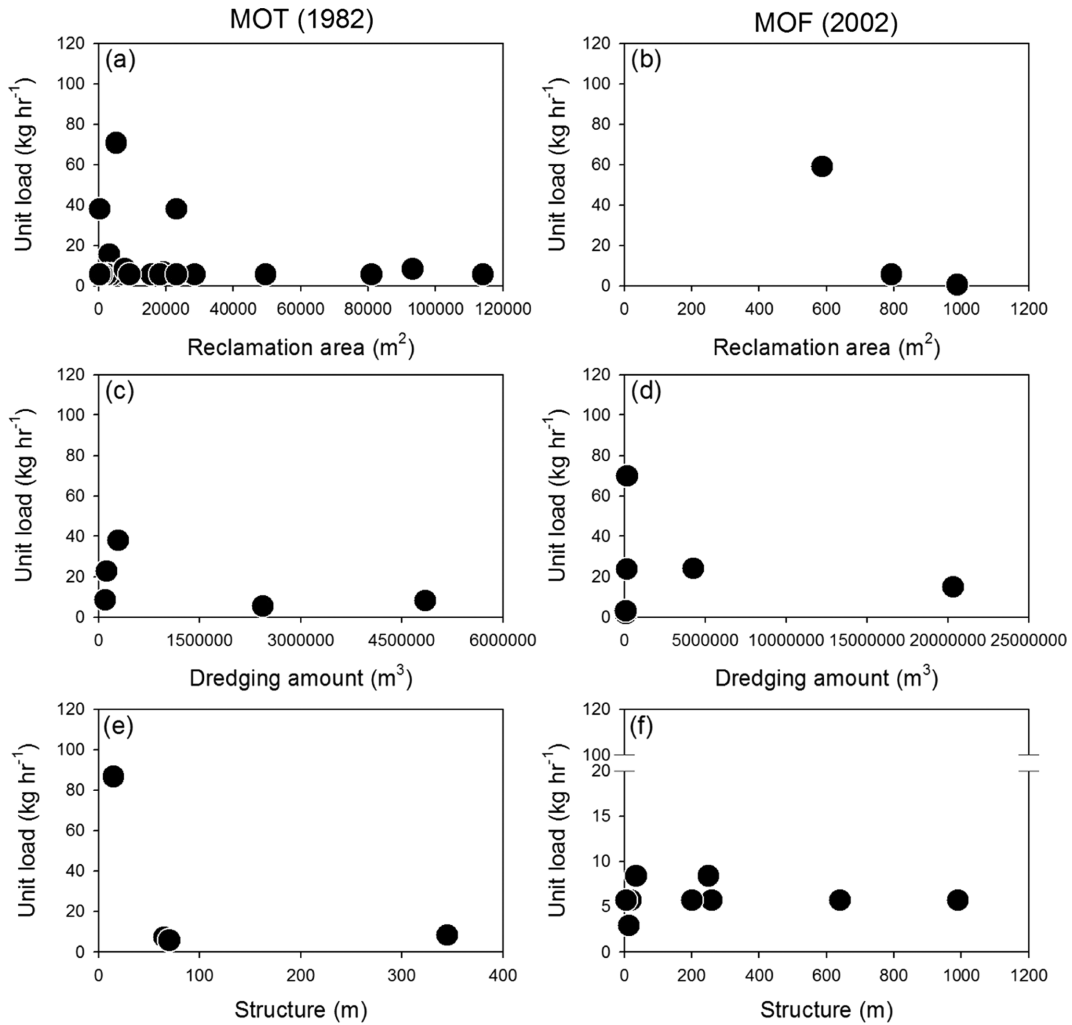


Fig. 5. The status of unit load of suspended solids of two categories (MOT and MOF) applied in three marine development projects (reclamation, dredging and structure construction).

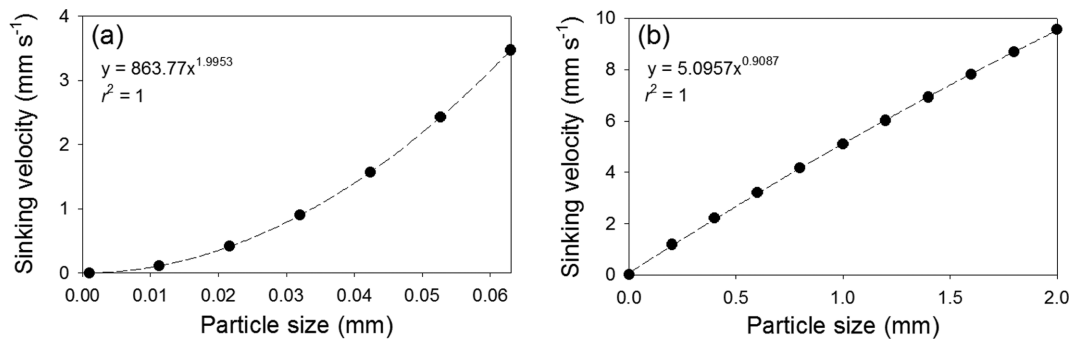


Fig. 6. Theoretical relationship between particle size and sinking velocity of suspended solids. (a) Buller and McManus [1979] and (b) Tanimoto and Hoshika [1994].

문으로 판단된다. 그러나, 동일 조건(사업 규모 등)에서 침강 속도의 변화에 따른 평가 결과가 없으므로, 침강 속도를 거의 고려하지 않는 현실에서 확산 면적만으로 그 관계를 평가하기에는 한계가 있을 것이다. 향후 이러한 현장 특성을 고려한 입경별 침강 속도와 확산 면적에 대한 충분한 자료 확보가 필요할 것으로 사료된다.

(3) 예측모델 격자 체계

부유사 확산은 해수 유동 예측 결과를 기반으로 하기 때문에, 해수 유동의 신뢰도는 매우 중요한 요인이다. MOF[2008]에서는 유향 및 유속은 점정 1개를 선정하여 15일 이상 측정하고, 조위는 주변의 측정이 이루어지지 않을 경우 1개월 이상의 장기적인 관측을 실시

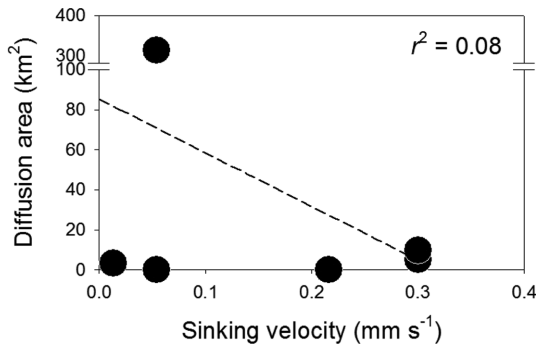


Fig. 7. Relationship between the sinking velocity and diffusion area of suspended solids in the marine development projects performed from 2012 to 2014.

하도록 하고 있다. 또한 예측 결과는 경계 조건, 초기 조건, 격자의 구성 등에 대한 내용을 제시하도록 규정하고 있다. 이 중 동일한 입력 변수 조건을 가정한 상태에서, 격자의 크기에 따라 예측 결과는 영향을 받는 것으로 알려져 있다(KEI[2003]). 격자의 크기는 당해 사업의 특성(사업 규모 등)에 따라 현장에서의 충분한 공간적 재현이 가능하도록 최소화시킬 필요가 있다. 이러한 배경 하에서 분석 사업들을 대상으로, 검토 단계에서 사업 규모를 고려하여 제시한 필요 격자의 크기와 부유사 확산 실험에 실제 적용한 격자의 크기를 비교하였다(Fig. 8). 공유수면 매립 및 준설 사업의 경우, 사업으로 인한 수심의 변화가 가장 크기 때문에 수심을 기준으로 하였다. 매립 사업의 경우 대부분의 매립 수심은 약 10 m 이었으나 수치모델에 적용한 최소 격자의 크기는 최대 100 m인 것으로 나타났으며, 준설 사업에서도 준설 수심은 5-16m의 범위이었으나 최소 격자의 크기는 25-100 m의 범위로 다양하게 적용되고 있었다. 또한, 구조물 설치 사업 역시 구조물 규모가 5-25 m인 반면 수치모델에 적용한 최소

격자의 크기는 15-53 m의 범위인 것으로 나타나, 거의 모든 분석 대상 사업에서 사업 시행으로 인한 영향을 공간적으로 재현하기에는 적합하지 않은 것으로 나타났다.

3.5 부유사 확산 평가에 대한 실제 사례 분석

부유사 확산 평가 실태에 대한 분석은 현재 부유사 확산 실험이 수행됨에 있어 일부 문제점이 있음을 보여주었다. 이러한 문제들에 대한 이해를 돕기 위해서 남해에서 수행된 3건의 사업을 비교·분석하였다. 분석대상은 광양만 내 K1, K2 그리고 K3 항구의 준설 사업이다. 각 항구의 부유사 확산 실험에 대한 자료 및 결과는 Table 6에 제시하였다. 준설량은 사업 규모에 따라 큰 차이를 보였으며, 부유사 발생 원단위는 3개의 사업 모두에서 MOT[1982]의 원단위를 적용하고 있었다. 그러나, 원단위를 적용함에 있어 K1-port에서는 평균 입도를 기준으로 한 반면, K2-port와 K3-port에서는 입도별 원단위를 적용하였다. 그 결과, 동일한 해역임에도 불구하고 적용된 원단위는 매우 큰 차이를 보였으며, 이에 따라 부유사 발생량 역시 큰 차이를 보였다. 또한, 부유사 확산에서 중요한 평가 요소인 입경 및 침강 속도의 경우, K1-port와 K2-port는 고려하지 않은 반면, K3-port에서는 현장 관측을 통한 입경을 토대로 하여 Buller and McManus[1979]에서 제시된 침강 속도를 적용하고 있었다. 이러한 차이들로 인해 광양만 내 동일한 준설 사업임에도 불구하고 사업간 사업 규모에 따른 부유사 발생량과 확산 면적 사이에서 연관성은 나타나지 않았다. 즉, K1-port는 K3-port에 비해 준설량은 약 5배 작은 반면 부유사 발생량과 확산 면적은 약 10배 크게 산정하였다. 이러한 결과는 아마도 부유사 확산 실험에 적용되는 부유사 원단위, 입경 및 침강 속도 등에 대한 구체적인 지침이 정립되지 않아, 평가자가 임의로 입력 자료를 선정하고 사용하기 때문으로 사료된다.

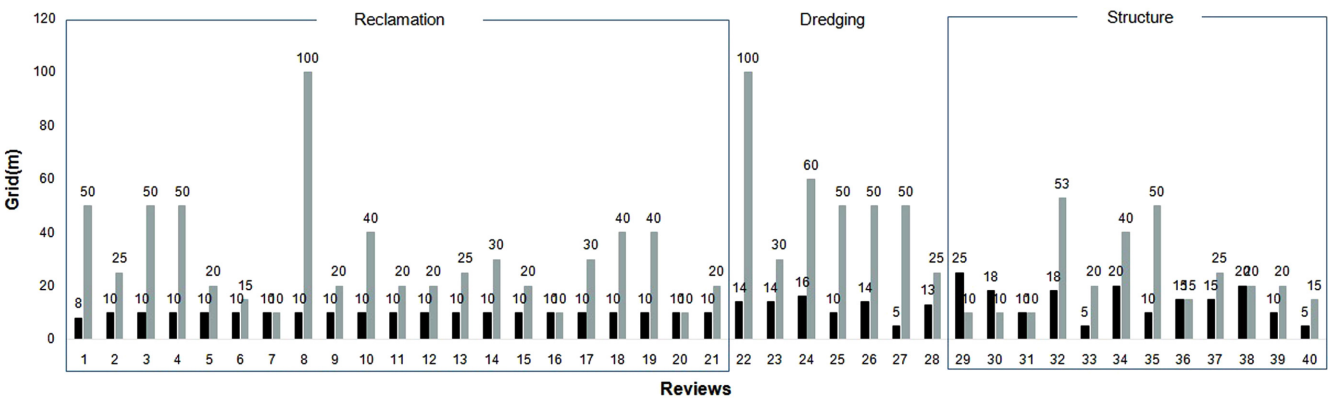


Fig. 8. Comparison between grid size suitable for the project scale (black) and grid size actually applied to the numerical model (gray).

Table 6. Comparison of the assessment results for the suspended solids diffusion of the three dredging projects performed in the South Sea

Sea area	Port name	Dredging amount (m ³)	Unit load of SS (kg m ⁻³)	Generation rate of SS (kg h ⁻¹)	Particle size (mm)	Sinking velocity (mm s ⁻¹)	Weighted concentration (mg L ⁻¹)	Diffusion area (km ²)	Silt protector (%)
South Sea	K1-port	93,403	23.8	6,313.3	-	-	1	6.09	50.0
	K2-port	2,438,865	5.3	2,769.0	-	-	1	28.04	50.0
	K3-port	499,683	2.39	670.7	0.0078	0.0538	1	0.52	50.0

3.6 부유사 확산 평가 개선방안

3.6.1 부유사 발생량 산정

부유사 발생량 산정 시 원단위는 매우 중요한 요인이다. 최근 3년간 우리나라 연안에서 이루어진 대부분의 공유수면 매립 및 준설, 구조물 설치 사업에서 부유사 발생 원단위는 MOT[1982]와 MOF[2002]의 연구 결과를 적용하고 있다. 그러나, 두 원단위가 가진 차이가 크기 때문에 어느 것을 적용하는가에 따라 그 결과는 큰 차이를 보이며, 원단위를 적용함에 있어 기준 및 근거 또한 명확히 수립되어 있지 않다. 따라서, 우리나라 연안에 적합한 원단위의 공인된 자료 및 적용 기준 정립이 필요할 것으로 사료된다.

이는 시간 및 비용의 한계, 인력 부족, 현장 관측의 어려움 등으로 인해 사업자나 평가대행자가 수행하기는 현실적으로 어렵다. 그러므로, 장기적인 연구 과제를 통해 해역별 및 사업유형별로 부유사 발생 원단위 산정을 위한 현장 자료를 축적하고 이를 토대로 공신력 있는 원단위와 명확한 적용 기준이 제시되어야 할 것이다.

3.6.2 입경 및 침강 속도

입경 및 침강 속도는 부유사 확산 면적과 직접적으로 연관되지만, 최근 3년간 부유사 확산 실험이 수행된 53건의 사업들 중 입경을 고려한 사업은 없었으며 침강 속도를 고려한 예측 수행은 15%에 불과하였다. 이는 부유사 확산 실험 결과의 신뢰도를 낮추는 큰 문제이므로, 부유사 확산 실험 시 부유사의 입경 및 침강속도는 반드시 고려되어야 한다. 대상해역의 수리학적 특성에 따라 부유사의 입경별 거동 역시 다르기 때문에, 공사 현장에서 부유사를 직접 채취하여 입경을 조사하거나 현장 채취가 어려울 경우에는 해결될 조사를 통해 입도분석을 수행하여 각 입자의 입경별 침강속도를 산정하여야 할 것이다. 그러나, 입경별 침강 속도 역시 사업자나 평가대행자가 측정하기는 경제적 그리고 시간적으로 어려움이 있으며, 측정 방법에 따라 결과가 달라지므로 그 결과를 신뢰하기도 어렵다. 그러므로 부유사 발생 원단위와 함께 장기적인 연구 과제를 통해 해역별 및 사업 유형별로 공신력 있는 입경별 침강 속도를 제시하여 향후 부유사 확산 예측 결과의 신뢰성이 향상될 수 있도록 하여야 할 것이다.

3.6.3 부유사 확산 수치모델의 적정성

부유사 확산 수치모델의 해상도 측면에서 대부분의 경우 최소 및 최대 격자만 제시하고 있다. 따라서, 모델의 격자체계의 적정성을 검토할 수 있도록 계획 평면도가 제시되어야 하며, 공유수면 매립 및 준설 심도, 구조물의 연장 및 폭 등 사업에 대한 내용이 자세히 제시되어야 한다. 또한, 사업으로 인한 영향이 충분히 반영될 수 있도록 대상 영역은 충분히 설정되어야 할 것이다. 예를 들어, 득량만 내에 위치한 어항의 정온도 확보를 위해 방파제를 15m 연장할 계획이나, 평가 대상 범위는 조석회유거리를 반영하여 동·서 23.8km 그리고 남·북 26.4km로 설정하였고 격자는 25-200m의 가변 격자로 설정하였다. 그러나, 적용된 모델의 해상도로는 방파제를 표현할 수 없으므로, 사업 시행에 따른 부유사 확산 영향을 평가하기에 부

적절하였다. 따라서, 평가 범위, 격자 설정, 조사지점의 위치, 문헌 자료의 활용 범위 등에 대한 보다 세부적인 내용이 작성지침에 반영되어야 할 것이다.

예측모델에서 모델의 선정과 검증도 매우 중요하다. 모델 개요에서 적용한 모델의 장·단점과 주요 변수의 입력 근거를 충분히 제시하고, 현장 조사를 통한 자료 확보가 어려운 경우 타당한 근거 자료를 제시하는 것이 합리적이다. 2차원 및 3차원 모델링의 필요성은 사업 규모와 현장 특성(수심 등)을 고려하여야 할 것이다. 예를 들면, 성층이 강하게 형성되거나 층별 유동 및 확산 패턴이 중요한 사업일 경우에는 3차원 모델링을 실시하는 것이 합리적이다.

특히, 해수 유동 모델의 검증은 어느 정도 이루어지고 있으나, 부유사 확산 모델의 검증은 매우 제한적이며, 방법에도 문제가 있는 것으로 나타났다. 즉, 부유사 확산 모델의 검증은 대부분 몇 개 정점에서 부유사의 실시간 관측 자료 또는 평균 농도를 이용하여 수행하고 있기 때문에 확산 거리 및 면적 같은 공간적인 재현성을 평가하기에 한계가 있다. 부유사 발생 부하량을 고려하여 해수 유동 특성에 따라 부유사가 수평·수직적으로 어느 정도 확산이 되는가를 보는 것이 초점이므로 검증에서는 그 모델이 예측 전 현 상황의 공간적인(수평·수직) 부유사 분포를 도시해 주는 것이 합리적이다(고정점에서 실시간 관측자료 비교 방법과 병행). 예를 들면, 수질모델에서 현재의 수질농도 분포 패턴을 수평적으로 층별로 도시화하고, 이를 모델에서 얼마나 재현하고 있는가(상관계수 또는 결정계수 제시)를 보여주고 있는 사항을 고려할 필요가 있다. 이러한 검증 바탕 위에서 부유사 발생 부하량을 고려하여 부유사가 공간적으로 어떻게 확산되는가를 보여주어야만 신뢰성이 확보될 수 있을 것이다.

3.6.4 부유사 및 해수 유동 현황 조사

가장 기본이 되며 중요한 해수 유동에 대해 현장 조사는 반드시 수행되어야 할 것이다. 문헌 자료는 시간적으로 공간적으로 그 해역의 특성을 반영하지 못하는 사례가 많은 것으로 평가되었다. 따라서 해당사업의 직접적 영향권에서의 층별 조류 조사는 반드시 선행되어야 할 것이다.

또한, 부유사는 일부 정점에서의 단순한 농도 분포 조사 또는 연속 조사와 더불어, 향후 확산 예측의 검증에 활용이 되도록 공간적인 분포 양상에 대한 집중적인 조사가 이루어질 필요가 있다. 해수 유동과 연계하여 잠정적인 확산 패턴을 고려하고, 다른 수·저질 및 동·식물상 평가항목의 조사 정점과 연계하여 부유사 농도의 자료를 확보하여야 할 것이다.

3.6.5 부유사 확산 영향 농도 및 기준에 대한 정립

환경성평가 관련 제도에서 영향 기준은 현재 명확히 설정되지 않고 있다. 수·저질, 동·식물상마다 영향의 정도와 범위가 다르기 때문에 일률적으로 고정된 정량적인 기준을 부여하는 것은 적합하지 않으며, 이는 어업 피해 기준에서도 마찬가지이다. 다만, 정량적이거나 정성적인 범위의 결과를 제시하고 이에 대한 계산 과정 및 결론에 대한 명확한 근거가 있다면, 그 결과의 수용에 대한 논의는 이후

어질 수 있다. 현재는 평가자에 따라 임의적인 요소가 너무 많아 확산 결과가 큰 차이를 보이고 있는 것이 사실이고, 이에 따른 갈등과 사회·경제적 손실이 야기되고 있는 상황이다.

현재 해역이용협의나 환경영향평가단계에서 부유사 확산 영향의 가중 농도에 대한 명확한 기준이 없어 대부분 1 mg L⁻¹의 가중 농도를 기준으로 부유사의 확산 거리 및 면적을 제시하고 있다. 사업 유형과 해역별 특성이 다름에도 불구하고 일률적으로 기준을 설정하는 현실적 문제를 이해하면서도, 한편으로는 보다 객관적이고 다양한 접근을 요구하는 사례가 증가하고 있다. 따라서, 부유사 확산에 대해서는 우선 평가 농도별 확산 거리와 면적을 제시하고(3차원 모델링 시에는 층별 포함), 이때 가중 농도에 대한 대표 기준을 다양화하여야 할 것이다(예를 들면, 0.1 mg L⁻¹, 0.5 mg L⁻¹, 1.0 mg L⁻¹ 그리고 2.0 mg L⁻¹ 등). 대표 기준에 대해서는 공사 지역과 해역마다 부유사 거동의 특성이 다르므로 대상 해역의 배경 농도를 고려한 가중 농도를 기준으로 설정할 필요가 있다. 이와 관련하여, RIO[1996]는 사업 해역의 20년(1975-1994)간 수온 변화의 평균 폭을 토대로 부유사의 인위적인 증가로 인한 영향에 대해 현장의 부유사 평균 농도의 5%를 피해 기준으로 적용한 바 있다. 이 기준은 수온, 부유사 및 유속의 변동 계수가 동일하다는 가정을 갖지만 이에 대한 과학적인 근거가 명확히 제시되지 않아 일반적으로 적용하는 것은 무리가 있을 것으로 판단되나, 임의적인 가중 농도를 설정하는 방안에 비해 대상 해역의 배경 농도를 고려한 변화율(%)을 기준으로 설정하는 방법은 의미가 있을 것이다. 따라서, 장기적인 연구 과제를 통해 해역별 부유사 배경 농도 및 해수 유동에 대한 자료를 축적하고 이를 이용하여 실질적인 영향 기준을 정립하는 등 향후 이러한 부유사 확산과 관련한 영향 기준과 피해 기준에 대해서는 좀 더 객관적인 연구결과를 통해 가이드라인이 정립될 필요가 있다고 판단된다. 유사한 접근으로 현재 어업피해조사 표준화와 관련된 연구가 진행되고 있다.

3.6.6 저감방안

공사에 따른 부유사 확산을 저감하기 위한 대표적인 방법 중 하나는 공사 구역 주변에 오탉방지막을 설치하는 것이다. 본 연구에서 부유사 확산 실험이 수행된 모든 사업들 역시 부유사 확산에 대한 저감방안으로 오탉방지막을 고려하고 있었다. 오탉방지막의 저감효율은 오탉방지막의 설치 개수에 따라 25%, 50% 그리고 75%를 적용하고 있었지만, 대부분의 사업들에서 해역이나 사업유형에 관계없이 50%를 일률적으로 적용하고 있는 것으로 나타났다(Table 6).

그러나, 오탉방지막은 대상 사업의 종류, 부유사의 발생 정도 및 대상 해역의 지형 및 물리적 특성 등을 고려하지 않을 경우 효율적

인 역할을 하지 못할 수도 있다(Maeng *et al.*[2006]). 예를 들면, MOF[2002]는 오탉방지막 1개의 효율은 약 20%이상이나 유속이 30 cm s⁻¹이상이 되면 그 효율이 급격히 감소하는 것으로 보고하였다. 또한, Maeng *et al.*[2006]은 오탉방지막의 종류 및 재질, 관리 정도 등도 오탉방지막의 효율에 영향을 미치는 것으로 보고하였다. 따라서, 이러한 요인들을 고려하지 않은 일률적인 오탉방지막 효율의 적용은 문제가 된다. 현재 평가 및 검토 단계에서 오탉방지막의 효율은 실제 효율과 차이가 많은 것으로 인식하고 있고, 오탉방지막의 설치를 통한 저감 후의 상황보다는 최대 확산 평가를 고려하기 위해 저감 전의 상황에 초점을 맞추는 편이다. 향후 이러한 오탉방지막의 효율에 대한 실제적 근거자료를 확보하기 위한 연구 조사가 필요할 것으로 사료된다.

마지막으로, 상기 언급한 바와 같이 부유사 확산은 공유수면 매립과 준설 등 해양 개발 사업으로 인한 해양 환경 영향 평가에서 중점 평가 사항이며, 피해 영향 조사와 어업 피해 조사에서도 보상과 직접적으로 관련된 중요한 평가 수단이다. 따라서, 부유사 확산의 보다 정확한 영향 예측을 위한 노력으로 예측 과정에서의 다양한 문제점 및 개선방안이 제시되고 있으나, 예측 결과를 검증하기 위한 실제 자료의 부족에 대해서는 간과하고 있는 실정이다. 즉, 해양 개발 사업은 증가하는 추세이나 실제적인 검증 자료가 없어 검토 단계에서 사후모니터링으로 조건을 부여하는 경우가 대부분이다. 그러므로 실제 사업 유형별 공사 현장에서 현장 조사, 수치모델링 및 위성·기기 등을 활용하여 계절별, 수층별, 해역별 및 가중 농도별 등 다양한 사례별로 부유사 확산 패턴을 비교·연구하여 실질적인 검증 자료를 확보하는 것이 매우 중요할 것이다.

4. 결 론

공유수면 매립과 준설 등 해상 공사 시 발생하는 부유사는 해수의 혼탁도 증가 및 광투과량 감소, 부유생물 및 수산자원에 대한 직·간접 피해와 영향 등 해양 환경 및 생태계에 악영향을 미치므로 환경성평가제도(해역이용협의, 환경영향평가, 피해영향조사 등)에서 주요 검토사항이다. 그러나 현재 법적 평가서에서 이에 대한 많은 문제점이 노출되고 있다. 부유사 현황 조사의 문제, 해수 유동 및 부유사 확산 예측 기법과 검증의 문제가 내포되어 있고, 정확한 현황 파악을 토대로 문제 개선을 위한 가이드라인이 부재하여 평가자에 따라 그 영향 정도와 범위에서 상당한 차이가 나고 있다. 따라서 본 연구에서는 최근 3년간(2012-2014) 수행된 공유수면 매립과 준설, 구조물 설치 사업에 대한 부유사 확산 평가의 실태와 문제점을 진

Table 6. The status of application of the silt protector efficiency to simulate the suspended solids diffusion

Development Type	South Sea				East Sea				West Sea			
	25%	50%	75%	None	25%	50%	75%	None	25%	50%	75%	None
Reclamation	0	15	0	1	0	1	1	0	0	9	1	0
Dredging	0	8	0	0	0	1	0	0	0	2	1	0
Structure	0	2	0	1	1	3	0	1	1	3	0	1
Total	0	25	0	2	1	5	1	1	1	14	2	1

단하고, 이에 대한 개선 방안 및 향후 과제의 방향을 제시하였다.

부유사 확산 평가의 실태를 분석한 결과, 부유사에 대한 현장 조사는 전반적으로 이루어지고 있었지만 조석 및 조류의 경우 대부분 문헌 자료를 인용하고 있었다. 부유사 확산 실험을 수행함에 있어 부유사 발생량 산정 시 MOT[1982]와 MOF[2002]의 원단위를 혼용하고 있었으나 적용에 대한 명확한 기준 및 근거 없이 평가자의 주관적인 판단에 의해 결정되고 있었으며, 부유사의 입경 및 입경별 침강 속도에 대한 자료 제시 및 평가 역시 매우 미흡하였다. 또한, 부유사 확산 수치모델의 격자 구성 등은 사업 시행으로 인한 영향을 공간적으로 재현하기에 적합하지 않은 경우가 대부분이었으며, 현장 관측 자료를 이용한 부유사 확산 예측 결과의 검증 역시 미흡하였다. 실제 사례 분석 결과는 상기 문제들로 인해 동일 해역에서 유사한 사업 유형임에도 불구하고 사업 규모, 부유사 발생량 및 확산 면적 간에 연관성이 나타나지 않는 등 현재 해역이용협의 및 환경영향평가 단계에서 부유사 확산 예측 결과의 재현성 및 신뢰성이 상당히 낮음을 보여주었다.

따라서, 부유사 확산 예측 결과의 합리성을 향상시키기 위해서, 1) 우리나라 연안에 적합한 부유사 발생량 원단위, 입경 및 침강 속도 등에 대한 공인된 자료 및 명확한 적용 기준, 2) 수치모델의 선정, 격자 구성 그리고 검증 방법 등에 대한 세부적인 작성 지침 그리고 3) 해역별 부유사 배경 농도 및 해수 유동에 대한 자료의 축적과 이를 고려한 실질적인 부유사 영향 농도의 기준을 정립하는 등의 가이드라인이 반드시 필요하다. 또한, 부유사 확산으로 인한 영향을 최소화하기 위해서, 오탉방지막 설치 등 현재 고려되고 있는 저감방법에 대한 실제적인 저감효율에 관한 연구도 수행되어야 할 것이다. 향후, 부유사 확산 예측과 실제 확산 패턴을 검증하고 과학적 근거 자료를 확보하기 위해서, 실제 공사 현장에서 사업 유형별, 해역별 특성 등을 고려한 계절별, 수층별 및 가중 농도별 등 다양한 사례별 연구가 수행되어야 할 것이다.

후 기

본 논문은 2017년도 국립수산과학원 수산과학연구사업(R2017053)의 지원으로 수행된 연구이며, 연구비 지원에 감사드립니다. 또한, 자료수집에 도움을 주신 해양수산부 등 관련 분들께 감사드립니다.

References

- [1] Buller, A.T. and McManus, J., 1979, "Sediment sampling and analysis", In: Estuarine Hydrography and Sedimentation (Ed. By K. R. Dyer), 87-130.
- [2] Choo, T.H., Kim, Y.H., Park, B.S., Kwon, J.W. and Cho, H.M., 2017, "Proposal for Estimation Method of the Suspended Solid Concentration in EIA", J. Wetl. Res., Vol. 19, No. 1, 30-36.
- [3] Jung, T.S., Kim, T.S. and Kang, S.W., 2004, "A prediction System of SS Induced by dredging", J. Korean Soc. Coast. Ocean. Eng., Vol. 16, No. 1, 47-55.
- [4] Jung, T.S., 2010, "A Method for Improvement of Tide and Tidal Current Prediction Accuracy", J. Korean Soc. Mar. Environ. Energy, Vol. 13, No. 4, 234-240.
- [5] Kang, G.Y., Kim, S.J. and Cho, Y.S., 2007, "Analysis of Suspended Load using A Two-Dimensional Advection-Diffusion Equation in Coastal Zone", Proceedings of the 2007 conference of the Korean Society of Hazard Mitigation, 177-180.
- [6] KEI (Korea Environmental Institute), 2003, "Studies on Improvement of Coastal Flow and Suspended Solid Predictions in the Coastal Zone Developments".
- [7] KEI (Korea Environmental Institute), 2005, "A study on effective mitigation measures for environmental impacts of oceanic reclamation projects".
- [8] Lee, D.I., Park, D.S., Eom, K.H., Kim, G.Y., Cho, H.S., Kim, J.K., Seo, Y.K. and Baek, G.W., 2009, Improvement of the Marine Environmental Assessment for Dredging and Ocean Disposal of Coastal Sediment in Korea", J. E. I. A., Vol. 18, No. 3, 131-141.
- [9] Lee, D.I., Eom, K.H., Jeon, K.A. and Kim, G.H., 2010, "Scoping for Environmental Impact and System Improvement of Marine Sand Mining in Korea", J. E. I. A., Vol. 19, No. 3, 335-345.
- [10] Maeng, J.H., Cho, K.W. and Joo, Y.J., 2006, "Status and Improvement of the Mitigation Option to the Suspended Sediments in Coastal Development Projects", J. E. I. A., Vol. 15, No. 5, 289-297.
- [11] MOF (Ministry of Oceans and Fisheries), 2002, "Studies on the Estimation of Turbidity Generated by Dredging and Performance of Silt Screens (III)".
- [12] MOF (Ministry of Oceans and Fisheries), 2008, "Regulations regarding the sea area utilization conference".
- [13] MOT (Ministry of Transport), 1982, "A manual for predicting effects of turbidity due to dredging and reclamation", Japan.
- [14] RIO (Research Institute of Oceanography), 1996, "A Study on the Compensation for Damages of Common Property Fisheries due to Construction of New Port in Yeoungil Bay", Seoul National University.
- [15] Shin, B.S. and Kim, K.H., 2010, "Prediction of Environmental Change and Mitigation plan for large scale reclamation", J. Korean Soc. Coast. Ocean. Eng., Vol. 22, No. 2, 99-100.
- [16] Tac, D.H., Lee, D.I., Seo, J.B., Lee, D.G. and Jung, B.G., 2015, "Simulation of Suspended Sediments Dispersion from Small-scale River to Sea with Particle Tracking Method", J. Korean Soc. Environ. Tech., Vol. 16, No. 5, 441-448.
- [17] Tanimoto, T. and Hoshika, A., 1994, "Settling velocity of suspended particles in Osaka Bay and Etauichi Bay", Umi no Kenkyu, Vol. 13, No. 1, 13-20 (in Japanese with English abstract).

Received 6 July 2017

Revised 8 August 2017

Accepted 14 August 2017