

항만공사시 부유토사의 거동 특성에 관한 연구(I)

- 사석공사시 -

이지왕⁽¹⁾, 맹준호⁽²⁾, 조광우⁽²⁾, 양권열⁽³⁾, 김영섭⁽⁴⁾

The Movement Characteristics of Suspended Solid(SS) in Harbor Construction(I)

- In a Riprap Work -

by

Ji Wang Lee⁽¹⁾, Jun Ho Maeng⁽²⁾, Kwang Woo Cho⁽²⁾, Gwon Weol Yang⁽³⁾ and
Young Seup Kim⁽⁴⁾

요 약

본 연구는 항만공사시 발생하는 부유토사의 거동특성을 분석하기 위하여 항만공사 중 가장 비중이 높은 공정 중의 하나인 사석공사를 대상으로 부유토사 발생거동에 대해 조사하였다. 조사는 방파제조성을 위한 기초사석투하시, 준설투투기장 호안조성시 사석투하를 위해 바지선상에서 사석적재시 및 속채움용 사석투하시를 대상으로 하였다. 본 조사결과에 의하면 방파제 기초사석(0.001~0.03m³)투하시 부유토사의 발생이 현저히 나타났으며, 확산범위는 대조기의 경우 약 500m이상까지 확산됨을 알 수 있었다. 사석적재시(바지선상)의 부유토사의 거동특성에 대한 조사결과 바지선으로부터 해상으로 흘러내리는 사석으로 인해 부유토사가 발생하여 바지선 주변에서는 높은 탁도를 나타냈다. 수심별 조사결과 표층의 경우 부유토사는 바지선 주변에 국한되고 곧 침강하여 넓은 범위로 확산하지는 않았다. 그러나 저층의 경우에는 약 100m까지 확산되었으며 그 이후 SS농도가 급격히 저하되어 배경농도를 나타냈다. 포크레인을 이용한 속채움용 사석(0.03m³이하)투하시의 부유토사 거동특성에 대한 조사결과 표층의 경우 약 300m까지, 저층의 경우는 300m 이상까지 확산됨을 알 수 있었다. 본 연구결과에서 흥미로운 사실은 항만공사시 발생하는 부유토사는 표층의 경우 취송류의 영향을 많이 받고 저층의 경우 조류의 영향을 받으며, 부유토사의 확산은 표층보다는 저층으로 더 멀리 확산된다는 사실을 알 수 있었다.

Abstract

This paper intends to analyze the movement characteristics of the suspended solid(SS) generated in a riprap work which is the most widespread process in harbor construction. The generation and movement behaviors of SS are investigated when 1) basic ripraps

-
- (1) 정회원, 한국수권환경연구센터
 - (2) 한국환경정책·평가연구원
 - (3) 삼성물산주식회사
 - (4) 부경대학교

($0.001\sim 0.03\text{m}^3$) are cast for breakwater construction, 2) ripraps are loaded on carrier for riprap casting in the sea-wall construction of dredged material pocket, and 3) ripraps for inner filling are cast. The result of the present study shows that the SS generation is considerable when basic ripraps are cast for breakwater construction and the SS diffusion reaches up to 500m in high tide period. When ripraps are loaded on carrier, the SS is generated by the ripraps running down into sea from carrier, thereby showing a high concentration of SS in the vicinity of carrier. In the surface layer, SS distribution is confined in the vicinity of the carrier due to the prompt sinking of the SS. However the SS in the bottom layer is diffused approximately up to 100m and then the SS concentration reaches to the background one. In the riprap (less than 0.03m^3) casting for inner filling using pork crane, SS is diffused approximately up to 300m in the surface layer and more than 300m in the bottom layer. It is quite interesting that the movement of the SS generated in harbor construction is mainly controlled by wind drift in the surface layer and tidal current in the bottom layer, and also the diffusion range of SS in the bottom layer is much larger than that in the surface layer.

Keywords: suspended solid, harbor construction, riprap work.

1. 서 론

항만공사를 시행함으로 인해 공사시 해양환경에 미치는 주요 오염원은 공사 중에 발생하는 부유토사이다. 공사시 발생하는 부유토사는 주변해역으로 확산되어 해양생태계에 직·간접적으로 피해를 발생시킨다. 이와 같은 영향은 사업지구의 해역특성과 부유토사의 발생정도에 따라 차이를 나타내며, 발생정도는 공사의 종류, 방법, 규모, 주변의 지형 및 해수유동의 변화폭 등에 따라 상이하게 나타난다.

이에 항만공사에 따른 환경영향을 예측하고 저감방안을 수립하기 위해 사업시행 전 환경영향평가를 실시하고 있다. 환경영향평가에서는 부유토사의 발생정도 및 확산범위에 대해 수치모델링을 통해 영향예측을 실시한다. 그러나 이러한 영향예측은 공사시 실제로 발생하는 부유토사의 거동과는 다르게 나타나는 경우가 많다. 이에 환경영향의 정확한 평가와 적절한 저감방안의 수립을 위해서는 항만공사시 부유토사의 발생거동에 관한 직접적인 조사가 절실히 필요하다. 그러나 현재까지 이에 대한 연구가 거의 시행되지 못하였다. 따라서 본 연구에서는 현장조사를 통해 항만공사 중 가장 비중이 높은 공종 중의 하나인 사석공사를 대상으로 부유토사 발

생거동에 대해 조사하였다.

2. 연구방법

본 연구를 수행하기 위해서 부산신항만공사가 진행중인 현장에서 사석공사를 대상으로 현장관측을 실시하였다. 조사는 방파제조성을 위한 기초사석투하시, 준설투투기장 호안조성시 사석투하를 위해 바지선상에서 사석적재시 및 속채움용 사석투하시의 부유토사의 발생거동에 대해 조사를 실시하였다.

조사정점은 공사의 규모와 조령 및 조시에 따른 제약 등을 고려하여 공사지점으로부터 일정 간격으로 구분하여 측정하였고, 연직분포는 공사지역의 평균수심을 고려하여 각각의 측정에서 수심 1m씩 구분하여 연직확산 분포를 조사하였다.

부유토사의 거동은 탁도와 SS의 농도로 조사하였다. 탁도는 CTD를 사용하여 조령과 조시별에 따른 현장관측을 실시하였으며, 부유토사(SS: Suspended Solids)은 해양환경공정시험방법에 따라 잘 혼합된 일정량의 해수시료를 미리 무게를 알고 있는 유리섬유 여과지(GF/C)에 여과한 후 $103\sim 105^\circ\text{C}$ 에서 건조시키고, 황산 데시케이터에 넣어 방냉한 다음 건조시킨 후 유리섬유 여

과지의 무게를 달아 시료 전·후의 여지 무게의 차를 산출하여 부유물질의 농도로 구하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 방파제 기초사석(0.001~0.03m³)투하시 부유토사의 거동특성

본 조사는 기초사석투하 공사시의 부유토사의 발생거동을 조사하기 위한 목적으로 방파제 사석투하 공사현장을 대상으로 부유토사의 발생거동에 대해 조사하였다.

조사정점은 사석을 적재한 바지선(500ton)이 이동하면서 사석을 투하하여 표층에서 관찰되는 부유토사의 띠를 따라 Fig. 1의 지점에서 공사지점으로부터 5, 10, 100, 300, 500, 800, 1000m지점을 조사정점으로 선정하여 표층을 대상으로 해수를 채취하여 분석하였다. 조사는 공사전과 후를 구분하여 조사하였으며, 공사에 측정된 자료를 배경농도로 하여 부유토사의 증가치로 구하였다.

조사결과 Fig. 2에 나타난 바와 같이 사석투하로 인해 부유토사의 발생이 현저히 나타남을 관찰할 수 있었다. 부유토사의 거동은 조류흐름의 영향을 받아 띠를 형성하며 부유토사가 분포하였다. 발생원과 바로 인접한 5m지점의 경우 증가치가 23mg/l를 나타내 높은 SS농도를 나타냈으며 거리가 멀어질수록 농도가 낮아져 발생원으로부터 100m 지점의 경우 12mg/l의 증가치를 나타냈으며 500m 지점의 경우 7mg/l의 증가치를 나타냈다. 800m 지점의 경우 배경농도를 나타냈다.

이상의 결과로 미루어 기초사석(0.001~0.03m³) 투하로 인한 부유토사의 확산은 대조기의 경우 약 500m 이상까지 확산되는 것을 알 수 있었다.

3.2 사석적재시(바지선상)의 부유토사의 거동특성

본 조사는 준설토투기장 사석투하를 위한 준비단계로 바지선상에서 사석을 적재(정비)하는 과정에서 사석이 해상으로 흘러내리면서 발생하는 부유토사의 거동특성에 대해 조사하였다.

조사정점은 사석을 적재한 바지선으로부터 대

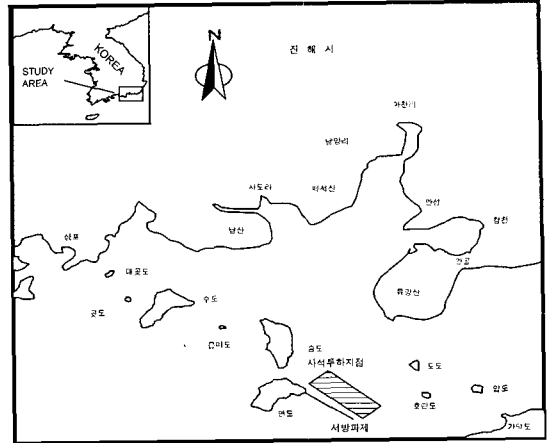


Fig. 1 Map showing sampling stations of riprap working time in the Pusan new port region.

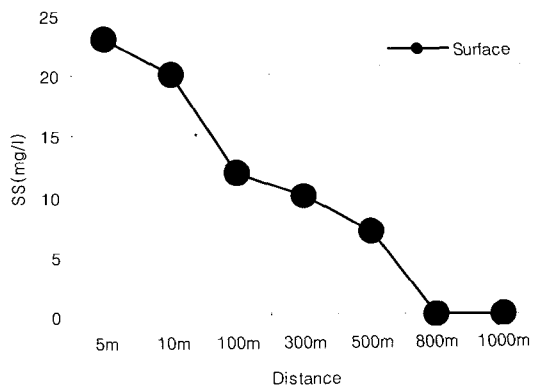


Fig. 2 Surface suspended solid concentrations (mg/l) of the riprap work.

조기 창조시 조류의 주흐름 방향으로 두 개의 라인에 대해 Fig. 3과 같이 공사지점으로부터 10, 100, 300, 600, 800m지점을 조사정점으로 선정하여 표층(0.5m) 및 수심 5m 지점을 대상으로 해수를 채취하여 분석하였다. 조사는 공사전과 후를 구분하여 조사하였으며, 공사 전에 측정된 자료를 배경농도로 하여 부유토사의 증가치로 구하였다.

조사결과 Table 1에 나타난 바와 같이 사석적재과정에서 바지선으로부터 해상으로 흘러내리는 사석으로 인해 부유토사가 발생하여 바지선 주변(10m)에서는 약 23~28mg/l의 높은 부유토

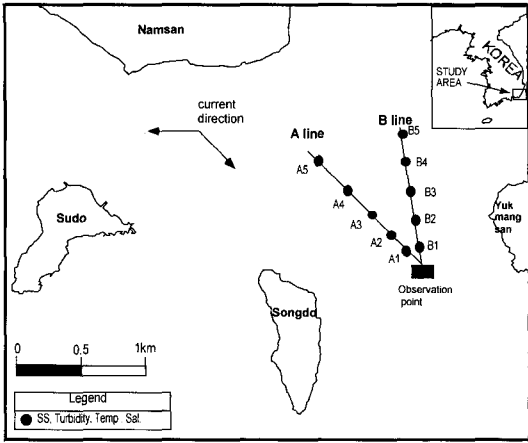


Fig. 3 Sampling station of suspended solid on the riprap work.

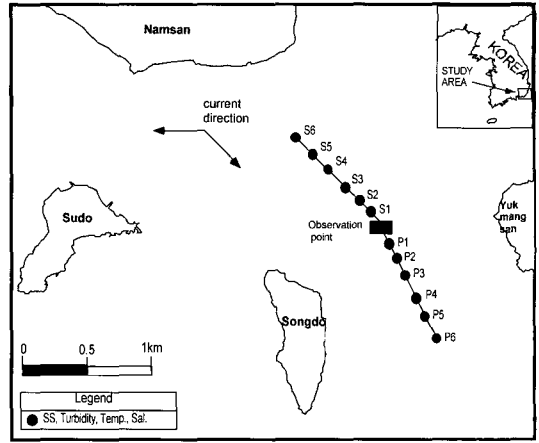


Fig. 4 Sampling station of suspended solid on the ripraps for inner filling work.

Table 1 Diffused profiles of suspended solid concentrations(mg/ℓ) on the riprap work.

Station	A Line		B Line	
	0.5m	5m	0.5m	5m
1(10m)	28.20	-	23.80	-
2(100m)	2.30	10.20	1.40	7.80
3(300m)	0	0	0	0
4(500m)	0	0	0	0
5(800m)	0	0	0	0

사의 증가치를 나타냈다. 그러나 표층의 경우 100m 지점에서 약 1~2mg/ℓ의 증가치를 나타내 부유토사는 바지선 주변에 국한되고 넓은 범위로 확산하지는 않았다. 그러나 저층(수심 5m)의 경우 바지선 주변이 이미 지반개량공사를 시행하여 수심이 낮아 10m지점의 경우 저층의 SS농도를 조사하지 못했으나, 100m지점에서 약 7~10mg/ℓ의 증가치를 나타내 표층에 비해 높은 농도를 나타내어, 저층의 경우 100m이상까지 확산됨을 알 수 있었다. 그러나 100m이후 SS농도가 급격히 저하되어 배경농도를 나타냈다.

3.3 속채움용 사석(0.03m³이하) 투하시의 부유토사 거동특성

본 조사는 준설토투기장 호안공사시 속채움용 사석을 포크레인을 이용해 투하할 경우 대조기 창조시 및 낙조시의 부유토사의 거동특성에 대해 조사하였다.

조사정점은 사석투하지점으로부터 10, 30, 50, 100, 200, 300m지점으로 창조시 조류의 주흐름방향(S1~S6)과 낙조시 조류의 주흐름방향(P1~P6)으로 조사정점을 선정하여 각 수심별로 탁도 및 SS농도를 조사하였다(Fig. 4). 조사는 공사전과 후를 구분하여 조사하였으며, 공사전에 측정된 자료를 배경농도로 하여 부유토사의 증가치로 구하였다.

속채움용 사석투하시 발생하는 부유토사가 거리 및 수심에 따라 어떠한 양상으로 변화되는가를 조시에 따라 각각 라인별로 구분하여 분석한 결과를 탁도(Table 2~3, Fig. 5~6) 및 SS 조사 결과(Table 4~5, Fig. 7~8)로 나타냈다.

탁도에 대한 조사결과 창·낙조시 전체적으로 공사지점에서 가까울수록 탁도값이 높게 나타나는 것을 알 수 있다. 발생원의 경우 29~34NTU의 높은 증가치를 나타냈다. 창조시 조류의 주흐름 방향인 S라인과 반대방향인 P라인의 표층수에 대한 비교 결과 Fig. 5에 나타낸 바와 같이 조류의 주흐름방향인 S라인(10m지점 12.2NTU, 30m지점 7.9NTU, 50m지점 4.9NTU)보다 반대방향인 P라인(10m지점 23.5NTU, 30m지점 9.3NTU, 50m지점 8.8NTU, 100m지점 8.5NTU)에서 부유토사의 발생이 상대적으로 높게 나타

Table 2 Horizontal profile of turbidity(NTU) on flow tide by the riprap work.

정점 \ 수심(m)	0.5	1	2	3	4	5	수심(m)
S0(발생원)	29.6	-	-	-	-	-	2.0
S1(10m)	12.2	-	-	-	-	-	2.4
S2(30m)	7.9	-	-	-	-	-	2.3
S3(50m)	4.9	1.3	1.2	2.8	-	-	5.0
S4(100m)	1.0	1.1	1.1	1.8	4.4	-	6.0
S5(200m)	1.0	0.5	0.5	0	1.4	2.2	7.2
S6(300m)	0	0	0	0	0	0	7.3
P1(10m)	23.5	22.5	19.0	-	-	-	2.5
P2(30m)	9.3	7.3	6.8	-	-	-	2.7
P3(50m)	8.8	8.5	4.8	4.5	-	-	4.5
P4(100m)	8.5	7.0	5.7	5.0	5.1	-	5.7
P5(200m)	0	-	-	-	-	-	2.8
P6(300m)	0	0	0	0	0	0	7.0

Table 3 Horizontal profile of turbidity(NTU) on ebb tide by the riprap work.

정점 \ 수심(m)	0.5	1	2	3	4	5	수심(m)
P0(발생원)	33.7	-	-	-	-	-	2.0
P1(10m)	28.7	27.4	-	-	-	-	2.5
P2(30m)	17.9	-	-	-	-	-	2.7
P3(50m)	21.7	19.8	22.5	22.5	-	-	4.5
P4(100m)	15.0	14.6	15.0	16.0	12.8	-	5.7
P5(200m)	7.2	-	-	-	-	-	2.8
P6(300m)	1.0	1.0	5.9	10.5	11.0	14.6	7.0
P7(500m)	0	0	0	0	0	0	7.2

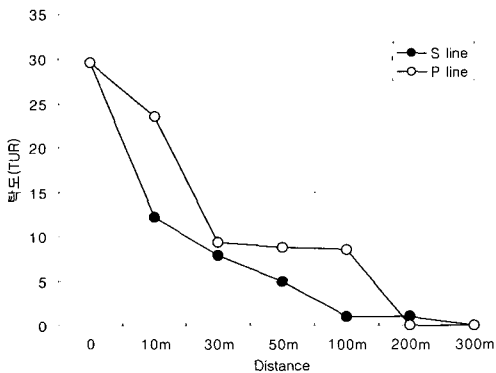


Fig. 5 Comparison with horizontal profile of turbidity on flow tide by the riprap work.

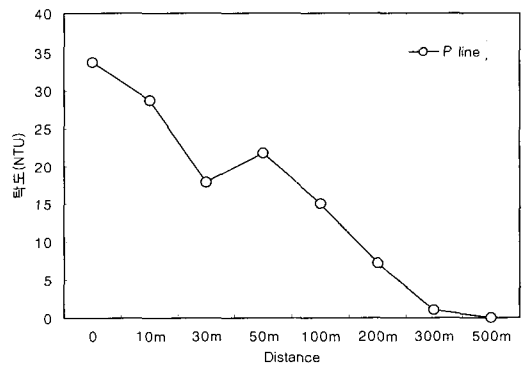


Fig. 6 Surface turbidity of ebb tide on the riprap work.

Table 4 Diffused profiles of suspended solids(mg / ℓ) on flow tide by the riprap work.

정점 \ 수심(m)	surface	3m	5m	수심(m)
S0(발생원)	33.60	-	-	2.0
S1(10m)	21.40	-	-	2.4
S2(30m)	5.70	-	-	2.3
S3(50m)	5.60	4.20	-	5.0
S4(100m)	4.20	4.40	-	6.0
S5(200m)	0	0	2.40	7.2
S6(300m)	0	0	0	7.3
P1(10m)	26.40	-	-	2.5
P2(30m)	9.40	1.20	-	2.7
P3(50m)	9.40	2.20	-	4.5
P4(100m)	10.00	1.0	-	5.7
P5(200m)	1.00	-	-	2.8
P6(300m)	0	0	0	7.0

Table 5 Diffused profiles of suspended solids(mg / ℓ) on ebb tide by the riprap work.

정점 \ 수심(m)	surface	3m	수심(m)
P0(발생원)	38.80	-	2.0
P1(10m)	21.20	-	2.7
P3(50m)	20.60	22.80	4.5
P4(100m)	6.00	18.20	5.7
P5(200m)	4.40	-	2.8
P6(300m)	0	7.60	7.0
P7(500m)	0	0	7.2

났다. 이러한 원인은 조사당시 강한 바람이 P라인 방향으로 불어 표층의 경우 취송류가 영향을 미친 결과이다. 이와 같이 창조시 표층의 경우 100m까지 부유토사가 확산되어 상대적으로 높은 탁도의 증가치를 나타냈다. 그러나 저층의 경우 사석투하지점의 수심이 낮아 저층확산의 거동에 대해서는 정확히 파악할 수 없었으나, 창조시 주흐름방향인 S라인의 경우 100m지점(S4)에서 표층(1.0NTU)보다 오히려 저층에서 높은 탁도(수심 4m지점 4.4NTU)를 나타냈으며, 200m지점(S5)의 경우도 표층(1.0NTU)보다 저층에서 높은 탁도(수심 5m지점 2.2NTU)를 나타낸 것으로 미

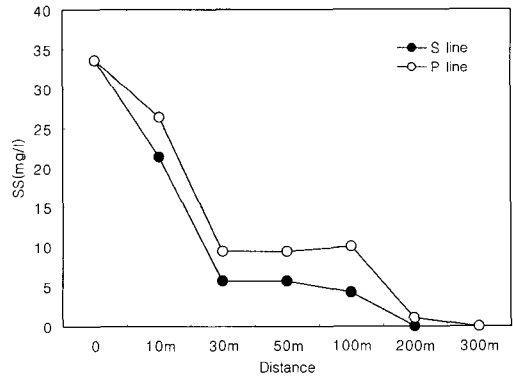


Fig. 7 Comparison with horizontal profile of suspended solids on flow tide of the riprap work.

루어 저층의 경우 표층보다 더 멀리 확산된다는 사실을 알 수 있었다(Table 2).

낙조시의 경우 주흐름방향인 P라인에 대해 조사하였다. 표층의 경우 Fig. 6에 나타낸 바와 같이 발생원에서부터 10m 지점에서 28.7NTU, 50m 지점에서 21.7NTU, 100m 지점에서 15NTU의 증가치를 나타내 100m까지 고농도의 탁도분포를 나타냈다. 확산범위는 표층의 경우 약 300m까지 확산됨을 알 수 있었다. 중층(수심 3m 지점)의 경우 300m지점에서 10.5NTU의 높은 증가치를 나타냈으며, 저층(수심 5m지점)의 경우도 300m지점에서 14.6NTU의 가장 높은 증가치를 나타내 부유토사가 표층보다 오히려 저층으로 더 멀리 확산된다는 사실을 알 수 있었다. 그러나 500m지점에서는 부유토사의 발생이 나타나지 않아 표층의 경우 약 300m까지 확산되고, 저층의 경우 300m이상 확산됨을 알 수 있었다(Table 3).

SS의 조사결과도 탁도 분포특성과 유사한 결과를 나타냈다. 발생원의 경우 약 33~39mg/ℓ의 증가치를 나타냈다. 창조시 조류의 주흐름 방향인 S라인과 반대방향인 P라인의 표층수에 대한 비교 결과 Fig. 7에 나타낸 바와 같이 조류의 주흐름방향인 S라인(10m지점 21.4mg/ℓ, 30m지점 5.7mg/ℓ, 50m지점 5.6mg/ℓ, 100m지점 4.2mg/ℓ) 보다 반대방향인 P라인(10m지점 26.4mg/ℓ, 30m지점 9.4mg/ℓ, 50m지점 9.4mg/ℓ, 100m지점 10.0mg/ℓ)에서 탁도조사결과와 마찬가지로 취송류의

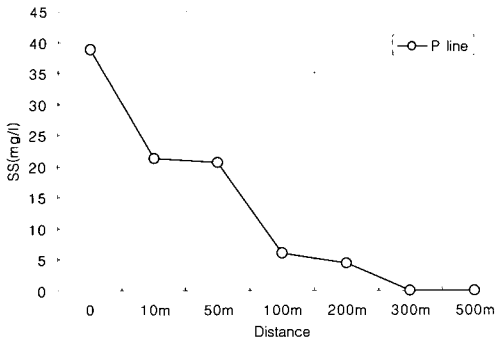


Fig. 8 Surface suspended solids on ebb tide of the riprap work.

영향으로 상대적으로 높은 증가치를 나타냈다. 이와 같이 창조시 표층의 경우 조류의 영향보다는 취송류의 영향을 크게 받으며 확산범위는 200m까지 이르러 상대적으로 높은 탁도의 증가치를 나타냈다. 그러나 저층의 경우 조류의 영향을 받아 표층과는 다르게 조류의 주흐름방향인 S라인(50m지점 4.2mg/l, 100m지점 4.4mg/l)이 P라인(50m지점 2.2mg/l, 100m지점 1.0mg/l)보다 높은 증가치를 나타냈다.

낙조시의 경우 탁도의 조사결과와 유사한 결과를 나타냈다. 주흐름방향인 P라인에 대해 조사한 결과 표층의 경우 Fig. 8에 나타난 바와 같이 발생원으로부터 10m지점에서 21.2mg/l, 50m지점에서 20.6mg/l로 매우 높은 증가치를 나타냈으며, 100m지점에서 6.0mg/l, 200m지점에서 4.4mg/l의 증가치를 나타내 표층의 경우 200m 이상 확산됨을 확인하였다. 저층의 경우는 표층보다 더 높은 증가치를 나타내 100m 지점에서 18.2mg/l를 나타냈으며 300m지점의 경우도 7.6mg/l의 부유토사의 증가치를 나타내 저층의 경우 300m이상까지 확산됨을 확인하였다.

이상과 같이 항만공사시 발생하는 부유토사는 표층의 경우 취송류의 영향을 많이 받고 저층의 경우 조류의 영향을 받으며, 속채움용 사석투하시(0.03m³이하) 부유토사는 표층의 경우 약 300m까지, 저층의 경우는 300m 이상 확산된다는 사실을 알 수 있었다.

4. 결 론

사석공사시 발생하는 부유토사의 거동특성을 조사하기 위한 목적으로 사석투하공사의 주요 공종인 기초사석투하 공사, 바지선상에서 사석적재시 및 속채움용 사석투하시의 부유토사의 발생 거동에 대해 조사하였다.

방과제 기초사석(0.001~0.03m³)투하시 부유토사의 거동특성에 대한 조사결과 사석투하로 인해 부유토사의 발생이 현저히 나타났으며, 확산범위는 대조기의 경우 약 500m이상까지 확산됨을 알 수 있었다.

사석적재시(바지선상)의 부유토사의 거동특성에 대한 조사결과 바지선으로부터 해상으로 흘러내리는 사석으로 인해 부유토사가 발생하여 바지선 주변에서는 높은 탁도를 나타냈다. 수심별 조사결과 표층의 경우 부유토사는 바지선 주변에 국한되고 곧 침강하여 넓은 범위로 확산하지는 않았다. 그러나 저층의 경우에는 약 100m까지 확산되었으며 그 이후 SS농도가 급격히 저하되어 배경농도를 나타냈다.

포크레인을 이용한 속채움용 사석(0.03m³이하) 투하시의 부유토사 거동특성에 대한 조사결과 표층의 경우 약 300m까지, 저층의 경우는 300m 이상까지 확산됨을 알 수 있었다.

본 연구결과에서 흥미로운 사실은 항만공사시 발생하는 부유토사는 표층의 경우 취송류의 영향을 많이 받고 저층의 경우 조류의 영향을 받으며, 부유토사의 확산은 표층보다는 저층으로 더 멀리 확산된다는 사실을 알 수 있었다.

후 기

본 연구는 부산지방해양수산청 부산항건설사무소의 지원을 받아 수행되었으며, 이에 깊이 감사드립니다.

참고문헌

- [1] 맹준호 외, 2000, “방과제 모래치환공사시 부유토사의 거동특성”, 환경영향평가, 9(2), 127~142.
- [2] 부산지방해양수산청 부산항건설사무소, 2000, 부산신항해양수리현상 및 사후환경조사연구개발용역 보고서.
- [3] 부산지방해양수산청 부산항건설사무소, 2001,

부산신항해양수리현상 및 사후환경조사연구개발
용역(2차) 보고서.

[4] 부산지방해양수산청 부산항건설사무소, 2002,
부산신항해양수리현상 및 사후환경조사연구개발
용역(3차) 보고서.

[5] 정중률, 준설공사시 발생하는 부유물질의 확산
및 단일오타방지막의 효과분석, 한국해양공학
회지, 12(3), 1~8.

[6] 해양수산부, 2001, 부유토사 발생량평가 및
오타방지막 효율에 관한 연구용역.

[7] 해양수산부, 2001, 부유토사 발생량평가 및
오타방지막 효율에 관한 연구용역(Ⅱ).

[8] 運輸省第四港灣建設局海域整備課, 1982, しゅんせつ埋立による濁り等の影響の事前豫測マニュアル.

[9] 吉上井 光 昭, 1989, 港灣工事における濁りの
舉動に関する研究.