

오탁방지막 설치·유지관리 지침(案) A Proposed Guidance on the Installation and Maintenance of Silt Curtains

진재율¹·송원오¹·맹준호²·오영민¹·채장원¹·안희도¹·박진순¹·오재경³
Jae Youll Jin¹, Won Oh Song¹, Jun Ho Maeng², Young Min Oh¹,
Jang Won Chae¹, Hee Do Ahn¹, Jin Soon Park¹ and Jae Kyung Oh³

1. 서 론

준설, 매립 등의 해상공사가 해양환경에 영향을 미치는 주요인은 공사 중 발생하는 부유토사이다. 이러한 부유토사는 주변 해역으로 확산되어 여러 방식으로 해양생태계에 피해를 유발할 수 있으며, 발생 가능한 피해의 범위와 정도는 부유토사 발생율과 해저퇴적물 입도분포 및 주변 유속에 따라 결정된다.

부유토사로 인한 환경피해를 저감시키기 위한 방법 중의 하나가 오탁방지막(이하 방지막)의 설치이며, 국내 대부분의 연안개발 공산시 방지막 설치를 거의 의무화하고 있다(예: 해양수산부, 1996).

그러나, 방지막의 효율은 공중, 설치방법, 주변 수리조건 및 부유토사 입경의 지배를 크게 받으며, 부적절하게 설치될 경우 경제적 손실 뿐만 아니라 환경 악영향을 유발할 수도 있다(Ooms, 1997; Shaw *et al.*, 1998; John *et al.*, 2000; 및와 宋, 2002).

국내의 경우, 방지막 설치에 막대한 예산을 투입함에도 불구하고 대부분 그 효율에 대한 사전검증 없이 공중과 수리조건을 충분히 고려하지 않은 채 일률적으로 설치함으로써 효과가 의심스러운 경우가 많다.

이와 같은 방지막 관련 국내 실정이 비효율적임에도 그동안 관련 연구가 수행된 바가 거의 없다. 이에 본 논문에서는 국내의 방지막 설치·유지관리 실태 및 효율조사 성과와 국외 방지막 설치기준을 수집·분석하여 방지막의 효율적인 설치·유지관리방안을 제시한다.

2. 국내 설치·유지관리 실태

Fig. 1에 제시한 서해안 3개, 남해안 4개, 그리고 동해안 3개, 총 10개 현장을 방문하여 국내의 방지막 설치 및 유지관리 실태를 조사함과 아울러 현장근무자의 의견을 수렴하였으며, 그 주요 결과를 Table 1에 제시하였다.

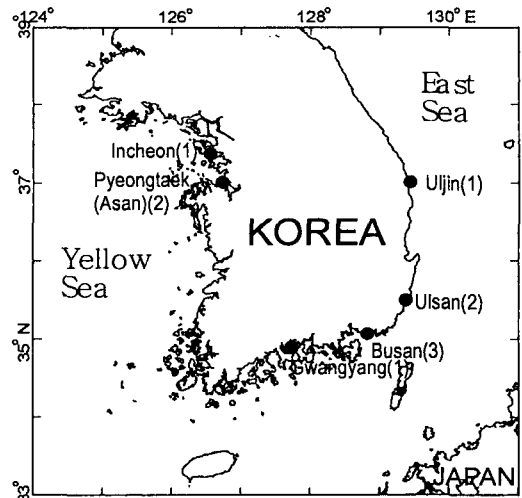


Fig. 1. Survey sites of the situations of installation and maintenance of silt curtains.

1 한국해양연구원 연안·항만공학연구본부 (Corresponding Author : Jae-Youll Jin, Coastal and Harbor Engineering Laboratory, Korea Ocean Research and Development Institute, Ansan, Seoul 425-600, Korea, jyjin@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. Domestic cases of the installation and Maintenance of silt curtains

설치위치	공사내용	설치·유지관리 개요	현장근무자 의견
인천	LNG 인수기지 남측 항로 준설 (6,000hp, 펌프준설선)	-동서 방향 항로 남북측 두 단면에 각각 연장 11km의 방지막 설치 -설치단면 평균수심 약 10-12m -막체폭 5m -외관상 부유토사 발생을 확인할 수 없음 -3개월 경과된 조사 시점에 일부 구간 부력체가 수면 아래로 잠김. 인은 막체에 부착된 생물의 하중 때문으로 이를 보수하고 있었음 -매립지역 내측에 2重 방지막 설치	-부착생물이 가장 큰 문제이며 방지막 설계시 이를 감안하여 부력체 크기를 설계하여야 함. -펌프 준설선 작업시 부유토사 발생이 거의 없어 방지막이 불필요함. -방지막 유지관리비 및 교체비용을 사업비에 포함시켜야 함.
평택(아산)항-1	호안공(케이스 거치)	-조사 당시 케이스 거치중이었으며, 방지막은 공사지역에서 약 150m 이격시켜 설치됨.	-서해안은 부유퇴적물 배경농도가 높아 방지막의 효과가 의문시 됨. -만약 방지막을 설치한다면 그랩준설시만 설치하거나 주변에 양식장이 있을 경우에 한에서 설치하는 것이 바람직함. -서해안의 경우 빠른 유속으로 인하여 방지막 유지관리가 어려움.
평택(아산)항-2 (Fig. 2)	매립공	-호안 조성 해상공사는 끝난 상태 -호안 둘레 약 400m에 걸쳐 설치 (호안과 방지막간의 거리 약 30m) -막체폭 2m -설치 1년 3개월 경과한 조사 당시 방지막 상태는 양호하였으나 간조시 막체가 조간대에 노출	-방지막 설치효과를 알 수 없음. -원인이 매우 많은 지역으로 방지막 유지관리를 철저히 하고 있음. -호안이 이미 조성되고 부유토사 발생공중이 없어 방지막을 철거하여도 무방할 것으로 판단되나, 발주처에서 사업이 종료시까지 계속 설치를 원함. -사업기간중 일부 파손된 곳을 교체하였음.
광양항	호안공	-설치 1년 6개월이 경과한 조사 당시 90% 이상 훼손 -오타방지막 총연장은 5,460m로 5년간 계속해서 설치하는 것으로 계획	-훼손 원인은 앵커블럭이 퇴적층으로 침하됨에 따른 계류라인 절단. -유지관리비가 사업비에 포함되어 있지 않음. -오타방지막 효과를 알 수 없음.
부산신항 (Fig. 3)	사석투하 및 그랩준설	-오래된 곳은 설치후 1년 이상 경과되었으며, 훼손된 곳은 교체하였음. -유속이 약하고 파랑의 영향을 직접 받지 않아 다른 현장에 비해 방지막 상태 양호 -조류방향과 평행하게 설치되어 1년 이상되어도 다른 곳보다 상태가 양호 -수중촬영결과 막체는 훼손되지 않았으나 부착생물이 많음.	-파랑에 의한 훼손보다는 부착생물 문제가 심각 -주로 4-7월에 상당히 많이 부착하고 9월경부터 떨어져 나감. -타 해역에 비해 유속이 약하고, 파랑의 영향을 크게 받지 않아 유지관리를 잘 하면 방지막 평균 수명이 1년 이상이지만 교체하는 것이 저렴함. -사업비에 방지막 유지관리비가 포함되지 않는 것이 문제임. -부력체의 내구성은 마디형(1m)보다는 일체형(20m span)이 양호함.
부산항-1 (Fig. 4)	사석투하	-공사지점으로부터 약 100m 이격시켜 수하식을 이중으로 설치 -방지막사이의 거리는 약 30m -방지막 총연장은 약 5,940m -일체형 부력체의 상태는 양호하나 촬영결과 막체 훼손이 심하며, 부력체와 막체에 부착생물이 많음.	-공사 초기에는 제대로 관리했으나 조사 당시에는 부력체만 관리함. -초기 준설시 방지막의 효과가 입증되었다고 하지만 조사 당시에는 부유토사 발생공중이 없어 효과 검증 못함.
부산항-2	호안공	-설치 약 5개월 경과. 외관상 부력체 상태는 양호하였으나, 막체 상태는 확인하지 못함. -2組의 방지막을 일직 간격을 유지하지 않고 서로 겹쳐서 설치	-유지관리를 철저히 하고 있으며, 조사 당시까지 잘 유지되고 있음.

Table 1. (Cont'd)

설치위치	공사내용	설치·유지관리 개요	현장근무자 의견
울산-1	선회장 준설 및 블록 거치	-당초 계획은 만 입구에 총 160m(막체폭 5m)로 설치하는 것이었으나, 선박 동행에 방해되어 안벽공사쪽으로 이동하여 설치 -공사시작 3개월 경과 시점에서 막체 일부가 찢겨짐.	-해저면이 풍화암으로 구성되어 부유토사의 발생이 거의 없음. -방지막의 설치 주목적은 부유토사 확산저감보다는 민원의 사전차단임. -동해안에서는 방지막의 유지관리가 사실상 어려움.
울산-2	방파제 사석공	-수심 20m, 설치연장 260m, 막체폭 5m -설치 2개월 경과한 시점에서 부력체 일부가 가라앉음.	-방지막의 평균수명이 한 달 이하임. -특히 폭풍주의보 후 50% 이상 유실됨. -일반적으로 방지막의 설계수명은 12개월로 설계에 포함시키나 본 해역에서는 설계 평균수명이 1-2개월이기 때문에 정상적인 상태로 유지하기 위해서는 많은 비용이 소요됨. -시반집하와 퇴적으로 인하여 앵커블록 회수율이 50% 이하임.
울진 (Fig. 5)	사석방파제 연장	-설치연장 160m, 막체폭 5m -조사 당시 설치 3개월 경과된 상태 -공사편의를 위해 공사지점으로부터 약 300m 이격시켜 설치하였으나, 항행 여선과의 충돌로 인하여 훼손되었음. -부착생물 없음. -공사지점으로부터 오타방지막까지의 거리가 너무 떨어진 것이 문제임.	-사석투하에 의한 부유토사 발생이 거의 없음. -동해안은 방지막 유지관리가 어려움. -실제로 방지막 효과가 없다고 판단됨.

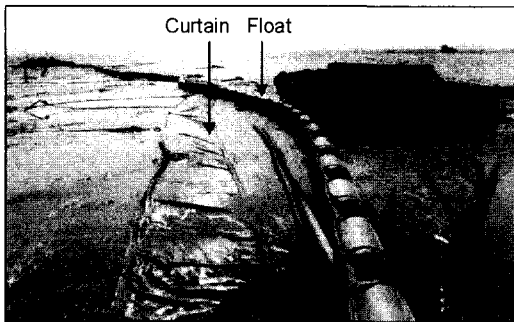


Fig. 2. Silt curtain lying over the tidal flat in the Asan Bay.

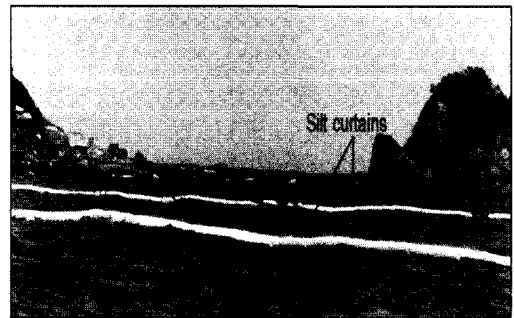


Fig. 4. Dual silt curtains of fixed hanging type at Busan Port.

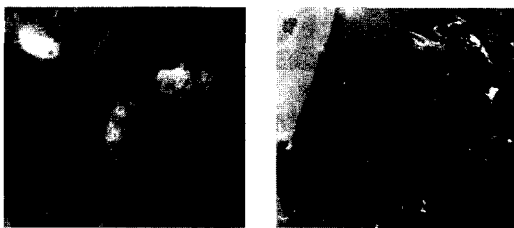


Fig. 3. Biofouling on the silt curtain at Busan New Port in 2 months (left) and 1 year (right) after installation.

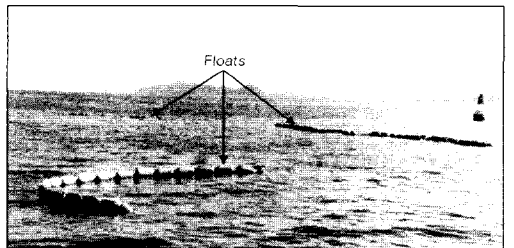


Fig. 5. Silt curtain broken by colliding with fishing boats in Uljin.

3. 국외사례

3.1 오타카방지막 설치 사례

관련 연구, 방지막의 종류, 시장 등 방지막에 관한 한 일본은 세계에서 가장 앞섰다고 볼 수 있다. 오사카항과 토오쿄오灣의 예를 요약하면 다음과 같다.

3.1.1 오사카항

- 대상공사 : 인공섬 조성을 위한 매립
- 설치개요
 - 대상해역 수심 13-14m, 설계파고 2.5m (주기 6초)
 - 매립지 둘레 약 7-8km에 걸쳐 2중 설치 (Fig. 6)
 - 내측: 固定式 自立型
 - 외측: 固定式 垂下型 (공사용 선박 통행구간은 浮沈式 垂下型)
 - 고정 수하형: 막체폭 4m, 앵커볼력 3×3×1.55m³
 - 부침 수하형: 막체폭 4m, 앵커볼력 2.5×2.5×1.65m³
 - 고정 자립형: 막체폭 8m, 일체식 (200m/span)
 - 총설치비: 200억원
- 현장근무자의 의견
 - 호안 공사 기간(2~3년)만 방지막을 설치
 - 막체 부착생물 문제는 크지 않음.
 - 태풍 내습시 부침식 부력체의 공기를 방출시켜 막체를 침수시키고, 고정식은 막체를 말아놓으며, 200~300m 간격으로 연결 부위를 풀어놓음.
 - 앵커볼력은 공사 완료후 100% 수거함.
 - 일본의 경우 일반적으로 파고 3.0m 이상인 해역에서는 방지막을 설치하지 않음.
 - 방파제 공사시 및 펌프 준설시에는 방지막을 설치하지 않으며, 매립 및 그랩 준설시에만 설치함.
 - 방지막 유지관리는 해당 공사 시공자가 수행
 - 일본에서도 방지막 설치 지침서가 없으며, 국내와 마찬가지로 사업시행전 환경영향평가시 사업자가 방지막 설치 운영에 대한 계획을 수립하고 환경영향평가서에 반영하여 각 지방자치단체 및 환경부와 협의함.

3.1.2 토오쿄오灣

- 매립 및 항로 준설
- 매립시는 오타카방지막을 이용하므로 방지막을 설치하지 않음.
- 항로 준설시는 프레임형 오타카방지막 사용(Fig.7)

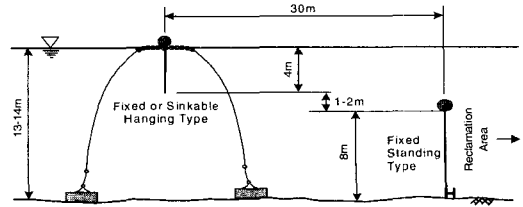


Fig. 6. Combined silt curtains in the area of Osaka Port.

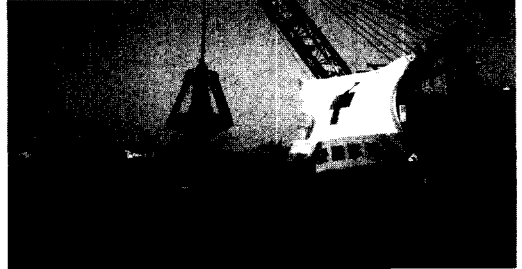


Fig. 7. Mechanical grab dredger working with a framed silt curtain in the Tokyo Bay.

3.1.3 Øresund 매립

한편 덴마크의 RO-CLEAN DESMI A/S 社는 해상 유출유 확산 防材(boom)를 응용하여 설치와 회수가 용이한 오타카방지막, RO-BOOM을 제작하여 연안매립지에 응용하였다(Christensen and Kock, 1997). RO-BOOM에는 폭 125cm의 air chamber가 있으며, 각 chamber에 채워지는 500리터의 압축공기가 일반적인 수하형 방지막의 부력체 역할을 한다. Fig. 8은 Øresund Link 사업의 일부로 수행된 연안매립시 RO-BOOM 방지막을 매립수역의 통선문으로 사용한 예이다.



Fig. 8. Application of a boom as a gate silt curtain (Jensen, 2002).

3.2 국외 설치 지침

방지막의 효율에 관한 과학적인 연구성과는 많지 않지만 그 동안의 조사와 설치·유지관리 경험을 토대로 국외에서 보고된 주요 조건별 설치기준은 Table 2와 같다. 이에 따르면 유속 20-50 cm/s, 파고 1-2 m 이상인 해역과 호퍼 및 펌프준설선과 같이 이동성이 높은 준설선의 경우에는 방지막 설치를 권장하지 않음을 알 수 있다.

Table 2. Selected foreign guidances on the efficiency criteria of silt curtains

조사자	조건별 효율 지침
Elastic/ AmericanMaine Inc.	-유속이 50cm/s 이상이거나 -풍속이 강하고 파고가 높은 곳 -그리고 방지막을 자주 옮겨야 하는 호퍼 및 펌프준설선 작업시에는 설치하지 않음. -유속이 약 6cm/s 이하인 곳에서의 효율은 80-90% -유속이 50cm/s인 곳에서 막체폭 1.5m의 유효 막체폭은 0.9m -방지막의 실질적인 성능한계유속은 45cm/s
IHC Holland	-정지준설(grab, backhoe 등) 경우에만 사용하는 frame 형 방지막의 작업한계유속은 약 30cm/s
海洋開發工事 安全公害對策本部 ¹⁾ (1989)	-다음 기준을 초과하면 부유토사 확산저감 효과를 기대하기 곤란 · 풍속 20m/s · 파고 2m · 유속 20~30cm/s
St. Lawrence Center (1993)	-수심 6.5m 이상이거나 -유속 50cm/s 이상인 곳에서는 사용하지 말 것
OMOE ²⁾ (1994)	-유속 50cm/s 이상이거나 -파고 1.0m 이상인 곳에서는 효과 없음
MMS ³⁾ (1996)	-유속이 50cm/s 이상인 곳에서는 사용하지 말 것 -항내, 하구역과 같이 정온해역에서만 사용할 것 -규모가 작은 준설일 경우에만 유용 -준설지점이 빠르게 이동하는 곳에서는 사용이 제한적 -방지막을 이동 설치할 경우 부유토사 발생
IADC/CEDA ⁴⁾ (1998, 1999)	-Medium silt ~ coarse sand에서 효과 있음 -정온해역에서 효과 있음 -설치시 다음 사항을 고려해야 함 · 수심 · 해저지형 · 퇴적물 입경분포 · 퇴적물 광물학적 조성 · 수리조건
John et al.(2000)	-유속이 50cm/s 이상인 곳에서의 사용은 부적절 -정지준설(grab, backhoe 등)인 경우에만 효과 있음 -이동시 특별한 주의를 하지 않으면 악영향 발생 -항상 효과가 있는 것이 아니므로 설치 경비와 발생가능 문제를 면밀히 검토하여 더 나은 대책이 있는지를 파악할 것
USACE ⁵⁾ et al. (2001)	-유속이 0.5~1.0m/s 이하인 곳에서 사용할 것

1) 일본 방지막 관련 업체에 대한 설문조사 결과

2) Ontario Ministry of Environment

3) Minerals Management Service, US Department of Interior

4) International Association of Dredging Contractors / Central Dredging Association

5) US Army Corps of Engineers

4. 토 의

특성에 따른 문제로 나눌 수 있다.

4.1 국내 오타방지막 설치·관리상 문제점

국내 총 10개 현장에서의 조사에 따르면 전체적으로 방지막의 설치효과가 의심스러우며, 이러한 비효율을 야기시키는 문제를 해역 공통적인 문제와 해역

4.1.1 해역 공통 문제

(가) 부적절한 설치

대상사업의 종류, 부유토사 발생량, 수리 및 해저 퇴적물 조건, 해역생태환경 등을 고려하여 방지막

의 설치여부를 충분히 검토하지 않고, 일률적인 방식으
로 설치함에 따라 방지막의 부유토사 확산저감
효율이 의심스러운 한편 방지막이 쉽게 파손되
는 등 유지관리가 어려운 경우가 많다.

(나) 유지관리비 부족

방지막 설계내구연수를 12개월 또는 전체 사업기
간(3~5년)으로 설정하여 소요경비를 사업비에 포
함시키나, 실제 내구연한은 이보다 훨씬 짧으며 유
지관리비가 사업비에 포함되지 않는 경우가 많다.

(다) 유지·관리 소홀

대체로 방지막의 유지관리를 철저히 이행하지 않
고 있다. 설계단계에서는 일일점검으로 방지막의
손상여부와 부력체 및 기타 부속품 점검을, 월점검
으로 막체의 공극 폐쇄정도 및 이물질 부착 여부를
점검하는 것으로 계획하지만, 실제로 이와 같은 점
검을 실시하는 사업장은 그리 많지 않다.

4.1.2 해역별 문제

(가) 서해안

- 빠른 유속으로 인해 배경 농도가 높고, 부력체 연
결부위 파손이 많다.
- 조간대에 설치할 경우, 조시에 따라 막체가 조간
대에 노출되었다가 잠기는 현상이 반복되어 방지
막이 훼손되기 쉽다.
- 빠른 유속을 이유로 유지관리를 제대로 이행하지
않는 경우가 있다.

(나) 남해안

- 서해안에 비해 유속이 작고 동해안에 비해 파고가
낮아 방지막 상태가 비교적 양호하다.
- 부력체가 부착생물로 인해 증가된 막체 하중을 견
디지 못하고 수면하로 잠기는 경우가 있다.

(다) 동해안

- 높은 파고로 인해 부력체 연결부위가 끊기거나 막
체가 쉽게 찢기는 등 다른 해역에 비해 방지막이
쉽게 훼손되며, 심할 경우 설치 후 1개월 이내에
파손된다.

4.2 옹탁방지막 성능한계 유속·파고 검토

전술한 바와 같이 방지막의 효율은 주변 해역의 수
리조건에 일차적인 제약을 받으며, Table 2에 제시한
가용한 국의 지침을 종합하면 방지막의 성능한계유
속은 0.2-1.0 m/s, 성능한계파고는 1-2 m이다. 물론 성
능유무와 효율고저를 판단하는 기준은 기대효율의
정도에 달려있지만 이 범위를 기준으로 이용하기에

는 그 폭이 너무 크다. 따라서 이 범위를 줄일 수 있는
가능한 방법을 현장관측치 및 퇴적물이동 이론식을
통하여 검토한다.

4.2.1 유속

방지막의 효율을 보다 일반적인 개념으로 정의하
면, 방지막을 설치하기 전후에 항만공사로 인해 발생
한 부유토사 도달거리와 양의 비율이라 할 수 있으며,
이의 개념도가 Fig. 9이다.

방지막을 설치하지 않았을 경우에 부유토사가 본
격적으로 침강 퇴적되기 시작하는 C 단면에 방지막
을 설치함으로써 B, C 단면 사이에서 부유토사 응집
이 활발해지고 침강이 촉진되어 방지막 배후로의 이
동량과 도달거리가 감소한다면 가장 이상적이다(해
양공사옹탁방지협회, 1999).

Case 2와 같은 이상적인 설치의 전체 조건은 유속
이 약해야 한다는 것이다. 유속이 Case 2보다는 강하
여 부유토사 도달거리는 Case 2보다 증가하지만 C 단
면과 F 단면 사이의 부유토사 양은 방지막을 설치하
기 전보다 감소하는 경우가 Case 3이며, 그 양의 비율
로써 효율을 논할 수 있을 것이다.

그러나 주위 유속이 일정치를 초과하여 방지막에
의한 단면 감소 효과가 현저해지면, Case 4에 제시한
바와 같이 저층에서의 유속강화 및 방지막 배후에서
발생한 난류로 인해 부유토사의 침강이 억제되므로
이동거리가 증가하며, 막체 주변 해저면이 침식되어
이동량 자체도 증가할 수 있다. 만일 오염된 해저면이
침식된다면 상황은 최악이 될 것이다.

Jin et al.(2003b)은 부산신항의 방지막 전후 30 m
떨어진 두 정점 중층에서의 계류관측을 통해 해당 지점
이 방지막 하류측이 되는 조시에는 그 유속이 상류측
정점의 약 1/2로 감소함을 보였으며, 인천남항에서의
ADCP 순환관측을 통해 방지막 상류측 20 m 떨어진
단면상의 막체폭 이하 수심에서 유속이 강화되고, 하
류측 20 m 떨어진 단면상의 저층에서 반류가 형성됨
을 보이고(Jin et al., 2003a), 이를 모두 방지막에 의
한 단면 감소효과 때문으로 보았다.

한편 이들은 최강유속이 약 40 cm/s, 수심평균유속
이 20 cm/s 정도인 두 지역에서의 부유토사 이동량 계
산을 통하여 방지막 하류측의 이동량이 상류측의
70-80%에 달함을 보였다. 물론 동일 지점에서 방지막
설치 이전의 관측자료가 없으므로 효율을 단정하기
는 어렵지만 상류측 농도·유속이 방지막 설치전과
크게 다르지 않고, 방지막 설치전에는 상·하류측 농
도·유속이 유사하다고 가정하면 부산신항과 인천남
항의 고정식 수하형 옹탁방지막의 효율은 20-30% 정

도에 불과하다.

이와 같은 결과는 日本 海洋開發工事安全公害對策本部(1989)의 ‘유속 20-30 cm/s 이상에서는 방지막의 부유토사 확산저감효과를 기대하기 곤란하다’는 설문조사 결과와 어느 정도 부합한다.

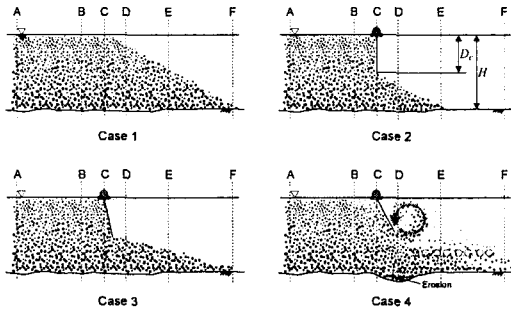


Fig. 9. Conceptual cases of the effects of a silt curtain.

4.2.2 파고

파랑이 방지막에 미치는 영향은 두 가지, 즉 부유토사 확산 저감 측면과 방지막 자체의 내구성 측면으로 나누어 고려할 수 있다.

유속 및 파랑에 대한 내구성 등급에 관한 일본의 표준(Table 3)에 따르면 상용화된 방지막은 파고 1.5 m 까지 견딜 수 있으며, 그 이상의 파고에도 파손되지 않는 방지막을 제작할 수는 있다.

그러나 방지막의 유일한 설치목적은 부유토사 확산 저감에 있으므로 파랑에 의한 부유토사의 재부유 및 침강방해를 함께 고려해야 할 것이다.

Jim et al.(2003b)은 부산신항에서의 관측을 통하여 준설작업이 없던 기간의 방지막 전후 농도가 약 0.5m의 파고에도 준설 플룸 수준으로 증가함을 보였으며, 이는 흐름에 비해 그 크기가 월등한 파랑기인 해저면 전단응력 때문이다. 즉, 수심이 7m일 때 40 cm/s의 흐름이 해저면에 가하는 전단응력은 0.35 N·m²에 불과한 반면 파고 1.0 m 주기 6.5초인 파랑에 의한 전단응력은 1.98 N·m²에 달하며, 이는 직경 3 mm인 very fine pebble의 이동한계 전단응력에 버금간다(해양수산부, 2002).

물론 파랑은 해저면을 크게 교란시키더라도 부유토사의 純移動에는 기여하지 못한다. 그러나 파고가 일정치 이상으로 높을 경우에는 풍성류, 해빈류가 발생함과 아울러 해역 고유의 해류가 존재하므로, 재부유된 부유토사가 주변 해역으로 이동될 것으로 판단된다.

Table 3. Japanese standards of fixed-hanging-type silt curtains (Japan Sea Pollution Prevention Association, 1999)

등급	현장 조건	표준 규격			
		부체 직경 (mm)	부체 형식	막체 원단 인장강도 (kgf/3cm)	Weight chain (kg/m)
A	· 지형적으로 차폐된 방파제 외측 · 파고 1.5 m 이하 · 유속 0.5 m/s 이하	600	일체	800~500	10~20
B	· 방파제 내측 넓은 해역, 지형적으로 차폐된 만내 · 파고 1.0 m 이하 · 유속 0.2 m/s 이하	400	일체	500~300	5~10
C	· 방파제 내측 중간 규모 넓이 해역 · 파고 0.8 m 이하 · 유속 0.1 m/s 이하	300	일체	500~300	5 이상
D	· 호소처럼 잔잔하고 차폐된 만내 · 파고 0.5 m 이하, · 유속 0.05 m/s 이하	300	마디	300	3~5

주) ① 범용형은 고정식 수하형, span 길이 20 m. ② 내구 연수 1년. ③ 계류장치는 포함하지 않는다. ④ 설치수심 20 m 미만. ⑤ 일체형은 부력체가 연결되고 마디형은 분리되어 연결된다. ⑥ A 등급 이상의 현장조건인 경우는 별도의 규격으로 한다.

따라서, 대부분의 동해안과 같이 개방된 파랑우세역에 방지막을 설치하여 부유토사 확산범위를 근원적으로 저감하려는 것은 무리한 기대라고 판단되며, 부산신항의 경우와 해양수산부(2002)에 따라 방지막의 부유토사 확산 저감효율 측면에서의 파고 상한은 OMOE(1994)의 지침과 같이 1 m이면 충분할 것으로 사료된다.

4.3 국내 오타방지막 형식 및 배치 검토

관련 연구가 가장 활발한 일본이 다양한 형식의 방지막을 사용하고 있는 것에 비해 국내는 공중에 상관 없이 거의 대부분 고정식 수하형만 사용하고 있으며, 평면배치도 비효율적인 경우가 많다.

방지막 형식의 경우, 발생원이 全層인 grab이나 backhoe에 비해 펌프 준설선과 같이 부유토사 발생원이 해저면임에도 수하형만을 설치하는 경우는 방지막 효과가 적을 것으로 판단된다. 사실 유럽과 일본 등에서는 발생량이 상대적으로 적고 이동속도가 빠른 펌프 준설시에는 방지막을 설치하지 않는다.

또한 수하형만의 2중 설치도 재고할 필요가 있다. 단일 방지막이 효과가 없어 2중으로 설치한다는 것은 막체에 도달한 대부분의 부유토사가 막체 하단과 해저면 사이를 통과한다는 것을 의미한다. 따라서 2번째 방지막은 저층 퇴적물의 이류·확산 저감에 초점

을 맞추어야 하고 이를 위해서는 자립형 방지막이 효율적인 것이다.

대조차 해역, 즉 서해안 조간대에 오탉방지막을 설치하는 것도 재고되어야 한다. 대조차 해역이란 조차가 국내에서 많이 사용하는 막체폭 2-3m를 넘는 지역이며, 이러한 지역의 유속은 대부분 평균 20-30cm/s를 넘으므로 높은 효율 기대는 어렵다고 판단된다.

또한 방지막 설치구간에 선박통행을 위한 개방구간이 많은 것도 효율을 저하시키는 원인이다. 공사구간을 완전히 에워싸고 선박통행 구간에는 부침식 혹은 개폐식 방지막을 설치하는 것이 이상적이나 여의치 않다면 개방구간을 최소화하는 것이 필요하다.

5. 결론 및 제언

국내 10개, 일본 2개 현장의 오탉방지막 유지관리 실태, 방지막 효율한계 조건에 관한 기존의 국외 지침, 그리고 방지막 효율에 관한 국내 조사결과를 종합·분석하였으며, 이를 토대로 수립한 방지막 적정 설치와 유지관리에 관한 지침(안)은 Table 4와 같다.

그러나, 본 지침(안)에는 충분한 현장검증이 수반되지 않았으므로, 추후 보다 심도 있는 현장관측을 통한 지속적인 개선이 필요하다.

Table 4. A proposed guidance for the optimal installation and maintenance of silt curtains

구 분		지 침
가. 수리조건	유속	<ul style="list-style-type: none"> -평균유속이 약 20 cm/s인 해역에서의 고정식 수하형 오탉방지막의 부유토사 이동량 저감효율은 20~30%에 불과하다. -생태적으로 중요한 연안역이나 평균유속이 약 20 cm/s를 초과하는 경우에는 <ul style="list-style-type: none"> ·정지준설(Grab, Backhoe 등)에 한하여 작업가능유속이 발생하는 시간내에 frame 형 등의 제한적인 오탉방지막을 사용하거나 ·기대효율에 부합하는 2중 방지막 설치를 고려할 필요가 있다(예: 수하형+자립형 등의 조합형, 막체폭과 방지막간 거리 등은 정밀검토 필요). -유속이 매우 작은 해역에서는 가능하면 저면 부근까지 설치한다.
	파랑	<ul style="list-style-type: none"> -파고 1m 이상인 해역에서는 오탉방지막 효과가 적으므로 설치를 신중히 검토해야 한다. -동해안과 같이 악기상시 파고는 높으나 평균유속이 약 20 cm/s 이하인 해역이 생태적으로 부유토사에 민감할 경우, <ul style="list-style-type: none"> ·정온시기의 정지준설시 frame 형 등의 제한적인 방지막을 사용하거나 ·浮沈형을 고려하는 것이 바람직하다.
나. 형식 및 평면배치		<ul style="list-style-type: none"> -2중 오탉방지막을 설치할 필요가 있을 때는 수하형과 자립식을 적절히 이격시켜 설치합이 바람직하며, 자립형의 막체폭과 수하형의 막체폭의 합이 최소한 수심과 같거나 큰 것이 효율 제고에 도움이 된다. -선박통행 구간은 부침식이나 개폐식으로 설치하는 것이 바람직하나 여의치 않을 경우에는 개방구간을 최소화한다. -작업에 지장을 주지 않는 한도내에서 가능하면 작업지역과 가까운 거리에 설치하여 부유토사의 확산을 효율적으로 저감시킴과 아울러 선박에 의한 훼손을 방지하도록 한다. -막체폭은 대상해역의 수심, 유속 및 해저면 조건 등을 고려하여 결정하되, 방지막이 훼손되지 않고 해저면의 재부유침식이 발생하지 않는 범위에서 가능한 해저면 근방까지 설치한다. -펌프 및 호퍼준설선 작업시에는 방지막을 설치할 필요가 없으나 생태적으로 민감한 해역의 경우는 작업시기를 조절하거나 민감해역에 한하여 제한적으로 설치함이 바람직하다. -공사시 저감효과를 검증하여 필요시 위치와 방법 등을 재조정한다.
다. 유지관리		<ul style="list-style-type: none"> -사업시행전 계획한 바와 같이 오탉방지막 정기점검을 철저히 시행하여야 하며, 이를 위해 표준보수점검표를 기록함이 바람직하다. -공사종료시까지의 유지관리 및 필요한 경우의 교체 경비를 관련 공사 설계단계에서 현실적으로 반영해야 한다.
라. 기타		<ul style="list-style-type: none"> -항만 등 연안개발 공사시 어느 정도의 부유토사 발생은 피할 수 없으며, 이의 이류·확산을 오탉방지막으로 저감시킬 수 있는 정도는 지극히 제한적이다. 따라서 유속이 빠르거나 파고가 높은 해역의 경우는 지역주민과의 협의단계에서 불필요한 오탉방지막을 설치하지 않고 환경파해를 저감할 수 있는 방안을 강구하는 것이 바람직하다. -예 ① 부유토사에 민감한 수역이 낙조시 공사지점 하류측에 있으면 창조시에만 시공함. ② 유속 변동범위가 큰 해역에서는 최강창낙조 시기에는 공사를 중지함. -환경적으로 민감한 해역이나 주변에 양식장 또는 주요 수산생물의 산란장 혹은 성육장이 존재하여 이중오탉방지막 설치 등 특별한 대책이 필요한 경우에는 방지막 형식 선정과 배치도 결정단계에서 지역주민을 참여시켜 가능한 한 설치효율을 극대화한다.

감사의 글

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

참고문헌

오영민, 송원오, 2002. 국내의 오탉방지막의 운영 실태에 관한 연구, 대한토목학회 학술발표회.

해양수산부, 1996. 항만공사표준시방서.

해양수산부, 2002. 부유토사 발생량 평가 및 오탉방지막 효율에 관한 연구용역(III).

海洋開發工事安全公害對策本部, 1989. 汚濁水擴散防止膜の手引.

海洋工事汚濁防止協會. 1999. 汚濁防止膜の設置・施工要領.

Christensen, B.S. and Kock, L., 1997. Silt curtains, design criteria and practical application especially for RO-BOOM silt curtains, *Proc. the CEDA Dredging Days*, Amsterdam, The Netherlands.

Elastec/AmericanMarine Inc. Turbidity curtain, <http://www.turbiditycurtain.com>.

IADC/CEDA, 1998. Machine, Methods and Mitigation, *Environmental Aspects of Dredging, Vol. 4*.

IADC/CEDA, 1999. Reuse, Recycle or Relocate, *Environmental Aspects of Dredging, Vol. 5*.

IHC Holland. www.ihcholland.com/B_ihc_dredging/B08/b08.3_environmental.

Jensen, H., 2002. Personal Communication.

Jin, J.-Y., Park, J.S., Song, W.O., Kim, S.E., Lee, K.S., Yum, K.D. and Oh, J.K., 2003a. Estimation of the efficiency of a silt screen using a vessel-mounted ADCP, *Proc. Conf. Korean Soc. Coastal and Ocean Engrs.*, this volume.

Jin, J.-Y., Song, W.O., Park, J.S., Chae, J.W., Kim, S.E., Jeong, W.M., Yum, K.D. and Oh, J.K., 2003b. On the behavior of suspended sediment near a silt screen and the screen efficiency in a microtidal coastal area, *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.

Minerals Management Service, 1996. Marine mining technologies and mitigation techniques, *OCS Report MMS 96-0003*.

Ontario Ministry of Environment, 1994. Handbook for dredging and dredged material disposal in Ontario-Dredging transport and monitoring, Evaluating construction activities impacting on water resource, Part IIIB, Cette publication technique.

Ooms, K., 1997. Disposal and capping of contaminated sediments - the Hong Kong solution, *Proc. the CEDA Dredging Days*, Amsterdam, The Netherlands.

Shaw, J. K., Whiteside, P.G.D. and Ng., K.C., 1998. Contaminated mud in Hong Kong: A case study of contained seabed disposal, *Proc. 15th World Dredging Congress*, World Dredging Association, Las Vegas.

St. Lawrence Center, 1993. Selecting and operating dredging equipment: a guide sound environmental practices, Prepared in collaboration with Public Works Canada and the Ministere de l'Environnement du Quebec, and written by Les Consultants Jacques Berube Inc. *Cat No. En 40-438/1993E*.

USACE, USEPA, BCDC and SFBRWQCB, 2001. Long-term management strategy for the placement of dredged material in the San Francisco Bay region, LTMS Committee.