

연안개발공사로 인한 부유토사의 환경 악영향 저감방안 고찰 Review on the Measures against Environmental Impacts of Suspended Sediments Generated by Coastal Development Works

송원오¹ · 진재율¹ · 채장원¹ · 안희도¹ · 맹준호² · 오재경³

Won Oh Song¹, Jae Youll Jin¹, Jang Won Chae¹, Hee Do Ahn¹, Jun Ho Maeng² and Jae Kyung Oh³

1. 서 론

과거 경제도약기에는 개발을 위한 자연훼손의 문제점이 크게 부각되지 않았으며, 연안개발의 경우도 마찬가지이었다. 그러나 선진국들은 1970년대부터 자국의 자연환경보호를 위한 구체적인 행동을 취하기 시작하였으며, 1992년 우리나라를 비롯한 178개국이 참석한 유엔환경개발회의(UNCED)에서 ‘환경이 감당할 수 있는 범위 내에서의 지속 가능한 개발, ESSD(Environmentally Sound and Sustainable Development)’를 위한 ‘의제 21 (Agenda 21)’이 채택되었다.

국내의 경우도 국가경제 및 국민의식 선진화에 따라 지난 10년 동안 갯벌과 수질 등 연안생태환경에 대한 사회적 관심이 크게 제고되었으며, 이에 따라 환경보전 및 피해보상과 관련하여 연안개발 주체와 비정부환경단체(NGO) 및 지역 주민 사이의 마찰이 빈번한 실정이다.

따라서, 협소한 국토와 부존자원이 빈약한 실정에서 당면과제인 제2경제도약을 달성해야 하는 우리로서는 연안역의 효율적 이용 및 보전을 병행할 수 있는 명실상부한 ESSD 실천방안 수립이 절실하다.

항만 등 연안개발사업에 포함되는 준설, 방파제·방조제·호안 축조, 매립 등의 다양한 공사는 주변 해역의 해양환경(해수유동, 수질 및 퇴적환경 등)의 장·단기적인 변화를 유발하며, 궁극적으로

는 다양한 방식으로 연안생태환경의 변화를 초래한다(Fig.1). 특히 관련 공사 시공에 의해 발생하는 해수중의 부유퇴적물 증가는 식물성 플랑크톤의 광합성에 지장을 초래하고, 어류의 호흡 및 섭식 장애를 야기할 수 있으므로 양식 어패류의 경우 그 피해가 심할 수도 있다.

본 고찰에서는 향후 국내 연안개발공사로 야기되는 환경피해를 최소화하고 보다 적극적인 연안환경관리 방안의 기틀 마련을 목적으로, 연안공사로 인한 부유토사의 발생 억제, 확산 제어 및 시공관리와 관련하여 해양선진국에서 채택하고 있는 대표적인 정책, 기법과 국내 실정을 비교·분석한다.

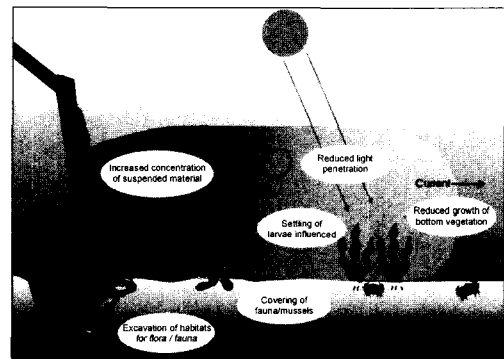


Fig. 1. Possible impacts on the ecosystem caused by dredging (IADC/CEDA, 2000).

¹ 한국해양연구원 연안·항만공학연구본부 (Corresponding Author : Won Oh Song, Coastal and Harbor Engineering Laboratory, Korea Ocean Research and Development Institute, Ansan, Seoul 425-600, Korea, wosong@kordi.re.kr)
² 한국환경정책·평가연구원 (Korea Environment Institute, Seoul 122-706, Korea)
³ 인하대학교 해양학과 (Department of Oceanography, Inha University, Incheon 402-751, Korea)

Table 1. Cumulative effect of multiple environmental windows applied to the same dredging project at Hyannis Harbor, Massachusetts (Reine et al., 1998)

	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
◦ Restriction												
- Sea Turtles							—	—	—	—	—	
- Anadromous Fish				—	—	—						
- Winter Flounder	—	—	—									
- Shellfish Spawning						—	—	—	—			
- Shorebird Mating & Nesting				—	—	—	—	—				
- Bathing & Boating Season						—	—	—	—			
◦ Construction Windows	■									■		

2. 국 외 사 례

2.1 시공시기 제한

대부분의 국가에서 연안개발사업 이전에 환경영향평가(Environmental Impacts Assessment, 이하 EIA)를 실시하지만 이와 같은 사전평가를 통과하더라도 부유토사 발생공종에 대해서는 생태계에 미치는 악영향을 줄이기 위해 그 시공시기를 제한하는 경우가 있으며, 이는 허가된 개발사업에 대해 가장 적극적인 환경피해 최소화 대책이라 볼 수 있다.

이러한 정책은 미국에서 시작되었다. 즉, 1969년 ‘국가환경정책법(National Environmental Policy Act)’이 통과된 후 주·연방의 생물자원 관련 단체가 생태계 보호를 위하여 시공시기 제한을 요구하기 시작하였으며, 이러한 제한을 ‘*Environmental Windows*’(이하 EW)라 부른다(Reine et al., 1998).

주·연방 관련 기관이 EW를 요구하는 이유는 크게 다음 7가지로 나눌 수 있으며,

- 1) 둥지 짓기 등 조류 서식활동 방해 및 서식지 파괴
- 2) 어류 및 갑각류의 산란에 영향을 미치는 퇴적 및 탁도 문제
- 3) 洄河性 어류의 이동 방해
- 4) 난·치자어 성장 교란
- 5) 바다거북 보호 (특히 養濱기간중)
- 6) 보호식물의 매몰 및 물리적 제거
- 7) 인간 여가활동 방해

준설의 경우, 펌프 준설의 66.7%, 호퍼 준설의 83.2%, 그리고 기계식 준설 84.5%에 EW가 적용되고 있다(Dickerson et al., 1998).

비록 이러한 EW가 생태계 보호 측면에서는 적극적인 방안이지만 연안개발에는 큰 제약이며, 신규 개발이 아닌 항로 유지준설에도 부과됨에 따라 많은 어려움을 초래하고 있다. Table 1은 그 대표적인 예로서, 각 단체가 요구하는 EW를 모두 수용할 경우, 연간 준설 가능 기간은 11월 중순부터 1월 중순까지 2개월에 불과하여 예외적으로 기간 연장을 허용한 경우이다.

미국의 EW가 법적 근거에 의해 요구되고 있는 반면 일본에는 관련 법령이 없음에도 지역 주민의 요구를 수용하여 EW를 실시하는 사례가 있으며, 그 대표적인 예가 고베市の 수마(須磨) 인공 해변이다(Fig.2).



Fig. 2. Suma artificial beach applied environmental windows (Kobe City, 1990).

이의 제1단계 구간 1.4km 완공에 총 22년(1967- 1988)이 소요되었으며(Kobe City, 1990), 1983년부터의 본격적인 시공은 전면의 김 양식장에 피해를 줄 수 있는 시기와 여름 휴가철을 피하여 실시하였다. 한편 이와 같은 EW의 적용으로 전면 김 양식장에 대한 피해보상은 없었다.

영국의 경우도 시공 중 발생하는 부유토사만을 취급하는 법령은 없으나 EW 적용이 점차 확대되고 있는 추세이다(John et al., 2000). 영국의 사례에서 주목할만한 것은 潮汐週期 내에서 시공시기 제한이다.

즉, 해저층 부근 수리·퇴적현상 관측시스템인 minipod의 관측결과에 따라 준설에 의한 부유토사가 알을 뱀 계가 월동하는 영역에 도달하지 않도록 창조 시에만 작업하도록 한 예(CEFAS, 1998)가 있다.

2.2 시공중 부유토사 발생 및 확산 저감

많은 경우에 부유토사 저감방안 병행수행을 전제로 관련 공사가 허가되며, 그러한 조건이 없더라도 환경피해를 최소화하기 위해서는 부유토사 발생 및 확산 저감을 위한 가능한 방안을 모색하여야 한다.

연안공사에서 부유토사 발생량이 큰 대표적인 공종이 준설이며, 대표적인 준설선별 작업시 발생량 저감 방법은 다음과 같다(John et al., 2000).

① 그랩 준설선(Grab dredgers)

- 개방형 그랩 대신 방수 그랩 사용
- 기계식 그랩 대신 유압 그랩 사용
- 수면 밖에서 토운선까지의 그랩 이동시간 단축
- 준설 후 그랩을 이용한 저면 정지작업 제한

② 펌프 준설선(Cutter suction dredgers)

- 분쇄기의 rotation 및 swing 속도와 흡입율을 부유토사 발생량 저감측면에서 최적화
- 분쇄된 퇴적물이 펌프의 흡입가능거리 이상으로 분산되지 않도록 덮개 설치
- 분쇄된 퇴적물이 흡입구 방향으로 이동하도록 분쇄기 최적설계
- 분쇄기가 퇴적층에 묻히면 흡입율보다 굴착율이 높아지므로 묻히지 않도록 함.

③ 호퍼 준설선(Trailing suction hopper dredgers)

- 예인속도, 흡입파이프 head의 위치, 펌프를 한 배출을 부유토사 발생 저감측면에서 최적화
- 흡입 流線이 굴착점과 접하면 흡입 뿐 아니라

흐름에 의해 침식이 증가하므로 흡입되는 물/ 퇴적물 혼합체 중 물의 비율을 낮출 수 있음.

- 호퍼 내의 상등수를 흡입파이프 두부로 다시 방출하여 침식율을 높임(return flow method)
- 방출시키는 물/퇴적물 혼합체에 기포가 많이 함유되면 침강을 저해하므로 기포 제거

최근, auger dredger, disk bottom cutterhead dredger 및 scoop/sweep dredger 등 준설토의 수중 유출을 저감하는 여러 종류의 준설선이 개발되고 있으며, 이들을 환경 준설선(environmental dredger)이라 한다(John et al., 2000). 흡입형의 대표적 환경 준설선은 분쇄기가 나선형인 auger dredger(Fig. 3)로서 오염된 해저면 준설 등 준설토의 수중 유출을 최대한 억제해야 할 경우에 사용한다. 나선형 분쇄기의 길이는 2-14m 정도이며, 분쇄된 퇴적물은 분쇄기 중앙부로 모여 선상으로 흡입된다. 그러나 준설 두께는 수 cm에서 1m 정도로 국한된다.

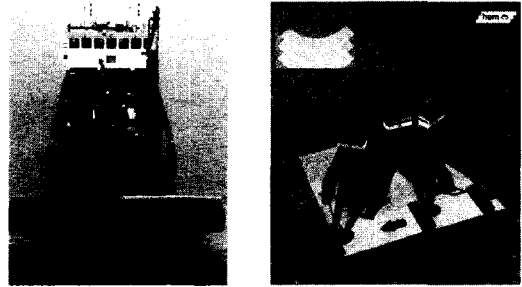


Fig. 3. Auger dredger HAM 291(left) and its swing scheme (right) (www.hamdredging.com/hamgrfx/big/hambg360.htm).

준설을 비롯한 해상공사로 유출된 부유토사의 확산을 저감하는 단순하지만 유일한 방법은 오타막방지막(silt curtain)의 설치이다.

오타막방지막은 그 효율이 흐름과 파랑 조건에 의해 크게 제한되지만 공중 및 해역조건에 적절한 형식의 방지막을 설치하면 부유토사 확산을 크게 저감시킬 수 있다. 예로서 Fig. 4는 묘박지 조성이 목적인 東京灣 준설토 투기장에 부침식 수하형과 고정식 자립형 오타막방지막을 조합·설치한 설계도이며, 부유토사의 방지막 통과를 가능한 줄이고자 수하형 하단과 자립형 상단 사이 2m를 중첩시켰다.

유속 및 파랑조건으로 미루어 오타막방지막 효율이 기대되더라도 Fig. 4와는 달리 토사 발생영역이 일정기간 유지되지 않을 경우에는 오타막방지막의 설치가 공사비 측면에서 부담이 되며, 그 대표적

인 예가 일반적으로 작업영역이 넓지 않으나 부유토사 발생량이 큰 그랩 준설선 작업시이다. 이 한 경우에는 Fig. 5와 같은 프레임형 오탁방지막을 이용하는 것이 효율적이다.

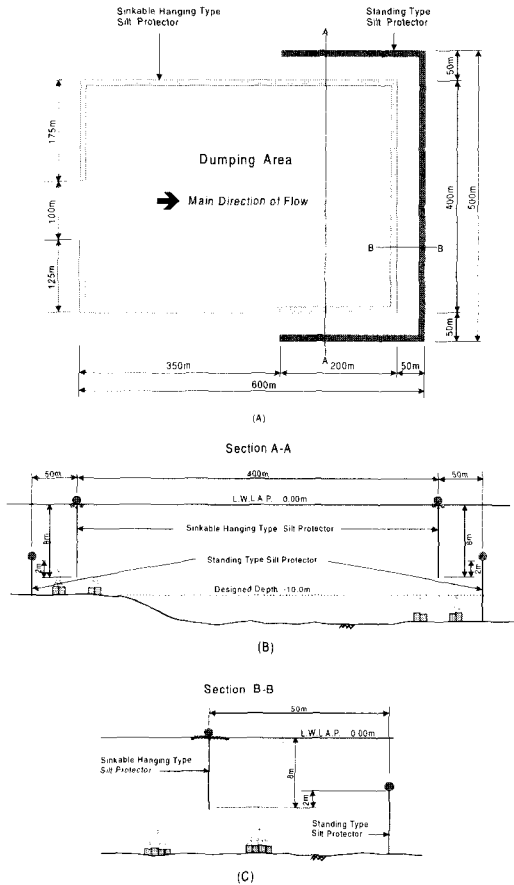


Fig. 4. Combination of silt curtains of sinkable hanging and standing types in the Tokyo Bay.



Fig. 5. Frame types of silt curtains(left : www.hamdredging.com/hamgrfx/big/hambg259.html, right: www.taiyokogyo.co.jp).

연안매립시 山), 건축 토목폐기물, 준설토 등 다양한 매립재를 이용한다. 해상 준설토를 이용할 경우, 가용한 준설구역이 인근에 있으면 펌프 준설선을 이용할 수 있지만 준설구역이 먼 경우에는 토운선으로 운반된 준설토를 매립수역 전면에 투하시킨 후 펌프선을 이용하여 이를 매립수역으로 보낸다.

汚濁防止送泥船(Anti-Pollution Soil Transporter, 이하 APST)은 이와 같이 원거리로부터의 준설토를 이용하는 매립공사 시 부유토사 확산을 최대한 억제하기 위해 최근 일본에서 건조된 6,000마력급 펌프선이다(Fig. 6, 全長×全幅×全深=143.4 m×32.2 m×19.5 m).



Fig. 6. Anti-pollution soil transporter working in front of the Tokyo Bay.

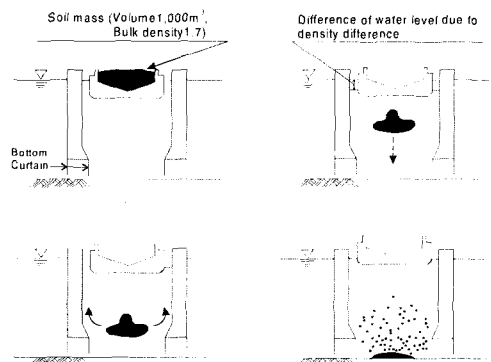


Fig. 7. Operating steps of the APST and related phenomena.

수위차가 발생하며, 이 수위차를 보상하기 위해 금속재질인 船底部 막체와 해저면 사이로 유입된 약 700m³의 해수가 상향 흐름을 형성하여 토

사덩어리의 낙하속도가 저감되며 이에 따라 토사덩어리 상부에서의 부유토사 발생도 억제되고, 일부 발생된 부유토사의 APST 외부 유출도 선저부 급속막체에 의해 차단된다 (다이코-上木주식회사 leaflet). 이와 같이 부유토사 발생이 최대한 억제되면서 APST 내에 투기된 토사는 펌프 송니관을 통해 매립지로 운반된다.

2.3 시공 중 환경감시

환경영향평가 혹은 EW 검토를 거쳐 허가된 공사일지라도 검토 시 충분히 고려할 수 없는 원인에 의해 해당 공사가 연안환경에 악영향을 미치는 경우가 발생할 수 있다. 따라서 시공에 따른 환경변화가 사전평가지 허용된 범위 이내를 유지하는지를 지속적으로 파악하여 범위를 초과할 시 적절한 대책을 수립하는 것이 필요하다.

이와 같은 시공 중 환경변화 감시 및 시공관리 체계를 효율적으로 운용한 가장 대표적인 사례가 덴마크와 스웨덴 사이 16 km에 걸친 Øresund 해협을 매립, 해저터널, 인공섬 및 교량으로 연결하는 'Øresund Link Project(1995-2000)'이다.

Øresund 해협은 부유퇴적물 농도가 1-3 mg/l인 청정해역으로서 수심 8 m까지 海藻類가 서식하며, 인근 섬은 람사협약에서 지정한 鳥類보호구역인 관계로 준설시 발생하는 부유토사 유출한계를 총 준설량(7.5백만 m³)의 5%로 제한하였다.

이 사업에서의 시공 중 환경관리는 두 개의 독립적인 프로그램으로 수행되었다. 첫째는 발주자 책임하에 수행되는 'Feedback Monitoring'이며, 둘째는 도급자 책임하에 수행되는 '탁도조기경보체계(Turbidity Early Warning System)'이다 (Jensen, 2001; Jansen 2001).

미국에서는 'Adaptive Management'라고도 불리는 피드백 모니터링(Fig. 8)에 포함된 주요 환경인자 모니터링은 '탁도·퇴적 모니터링 프로그램', 'Eelgrass 프로그램', 'Mussel 프로그램'으로 구성된다.

탁도·퇴적 프로그램은 수치모형의 검보정 및 시공관리를 위해 수행되었으며, 준설 및 매립 시작부터 매주 수 일 동안 광탁도계, ADCP, sediment trap, sidescan sonar, 수중 비디오 촬영, 인공위성 등을 이용하여 수행하였다.

海藻類 Eelgrass의 경우, 성장기인 3-11월 동안 매달 둘째 주에 서식밀도, 무게 등을 측정하였으며, 관측 구역은 준설과 매립이 진행되는 곳과 수치모형 예측치를 참고하여 설정하였다. Mussel

(홍합)도 매달 둘째 주에 조사하였으나 Eelgrass와는 달리 연중 지속적으로 수행하였다.

준설 도급자는 총유실율 5%를 감안하여 계절별 및 일당 한계유실량을 시공 전에 설정·보고하여야 하며, 준설지점으로부터 200 m 떨어진 단면에서 준설 플룸의 부유토사 농도 및 유속을 24시간 관측하여야 한다(Fig.9). 이러한 관측자료는 관리자 및 조기경보체계에 실시간으로 전송되며, 농도가 사전 설정된 한계치를 초과할 우려가 있으면 준설을 일시 중지한다.

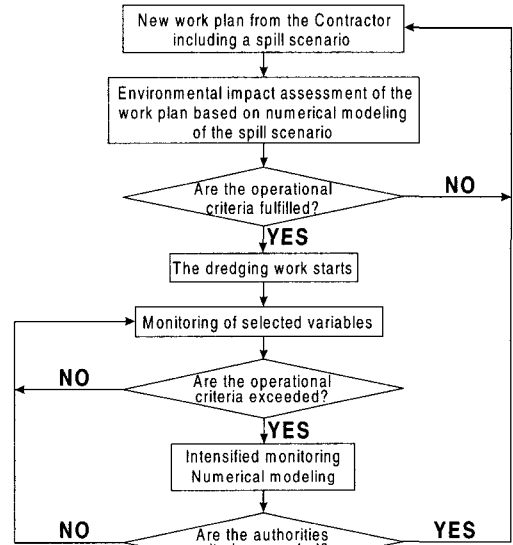


Fig. 8. Principles of feedback monitoring (Jensen, 2001).

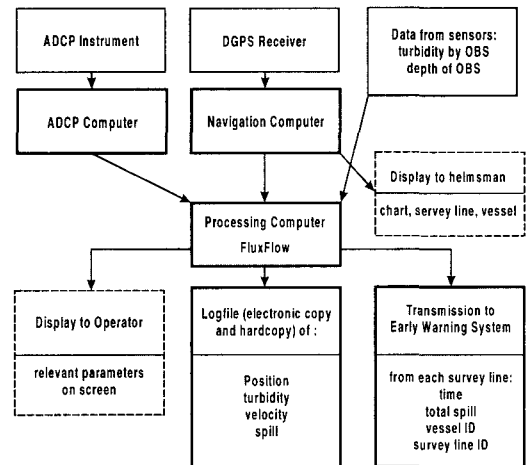


Fig. 9. Computer operating scheme of plume monitoring for early warning system(Jansen, 2001).

한편, 홍콩에서는 국제테마공원 조성을 위한 대규모 연안매립이 2005년 완공을 목표로 수행되고 있으며, 오탁방지막 주변의 부유토사 농도를 관측하여 홍콩 환경국에 송신하는 실시간 시스템 2기를 운용하고 있다(Mouchel Asia Ltd., 2002).

3. 토 의

연안공사로 인해 발생한 부유토사가 연안생태계에 미치는 악영향을 저감할 수 있는 방안을 세 가지, 즉 시공시기 제한, 시공 중 부유토사 발생 및 확산 저감, 그리고 시공 중 환경감시체계 측면으로 구분하고, 각각에 대한 대표적 국외 사례를 살펴보았다.

그러나 상기 사례들이 특정 연안개발사업을 명실상부한 ESSD로 수행하기 위한 최선의 방안은 아니므로, 각각의 장단점과 지역적 현실을 종합 분석하여 최적방안을 도출하는 것이 타당할 것이다.

이에 본 절에서는 상기 사례들에 관해 알려진 혹은 발생가능한 문제점과 국내 실정을 종합적으로 검토한다.

3.1 Environmental Windows

EW의 가장 큰 문제점은 환경관련단체의 EW 요구 근거가 일관성이 없으며, 보호 근거에 대한 정량적인 자료가 극히 빈약한 채 주관적 견해에 의존하는 경우가 많다는 것이다. 이에 따라 여러 지방단체를 통과하는 水路의 동일 자원 보호를 위한 EW 요구기간이 단체마다 다를 경우가 많으며 (Reine *et al.*, 1998), 심지어 요구하는 EW 시행 근거에 반대되는 기술적이고 정량적인 자료가 있음에도 채택된 경우도 있다(LaSalle *et al.*, 1991).

EW로 인해 미국에서 가장 큰 곤란을 겪고 있는 기관은 항로 준설을 담당하고 있는 육군공병단 (US Army Corps of Engineers, 이하 USACE)이다. 즉, 대부분의 단일 준설에 대해 다양한 기관이 EW를 요구함에 따라 연중 작업 가능기간은 생물 활동이 적은 동계절로 국한된다. 동계에는 악기상 및 악해상 조건으로 인해 같은 기간의 타 계절에 비해 작업일수가 적을 수밖에 없으며, 작업요원의 안전사고 발생 확률이 높고, 준설선 이상에 대처하기가 어려우며, 시간의 근무가 늘어남에 따른 인건비 부담도 크다.

이러한 어려움은 魚群 이동경로 예측 수치모형 개발 (Ault *et al.*, 1998) 등 준설에 의한 생태계

변화 예측에 관한 USACE의 연구를 촉진시켰다. 그러나 아직까지 미국의 경우는 EW에 의한 경제적 손실이 크며, 생태자원을 효율적으로 보호하고 준설 경비 효율화를 도모하기 위해서는 EW 근거에 대해 기술적 타당성을 갖는 엄격한 연구가 필요한 실정이다(Dickerson *et al.*, 1998).

이와 같은 미국의 사례는 연안 생태환경에 대한 신뢰성 있는 자료가 구축되어 있지 않은 채 EW에 법적권한을 부여하는 것은 시기상조임을 의미한다.

국내의 경우도 관련 기술수준에 비추어 미국보다 상황이 나을 이유는 없을 것으로 판단된다. 따라서 EW가 법제화되어 있지 않은 일본과 영국의 사례와 같이 선택적으로 적용하기 시작하고, 관련 기술 및 자료를 축적하면서 적용범위를 점차 확대하는 것이 타당할 것으로 사료된다.

그러나 공기 연장 등 관련 사업 추진에 부정적인 측면을 수반할 수밖에 없는 EW를 개발주체가 자발적으로 시행하기를 기대하는 것은 환경의 중요성을 아무리 주장하더라도 현실적으로 무리이다. 따라서 日本 須磨人工海濱의 경우와 같이 EW를 시행함에 따라 대상 자원 보호가 확실할 경우에는 개발자가 어업피해보상으로부터 자유로울 수 있도록 지역주민과의 협의가 선행되어야 할 것으로 판단된다.

3.2 부유토사 발생·확산 저감

Jin *et al.* (2003b)이 국내 최초로 실시한 준설에 의한 부유토사 발생률 조사에 따르면, 대상 준설선 모두 부유토사 발생을 억제할 수 있는 이른바 환경 준설선이 아니다.

특히 해저면 쇄암 후 그랩 준설시의 발생률이 100 kg/m³ 이상으로 높으며, 이는 암편으로 인해 그랩이 완전히 닫히지 않은 채 올려짐에 따라 많은 토사가 유실되기 때문이다. 따라서 기계식 그랩이 아니라 수중에서의 그랩 개폐 여부를 작업자가 파악할 수 있고 그랩 내 토사의 유출을 방지할 수 있는 유압·방수식을 사용한다면 그 발생률을 크게 줄일 수 있을 것이다.

한편 진 등(2003)에 따르면 국내의 오탁방지막 설치·유지관리 실태는 개선의 여지가 상당히 다분하다. 이의 일차적인 원인은 효율에 관한 사전 검증 절차 없이 방지막을 설치하는 것이다. 이에 따라 흐름 및 파랑 조건상 효율을 기대하기 어려운 해역에 설치되는 경우가 빈번하며, 그 비효율성과 예산부족으로 인해 적절한 유지관리가

수반되지 않아 방지막 자체가 환경 쓰레기화 되는 경우도 있다.

따라서 EIA 단계에서 오타방지막의 효율을 충분히 검토하는 것이 필요하며, 특히 대규모 연안개발시에는 홍콩의 경우(Mouchel Asia Ltd., 2002)와 같이 사전현장실험을 실시하는 것이 바람직할 것이다.

아울러 발생량이 높은 그랩 준설선의 경우에는 유속 조건이 만족되면 프래임형 방지막을 이용하는 것이 효과적일 것이다.

3.3 Feedback Monitoring

EIA를 통해 환경 측면에서의 시행 타당성이 인정된 연안개발사업일지라도 시공 중 주요 환경인자를 지속적으로 모니터링하여 사전평가시 허용범위 이상의 환경 악영향이 발생할 경우에는 사업의 일시중지는 물론 EIA를 전면 재시행하는 피드백 모니터링(이하 FM)은 EW에 비해 보다 진화된 ESSD 방안이라 볼 수 있을 것이다.

그러나 효율적인 ESSD를 위해 FM이 필요하다는 것은 현 기술수준으로는 EIA가 불확실성을 내포할 수밖에 없음을 반증하는 것이다. 따라서 최신의 기법과 충분한 현지자료를 확보하여 EIA의 신뢰도를 제고함이 ESSD의 선결과제일 것이다.

국내의 경우도 사전 EIA와 사후환경조사가 법제화되어 있으므로 FM을 위한 골격은 구축되어 있으나 평가기간 및 조사항목 선정 등 몇 가지 개선의 여지가 있는 것으로 판단된다.

현재 국내의 연안개발 주체는 사업시행을 위한 EIA를 전문기관에 의뢰하여 수행함과 아울러 시공 전 혹은 시공 중 지역어민이 문제를 제기할 경우에는 피해영향조사를 EIA와는 별도로 실시하고 있다. 엄밀한 의미의 EIA란 공사로 인한 주변 연안생태계 변화를, 지역 어민의 소득원이 되는 주요 생물자원의 피해정도에 관한 별도의 조사가 불필요할 정도로 예측·평가하여야 할 것이다. 이러한 이중평가의 원인은 EIA 평가항목이 규격화되어 있어 양식 어패류 등 주요 생물자원의 지역적 특성을 충분히 반영하지 못하기 때문으로 판단된다. 또한 피해영향 조사기관과 EIA 수행기관이 일치하지 않음에 따라 동일 지역에 대한 기초조사자료 및 예측치가 상이할 경우도 발생하고 있다.

따라서 피해영향조사를 고려하지 않더라도, 연안공사로 인한 부유토사가 미치는 환경 악영향을 보다 신뢰성 있게 파악하고 이를 저감할 수 있는

최적방안 도출을 위해서는 현재의 EIA 평가항목, 조사기간 등을 지역 환경 특성이 충분히 반영되도록 보완하여야 할 것으로 판단되며, 주요 조사항목 선정시 지역주민 의견을 반영하는 것도 한 방법일 것이다.

수치모형의 한계와 연안생태계의 복잡성으로 미루어 시공 중의 주요 환경인자 모니터링은 ESSD를 위해 필수적이다. 국내의 경우도 사업시행자가 시공 중에 환경조사를 주기적으로 실시하여 감독기관에 보고해야 함이 법제화되어 있다. 그러나 그 조사 항목 및 빈도가 EIA와 같이 규격화되어 있어 지역 고유의 환경 변화 파악에는 부족하다. 즉, Øresund 사업의 경우, 탁도·퇴적은 준설·매립 기간 동안 每週 數日에 걸쳐, Eelgrass는 3-11월 동안 每月, Mussel은 年中 每月 모니터링하였으며, 준설선 하류측 200m 떨어진 단면을 통과하는 부유토사량을 24시간 지속적으로 관측한 반면, 국내의 경우 조사항목은 상대적으로 많으나 대부분 계절별 관측에 그치고 있어 공사로 인한 악영향 추적에는 부족한 실정이다.

한편, 조사선을 이용한 연안환경 모니터링은 해상상태의 제약을 받으므로 자료의 연속성에 한계가 따른다. 이에 최근에는 대상 해역 주요 정점에 수 개의 관측부이를 설치하여 관련 환경인자를 실시간으로 파악하는 시스템의 운용이 범용화 되고 있는 추세이다(Fig. 10).

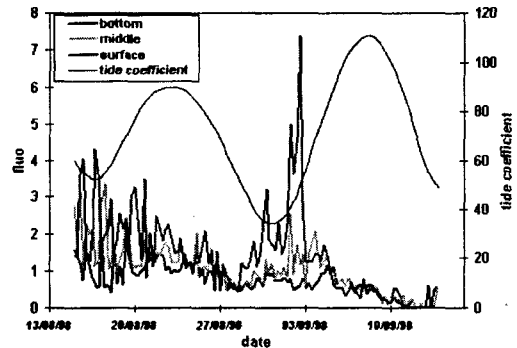


Fig. 10. Sample results of a real-time monitoring buoy(Marel) of Ifremer showing increase of chlorophyll at surface layer during a phytoplanktonic bloom (www.ifremer.fr/en/presentation.html).

국내에서도 법제화된 조사만으로는 효율적인 ESSD 달성에 한계가 있음을 인식하고 보완관측을 실시하기 시작하였으며, 그 대표적인 예가 부산항건설사무소(2002)가 2010년 완공을 목표로 건

설 중인 부산신항에서 운용중인 실시간 모니터링 시스템이다(Fig. 11). 이 시스템은 Jin *et al.*(2003a)이 개발한 자동증강식 수질 모니터링 부이 2기를 이용하여 부유토사 발생원 인근의 탁도, 수온, 염분 등을 실시간으로 제공하고 있다.

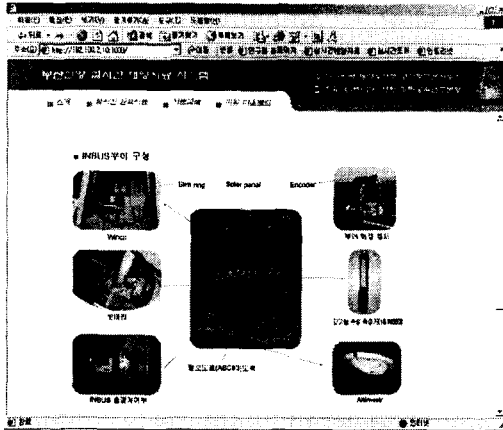


Fig. 11. Real-time water quality monitoring system operating in Busan New Port under construction (Office of Construction Division, Busan Regional Maritime Affairs and Fisheries, 2002).

이상을 종합하면 별도의 피해영향조사가 불필요한 수준, 즉 지역 환경특성 및 생물자원 변화를 사전 EIA가 충분히 평가함이 ESSD를 위한 선결과제이다. 한편 공사 중의 환경변화 모니터링 시에는 모든 해역 공히 적용되는 최소한의 법적 조사항목에 추가하여 해당 해역 고유의 생물자원의 변화추이를 심도 있게 파악하고, 시공으로 인한 피해 정도가 EIA의 예측치에 근거한 허용치를 초과할 경우 공사강도를 조절함이 필요할 것이다.

4. 결론 및 제언

이상으로 연안공사로 인해 발생한 부유토사의 환경 악영향을 저감할 수 있는 방안을 세 가지, 즉 시공시기 제한, 시공 중 부유토사 발생 및 확산 저감, 그리고 시공 중 환경감시체계 측면으로 구분하고, 각각에 대한 대표적 국외 사례와 국내 실태를 비교·검토하였으며, 이를 토대로 우리나라 실정에서 연안개발사업을 ESSD로 추진하기 위해 취해야 할 효율적인 방안을 살펴보았다. 이를 요약하면 다음과 같다.

시공시기 제한의 경우, 보호가치가 특별히 높은 경우부터 선택적으로 적용하기 시작하고, 관련 기술 및 자료를 축적하면서 적용범위를 점차 확대하는 것이 바람직하다. 그러나 시공시기를 제한함으로써 대상 자원 보호가 확실할 경우에는 개발자가 어업피해보상으로부터 자유로울 수 있도록 지역주민과의 협의가 선행되어야 할 것이다.

부유토사 발생·확산 저감을 위해서는 우선 환경 준설선의 이용을 확대하고 특히 그랩 준설선의 경우 유압·방수 그랩을 사용하면 발생량을 크게 줄일 수 있다. 아울러 오타방지막은 설치 이전에 그 효율을 검증하고, 필요할 경우 현장실험을 수행하는 것이 바람직하다.

마지막으로, 사전환경영향평가는 별도의 피해조사가 필요 없을 정도로 해당 해역 특성 및 자원 변화를 충분히 검토하여야 하며, 시공 중 충분한 환경인자 모니터링을 통하여 악영향 초과시 저감방안을 강구해야 할 것이다.

감사의 글

본 연구는 해양수산부 지원으로 수행한 ‘부유토사 발생량 평가 및 오타방지막 효율에 관한 연구 용역 (2000-2002)’의 연구결과 중 일부이며, 본 사업의 개발 및 관리를 위해 수고하신 해양수산부 담당자에게 감사를 드립니다.

참고문헌

- 부산항건설사무소, 2002. 부산신항 해양수리현상 및 사후환경조사 연구개발용역(3차) 보고서, 제1권 해양수리현상편.
- 진재율, 송원오, 명준호, 오영민, 채장원, 안희도, 박진순, 오재경, 2003. 오타방지막 설치·유지관리 지침(案), 本券.
- Ault, J.S., Lindeman, K.C. and Clarke, D.G., 1988. FISHFATE: Population dynamics models to assess risks of hydraulic entrainment by dredgers, *Technical Note, DOER-E4*, U.S. Army Engineer Research and Development Center, Vicksburg, MS.
- CEFAS, 1998. Impact of dredger plumes on Race Bank and surrounding area - Short Version. Internal CEFAS report.
- Dickerson, D.D., Reine, K.J. and Clarke D.G., 1998.

- Economic impacts of environmental windows associated with dredging operation, *Technical Note, DOER-E3*, U.S. Army Engineer Research and Development Center, Vicksburg, MS.
- IADC/CEDA, 2000. Effects, ecology and economy. *Environmental Aspects of Dredging*, Vol. 6.
- Jansen, E.F.P., 2001. Spill monitoring. *Dredging and reclamation*, N. J. Gimsing and C. Iversen eds, The Øresund Technical Publications.
- Jensen, A., 2001. Environmental investigation. *Dredging and reclamation* N.J. Gimsing and C. Iversen eds, The Øresund Technical Publications.
- Jin, J.-Y., Park, J.S., Lee, J.K., Hwang, K.C., Chae, J.W. and Kim, S.D., 2003a. An intelligent profiling buoy: INBUS. (in preparation)
- Jin, J.-Y., Song, W.O., Park, J.S., Kim, S.E., Oh, Y.M., Yum, K.D. and Oh, J.K., 2003b. Evaluation of turbidity generated by cutter suction and grab dredgers, *Proc. Conf. Korean Soc. Coastal and Ocean Engrs.*, this volume.
- John, S.A., Challinor, S.L., Simpson, M., Burt, T.N. and Spearman, J., 2000. Scoping the assessment of sediment plumes from dredging. *Pub. No. CIRIA C547*, Construction and Industry Research and Information Association of the UK.
- Kobe City, 1990. Suma artificial beach. (leaflet in Japanese)
- LaSalle, M., Clarke D., Homziak, J., Lunz, J. and Fredette, T., 1991. A framework for assessing the need for seasonal restrictions on dredging and disposal operations, *Technical Note, D-91-1*, U.S. Army Engineer Research and Development Center, Vicksburg, MS.
- Mouchel Asia Limited., 2002. Infrastructure for Penny's Bay Development-Contract 1 / Quarterly environmental monitoring and Audit (EM&A) *Report (No.2) March 2002-May 2002-Rivision A*.
- Reine, K.J., Dickerson, D.D. and Clarke D.G., 1998. Environmental windows associated with dredging operation, *Technical Note, DOER-E2*, U.S. Army Engineer Research and Development Center, Vicksburg, MS.