

해안지역 산업단지조성 따른 해양 부유물질 거동에 관한 연구

김기담* · 이종우† · 이학승** · 강석진*** · 전민수****

*,**,***,**** 한국해양대학교 토목환경공학과 대학원, † 한국해양대학교 건설환경공학부 교수

Behavior of Suspended Solids for the Development of Coastal Industrial Complex

Ki-Dam Kim* · Joong-Woo Lee† · Hak-Seung Lee** · Seok-Jin Kang*** · Min-Su Jeon****

*,**,***,**** Graduate school of Korea Maritime University, Busan 606-791, Korea

† Division of Civil and Environmental Engineering, Korea Maritime University, Busan 606-791, Korea

요 약 : 정부는 지역제조산업 육성을 목적으로 기존 부지를 개선·확장하거나 해안지역 매립을 통하여 신설하는 방향으로 산업단지조성을 위한 정책을 펼치고 있다. 따라서, 물리적 환경적인 특성의 관점에서 해안지역매립으로 인한 영향의 분석은 반드시 필요하다. 본 논문도 임해지역 국가산업단지 조성에 따른 영향을 인근 해역의 해양물리적 특성, 퇴적 및 확산 체계 변화, 해양환경 변화 등의 현상을 현장관측조사 및 수치시뮬레이션을 통하여 분석하고자 한다. 적용대상역은 울산광역시 울산국가산업단지 인근의 해안선경계역이다. 검증에 위해 조석, 조류 및 퇴적에 관한 기존의 관측자료를 확보하였으며 일부 특정지점에서는 현장관측도 수행하였다. 검증한 모델로 실제대상해역에 적용하고 장래변화를 분석하였다.

핵심용어 : 산업단지, 매립, 퇴적체계, 확산, 현장관측, 수치시뮬레이션

Abstract : The government is now driving a policy that development of industrial complex site for the local manufacturing industry by reengineering and expanding the existing sites or reclamation of coastal zone. Therefore, it is necessary to analyze the impact of the coastal reclamation work in terms of physical and environmental characteristics. This study is also dealing with the impact of coastal reclamation for national industrial complex site to the ocean physical characteristics, variation of sedimentation and diffusion system and marine environment from the analysis of the field measurement and numerical simulation. The site for application is at the coastal boundary near Onsan national industrial complex, Ulsan metro city. In order to verify the numerical simulation result, it is compared to the collected data for tide, current, and sediments of the existing measurement and field observation at the selected stations for this study. The verified numerical models were applied to the actual field and the future change was analyzed.

Key words : Industrial complex, Reclamation, Sedimentation system, Diffusion, Field measurement, Numerical simulation

1. 서 론

우리나라는 60년대 초부터 강력한 중앙집권체제를 바탕으로 단기간에 고도의 경제성장을 하였으나, 이로 인해 지역 간 불균형이 심화되고, 불규칙적인 산업구조가 자리매김하였다. 이에 참여정부 출범 초기부터 국가균형발전정책을 핵심 국정 과제로 설정하여 추진하고 있다. 최근에는 대덕연구개발특구와 7개의 산업클러스터(반월·시화, 원주, 구미, 울산, 창원, 광주, 군산)를 통하여 그 지역의 신 성장기점을 마련하여 지역균형 발전에 박차를 가하고 있다. 산업클러스터 중 Fig. 1과 같이 울산 온산지역에 국가산업단지(균형발전정책교본 혁신클러스터, 국가균형발전위원회, 2007)를 개발하여 비철금속공업,

정유 및 유류비축, 화학 펄프공업의 조성과 관련 연관공업을 유치함으로써 국제 경쟁력 있는 중화학 단지로 2011년까지 조성계획 중에 있다.



Fig. 1 Onsan industrial complex, near Ulsan harbor

* 대표저자 : 김기담(정회원), allyesyou@hanmail.net, 051)410-4981

** 정회원, y2kace2020@hanmail.net, 051)410-4981

*** 정회원, ksone77@yahoo.co.kr, 051)410-4981

**** 정회원, minsuids@hotmail.com, 051)410-4981

† 교신저자 : 이종우(종신회원), jwlee@hhu.ac.kr, 051)410-4461

이러한 사회적인 흐름을 환경적 측면에서 접근하면, 선진국들은 1970년대부터 자국의 자연환경보호를 위한 구체적인 행동을 취하기 시작하였으며, 1992년 우리나라를 비롯한 178개국 이 참석한 유엔환경개발회의(UNCED)에서 '환경이 감당할 수 있는 범위 내에서 지속 가능한 개발, ESSD(Environmentally Sound and Sustainable Development)'을 기본방향으로 정하고, 이를 실천하기 위하여 환경단체 투쟁, 국가정책의 진보, 과학적인 근거 제시 등을 통하여 자연환경보호를 위한 구체적인 행동을 취하기 시작하였다.

우리나라는 2007년 12월 7일 서해안에 허베이 스피리트호 기름유출사고로 약 1만 3천톤에 달하는 기름이 누출되었으며, 이로 인해 해양생태계 피해액이 10년간 1조 3천억원¹⁾ 달하는 놀라운 통계 결과가 나왔다. 이에 정부는 해양생태 보전법 및 해안·해양환경에 관련된 규제를 강화해야 하며, 과학자는 해양환경변화가 예상되는 현장을 보다 과학적으로 접근하여 그 현상을 밝혀내야 할 것이다.

본 연구는 온산국가산업단지 조성사업의 일환인 강양·우봉 1,2지구 매립지 조성에 따른 부근 해역의 해양물리적 특성, 퇴적체계 변화, 해양환경 변화 등의 수리현상변화를 해양관측조사 및 해양수치모델링을 통하여 분석하고 주변해역의 침식·퇴적 현상, 부유사(SS) 확산이 생태계에 미치는 영향 등을 사전에 예측함으로써 최적의 공사계획에 필요한 기초자료를 제공하는데 그 목적이 있다.

이를 위하여 대상지역 기상 및 해상자료 사전조사, 해양관측 조사에 이어서, 해수유동 수치모형, 부유사(SS)확산 수치모형, 퇴적물이동 수치모형을 구축하였다. 조석, 파랑, 바람 및 그 외의 인자를 고려하여 수차례 해수유동 수치모형실험 후, 해양관측자료를 통해 검증하고, 실제 해양환경과 유사한 모형으로 재현하여 부유사(SS)확산 및 퇴적물이동 수치모형실험을 수행하였다. 도출된 자료를 비교·분석하여 결론에 이르렀다.

본 연구에 사용된 HD 모듈과 AD 모듈은 이전에 강과 문(2004)이 "해수유통시설에 따른 대흑산도항 오염확산양상 변화"에 대한 연구에 적용시킨 바가 있으며, 조석 및 파랑, 바람 인자를 고려한 방식은 유(1995)가 "파와 해류에 의한 소류사 이동"에 대한 연구를 수행한 바가 있다.

2. 본 론

2.1 자연환경 현황

울산은 한반도의 동남단에 위치한 천혜의 온난한 기후를 가진 항구도시로 동경 129°15'~129°27', 북위 35°27'~35°36'에 있다. 서고동저형의 지형상 서부는 산맥, 동부는 해안으로 형성되어 해양성기후가 공존한다. 따라서 겨울의 찬 북서풍을 막아 기온을 따뜻하게 하고, 바다에서 불어오는 해풍이 기온을 조절하여 기후는 온화한 편이다. 또한, 계절풍이 많이 부는

관계로 봄, 여름, 가을, 겨울의 사계절이 뚜렷하게 나타나며, 겨울에는 한랭 건조한 대륙성 고기압의 영향을 받아 춥고 건조하며, 여름에는 고온 다습한 북태평양 고기압의 영향으로 무더운 날씨를 보이고, 봄·가을에는 이동성 고기압의 영향으로 맑고 건조한 날이 많고 날이 따뜻해서 쾌적한 날이 많다.

연평균 평균기온은 14.3℃, 최고기온은 38.2℃, 최저기온은 -10.8℃이며, 연평균 상대습도는 67.5%, 연평균 강수량은 1,250.3mm로써 경남지역이 1600~1800mm 정도인데 비해 낮은 수치를 나타낸다. 1996~2005년도까지 25차례의 태풍이 내습하였으며, 최저 기압은 2000.7에 발생한 Kai-Tak으로 1,007.4hpa이며, 순간 최대풍속은 2003.3 에 발생한 MAEMI로 E방향 49.2m/s의 강풍이 불었다. 풍향은 W~S 계열의 육풍의 영향을 많이 받고 있으며, 폭풍 시 최대풍속은 SW 20.7m/s, 순간최대풍속은 NNW 36.7m/s이다.

2.2 해양관측

1) 조석 관측

조석 관측은 2008.3.1~3.30 30일간 대상지역 매립해역 T1(35-24-13.31 N, 129-21-15.96 E)에서 압력식 검조기 XR-420-TG 장비를 설치하여 자기기록하였다. 온산에서 울산항까지의 조석형태수(Tide Factor)는 0.295~0.296인 반일주조가 우세한 혼합형으로써 매일 두 고조와 두 저조가 나타나지만 시간 및 높이의 부등은 심하다. 일반적으로 우리나라 동해남동부 연안부터 동해안을 따라 수일주기의 해면 변동이 일주조 분조보다 크게 나타나는데 온산 및 울산항에서도 반일주조 분조가 일주조 분조보다 크게 나타나고 있다.

온산지역의 대조차와 소조차는 각각 48.6cm 및 33.9cm로써 울산항기준조석 40.5cm, 30.8cm에 비해 온산지역은 대조차는 8.1cm 크고, 소조차는 3.1cm 크다. 약최고고조위는 63.9cm로 울산항 기준조석의 59.0cm보다 4.9cm 크다. 평균해면은 31.5cm이며, 울산항 기준조석 29.5cm에 비해 온산지역은 2.0cm 정도 높다.

2) 연속조류 관측

연속조류 관측은 2008.3.7~3.22 15일간 대상지역 매립해역 PC1(35-24-01 N, 129-21-58 E)에서 자기유속계 RCM-9를 설치하여 장기계류관측을 실시하였다. 매 시별 관측유속(Observed Current) 벡터, 조류벡터 및 잔차류 벡터의 시간변화를 그린 결과는 Fig. 2와 같으며, 북방 및 동방성분 유속의 시간변화도 함께 도시하였다. 잔차류(Residual Current) 벡터는 측류 벡터와 조류 벡터의 차를 도시한 것이며, 조류 벡터(Tidal Current)는 측류 벡터 중에서 조류 성분만을 벡터로 도시한 것이다.

16방위의 유향별 유속 계급별 출현율을 산출한 결과는 장조류 남향류의 주방향은 남남서향(SSW)이며, 낙조류 북향류

1) 경기개발연구원(2008), "해양오염사고의 피해 및 비용에 대한 주민의식 조사 연구 보고서"

의 주방향은 북향(N)이다. 유향별 출현율은 남향류(W~ESE)가 19.7%이고 북향류(WNW~E)가 81.3%로써 북향류의 출현율이 우세한 분포를 보인다. 이는 북향류 방향으로 항류 성분이 강하게 나타남을 의미한다. 유속별 출현율은 0~10cm/s에서 33.8%, 10~20cm/s에서 54.1%를 차지하고 있다. 관측점에서의 최강유속은 39.7cm/s, 유향은 1°로 나타났으며, 평균유속은 13.3cm/s로 나타났다.

2.3 모형의 기본이론

1) 해수유동

본 연구에서 해양 유동현상을 재현하기 위하여 해수를 비압축성 유체로 가정하여 연직 적분된 2차원의 질량 및 운동량 보존방정식을 지배방정식으로 다음과 같이 사용하였다.

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial h \bar{U}}{\partial x} + \frac{\partial h \bar{V}}{\partial y} = hS \quad (1)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial h \bar{U}}{\partial t} + \frac{\partial h \bar{U}^2}{\partial x} + \frac{\partial h \bar{U} \bar{V}}{\partial y} = & f \bar{V} h - gh \frac{\partial \eta}{\partial x} - \frac{h}{\rho_0} \frac{\partial p_a}{\partial x} \\ & - \frac{gh^2}{2\rho_0} \frac{\partial \rho}{\partial x} + \frac{\tau_{sx}}{\rho_0} - \frac{\tau_{bx}}{\rho_0} - \frac{1}{\rho_0} \left(\frac{\partial s_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial s_{xy}}{\partial y} \right) \\ & + \frac{\partial}{\partial x} (h T_{xx}) + \frac{\partial}{\partial y} (h T_{xy}) + h U_s S \end{aligned} \quad (2)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial h \bar{V}}{\partial t} + \frac{\partial h \bar{V}^2}{\partial y} + \frac{\partial h \bar{U} \bar{V}}{\partial x} = & -f \bar{U} h - gh \frac{\partial \eta}{\partial y} - \frac{h}{\rho_0} \frac{\partial p_a}{\partial y} \\ & - \frac{gh^2}{2\rho_0} \frac{\partial \rho}{\partial y} + \frac{\tau_{sy}}{\rho_0} - \frac{\tau_{by}}{\rho_0} - \frac{1}{\rho_0} \left(\frac{\partial s_{yx}}{\partial x} + \frac{\partial s_{yy}}{\partial y} \right) \\ & + \frac{\partial}{\partial x} (h T_{xy}) + \frac{\partial}{\partial y} (h T_{yy}) + h V_s S \end{aligned} \quad (3)$$

여기서, $h = D + \eta$: 총 수심(m) D : 정수면(m)
 η : 수면변동(m) U, V : x, y 방향의 속도성분
 $f = 2\Omega \sin \phi$: 코리올리 매개변수
 Ω : 지구자전의 각속도로 $7.27 \times 10^{-5} \text{rad/s}$
 ϕ : 위도 g : 중력가속도 p_a : 대기압
 $\rho = \rho(T, s)$: 해수의 단위중량
 T_{ij} : 측면응력 $\vec{\tau}_b$: 저면 응력 성분
 $\vec{\tau}_s$: 바람응력 성분
 $s_{xx}, s_{xy}, s_{yx}, s_{yy}$: 잉여응력의 텐서성분
 (U_s, V_s) : 물 순환에 의해 주변으로 이동되는 속도
 S : 생성·소멸되는 양으로 일반적으로 0

조석과 같은 장파 해석을 수행하게 되면 계산영역이 넓어지는 경우가 많아지고 지구의 자전효과를 고려해야 한다. 자전효과를 나타내는 코리올리 매개변수는 $f=2\Omega \sin \phi$ 과 같이 나타내며, Ω 는 지구자전의 각속도로 $7.27 \times 10^{-5} \text{rad/s}$ 이고, ϕ 는 위도으로써 북반구에서는 양의 값이고 남반구에서는 음의 값

을 가진다. 그 외에도 와동점성 방정식, 저면응력 성분, 바람 응력 성분 및 바람자료 보정 등을 고려하여 적용시켰다.

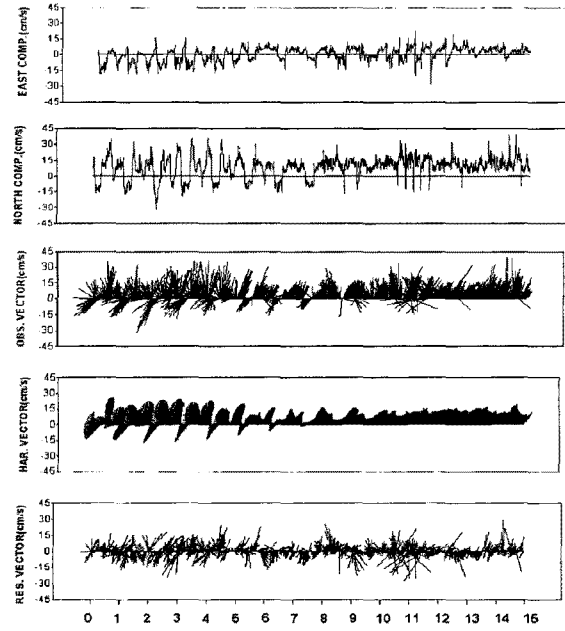


Fig. 2 Tidal current variation in terms of time

2) 부유사 확산

AD(Advection Dispersion) 모듈은 대상지역의 모의영역 내에 용해되어 있거나 부유되어 있는 물질을 이류분산 방정식을 이용해 2차원으로 푼다. 이것은 사실상 질량보존방정식이며, 용출(Source)과 흡입(Sink)에서의 유량과 혼합농도를 포함하고 있다.

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial t} (hc) + \frac{\partial}{\partial x} (uhc) + \frac{\partial}{\partial y} (vhc) = & \frac{\partial}{\partial x} (h \cdot D_x \cdot \frac{\partial c}{\partial x}) \\ & + \frac{\partial}{\partial y} (h \cdot D_y \cdot \frac{\partial c}{\partial y}) - F \cdot h \cdot c + S \end{aligned} \quad (4)$$

여기서, c : 혼합농도 F : 선형감소계수(l/s)
 u, v : x, y 방향 수평속도 성분(m/s) h : 수심(m)
 D_x, D_y : x, y방향에서의 확산계수(m^2/s)
 S : $Q_s \cdot (c_s - c)$ Q_s : 용출/흡입량이며
 C_s : 용출/흡입유량에서 혼합농도

3) 퇴적물 이동

MT(Mud Transportation) 모듈은 Engelund & Hansen (1967)의 공식으로 총 표사량을 산정하였으며, 부유사량과 소류사량을 결정하기 위해서는 총 표사량을 알아야한다. 총 표사량에서 10%는 소류사가 취하고 90%는 부유사가 취한다.

$$S_{ti} = 0.05 \frac{C_s^2}{g} \theta^{\frac{5}{2}} \sqrt{(s-1)gd_{s0}^3} \quad (5)$$

$$\theta = \frac{\tau}{\rho g (s-1) d_{50}}$$

여기서, S_{tt} : 총 표사량 g : 중력가속도
 s : 밀도비(ρ/ρ_s) d : 유사직경
 ρ : 해수의 밀도 ρ_s : 퇴적물의 밀도 $2650\text{kg}/\text{m}^3$
 $\tau = \rho g V^2 / C^2$: 흐름의 전단응력(C : 국부 Chezy 수)

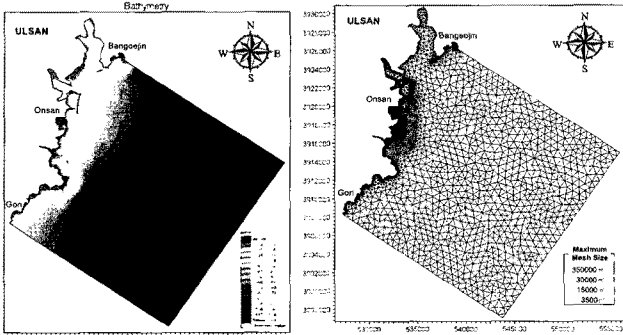


Fig. 3 Bathymetric chart and Mesh for model area

2.4 수치모형의 적용

1) 해수유동

본 해수유동 수치모형실험은 과업대상 영역의 현 상태 해수유동을 재현하고 관측치와 비교함으로써 강양·우봉 1,2지구 매립공사에 따른 부유사(SS) 확산 및 침식·퇴적실험에 필요한 유동장을 제공하는데 목적이 있다. 이를 위해 현 상태 및 매립 후 조위 및 조류를 2차원 해수유동 모델로 재현하였다. 본 과업에서 수행하는 해수유동 시뮬레이션은 덴마크 DHI사의 상용프로그램인 Mike21 HD(Hydrodynamics) Module을 사용하였다. Mike21은 25년 이상 계속 되어온 수리 및 환경문제들에 대한 연구개발의 결과로써, 이미 많은 전문가들에 의해 그 정확성이 입증되었고 현재 널리 사용되고 있다.

해수유동 수치모형 실험은 모델의 수립, 검증, 입증 순으로 본 모형의 타당성을 평가하고 결과를 도출하였다. 모델의 수립은 국립해양조사원의 최신 발행해도를 이용하여 해안선과 수심을 모델링하고, 관심영역의 중요도에 따라 격자간격을 차등을 두어 선정하였다. 경계조건(Boundary Condition)과 그 외 입력자료를 대상해역과 유사하게 적용하였다. 경계조건에 사용한 데이터는 기준검조소 및 임시검조소의 자료에 조고비, 조시차를 적용하여 입력하였다. 이에 도출된 1차 결과값은 각 지점의 위상과 대상해역의 유동장을 검조소 조석자료 및 국립해양조사원에서 2001.8에 발행한 조류도(610-1호, 울산항)와 비교·분석하여 검증에 임하였다. 검증된 자료는 다음 장에서 다루어질 부유사 확산 및 퇴적물 이동 수치모형의 기초자료로 사용하였다.

(1) 수심자료

국립해양조사원에서 발행한 수치해도(n119a, n14200,

n17600, n26400)를 통하여 Fig. 3과 같이 수심도와 격자망을 구성하였다.

(2) 초기조건

초기조건은 전 내부 격자점에서 유속 및 조위를 영(Cold Start)으로 계산하였고, 계산주기는 조위가 안정된 상태까지 도달한 때까지 계산하였다.

(3) 점성 및 바닥마찰

Eddy Viscosity는 Smagorinsky 공식(계수 0.5)을 사용하였고 바닥 마찰은 전 해역에서 $32\text{m}^{(1/3)}/\text{sec}$ 의 Manning 계수를 사용하였다.

(4) Flooding과 Drying

육지와와 경계 부근에서 조석의 창조·낙조시 발생하는 Flooding & Drying현상을 재현하기 위해 0.05m의 여유를 두었다.

(5) 지구 전향력

지구자전에 의한 전향력 계수 f 는 $f=2\Omega\sin\Phi$ 로 표현되며, 여기서 Ω 는 지구자전각속도($7.27\times 10^{-5}\text{rad}/\text{s}$)이며, 분석대상 지역의 위치는 북위 129도 동경 35도이므로 위도(Φ)는 35.40° 로 설정하여 전향력이 계산에 포함되도록 하였다.

(6) 개방경계조건

경계조건은 수치모형실험 해역의 동측, 남측, 북측 해역이며 주변해역에서 측정된 조화상수 값을 이용하여 경계치를 입력하였다. 조석조건은 약취대조기($M_2+S_2+K_1+O_1$)로 하였으며 이용된 측정기록은 방어진 및 고리에 대한 조위기록으로써 한반도 주변 조석 조화상수 자료집(한국해양연구소, 1996)의 자료를 이용하였다. 위의 조석 자료는 현재의 조석과 거의 동일한 분조값들을 가지며, 각 경계조건에의 실측이 불가능하여 기존 자료에 조고비, 조시차 적용함으로써 경계조건으로 활용이 가능하다. 동측 개방경계에서는 가변경사법을 적용해서 해결하였다.

부유사확산 및 퇴적물 이동 수치모형실험 시 고려해야할 영향인자로는 조류이외에 파랑, 바람 인자가 중요하다. 대상해역의 바람인자는 기상청홈페이지 AWS/문숫자에 있는 2008년 3월 한 달간 관측된 자료를 정리하여 활용하였으며, 파랑인자는 기상청홈페이지 해양센터/국내해양기상실험에 있는 2008년 3월 한 달간 관측된 자료를 입력자료로 적용하였다. 이는 해양관측 기간과 동일하게 하여 검증자료의 타당성 확보하기 위해서이다.

2) 검증

해수유동 모형실험의 조위에 대한 검증을 위해 Fig. 4와 같이 울산일대의 방어진(P1), 온산(P2), 고리 검조소(P3)와 현장 관측지점 T1(35-24-13.31 N, 129-21-15.96 E)을 선정하였다.

P1,2,3 검조소의 실측값과 본 모형의 수치값을 비교 분석한 결과 조위 곡선의 위상과 패턴이 Fig. 5와 같이 거의 유사하게 나타났으며, 본 수치실험의 조위값과 90%이상 일치하였다.

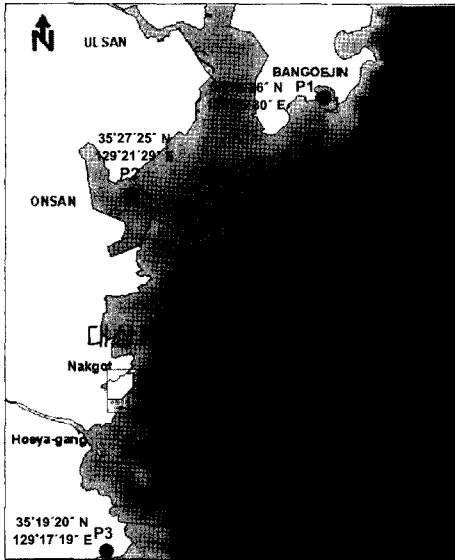
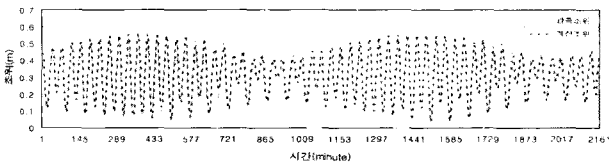
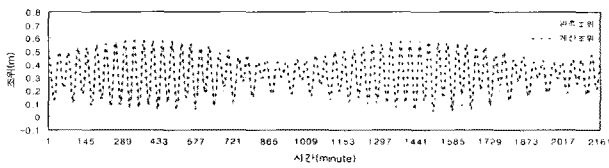


Fig. 4 Model limit and points for field measurement

P1(Bangoejin)



P2(Onsan)



P3(Gori)

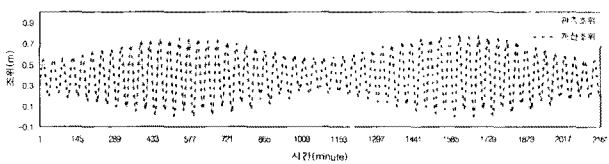


Fig. 5 Comparison of tides at P1,2,3 tidal station

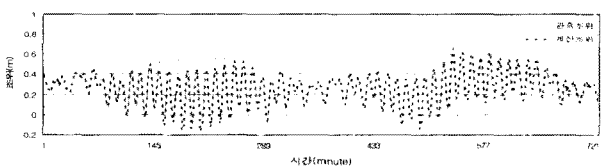


Fig. 6 Comparison of tides at T1 tidal station

온산 현장관측(T1)에서 유속 및 유향을 그래프로 도식한

결과 Fig. 6과 본 모형의 계산값과 다소 차이가 나는 것은 본 모형의 결과치는 잔차류 벡터를 고려하지 않은 순수 조석에 의한 조류벡터만 고려하였기 때문에 잔차류를 포함하고 있는 측류벡터인 현장 관측치와 동일한 수치를 보이기 어려우나, 거의 유사한 패턴과 조류값을 나타내고 있다. Fig. 7은 U, V 방향 조류속의 계산값과 관측값을 비교한 것이다. 관측치에는 조석 이외에도 여러 가지 외부 파라메타가 동시에 작용한 것이나 계산치는 4대주요분조에 대한 것으로 규칙성이 강하게 나타났다. Fig. 8은 U, V의 유향·유속성분을 예측된 값과 관측값을 비교하여 나타낸 것이다. 관측치와 계산치의 분포가 북동-남서 방향으로 길게 늘어선 형태는 비슷하나, 분포 점성도에서 차이가 나는 것은 관측치에서는 바람, 파랑, 해류 외에 여러 파라메타의 영향으로 북향류가 강하였으며, 계산치에서는 4대주요분조의 순수유동만을 고려하였기에 남북으로 균일한 패턴을 보였다.

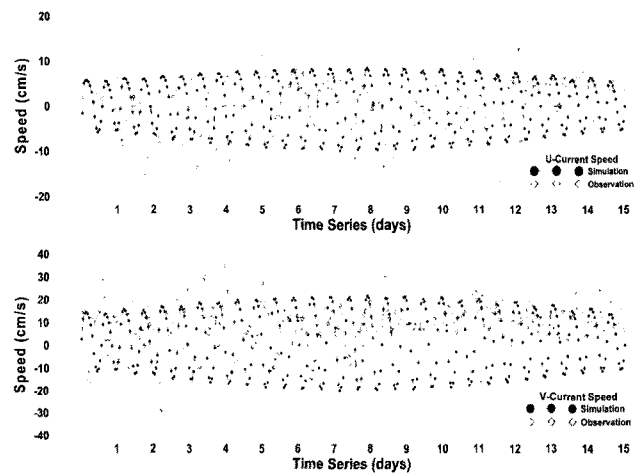


Fig. 7 Comparison of x, y-direction tidal currents (U, V)

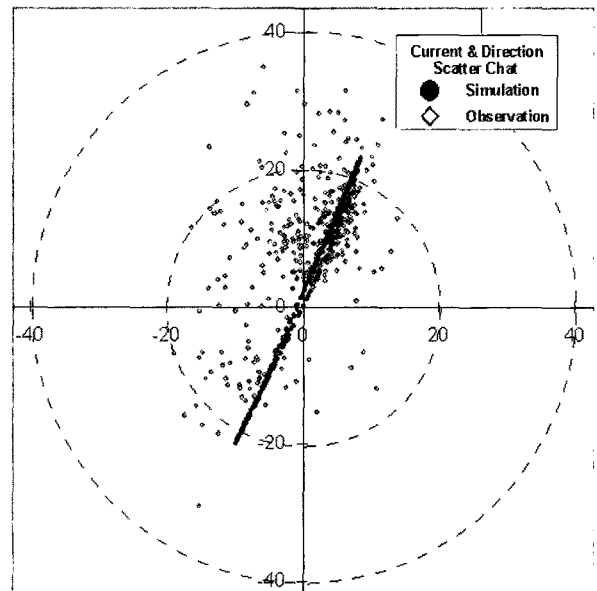


Fig. 8 Scattered plot of tidal currents

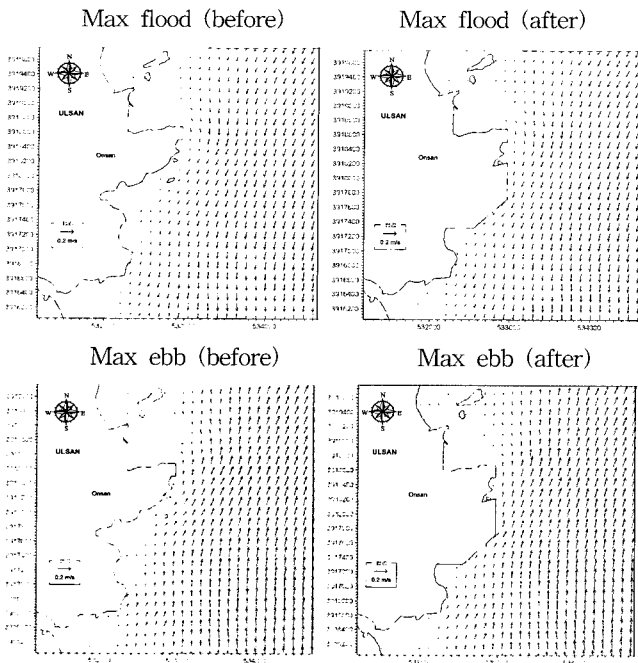


Fig. 9 Predicted maximum tidal currents before and after reclamation work

3) 해수유동 수치모형의 적용

전반적으로 관측치 및 계산치가 잘 일치하는 것으로 평가되었으며, 매립 전/후 전변해역의 조류속의 변화를 Fig. 4와 같이 7개 지점(S1~S7)을 선정하여 비교·분석하여 대조기 최대 유속을 Table.1과 같이 나타내었다. 매립 전·후의 유속은 큰 차이는 없었으나, S1과 S3에 0.05m/s정도의 차이를 보였다. 이는 부유사 확산 및 퇴적물 거동에 영향을 줄 것으로 예상된다.

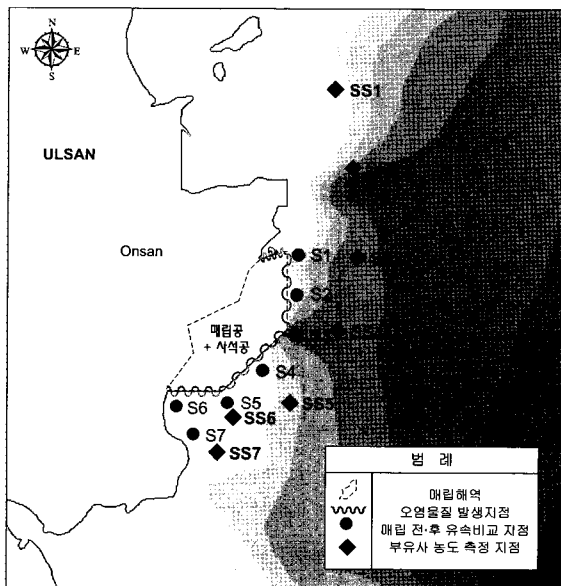


Fig. 10 Line of SS source and Velocity of flow comparison Points(Before/After) and SS concentration observation points

Table 1 Comparison of maximum tidal currents before and after reclamation work

지점	매립 전 최강유속	매립 후 최강유속	차이
S1	0.102	0.140	0.038
S2	0.221	0.199	-0.022
S3	0.242	0.294	0.052
S4	0.150	0.141	-0.009
S5	0.111	0.111	0
S6	0.020	0.011	-0.009
S7	0.087	0.066	-0.021

4) 부유사 확산

온산일대 강양·우봉 1,2지구 매립공사로 인해 부유사가 발생하게 된다. 이 부유사는 입자의 크기, 파랑과 조류와 같은 주변해역의 흐름으로 인해 일부는 이류, 확산 과정을 거쳐 이동하고 일부는 침강하여 해저에 퇴적되기도 한다. 퇴적된 입자는 다시 일부는 압밀(Consolidation)되고 일부는 주변흐름으로 인해 침식 및 재부유되어 확산한다. 본 수치모형실험에서는 바람, 파랑, 조류에 의한 영향을 모두 고려하여 부유사의 이류, 농도에 의한 확산 영향을 고려하여 실험하였다.

모델의 계산시간은 발생농도가 준정상 상태에 도달할 수 있도록 충분히 긴 시간이 고려되어야 하며, 금번 수치실험에서는 32일 동안 실험을 실시하였다. 공사기간동안 최강창조시 및 최강낙조시 최대확산범위를 제시하며, 대상해역에 미치는 환경적 영향을 검토하였다.

부유사 확산의 예측시점은 각 공정마다 중첩되는 시기는 없을 것으로 예상되어 공정 상에서 가장 많은 부유사가 발생할 시점을 기준으로 하며, 오염물질 확산 초기거동 지점은 Fig. 10과 같이 매립전면에 일정하게 방출하였으며, 하루 8시간 주기적인 연속방출일 경우 인근 어장 및 회야장 일대 그리고 외해로의 최대확산범위를 예측하고자 한다.

부유사 확산에 사용되는 토공 물량에 의한 부유사 양은 공사방법, 공사량, 해저질, 유속 등 여러 요인에 의해 차이가 날 수 있으나, '부유토사 발생량 평가 및 오탃방지막 효율에 관한 연구용역(해양수산부, 2001.2)' 보고서를 참고하여 매립공 및 사석공의 토사발생 원단위는 각각 1.0kg/m³, 6.92kg/m³ 을 적용하여 전체 부유토사 발생량 산정 시 사용하였다. 사업지구에서 공사기간 35개월 동안 발생하는 총 부유물질 발생량은 Table 2와 같다.

Table 2 Assessment of SS source for reclamation work

공종	사업량 (m ³)	공사강도 (m ³ /hr)	원단위 (kg/m ³)	발생량		
				저감전	저감후 (50%)	
매립 (산토)	매립공	4,672,300	667	1.0	667	334
호안 (사석)	사석공	1,300,000	186	6.92	1287	644
계					1,954	978

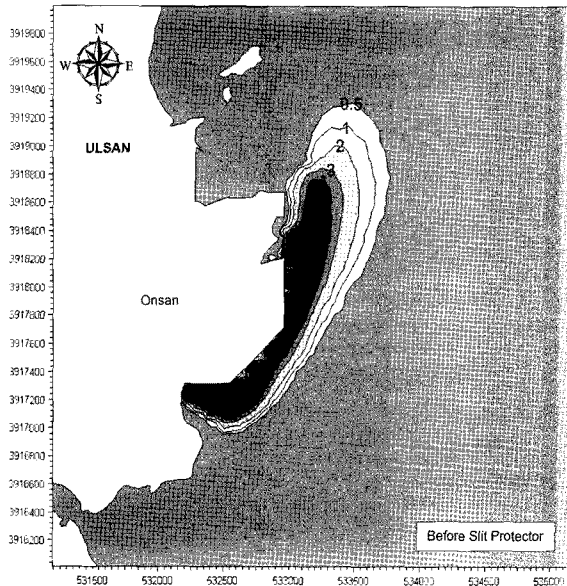


Fig. 11 Distribution of maximum SS concentration(before)

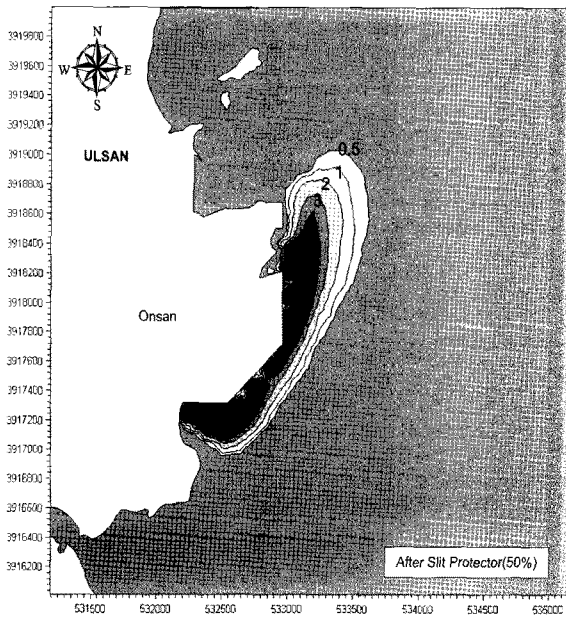


Fig. 12 Distribution of maximum SS concentration (after Single layer of silt protector)

사업지구에서 발생하는 부유사(SS)는 유동수치모형의 결과 얻어진 울산해역 조류의 유향·유속 분포도는 Fig. 8과 같이 북북동-남남서 방향으로 남북으로 길게 늘어선 확산 형태를 보였다. 본 실험은 대조기 기간의 최대 범위를 예측한 것으로, 실제의 평균적인 확산 범위는 이보다 작아지게 된다. 또한 여름철에는 북동진하는 흐름이 강해져서 대조기, 소조기 모두 겨울철에 비해 확산 범위가 넓어진다.

사업시행에 따른 부유사의 확산분포를 저감하기 위하여 오타방지막을 설치하는 방법도 있다. 오타방지막 설치방식은 콘크리트와 닻형식 중 후자를 채택하였으며, 일반적으로 1중 오타방지막 설치 시 50% 저감, 2중 설치 시는 70~75%

정도 저감되는 것으로 본다. 본 실험에서는 1중 오타방지막 설치를 가정하여 부유사량을 50% 줄여서 수치모형에 임하였다.

오타 방지막 설치 전/후를 비교하면 대조기 6시간 경과 후 확산범위는 1.0mg/l의 부유사 농도가 북북동-남남서 방향으로 1.55/1.38km까지 확산하고, 대조기 12시간 경과 후 확산범위는 1.0mg/l의 부유사 농도가 북북동-남남서 방향으로 1.88/1.58km까지 확산하며, 대조기 최대확산 범위는 Fig. 11, 12와 같이 1.0mg/l의 부유사 농도가 북북동-남남서 방향으로 2.2/1.93km까지 확산된다. 이는 오타방지막 미설치 시보다 확산면적 및 농도 분포에서 저감되었음을 알 수 있다. 위의 결과를 산출하기 위해 Fig. 10과 같이 각 정점(SS1~SS7)의 시계열을 Fig. 13과 같이 분석하였다.

5) 퇴적물 이동

본 과업에서 적용한 모델은 덴마크 DHI사에 개발한 Mike21 MT모델은 파랑 및 조류에 의한 Silt, Mud, Clay입자의 침식 및 퇴적, 이동을 설명해 줄 수 있는 모형이며, 바닥에 퇴적된 퇴적층의 압밀(Consolidation) 및 침식(Erosion)을 고려하여 종합적인 계산 결과를 얻을 수 있다.

회야강, 청량천, 대곡천 하구역 경계치 입력자료로 “회야강 외 2개소 사전재해영향성 검토서(울산광역시, 2006)”를 참고하여 Table. 3과 같이 회야강의 2개소의 지배유량 및 유사량을 하천 3개소 경계조건에 적용하였다. 유사량 산정시 Engelund & Hansen 공식을 적용하여 산출되었다.

결과, 울산 온산일대 전면해역에 매립 전후로 하여 32일간 퇴적물 거동은 -0.012m~0.042m 내외로 거의 변화가 없으나, 하천에서 흘러나온 유사는 해안에서 약 2km 떨어진 부근에서 퇴적되었다. 퇴적물 이동 양상을 보면 매립지가 형성됨으로서 바다 쪽으로 퇴적물 거동이 이동되고 있음을 알 수 있었다. 이 수치는 크기는 0.015m에서 작게는 0.005m 까지 발생하였다. 또한 ○ 부분에서 매립 전후로 하여 매립 후에 퇴적물의 침식이 더 줄었으며, □ 부분에서는 매립 이후에 퇴적이 더 활성화되었다. 이는 매립해역에 퇴적될 Mud가 매립이후에 해안선을 따라 아래로 내려와 퇴적된 것으로 예상된다.

Table 3 List of rivers for model area and volume flow and appeared SS source

하 천	유역면적 (km^2)	지배유량 (m^3/s)	수위 (EL.m)	유사량 (ton/yr)
회 야 강	218.34	370	0.46	14,483.90
청 량 천	62.37	150	0.28	9,576.54
대 곡 천	129.63	310	17.18	1,220.45

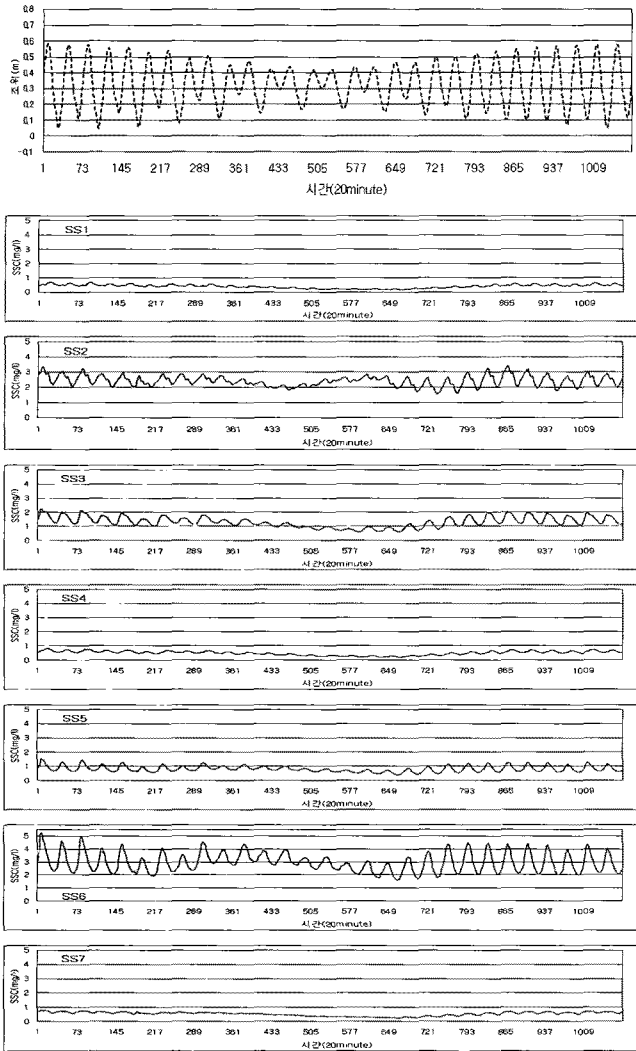


Fig. 13 Time series of SS concentration and Tidal level

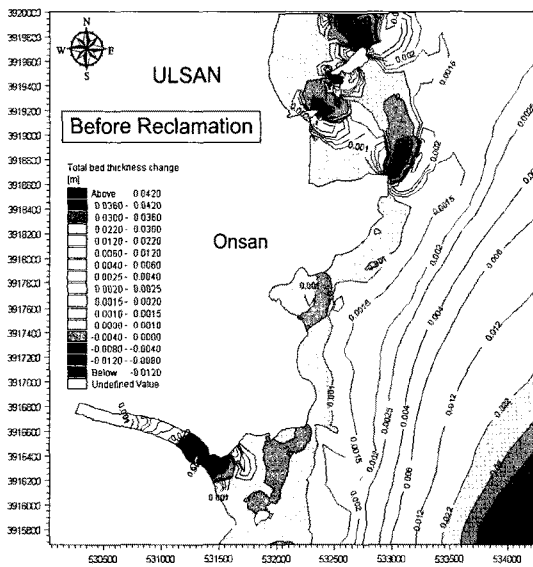


Fig. 14 Predicted sedimentation before reclamation work

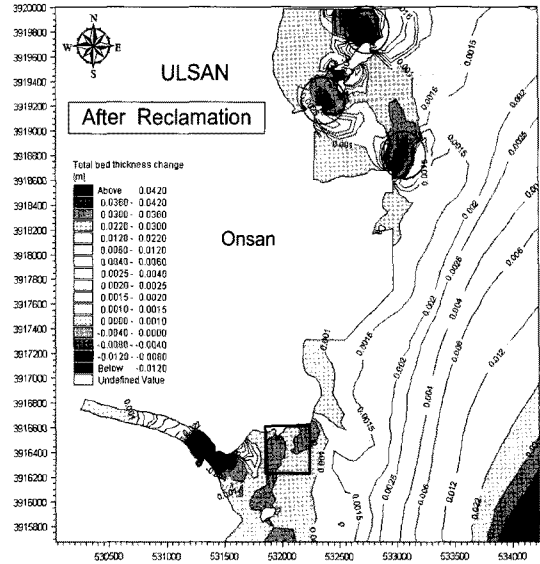


Fig. 15 Predicted sedimentation after reclamation work

3. 결론

본 연구에서는 온산국가산업지구 개발사업의 일환인 강양·우봉 1,2지구 매립공사에 따른 주변해역의 특성파악을 위한 해수유동 특성검토, 부유사 확산, 침식·퇴적 체계변화 등의 예측을 위한 수치모형 실험을 실시하여 주변해역의 변화에 대한 검토를 수행하였다.

수치모형실험 결과를 요약하면 다음과 같다.

- (1) 본 수치모델의 적용성을 검증하기 위하여 관측지점에서 측정된 조화상수를 이용하여 수치계산 결과와 비교해 본 결과, 총 4개 지점에서의 관측결과와 수치계산 결과가 대체적으로 잘 일치하는 것으로 나타났다. 따라서 본 수치 모델에 의한 계산결과는 울산일대 주변해역의 유동구조를 잘 재현하였다고 판단된다.
- (2) 해수유동 수치모형실험에 따른 결과를 살펴보면, 3개 검조소(방어진, 온산, 고리)에서 관측·보정된 조위값은 모형 관측치와 90%이상 일치하였으나, 온산 현장관측지점 조위 데이터는 잔차류를 포함하고 있는 측류벡터이므로 유사한 패턴의 조위값과 조류속을 도출하였다. 또한, 수치모형 내의 조류는 창조시 남남서류하고, 낙조시 북북동류 또는 북동류하는 국립해양조사원에서 발행한 조류도 분포와 일치한다. 최강창(낙)조시 강양·우봉 1,2지구 해양매립지 내의 유속은 0.2m/s 이내이며, 매립전후로 조류속 비교 시 큰 차이는 없었다.
- (3) 부유사 확산 수치모형실험에 따른 결과를 살펴보면, 본 과업에서는 부유사 발생량이 다른 공사구간에 비해 상대적으로 규모가 작은 관계로 부유사 농도 1mg/l 대조기 최대 확산 영역은 북북동-남남서 방향으로 2.2km까지 퍼졌으며, 저감 후 대조기 최대확산범위는 1.93km까지 저감되었

2) 여수 동방파제 축조공사 환경영향검토 5장 부유사확산 수치모형실험 p66 참고

다. 수산생물량의 감소는 5-10mg/l 증가시 약 10%²⁾ 감소되므로 본 매립사업의 부유사 확산 수치시뮬레이션 결과로 5mg/l 이상의 농도는 매립전면에서 0.1km 떨어진 해역과 매립 남쪽 0.09km² 해역에 일부 나타났으므로 해양수산생물의 피해는 없을 것으로 사료된다.

(4) 매립전후로 퇴적물이동 수치모형실험에 따른 결과를 살펴보면, 전 영역에서 -0.012m ~ 0.042m 내외로 거의 변화가 없을 것으로 예상되나, 태풍이나 다른 조건에서 발생하는 유사는 고려하지 않았으므로 퇴적물 이동 양상에 다소 차이가 있을 것으로 사료된다.

참 고 문 헌

[1] 강주환, 문승록, 박선중, 정재웅(2004), "해수유통시설에 따른 대흑산도항 오염확산양상 변화," 공업기술연구논문집 제4집, pp.581~587.
 [2] 고려개발주식회사, (주)건일엔지니어링(2007), "여수 동방파제 축조공사 환경영향검토", 5장 부유사확산 수치모형 실험 p.66.
 [3] 국가균형발전위원회(2007), "지역혁신 균형발전 정책교본 혁신클러스터".

[4] 국립해양조사원(2001), "울산항 조류도"
 [5] 경기개발연구원(2008), "해양오염사고의 피해 및 비용에 대한 주민의식 조사 연구 보고서".
 [6] 울산광역시(2006), "회야강 2개소 하천정비기본계획 및 재정비수립에 따른 사전재해영향성 검토서".
 [7] 이종섭, 윤은찬(2004), "파·흐름 공존장에서 부유사와 소류사 flux에 의한 지형변화예측모델", 한국해양.해양공학발표논문집, pp228~232
 [8] 해양수산부(2001), "부유토사 발생량 평가 및 오토방지막 효율에 관한 연구용역(I,II)".
 [9] Engelund. F. and Hansen. E.(1967), "A monograph on sediment transport in alluvial streams", Copenhagen, Teknisk. Forlag.

원고접수일 : 2008년 6월 17일
 심사완료일 : 2008년 8월 27일
 원고채택일 : 2008년 8월 28일