

항만공사시 부유토사의 거동 특성에 관한 연구(II)

- 매립 및 준설공사시 -

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

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

- The Landfill Construction and The Grab Dredging Construction -

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 부유토사의 발생이 가장 많은 공정인 직접투하방식에 의한 매립공사 및 그랩준설공사를 대상으로 부유토사 발생거동에 대해 조사하였다. 본 조사결과에 의하면 700ton급 대선을 이용해 준설토를 직접 투하하는 방식에 의한 매립공사의 경우 매립토 직투(700m³)후 부유토사가 순간적으로 매우 높은 농도로 발생하여 부유토사는 60분간 지속되었다. 그랩준설공사시의 부유토사의 거동에 대한 조사결과 발생원 주변에서 수심에 관계없이 고농도의 부유토사가 발생하여 부유토사는 띠를 형성하며 조류방향을 따라 이동하여 700m이상 확산되었다. 본 연구결과를 토대로 볼 때 부유토사의 발생을 저감시키기 위해 항만공사시 설치하는 오탉방지막의 설치위치를 가능한 공사지점으로부터 가까운 거리에 설치하는 것이 부유토사의 확산을 저감하는데 효율적이며, 오탉방지막의 막체길이는 가능한 길게 설치하도록 하여 저층으로 확산되는 부유토사의 확산을 저감시키는 것이 바람직할 것으로 판단된다.

Abstract

In order to analyze the movement characteristics of suspended solid(SS) in harbor construction, we investigate the generation and movement processes of the SS for the landfill construction by direct casting method and the grab dredging construction which is the most frequent process in harbor construction. We find that the SS is generated into a very high concentration right after the direct casting of landfill soil and continued up to 60 minutes in the landfill construction using the direct casting method with dredged materials by a ship of 700-tonnage. In the grab dredging construction, the SS is

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

generated in a high density of concentration near at its source regardless of water depth, formed belt and diffused up to 700m along the trajectory of tidal current. Based on the result of the present study, it is recommended for the mitigation of SS generation that the silt protector be deployed near at construction site close enough to block the diffusion of SS and the body length of silt protector be long enough to mitigate the SS diffusion in the bottom layer.

Keywords: suspended solid, harbor construction, landfill construction, grab dredging construction.

1. 서론

항만공사 중 부유토사의 발생이 가장 많은 공종으로는 매립공사와 그랩준설공사인 것으로 알려져 있다. 따라서 항만공사에 따른 환경영향평가지기 부유토사로 인한 영향예측에 있어 일반적으로 최악의 조건을 대상으로 영향예측이 이루어지기 때문에 전체 공종 중 주로 매립공사 또는 준설공사를 대상으로 영향예측을 실시한다. 그러나 이러한 영향예측 결과가 공사시 실제로 발생하는 부유토사의 거동과는 다르게 나타나는 경우가 많다. 따라서 환경영향의 정확한 평가와 적절한 저감방안의 수립을 위해서는 이들 항만공사시 부유토사의 발생거동에 관한 직접적인 조사가 절실히 필요하다. 따라서 본 연구에서는 현장조사를 통해 항만공사 중 부유토사의 발생이 가장 많은 공종인 직접투하방식에 의한 매립공사 및 그랩준설공사를 대상으로 부유토사 발생 거동에 대해 조사하였다.

2. 연구방법

본 연구를 수행하기 위해서 부산신항만공사가 진행 중인 현장에서 매립공사 및 준설공사를 대상으로 현장관측을 실시하였다. 조사는 직접투하방식에 의한 매립공사 및 그랩준설공사(8m³ 그랩형식)를 대상으로 부유토사의 거동에 대해 조사를 실시하였다. 한편 그랩준설공사시의 부유토사의 거동에 대한 조사는 2회에 걸쳐 시행하였다. 즉 서로 상이한 지점 및 시기에 조사를 실시하여 서로 비교 분석하였다(A지점 및 B지점).

조사정점은 매립공사의 경우 준설토의 투기과 계속해서 이루어지는 것이 아니라 700ton급 대

선을 이용해 일시에 투기하므로 부유토사가 순간적으로 발생하고 조류의 흐름에 따라 이동하므로 거리별 조사가 아닌 1회 투기후의 확산 및 침강하는 거동을 파악하기 위해 Fig. 1과 같은 지점에서 경시변화에 따른 부유토사의 거동을 조사하였다. 즉 대조기 낙조시 준설토 투하지점으로부터 500m의 범위내에서 부유토사가 조류에 따라 이동하는 것을 따라 5분 간격으로 60분간 부유토사의 발생거동으로 조사하였다.

그랩준설공사는 A지점의 경우 준설지점으로부터 낙조시 조류의 주흐름방향으로 10m(St1), 50m(St2), 100m(St3), 200m(St4), 300m(St5), 400m(St6), 500m(St7), 700m(St8), 1000m(St9) 지점으로 조사정점을 선정하여 수심별 탁도 및 SS농도를 조사하였다(Fig. 2). 한편 부유토사가 확산되는 조류의 흐름방향으로 작업선의 출입을 위해 오타방지막이 설치되어 있지 않아 오타방

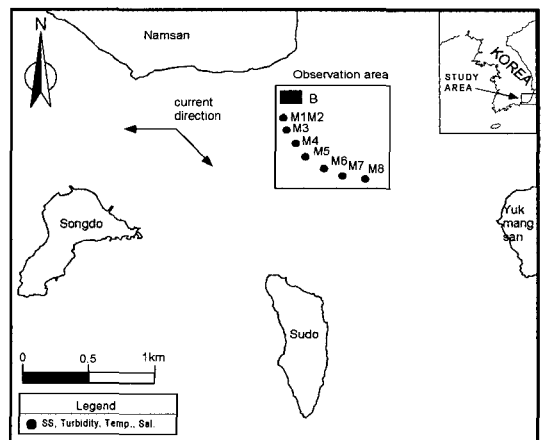


Fig. 1 Sampling locations of the landfill construction by direct casting method.

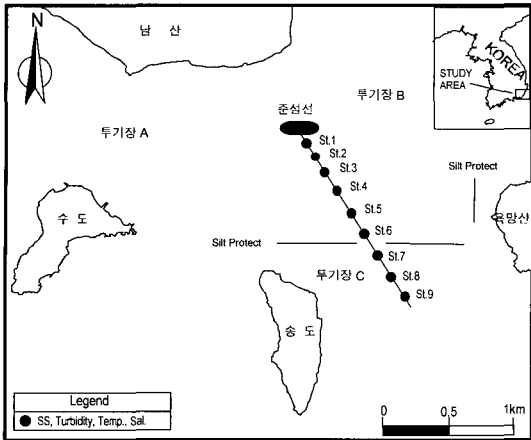


Fig. 2 Station A sampling locations of the grab dredging construction.

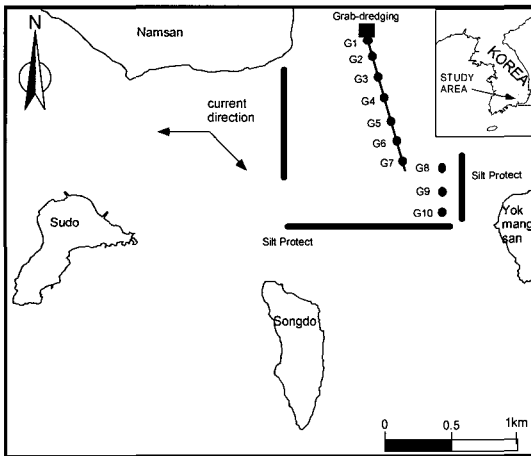


Fig. 3 Station B sampling locations of the grab dredging construction.

지막의 설치효과에 대해서는 조사를 할 수 없었다.

B지점의 경우 준설지점으로부터 낙조시 조류의 주흐름방향으로 10m(G1), 30m(G2), 100m(G3), 200m(G4), 300m(G5), 500m(G6), 700m(G7), 800m(G8), 900m(G9), 1000m(G10) 지점을 조사정점으로 선정하여 거리별, 수심별 탁도 및 SS농도를 조사하였다(Fig. 3).

부유토사의 거동은 탁도와 SS의 농도로 조사하였다. 탁도는 CTD를 사용하여 측정하였으며,

부유토사(SS: Suspended Solids)은 해양환경공정시험방법에 따라 잘 혼합된 일정량의 해수시료를 미리 무게를 알고 있는 유리섬유 여과지(GF/C)에 여과한 후 103~105°C에서 건조시키고, 황산 데시케이터에 넣어 방냉한 다음 건조시킨 후 유리섬유 여과지의 무게를 달아 시료전·후의 여지 무게의 차를 산출하여 부유물질의 농도로 구하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 매립공사(직접투하방식)의 부유토사의 거동특성

본 조사는 700ton급 대선을 이용해 준설토를 직접 투하하는 방식으로 매립할 경우에 발생하는 부유토사의 거동특성에 대해 조사하였다.

조사결과 매립토 직투(700m³)후 부유토사가 순간적으로 매우 높은 농도로 발생하여 외관상 장축 100m 단축 50m의 타원형의 형태로 발생하였다. 5분 경과 후 그 범위가 더욱 넓어져 장축 200m 단축 100m의 형태로 확산되었으며, 10분 후에는 반경 150m의 범위로 확산되었다. 그 후 30분 후에는 표층에서 장축 100m 단축 50m의 부유토사를 포함한 수괴가 조류방향으로 이동하였다.

부유토사는 Table 1에 나타난 바와 같이 직투 후 표층에서 488NTU로 매우 높은 농도를 나타냈다. 또한 부유토사의 농도는 저층에서 더욱 높아 수심 4m에서 1300NTU, 5분후에는 689NTU를 나타냈다.

시간의 경과와 더불어 부유토사는 점차 소멸되어 표층의 경우 5분후 150NTU, 10분후 30.3NTU, 30분후 25.7NTU, 60분후 15.2NTU를 나타냈으며, 저층의 경우 5분후 689NTU, 10분후 57.1NTU, 30분후 30.3NTU, 60분후 16.9NTU를 나타냈다.

SS의 결과도 앞에서 언급한 탁도분포특성과 유사한 결과를 나타냄을 알 수 있었다(Table 2). 직투후 표층은 645mg/l, 저층에서는 1708mg/l로 매우 높은 농도를 나타냈다. 10분 경과후에는 표층에서 119mg/l, 저층에서 124mg/l를 나타냈으며, 시간의 경과와 더불어 부유토사가 점차 침강하여 10분 경과후에는 표층에서는 배경농도인

4.8mg/ℓ, 저층에서는 7.2mg/ℓ를 나타냈다.

한편 부유토사의 확산범위는 조류방향에 따라 이동하여 직투장소로부터 약 800m 이상 지점까지 확산하였다.

오타방지막은 직투장소로부터 800m 떨어진 지점에 설치되어 있으나 고농도의 부유토사는 800 m 지점에 도달하기 전에 침강하여 오타방지막이 직투로 인한 부유토사의 확산을 저감하는 데는 그 기능을 제대로 발휘하지 못하였다.

이상의 결과로 미루어 직투방식에 의한 준설 토의 투기에 의해 부유토사는 매우 높은 농도로 발생하고 60분간 지속되며, 한편 확산범위에 대해서는 거리별로 정확히 조사를 시행하지는 않았으나, 약 800m 이상까지 확산됨을 확인하였다.

3.2 그랩준설공사시 부유토사의 거동특성

그랩준설공사시 발생하는 부유토사가 거리 및

Table 1 Temporal variation of turbidity(NTU) by the landfill construction.

| 시간 \ 수심(m) | 0.5 | 1 | 2 | 3 | 4 | 수심(m) |
|--------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| M1(직투후) | 488 | 870 | 470 | 720 | 1300 | 5.0 |
| M2(5분경과후, 직투장소) | 150 | 104 | 85 | 70 | 689 | 5.0 |
| M3(10분경과후, 직투장소로부터 100m) | 30.3 | 70.3 | 86.3 | 64.1 | 57.1 | 5.0 |
| M4(15분경과후, 직투장소로부터 150m) | 17.6 | 31.0 | 30.1 | 43.1 | 46.7 | 5.0 |
| M5(20분경과후, 직투장소로부터 200m) | 19.8 | 23.6 | 23.5 | 25.9 | - | 5.0 |
| M6(30분경과후, 직투장소로부터 300m) | 25.7 | 27.4 | 28.5 | 29.3 | 30.3 | 5.0 |
| M7(40분경과후, 직투장소로부터 400m) | 20.6 | 22.8 | 21.1 | 25.2 | 32.5 | 5.0 |
| M8(60분경과후, 직투장소로부터 500m) | 15.2 | 13.0 | 12.7 | 16.9 | - | 5.0 |
| 배경농도 | 12~15 | 12~15 | 12~15 | 13~16 | 15~18 | |

Table 2 Suspended solid concentrations(mg/ℓ) of the landfill construction by direct casting method.

| 시간 \ 수심(m) | surface | 3m | 수심(m) |
|--------------------------|---------|---------|-------|
| M1(직투후) | 645.80 | 1708.80 | 5.0 |
| M2(5분경과후, 직투장소) | 63.80 | 93.40 | 5.0 |
| M3(10분경과후, 직투장소로부터 100m) | 119.60 | 124.80 | 5.0 |
| M4(15분경과후, 직투장소로부터 150m) | 15.80 | 33.20 | 5.0 |
| M5(20분경과후, 직투장소로부터 200m) | 34.20 | 23.00 | 5.0 |
| M6(30분경과후, 직투장소로부터 300m) | 27.40 | 19.80 | 5.0 |
| M7(40분경과후, 직투장소로부터 400m) | 9.60 | 10.00 | 5.0 |
| M8(60분경과후, 직투장소로부터 500m) | 4.80 | 7.20 | 5.0 |
| 배경농도 | 4.5~6.0 | 5.5~7.0 | |

Table 3 Station A turbidity(NTU) of the grab dredging construction.

| 정점 \ 수심(m) | 0.5 | 2 | 4 | 6 |
|------------|-----|----|----|----|
| 1(10m) | 56 | 40 | 37 | 65 |
| 2(50m) | 24 | 40 | 35 | - |
| 3(100m) | 20 | 18 | 10 | - |
| 4(200m) | 19 | 22 | 22 | 21 |
| 5(300m) | 14 | 10 | 7 | 4 |
| 6(400m) | 8 | 9 | 7 | 5 |
| 7(500m) | 8 | 8 | 7 | 5 |
| 8(700m) | 2 | 2 | 1 | 1 |
| 9(1000m) | 0 | 0 | 0 | 0 |

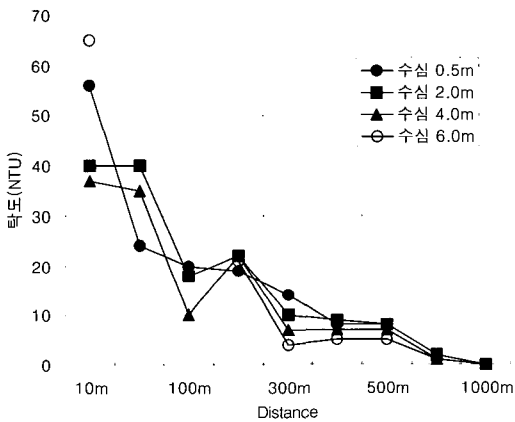


Fig. 4 Horizontal profiles of station A turbidity (NTU) by distance from the grab dredging construction point.

수심에 따라 어떠한 양상으로 변화되는가를 조사하였다. 조사는 공사전과 후를 구분하여 조사하였으며, 공사 전에 측정된 자료를 배경농도로 하여 부유토사의 증가치로 구하였다. 준설공사시 발생하는 부유토사는 띠를 형성하며 조류방향으로 이동하였다. 따라서 조사정점을 부유토사의 띠 방향을 따라 선정하였다.

먼저 A지점의 경우 Table 3, Fig. 4에 나타낸 바와 같이 발생원 주변에서 수심에 관계없이 37~65NTU의 높은 부유토사의 증가치를 나타냈다. 50m지점의 경우 표층에서 24NTU의 증가치를 나타냈으며 중층의 경우에는 준설지점과 차

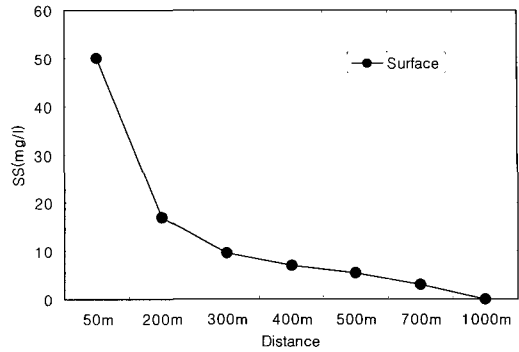


Fig. 5 Diffused profiles of surface suspended solid concentrations(mg/l) by distance from the station A grab dredging construction point.

이가 없이 높은 부유토사의 농도를 나타냈다. 발생원으로부터 300m 지점에서 부유토사 농도는 급격히 낮아졌으나 표층에서 14NTU, 수심 4m 지점에서 7NTU로 아직 높은 농도를 나타냈다. 표층의 경우 거리가 멀어짐에 따라 부유토사의 농도는 낮아져 발생원으로부터 700m 이후 지점에서 배경농도를 나타냈다. 수심 4m지점의 경우 300m~500m지점에서 약 7NTU의 증가치를 유지하였으며 700m 이후에 배경농도를 나타냈다.

한편 오탐방지막은 준설공사 지점으로부터 약 400m에서 500m 사이에 설치되어 있었으나 중간에 작업선의 출입을 위해 오탐방지막을 설치하지 않은 방향으로 부유토사가 이동하여 오탐방지막의 효과에 대해서는 조사를 할 수 없었다.

SS의 결과도 앞에서 언급한 탁도분포특성과 유사한 결과를 나타냄을 알 수 있었다(Fig. 5).

공사지점으로부터 50m 거리의 경우 50.0mg/l의 높은 부유토사의 증가치를 나타냈다. 거리가 멀어짐에 따라 부유토사의 농도는 낮아져 300m 지점에서 9.6mg/l, 400m지점에서 7.0mg/l, 500m지점에서 5.5mg/l, 700m지점에서 3.0mg/l의 증가치를 나타냈으며 1000m지점에서 배경농도를 나타내 부유토사는 700m이상 확산됨을 알 수 있었다.

B지점의 경우 Table 4, Fig. 6에 나타낸 바와 같이 발생원 주변에서 수심에 관계없이 28~42NTU의 높은 부유토사의 증가치를 나타냈다. 30m지점의 경우 발생원과 큰 차이 없이 높은 탁

Table 4 Vertical and horizontal profiles of turbidity(NTU) by distance from the station A grab dredging construction point.

| 정점 \ 수심(m) | 0.5 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 수심(m) |
|------------|------|------|------|------|------|------|-------|
| G0(발생원) | 28.7 | 29.9 | 30.0 | 41.0 | 42.0 | - | 6.4 |
| G1(10m) | 27.2 | 28.9 | 29.0 | 38.4 | 43.3 | 61.5 | 6.5 |
| G2(30m) | 22.3 | 20.6 | 21.1 | 21.0 | 24.8 | 42.0 | 6.5 |
| G3(100m) | 20.4 | 21.0 | 18.0 | 20.0 | 19.8 | 19.0 | 6.7 |
| G4(200m) | 10.6 | 10.2 | 10.8 | 21.4 | 20.5 | 33.2 | 6.7 |
| G5(300m) | 8.7 | 12.9 | 13.1 | 18.5 | 19.1 | 20.1 | 6.7 |
| G6(500m) | 8.7 | 11.8 | 10.0 | 15.8 | 16.1 | 19.1 | 6.8 |
| G7(700m) | 5.6 | 6.2 | 5.0 | 6.2 | 6.9 | 6.8 | 7.0 |
| G8(800m) | 0 | 0 | 1.0 | 1.5 | 2.5 | - | 6.0 |
| G9(900m) | 0 | 0 | 0 | 0 | 1.0 | - | 6.0 |
| G10(1000m) | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | - | 6.0 |

주) 정점 G8~10은 오탉방지막 설치지점

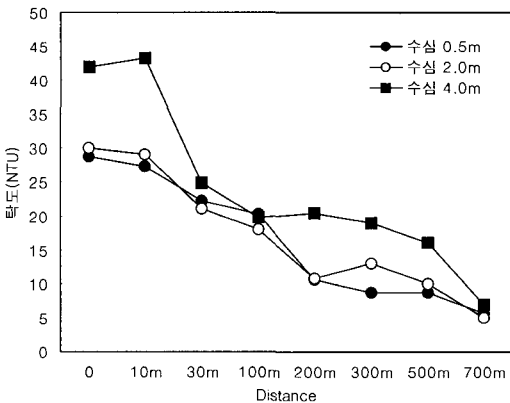


Fig. 6 Comparison with vertical profile of turbidity(NTU) on the station B grab dredging construction.

도를 나타냈다. 발생원으로부터 200m지점의 경우 표층에서 수심 2m까지 약 10NTU의 부유토사 증가치를 나타내 이 지점을 기준으로 농도가 급격히 저하되었다. 그러나 수심 3m이하의 경우 여전히 높은 탁도를 나타냈다. 거리가 멀어짐에

따라 부유토사의 농도는 낮아졌으나 발생원으로부터 700m지점에서 약 5.0~6.9의 여전히 높은 농도를 나타내 부유토사가 700m이상 확산됨을 알 수 있었다. 한편 800m지점의 경우 표층에서 부유토사의 발생이 거의 나타나지 않았다. 이것은 부유토사가 800m이상 확산되지 않는다는 것을 의미하는 것은 아니다. 즉 조사지점 G8~10의 경우 오탉방지막의 효과를 조사하기 위한 목적으로 G1~7과는 다르게 조사정점을 선정하여 그랩준설 공사시 부유토사의 확산범위에 대한 정확한 예측은 하지 못했다.

이상의 결과로 미루어 그랩준설공사시 부유토사는 띠를 따라 발생하며 700m지점까지 고농도의 부유토사가 확산됨을 알 수 있었다. 또한 수심별 조사를 통해 표층보다는 저층에서 더 높은 부유토사가 발생한다는 사실을 확인할 수 있었다.

SS의 결과도 탁도분포특성과 유사한 결과를 나타냈다(Table 5, Fig. 7). 표층의 경우 공사지점으로부터 100m 지점에서 18.8mg/ℓ의 높은 부유토사의 증가치를 나타냈다. 거리가 멀어짐에 따라 부유토사의 농도는 낮아져 300m 지점에서

Table 5 Vertical and horizontal profiles of suspended solid concentrations (mg/l) by distance from the station A grab dredging construction point.

| 정점 \ 수심(m) | 0.5 | 3 | 5 | 수심(m) |
|------------|-------|-------|-------|-------|
| G0(발생원) | 33.40 | 33.40 | | 6.4 |
| G1(10m) | 24.40 | 21.80 | 36.00 | 6.5 |
| G2(30m) | 19.00 | 24.00 | 24.40 | 6.5 |
| G3(100m) | 18.80 | 21.80 | 19.00 | 6.7 |
| G4(200m) | 5.20 | 18.20 | 22.80 | 6.7 |
| G5(300m) | 8.00 | 17.80 | 12.20 | 6.7 |
| G6(500m) | 4.60 | 12.60 | 11.20 | 6.8 |
| G7(700m) | 4.00 | 9.60 | 7.20 | 7.0 |
| G8(800m) | 1.00 | 0 | | 6.0 |
| G9(900m) | 0 | 0 | | 6.0 |
| G10(1000m) | 0 | 0 | | 6.0 |

주) 정점 G8~10은 오탉방지막 설치지점

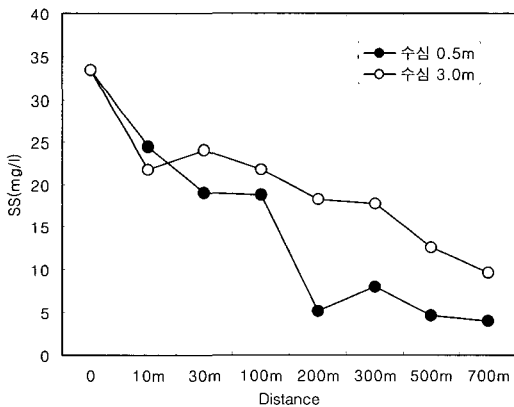


Fig. 7 Comparison with vertical profile of suspended solid concentrations (mg/l) on the station B grab dredging construction.

8.0mg/l, 500m지점에서 4.6mg/l, 700m지점에서 4.0mg/l의 증가치를 나타냈다. 그러나 저층의 경우는 300m지점에서 12.2mg/l, 500m지점에서 11.2mg/l, 700m지점에서 7.2mg/l의 증가치를 나타내 저층이 표층보다 더 높은 부유토사가 발생됨을 알 수 있었다.

4. 결 론

항만공사 중 부유토사의 발생이 가장 많은 공종인 직접투하방식에 의한 매립공사 및 그랩준설공사를 대상으로 부유토사 발생거동에 대해 조사하였다.

700ton급 대선을 이용해 준설토를 직접 투하하는 방식으로 매립할 경우에 발생하는 부유토사의 거동특성에 대해 조사한 결과 매립토 직투(700m³)후 부유토사가 순간적으로 매우 높은 농도로 발생하여 외관상 장축 100m 단축 50m의 타원형의 형태로 발생하였다. 10분 경과후에는 반경 150m의 범위로 확산되었으며 30분 후에는 표층에서 장축 100m 단축 50m의 부유토사를 포함한 수괴가 조류방향으로 이동하여 부유토사는 60분간 지속되었다.

그랩준설공사시의 부유토사의 거동에 대하여 2회에 걸쳐 조사를 시행하였다. 즉 그랩준설공사시 발생하는 부유토사의 거동에 대해 정확히 파악하기 위해 서로 상이한 지점 및 시기(A지점, B지점)에 조사를 실시하여 서로 비교 분석하였다. 조사결과 발생원 주변에서 수심에 관계없이 고농도의 부유토사가 발생하여 부유토사는 떠돌 형성하며 조류방향을 따라 이동하여 거리가 멀어짐에 따라 부유토사의 농도는 낮아졌다. 두 지점이 조사시기, 공사장도 및 조사지점 등의 차이로 인해 조사결과에 있어 약간의 차이를 나타냈으나 큰 차이점은 없었으며 두 지점 모두 부유토사는 700m이상 확산됨을 알 수 있었다. 또한 수심별 조사를 통해 표층보다는 저층에서 더 높은 부유토사가 발생된다는 사실을 확인할 수 있었다.

이상의 연구결과를 토대로 볼 때 부유토사의 발생을 저감시키기 위해 항만공사시 설치하는 오탉방지막의 설치위치를 가능한 공사지점으로부터 가까운 거리에 설치하는 것이 부유토사의 확산을 저감하는데 효율적일 것으로 판단된다. 또한 오탉방지막의 막체길이는 가능한 길게 설치하도록 하여 저층으로 확산되는 부유토사의 확산을 저감시키는 바람직할 것으로 판단된다.

후 기

본 연구는 부산지방해양수산청 부산항건설사무

소의 지원을 받아 수행되었으며, 이에 깊이 감사드립니다.

참고문헌

- [1] 맹준호 외, 2000, “방파제 모래치환공사시 부유토사의 거동특성”, 환경영향평가, 9(2), 127~142.
- [2] 부산지방해양수산청 부산항건설사무소, 2000, 부산신항해양수리현상 및 사후환경조사연구개발용역 보고서.
- [3] 부산지방해양수산청 부산항건설사무소, 2001, 부산신항해양수리현상 및 사후환경조사연구개발용역(2차) 보고서.
- [4] 부산지방해양수산청 부산항건설사무소, 2002, 부산신항해양수리현상 및 사후환경조사연구개발용역(3차) 보고서.
- [5] 정종률, “준설공사시 발생하는 부유물질의 확산 및 단일오탁방지막의 효과분석”, 한국해양공학회지, 12(3), 1~8.
- [6] 해양수산부, 2001, 부유토사 발생량평가 및 오탁방지막 효율에 관한 연구용역.
- [7] 해양수산부, 2001, 부유토사 발생량평가 및 오탁방지막 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挙動に関する研究.