

부유사 확산예측 모형의 신뢰도 평가에 관한 연구

탁대호*† · 정연진** · 전은주*** · 양준용****

* 국립수산과학원 해역이용영향평가센터 해양수산연구사, ** 국립수산과학원 어장환경과 연구원,
*** 국립수산과학원 해역이용영향평가센터 연구원, **** 국립수산과학원 해역이용영향평가센터 해양수산연구관

Reliability Evaluation of the Estimation of Suspended Sediment Dispersion

Dae-Ho Tac*† · Younjin Chung** · Eun-Ju Jun** · Joon-Yong Yang**

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

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

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

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

요 약 : 해상공사에서 발생하는 부유사는 해수의 탁도를 증가시키고 광량을 감소시켜 해양생물에 악영향을 미치므로 해양환경영향평가에서 중요한 요소이다. 하지만 평가에 적용되는 인자에 대한 공식적인 자료의 부족과 평가자의 능력에 따라 그 영향이 달리 평가되고 있다. 따라서 본 연구에서는 해역이용영향평가센터에서 검토한 3년간(2012 - 2014)의 매립, 준설, 외곽시설물 설치 등 총 58건 사업에 대한 부유사 확산 평가에 대한 실태를 진단하고 개선방안을 제시하였다. 개선방안 제시를 위해 4가지의 평가지표(격자체계의 적정성, 원단위의 적정성, 대표입경 및 침강속도의 적정성)를 적용하였다. 각 항목별 신뢰도에 평균점수 분석결과, 격자체계는 25점, 원단위는 60점, 대표입경은 34점 그리고 침강속도는 17점으로 평가항목에 대한 개선방안이 필요한 것으로 나타났다. 본 연구에서는 부유사 확산 평가상태에 대한 진단 및 신뢰도 평가 결과를 활용하여 부유사 확산예측에 대한 개선방안을 제안하였다. 먼저, 부유사 발생원단위 및 대표입경별 침강속도에 대한 공신력 있는 값이 가이드라인을 통해 제공해야 한다. 그리고 실무에선 신뢰성 향상을 위해 격자체계의 적정성과 결과의 검증을 철저히 해야 한다.

핵심용어 : 부유사, 해양환경영향평가, 신뢰도, 개선방안, 가이드라인

Abstract : Dispersion of suspended sediment, caused by coastal and marine development, is a key item in assessing marine environmental impact as it adversely affects marine life by increasing the level of turbidity and decreasing the amount of sunlight in seawater. However, its estimation has not been reliable because of the absence of a standard for the data measurement and divergent approaches to the impact assessment. In this study, we examined the estimation models from 58 Marine Environmental Impact Statements (MEISs, 2012-2014) to identify the gaps in the assessment and devise ways of improving the estimation. We developed four index items - grid system; unit load, particle size, and settling velocity—to evaluate their reliability in the estimation. The mean reliability score of each index was overall low—25 for grid system, 60 for unit load, 34 for particle size, and 17 for settling velocity. To ensure high reliability, it is important to develop a standard guideline that defines precise measurement of suspended sediment for unit load and settling velocity by particle size, followed by a grid system with compatible size for modelling. This can improve the estimation and thus underlie coherent impact assessment of suspended sediment dispersion on marine environment.

Key Words : Dispersion of suspended sediment, Marine environmental impact assessment, Reliability, Improvement, Guideline

† Corresponding Author : dhtac@korea.kr, 051-720-2963

1. 서론

연안에서는 항만 및 연안개발사업, 산업폐수의 유입, 토사 투기 등에 의하여 토사가 유입되어 부유물질농도를 상승시키고, 특히 매립, 준설 및 구조물 설치 등과 같은 사업은 부유물질의 농도가 일시적으로 상승하는 등의 급격한 환경변화가 일어나 연안 환경에 큰 변화를 초래하게 된다(Lee, 2015). 해상공사에서 발생하는 부유사는 해수의 탁도를 높이고 수중 생물이 필요로 하는 광량을 감소시키므로 해양생물에 악영향을 미친다(Shin and Kim, 2010). 이러한 부유사가 연안환경과 생태계에 미치는 영향은 간과될 수 없으며 이에 대한 적절한 관리가 없으면 이들에 악영향을 미칠 수 있다(Lee, 2015). 그러므로 부유사로 인한 피해를 감소하기 위해서는 부유사 확산에 대한 정확한 예측이 필요하나, 부유사는 발생량, 유속, 입경 그리고 침강속도 등과 같은 다양한 변수에 영향을 받기 때문에 예측이 쉽지 않다. 그래서 부유사 확산예측을 위한 세부수행절차나 평가기법과 같은 가이드라인이 필요하나, 해역이용협의에서 이루어지는 부유사 확산평가항목별 작성방법에는 예측기법을 비롯한 표준 절차에 관한 상세한 내용이 없다(MOF, 2008). 이로 인해 평가자의 경험과 숙련도에 따라 부유사의 확산범위와 양상이 달라진다.

부유사의 발생량과 확산범위는 토사의 양과 입경, 침강속도, 대상 해역의 수리학적 조건 등 다양한 요인들의 영향을 받기 때문에, 실제 관측을 통해 정확하게 파악하기는 현실적으로 어렵다(Jeong et al., 2017). 또한, 각종 개발사업에 따른 사업 단계별 영향 변화를 평가하기 위해서는 기초 자료를 토대로 한 예측이 필수적으로 요구된다(Choo et al., 2017). 이러한 이유로 해역이용협의에서 부유사 확산은 입자추적과 염료확산 등의 방법을 적용하고 있다. 입자추적은 해수 유동에 개개의 입자를 투하하여 이들이 어떻게 움직이는가를 Euler-Lagrange 문제로서 해석하는 방법이다(Park et al., 1998). 염료확산 예측은 부유물질을 염료로 대체하여 확산을 예측하는 기법이며, 이 방법은 부유사의 입경이나 침강속도 등을 반영할 수 없어 확산예측결과가 현실보다 크게 예측될 수 있다. 이에 반해 입자추적자법은 부유토사 발생량, 침강속도, 침강수심 등의 부유사 관련 정보와 해수 유동 특성을 고려할 수 있다.

부유사 확산예측을 위해서는 예측기법에 따라 그에 맞는 정보가 필요하나, 해역이용협의에서는 이와 관련한 해수 유동, 입자의 침강속도, 부유사 발생량, 부유사 시계열 변화 등의 정보를 제시하지 않는 경우가 많다. 특히, 부유사는 해수 유동의 크기와 방향에 따라 확산하는 방향과 범위가 다르게

평가될 수 있으므로, 무엇보다 해수 유동 예측결과와 신뢰도가 중요하나 이에 대한 검증이 부족한 것은 부유사 확산 예측결과를 더욱 신뢰할 수 없게 만든다(Tac et al., 2015). 해역이용협의에서 부유사 확산예측결과는 매우 중요하나, 이에 대한 신뢰도를 평가할 수 있는 기준은 없기 때문에 검토자나 평가자의 주관적인 판단에 따라 신뢰도가 변동할 수 있어 객관성을 확보할 수 없다.

따라서 이번 연구에서는 부유사 확산 예측이 수행된 해역이용협의서를 분석하여 부유사 확산 예측 모형에 대한 신뢰도를 평가할 수 있는 기본적인 방안을 제안하였다.

2. 재료 및 방법

3년간(2012-2014년) 해역이용영향검토기관인 해역이용영향평가센터에서 검토한 사업 중에 부유사 확산을 예측한 준설, 매립 및 외곽시설물 설치 사업 58건을 대상으로 하여 부유사 확산 예측 모형의 구성 실태를 분석하였다. 분석은 부유사 확산과 관련성이 높은 4가지 항목에 대해서 수행하였다. 첫 번째 예측에 적용한 격자와 모델의 검증은 적정하게 하였는가?, 두 번째 부유사 발생원단위는 어떤 기준으로 채택하였는가?, 세 번째 입경은 어떻게 산정하였는가?, 마지막으로 부유사의 침강속도는 어떻게 추정하였는가?, 선정된 분석항목에 대하여 평가점수는 4단계로 구분하였다.

모델의 검증과 관련하여, 적정 격자체계를 선정하고 검증을 수행한 경우 100점, 검증만 수행 60점, 적정 격자체계 선정 30점, 예측결과만 제시한 경우 10점을 부여하였다. 부하량과 관련하여, 현장분석이거나 최근 3년 이내의 문헌자료를 인용한 경우는 100점, 문헌자료가 3년이 지났을 경우는 60, 발생량을 추정된 경우는 30점, 산정근거가 없는 경우는 10점을 부여하였다. 입경크기와 관련하여, 현장조사 또는 최근 3년 이내의 문헌자료를 인용한 경우는 100점, 문헌자료가 3년이 지났을 경우는 60점, 입경을 추정된 경우는 30점, 입경에 대한 근거 없이 예측만 수행한 경우는 10점을 부여하였다. 침강속도와 관련하여, 현장분석 또는 최근 3년 이내의 문헌자료를 인용한 경우는 100점, 문헌자료가 3년이 지났을 경우는 60점, 침강속도를 추정된 경우는 30점, 침강속도에 대한 근거 없이 예측을 수행한 경우는 10점을 부여하였다. 위 내용을 종합한 평가지표는 Table 1과 같다. 이와 더불어 Table 1의 세부 점수를 이용하여 부유사 확산예측결과의 등급을 4구간 즉, 분석결과가 100점이면 좋음 (Good), 60점 이상이면 보통 (Normal), 30점 이상이면 부족 (Poor), 30점 이하이면 불량 (Bad)으로 구분하였다.

Table 1. Evaluation criteria for the reliability (score) of four indices by input data for the estimation

Index items	100 (Good)	(Normal) > 60	(Poor) > 30	10 (Bad)
Grid system & verification of model	Grid size suited for development scale & Verified model result	Verified model & Unknown grid size	Grid size suited for development scale & Unverified model	Unknown data
Unit Load	Valid data ¹	Invalid data ²	Data from assumption	Unknown data
Particle size	Valid data	Invalid data	Data from assumption	Unknown data
Settling velocity	Valid data	Invalid data	Data from assumption	Unknown data

¹ Valid data is data from site and/or reference measurement within 3 years

² Invalid data is data from reference measurement over 3 years

3. 결과 및 고찰

3.1 부유사 확산 모형의 적용현황

3년간 검토한 사업 중에 매립, 준설, 외곽시설물 설치 관련하여 부유사 확산 모형을 구성한 건은 58건이다. 사업유형별로는 매립 31건(53.5%), 외곽시설 15건(25.7%) 그리고 준설 12건(20.7%)순이며, 해역별로는 남해 31건, 서해 19건 그리고 동해 8건 순 이다(Fig. 1).

부유사 확산 예측에 필요한 해수유동 해석 모델은 EFDC (Environmental Fluid Dynamics Code), POM(Princeton Ocean Model), DIVAST(Depth Integrated Velocities And Solute Transport), TCSM-ADI 등을 적용하며, EFDC가 차지하는 비중은 약 80 % 였다. 해수유동 해석을 위해 EFDC모델을 이용하면 부유사 확산은 같은 모델을 이용하였다. 해수유동 예측을 POM, DIVAST, TCSM-ADI 등을 이용하면 부유사 확산은 SMSH-D, Random-Walk, SSDM-ADI 모델을 이용하였다(Table 2).

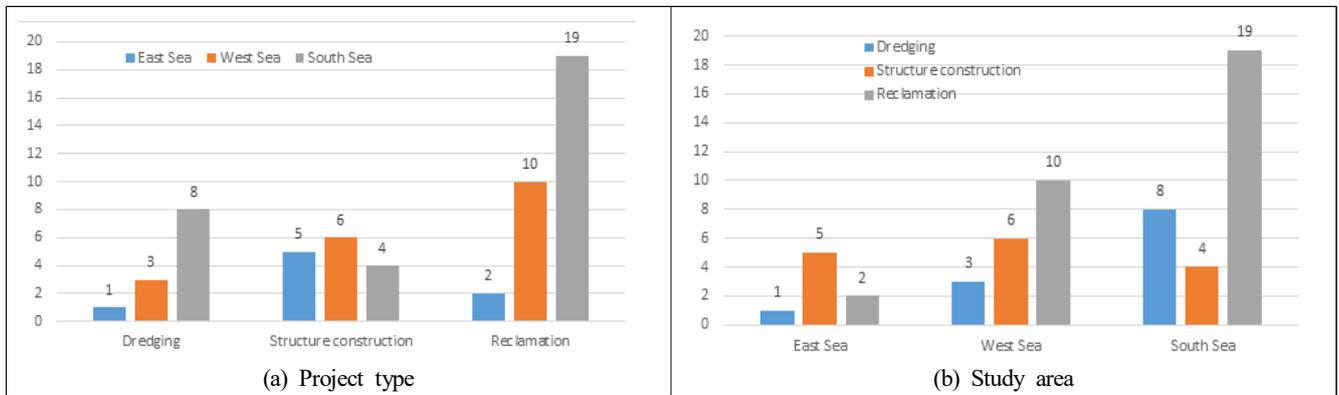


Fig. 1. Number of MEISs performed the estimation of suspended sediment dispersion, based on the (a) type and (b) area.

Table 2. Number of MEISs in Fig 1, based on model types used for tidal current and suspended sediment dispersion

Tidal current model		EFDC	POM	DIVAST	TCSM-ADI	Etc.
Project type	Reclamation	23	3	3	2	0
	Structure construction	13	1	0	1	0
	Dredging	10	1	0	0	1
	Total	46	5	3	3	1
Study area	West sea	17	2	0	1	0
	South sea	22	3	3	0	1
	East sea	7	0	0	2	0
	Total	46	5	3	3	1
Suspended sediment dispersion model		EFDC	SM SH-D	Random-Walk	SSDM-ADI	Etc.

3.2 부유사 확산 모형의 문제점 분석

해역이용협의서에 적용하는 부유사 확산 모형의 문제점을 분석하고 이를 점수화하는 것은 매우 어려우며, 지금까지 이와 관련한 연구는 수행되지 않았다. 따라서 본 연구에서는 부유사 확산에 적용하고 있는 ①모형의 격자체계와 해수 유동에 대한 검증, ②부유사 발생원단위, ③부유사의 대표입경, ④부유사의 침강속도에 대한 정보 분석을 통해서 부유사 확산 모형의 신뢰도를 점수화하고 등급으로 구분하였다.

3.2.1 수치해석 모델에 적용하고 있는 격자체계의 적정성과 모형의 검증

부유사 확산은 해수유동 예측결과를 기반으로 해서 수행하므로, 해수 유동 해석결과 신뢰도는 매우 중요하다. 해수 유동 해석과 검증과 관련하여 해역이용협의서 작성기준에는 해수유동모델의 검증을 위해 유향 및 유속은 정점 1개를 설정하여 15일 이상 측정하고 조위는 1개월 이상 관측하도록 하고 있다(MOF, 2008). 이것은 현재 상태의 재현성에 대한 검증이지, 공사 중이나 완료 후의 해수 유동의 변화에 대한 검증은 아니다.

현재 상태에 대한 검증이 불충분한 상황에서 사업 완료 후의 변화에 대한 신뢰도를 논하는 것은 어렵다. 그러므로 사업 시행으로 인한 해수 유동의 변화 예측결과 신뢰도를 높이기 위해서는 현 상태에 대한 검증을 강화하고 오류를 최소화해야 한다. 검증을 강화하고 오류를 최소화하기 위해서는 시설물로 인한 흐름의 잘 재현할 수 있는 적정 격자 크기를 선정하고 조석과 조류를 현장 관측한 후 이를 이용한 예측결과 검증이 필요하다.

검토한 해역이용협의서 58건 중에서 해수 유동 예측을 위한 격자 정보를 제시하고 있는 것은 40건이고 격자의 크기는 Fig. 2와 같이 10~200 m로 적용하였으나, 이것이 적정 격자 인지에 관한 정보는 없었다. 예를 들어, 시설물의 폭은 10 m

이면, 해수 유동의 재현성을 위해 수치 모형실험에는 최소 10 m 이하의 격자가 필요하나, 시설물의 크기보다 큰 50 m를 적용하여 해수 유동을 예측하였다. 이와 더불어 매립사업에서는 충분함과 관련한 정보를 제시하지 않았다.

격자 크기와 충분함이 적합하지 않으면 구조물 주변에서 흐름의 변화에 대한 재현성이 부족하고, 수심이 평활화되어 유속이 과소평가 될 수 있다. 최근에는 계산시간의 단축을 위해 가변격자 체계를 적용하는 경우가 많아 특히, 최소격자의 크기 설정은 더욱 중요하다. 따라서 평가자는 적정 격자를 선택하고 이에 대한 타당성을 입증할 수 있는 시설물 도면, 지형도 등과 같은 정보를 제시해야 한다. 이와 더불어 해수 유동 예측결과에 대한 검증 강화가 필요하다. 현재 해역이용협의서에서 해수 유동 예측은 조석 4대 분조(M₂, S₂, K₁, O₁)를 이용하며, 검증은 식(1)의 ARE(Absolute error)법으로 하고 있다. 여기서 관측치(Observed)와 예측치(Modeled)에 실제 관측값과 예측값이 아닌 조석조화분해한 결과인 각 분조에 대해서 검증하고 이를 이용하여 신뢰도를 평가한다. 즉, 이 결과는 조화분해 값에 대한 재현성이지만 실제 조석에 대한 재현성 검증이 아니므로 검증을 ARE법을 이용하고자 한다면, 실측값과 예측값에 대한 분석을 수행해야 한다. 이보다 입력자료에 대한 신뢰도 검증을 강화하는 것이 더욱 중요하다. 그러므로 해수 유동 입력자료에 4대 분조만 적용하지 말고 실측 조위에 대한 재현성이 80% 이상이 되는 분조를 적용하고, 조류분산도, 잔차류, 실측 조위 재현성 등에 대한 검증이 더욱 타당하다.

$$ARE(\%) = \left| \frac{Modeled - Observed}{Observed} \right| \times 100 \quad (1)$$

예측치(Modeled): M₂, S₂, K₁, O₁
 관측치(Observed): M₂, S₂, K₁, O₁

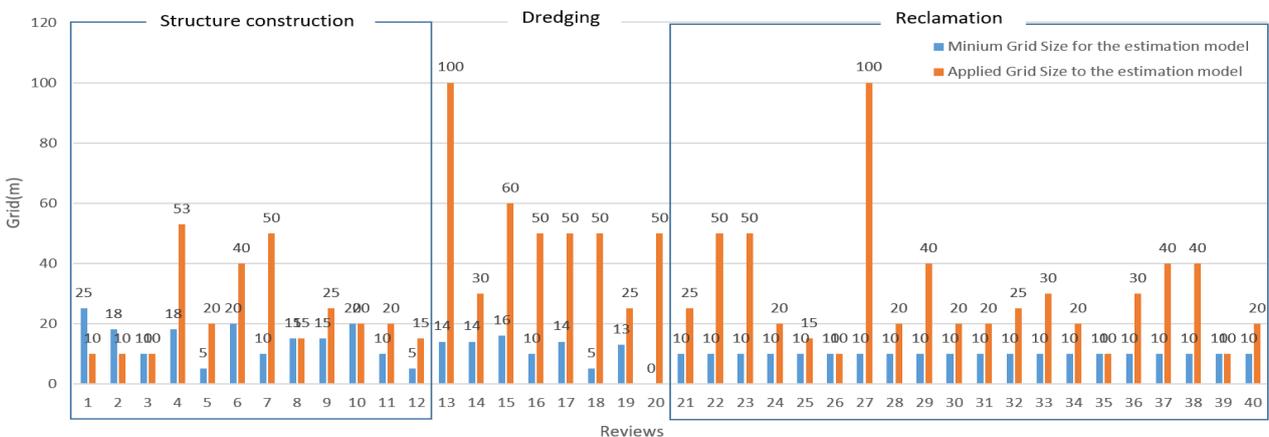


Fig. 2. Minimum grid size, used for the estimation model versus grid size applied for the structure scale, for 40 cases.

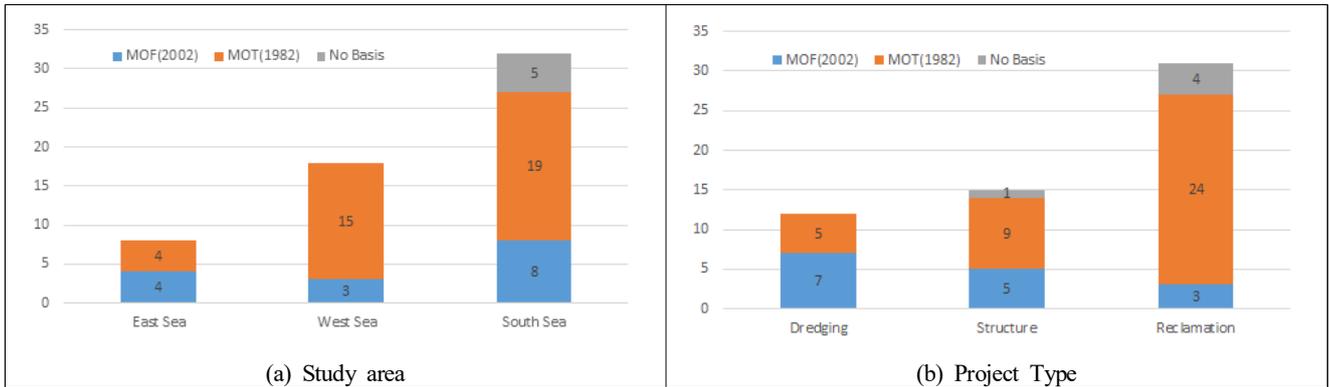


Fig. 3. Number of MEISs by reference unit load of suspended sediment (MOF or MOT) applied to the estimation model, based on the (a) area and (b) type.

3.2.2 부유사 발생 원단위

부유사 발생원단위를 해역과 유형별로 분석하였다(Fig 3). 원단위는 1982년에 만들어진 일본 운수성 제4항만 건설국 해역정비과(MOT, 1982) 자료와 2002년 수행된 해양수산부 연구결과(MOF, 2002)를 이용하였다(KEI, 2003). 일본 운수성 자료 인용은 38건, 해양수산부 자료를 인용은 15건이며, 나머지 5건은 인용 자료에 대한 근거를 제시하지 않았다. 이와 더불어 원단위를 잘못 인용한 것도 있었다. 예를 들어, 해양수산부의 원단위 자료는 준설에 대한 것이나, 매립에 적용한 것은 3건 그리고 구조물공에 적용한 것은 5건 있었다. 원단위를 잘못 적용할 경우 부유사 확산예측 모형의 신뢰도 자체를 평가할 수 없으므로, 명확한 근거가 있어야 한다.

원단위에 따라 부유사 발생량의 차이를 살펴보면, 일본 운수성 자료에서는 사질토와 점토질로 부유사 원단위를 구분하며 그 범위는 8.4~38 kg/m³이고, 해양수산부의 연구결과는 준설선의 규모 및 해저퇴적물의 입경특성으로 구분하며 그 범위는 2.65~188.87 kg/m³로 원단위에 따라 발생량이 크게 차이 날 수 있다. 예를 들어, 준설량이 1,000,000 m³일 경우, 두 원단위의 최대값인 38.0 kg/m³ 과 188.87 kg/m³ 을 적용하면 전자의 경우 부유사 발생량은 38,000 ton이고, 후자의 경우는 188,870 ton으로 발생량에서 5배의 차이가 있다. 발생량과 확산범위가 비례한다고 가정하면, 확산범위가 5배 발생할 수 있는 것을 의미한다. 물론, 단순히 원단위는 큰 값을 적용해야 한다는 논리는 옳바르지 못하므로, 해역에 적합한 원단위를 선택하고 이와 관련한 자료를 제시해야 한다.

3.2.3 대표입경 및 침강속도

대표입경과 침강속도를 부유사 확산 모형에 적용하는 상태를 분석하였다. 분석결과, 대표입경에 관한 정보는 제시하지 않았고, 침강속도를 제시한 경우는 7건이었으나 적용해역에 대한 적합성 검토는 없이 기존 문헌 자료를 인용하였

다. 인용한 문헌 자료는 Table 3과 같으며, Buller and Mcmanus (1979)의 침강속도를 적용한 경우는 4건, Tanimoto and Hoshida (1994)의 침강속도를 적용한 경우는 1건, von Rijn의 입경별 침강속도식을 적용한 경우 1건, 침강속도는 제시했으나 이에 대한 근거가 없는 경우가 1건이었다.

Table 3. The status of using settling velocity type in MEISs

Settling velocity type				
Unknown	Buller and Mcmanus (1979)	Tanimoto and Hoshida (1994)	von Rijn	No reference
51	4	1	1	1

Table 3에서 침강속도와 부유사 원단위가 제시된 7건에 대해 사업규모, 부유사 발생량, 침강속도에 대해서 분석 후 결과를 Fig. 4에 도시했다.

발생량, 확산범위, 침강속도에 대한 명확한 인과관계는 확인할 수 없었으나, 부유사 발생량이 비슷한 1번과 7번 사업을 비교하면 1번 사업의 확산범위는 약 3,200배 정도 컸으나 침강속도는 7번 사업이 4배 정도 크게 적용되었다. 이는 부유사 발생량이 커지면 침강속도를 조절해 확산범위를 축소하고 있음을 나타낸 결과이다. 입경과 침강속도는 별개로 다룰 수 없는 문제이나, 입경에 관한 정보를 제시하지 않고 침강속도를 추론하여 적용하는 것은 부유사 확산 모형의 예측결과의 신뢰도를 낮추므로 지양해야 한다.

해역이용협에서 보편적으로 적용하고 있는 Buller and Mcmanus의 도표에 적용할 수 있는 입경의 범위는 0.00098~0.063 mm이고 Tanimoto and Hoshida의 도표에 적용할 수 있는 입경은 0.001~2 mm로 서로 다르며, 이로 인한 침강속도도 다르다(Fig. 5).

부유사 확산예측 모형의 신뢰도 평가에 관한 연구

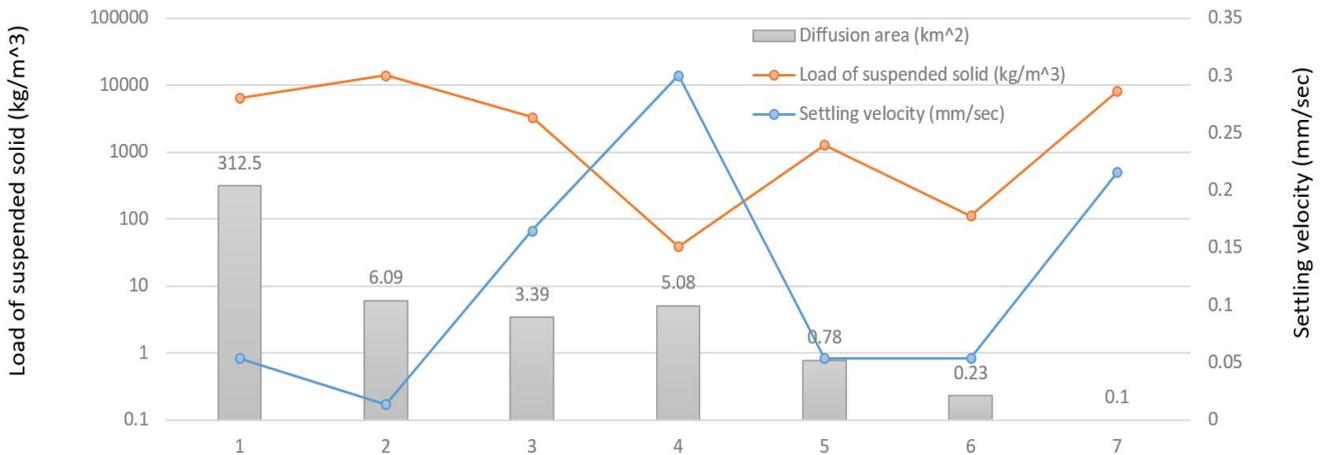
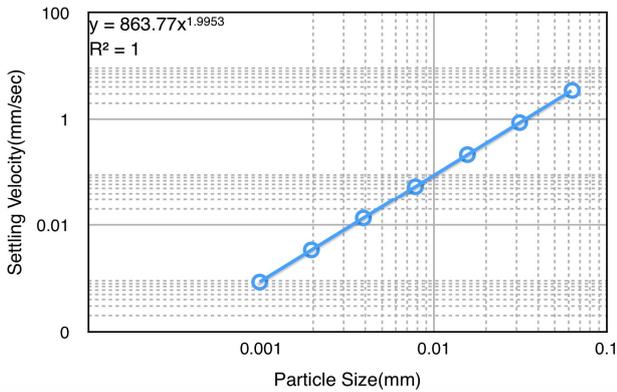
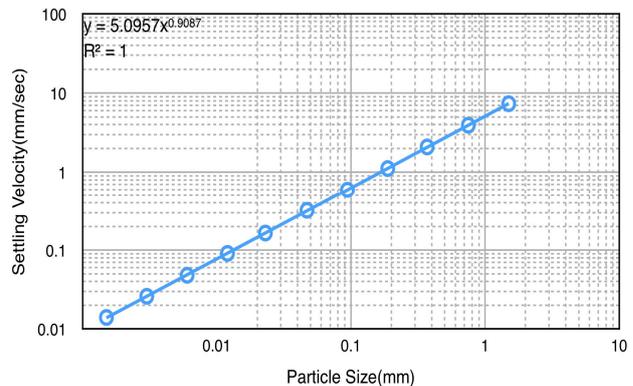


Fig. 4. Comparison of dispersion area, load of suspended sediment, and settling velocity where MEISs include settling velocity in the estimation.



(a) Buller and Mcmanus (1989)



(b) Tanimoto and Hoshika (1994)

Fig. 5. Correlation between settling velocity and particle size.

두 도표에서 적용이 가능한 입경 0.0015 mm을 가정하여 Fig. 4의 각각의 회귀식을 적용하여 침강속도를 계산해 보면, Buller and Mcmanus의 도표에서는 침강속도가 0.002 mm/sec 이고 Tanimoto and Hoshida의 도표에서는 침강속도가 0.014 mm/sec가 된다. 이를 수심 10 m일 때에 대해 계산해 보면, 전자의 침강시간은 57.8일이고 후자는 8.4일이 된다. 즉, 같은 수심에서 무엇을 적용하느냐에 따라 침강속도 다르며 이로 인해 확산범위가 약 7배까지 변할 수 있다.

3.3 신뢰도 검토결과

부유사 확산 신뢰도 평가를 위해 분석한 해역이용협의서 58건에 대한 부유사 확산 예측 모형의 신뢰도를 평가하였다. 신뢰도 평가는 Table 1에 제시한 4가지 항목 격자체계의 적정성, 원단위, 입경 정보, 침강속도에 대해서 분석하였으며, 그 결과는 Table 4에 나타내었다.

예측결과 Normal (보통) 등급 1건, Poor (빈약) 등급은 4건, Bad (불량) 등급은 2건으로 분석되었다. 나머지 51건은 정보가 부족하여 신뢰도를 평가할 수 없었다.

분석이 가능한 7개 사업에 대해서 매립, 준설, 구조물 공사, 종합으로 구분하여 신뢰도를 분석하여 Fig. 6에 나타내었다. 3가지 유형을 종합분석하면, 부유사 발생원단위는 사업 유형과 관계없이 모두 문헌 자료를 인용하여 평가점수는 60점이었으며, 격자 적정성은 25점, 입경은 34점, 침강속도는 17점으로 나타났다(Fig. 6 (d)). 이를 평균하면 종합점수는 34점으로 Poor 등급에 해당했다. 매립에 대해 분석하면, 격자 적정성은 18점, 입경은 14점, 침강속도는 10점으로 나타났다(Fig. 6 (a)). 이를 평균하면 종합점수는 26점으로 Bad 등급에 해당했다. 매립에 대해 분석하면, 격자 적정성은 18점, 입경은 14점, 침강속도는 10점으로 나타났다(Fig. 6 (a)). 이를 평균하면 종합점수는 26점으로 Bad 등급에 해당했다. 구조물

Table 4. The computational result of the reliability by using evaluation criteria for the seven cases of marine development.

Case No.	Index items & scores								Average score
	Grid system & verification of model		Unit Load	Particle size			Settling velocity		
1	60	-	60	100	-	-	30	-	63 (Normal)
2	60	-	60	-	-	10	-	10	35 (Poor)
3	-	10	60	100	-	-	30	-	50 (Poor)
4	-	10	60	-	30	-	-	10	28 (Bad)
5	-	10	60	-	30	-	-	10	28 (Bad)
6	60	-	60	-	30	-	-	10	40 (Poor)
7	60	-	60	-	30	-	-	10	40 (Poor)
8~58	-	-	-	-	-	-	-	-	-

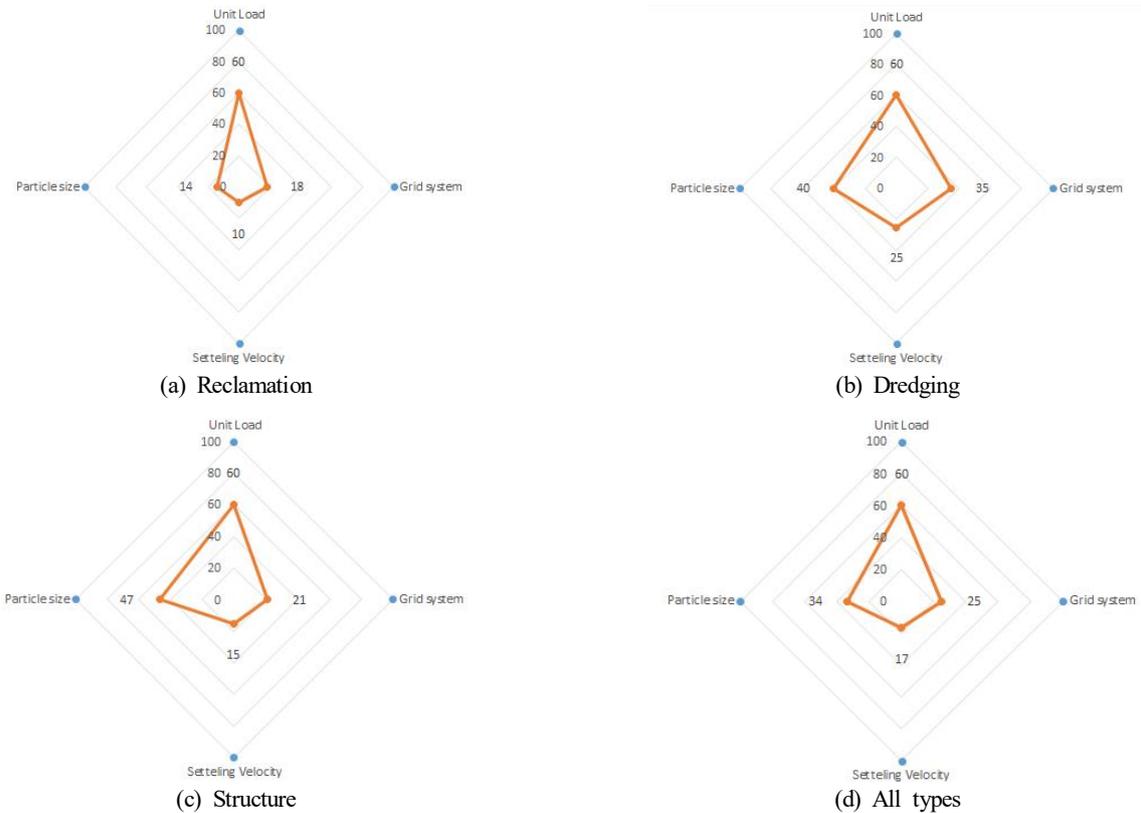


Fig. 6. Mean reliability score of grid system, unit load, particle size, and settling velocity for the estimation of suspended sediment dispersion, by project type.

설치에 대해 분석하면, 격자 적정성은 35점, 입경은 40점, 침강속도는 25점으로 나타났다(Fig. 6 (c)). 이를 평균하면 종합 점수는 40점으로 Poor 등급에 해당했다. 3가지 유형 모두 높은 점수를 획득하지 못하였으나 매립사업은 등급이 최하위로 나타나, 부유사 확산 결과에 대한 신뢰도가 가장 낮았다.

평가항목별로 분석하면, 부유사 원단위는 모두 60점을 기록하여 Normal의 등급을 획득하였다. 현재로서는 평가점수 60

점의 의미를 평가하기에는 현실적으로 어렵다. 문헌자료 외 활용할 수 있는 공신력 있는 자료가 없기 때문이다. 이 문제를 개선하기 위해서는 지금까지라도 부유사 발생 원단위에 관한 연구가 필요하다. 유동모델의 적정성에 관한 평가점수는 18 ~ 35점으로 Bad와 Poor의 등급에 해당한다. 해수 유동 수치해석 결과의 검증과 격자체계의 적정성에 대한 신뢰도가 낮으므로 타당성 입증에 강화할 필요가 있다. 대표 입경에

관한 평가점수는 14 ~ 47점으로 Bad와 Poor의 등급에 해당한다. 매립 및 준설사업의 경우는 대표 입경에 대한 자료를 제시하는 경우가 상대적으로 많았으나, 입경과 부유사 확산 그리고 침강속도가 계산에 어떻게 상호작용하는지에 대한 정보를 제시해야 한다. 그러나 침강속도 평가점수는 10 ~ 25점으로 Bad 등급에 해당한다. 침강속도에 따라 확산범위가 달라질 수 있으니 향후 이와 관련한 연구가 필요하다. 모든 평가항목에서 평가점수가 낮게 평가되고 있어 부유사 확산 예측결과와 신뢰도 향상을 위해선 제도적인 지원 및 사업자 또는 평가대행자의 자구적인 노력이 필요할 것이다.

4. 개선방안

해역이용협의서 작성규정에서 제시하고 있는 부유사 확산관련 예측에선 해수유동모델의 유속정보를 입력자료로 하여 실험을 수행하고, 대·소조기별 부유사의 최대 확산거리 및 확산농도를 계산토록 규정하고 있다. 예측결과는 대조기 및 소조기의 부유사 확산농도 및 확산범위를 제시하고 발생원 산정과정과 모델에서 부유사 방류조건을 제시토록 규정하고 있다(MOF, 2008). 하지만 규정상에 제시된 내용으로는 예측결과와 신뢰도로 평가가 부족하다. 즉, 부유사 확산 예측에 있어 중요한 요소인 격자의 적정성과 모델의 검증, 원단위, 대표입경, 침강속도 등의 내용이 없기 때문이다. 따라서 본 연구결과를 토대로 제도적인 개선방안과 실무적인 개선방안을 제시하였다.

4.1 제도적인 개선방안

부유사 확산예측에 있어 발생원단위, 대표입경별 침강속도 등은 검증된 자료가 필요하다. 이러한 문제는 해역이용협의 과정에서 보완을 통해 해결하기에는 한계가 있으므로, 이 문제 해결을 위해서는 국가 또는 해역이용협의 사업자가 해야 하는 임무로 구분해서 접근해야 한다. 먼저, 국가 또는 공신력 있는 기관에서 장기적인 연구과제를 통해 사업유형별 및 해역별로 부유사 발생원단위와 대표 입경별 침강속도를 산정해서 국민에게 제공해야 한다. 그리고 해역이용협의 사업자는 대표 입경에 대해서는 현장조사를 통해 그 해역을 대표할 수 있는 자료를 구해야 한다.

4.2 실무적인 개선방안

현재 실무에선 부유사 발생 원단위 및 입경별 침강속도 등에 대한 명확한 근거가 없어 부유사 확산예측을 위해 문헌자료를 인용하고 있다. 하지만 인용자료의 신뢰도가 낮아 예측결과와 신뢰도 따라 낮아진다. 이러한 문제를 해결하기 위해서는 앞 절에서 제시한 제도적인 개선방안이 필요하나,

문제 해결을 위해 많은 예산과 시간이 소요되므로 실무적인 개선방안도 필요하다. 첫째, 부유사 확산 예측은 해수유동모델의 예측결과를 기반으로 하므로 해수유동모델 예측결과와 신뢰도는 매우 중요하다. 신뢰도를 높이기 위해서는 검증을 확실히 해야 한다. 해역이용협의서 작성규정에 따라 조석 및 조류는 당해 사업의 특성을 반영할 수 있는 정점을 선정한 후 조석은 30일 그리고 조류는 15일 이상 현장 관측한 후 이를 이용하여 검증해야 한다. 둘째, 문헌 자료를 인용하면 최근 3년 이내의 것을 활용하되, 반드시 당해 사업의 특성을 나타 낼 수 있어야 한다. 대부분의 문헌 자료는 사업해역과 많이 멀리 있어 이를 포함하여 평가하다 보니 평가범위가 사업규모 대비 과도하게 넓게 설정되어, 사업으로 인한 영향을 검토하기 어려운 경우가 많다. 셋째, 반드시 사업규모와 관련한 정보를 도면(폭, 길이 등)으로 제시하고 채용한 격자로 시설물을 재현할 수 있는지를 평가하고, 수심은 사업 전·후의 변화를 나타내야 한다. 마지막으로 해수 유동 해석을 위한 입력자료에는 4대 분조만 적용하지 말고 실측 조위에 대한 재현성이 80% 이상이 되는 분조를 적용하고, 실무에서 적용하고 있는 ARE (Absolute error) 검증은 조화분해 값에 대해서 비교하여 신뢰도가 낮으므로 조류분산도, 잔차류, 실측 조위 재현성 등을 검증해야 한다.

5. 결 론

해역이용협의에서 부유사 확산 예측 모형이 차지하는 비중은 상당히 높으며, 이에 대한 신뢰도 문제가 지속해서 제기되어오고 있으나 이를 정량적으로 평가할 수 있는 수단은 없었다. 따라서 본 연구에서는 부유사 확산 예측결과 모형의 신뢰도 평가할 수 있는 4가 평가지표 격자체계 적정성과 검증, 부유사 원단위, 침강속도, 대표입경을 설정하고, 부유사 확산 예측이 수행된 58건의 해역이용협의서를 분석하였다.

분석결과, 원단위에 대한 평가점수는 60점, 유동모델의 적정성 평가점수는 25점, 침강속도 17점 및 대표입경 34점으로 나타났다. 평가결과를 토대로 제도적인 개선방안과 실무적인 개선방안을 제안하였다. 먼저 제도적인 개선안으로, 국가 또는 공신력 있는 기관에서 장기적인 연구과제를 통해 사업유형별 및 해역별로 부유사 발생원단위와 대표 입경별 침강속도를 산정해서 국민에게 제공해야 하고 해역이용협의 사업자는 대표 입경에 대해서는 현장조사를 통해 그 해역을 대표할 수 있는 자료를 구해야 한다. 실무적인 개선방안으로, 부유사 확산 예측 모형은 해수유동모델을 기반으로 하므로 해수유동모델의 신뢰성이 향상될 수 있도록 결과에 대해서 충분히 검증해야 하고, 수치해석에 필요한 정보를 충분히 제시해야 하며, 다양한 검증방법을 실시해야 한다.

후 기

본 논문은 2022년 해양수산부 국립수산물과학원 수산시험 연구사업(R2022060)의 지원으로 수행된 연구이며, 연구비 지원에 감사드립니다.

References

- [1] Buller, A. T. and J. McManus(1979), Sediment sampling and analysis', In: Estuarine Hydrography and Sedimentation (Ed. By K. R. Dyer), pp. 87-130.
- [2] Choo, T. H., Y. H. Kim, B. S. Park, J. W. Kwon, and H. M. Cho(2017), Proposal for Estimation Method of the Suspended Solid Concentration in EIA, J. Wetl. Res., Vol. 19, No. 1, pp. 30-36.
- [3] Jeong, J. H., D. H. Tac, J. H. Lim, and D. I. Lee(2017), Analysis and Improvement for Impact Assessment of Suspended Solids Diffusion by Marine Development Projects, Journal of Korean Society of Marine Environment & Energy, Vol. 20, No.3, pp. 160-171.
- [4] KEI(Korea Environmental Institute)(2003), Study on Improvement of Costal Flow and Suspended Solid Predictions in the Coastal Zone Developments.
- [5] Lee, K. S.(2015), Review on the Biological Effects of Suspended Solids on Shellfish, Fish, and Seaweed, Journal of the Korean Society of Marine Environment & Safety, Vol. 21, No. 1, pp. 109-118.
- [6] MOF(Ministry of Oceans and Fisheries)(2002), Studies on the Estimation of Turbidity Generated by Dredging and Performance of Silt Screens (III).
- [7] MOF(Ministry of Oceans and Fisheries)(2008), Regulations regarding the sea area utilization conference.
- [8] MOT(Ministry of Transport)(1982), A manual for predicting effects of turbidity due to dredging and reclamation, Japan.
- [9] Park, B. S., C. R. Ryu, and J. H. Kim(1998), Seawater Exchange by the particle Tracking Model in a Basin, Bulletin of the Korean Society of Fisheries Technology, Vol. 34, No. 4, pp. 410-418.
- [10] Shin, B. S. and K. H. Kim(2010), Prediction of Environmental Change and Mitigation Plan for Large Scale Reclamation, Journal of Korean Society of Coastal and Ocean Engineers, Vol. 22, No. 2, pp. 99-100.
- [11] Tanimoto, T. and A. Hoshika(1994), Settling velocity of suspended particles in Osaka Bay and Etauchi Bay, Umi no

Kenkyu, Vol. 13, No. 1, pp. 13-20 (in Japanes with English abstract).

- [12] Tac, D. H., H. T. Oh, G. Y. Kim, and D. I. Lee(2015), Assessment and Improvement of Documentation Status on the Statement for the Sea Area Utilization Consultation according to the Project of Ports and Fishery Harbors. Journal of the Korean Society of Marine Environment & Safety, Vol. 21, No. 4, pp. 361-371.

Received : 2022. 09. 02.

Revised : 2022. 10. 05. (1st)

: 2022. 10. 20. (2nd)

Accepted : 2022. 10. 28.