

## 防潮堤築造에 따른 土砂擴散 豫測

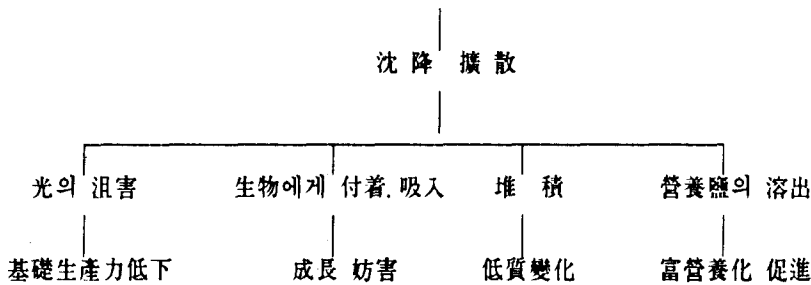
(Diffusion pre-estimate of soil caused by a tidal embankment construction)

이 중남\* 신 문섭\*\* 고 병욱\*\*\* 박 상배\*\*\* 장 인규\*\*

### 1. 序 論

一般的으로 海上工事에서 懸濁物質의 發生은 浚濬과 埋立이 큰비중을 차지하고 있다. 특히 干拓工事에 의한 懸濁物質은 工事に 사용되고 있는 山土와 海底土의 工學的性質에 의하여 일부가 흐름, 각난, 再浮遊에 의하여 周圍로 擴散하여 간다. 그러므로 干拓工事에서 懸濁物質의 發生은 工事に 사용되고 있는 土砂의 量, 입도 분포, 흐름의 크기, 地形, 海底土의 特性에 깊은 관계가 있고, 施工法과 施工機械에 따라서도 크게 달라진다. 海上工事에서 土砂에 의한 懸濁物質이 주는 環境變化는

土砂에 의한 懸濁物質의 發生



等로 볼 수 있다.

京畿道 瓊津郡 白翎面 鎮村里의 干拓工事에 따른 漁業權 被害補償을 위하여 海水流動의 現地觀測과 數值實驗을 하였다. 또한 土砂投下에 따른 土砂擴散濃度の 數值實驗과 防潮堤工事에 따른 가물막이 工事が 進行되고 있는 동안 土砂投下에 의한 土砂擴散 濃度も 實測하였다.

干拓工事에 따른 土砂擴散濃度を 計算하기 위하여 一日 盛土量은 7500 ton 으로 보았으며 縮切

\* 경희대학교 토목공학과 교수

\*\* 군산대학교 해양토목과 교수

\*\*\* 경희대학교 토목공학과 박사과정

工事に 따른 土砂流失率은 6%로 보았다. 그리고 一日作業時間은 10時間으로 정하여 計算 하였다.

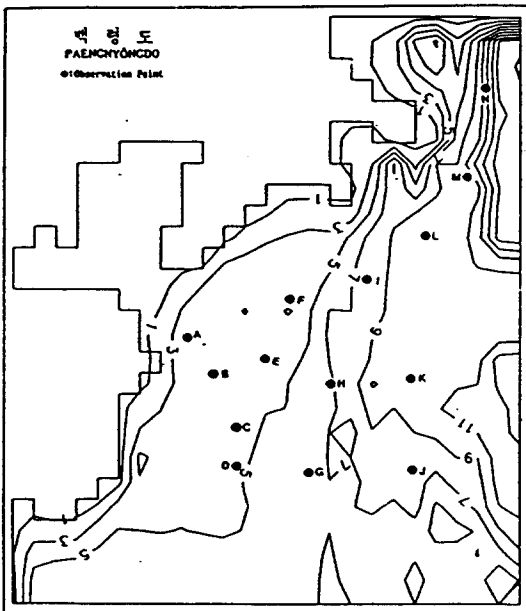
## 2. 白翎島 干拓工事附近海域의 潮流觀測

白翎島 干拓工事地區인 화동과 사곶동 海岸附近에서 海岸流를 觀測하였다. 이 海岸流는 주로 潮流라고 생각되어 진다. 현재 白翎島에는 화동과 사곶동 을 연결하는 820m의 防潮堤 築造工事が 進行중에 있다. 이 潮流觀測의 目的은 防潮堤 築造工事を 함으로써 發生되는 土砂擴散이 어패류의 서식공간의 손실, 漁場環境의 破壞등 水産資源에 미치는 影響을 파악하기 위한 기초자료로 이용하기 위하여 潮流觀測을 하였다.

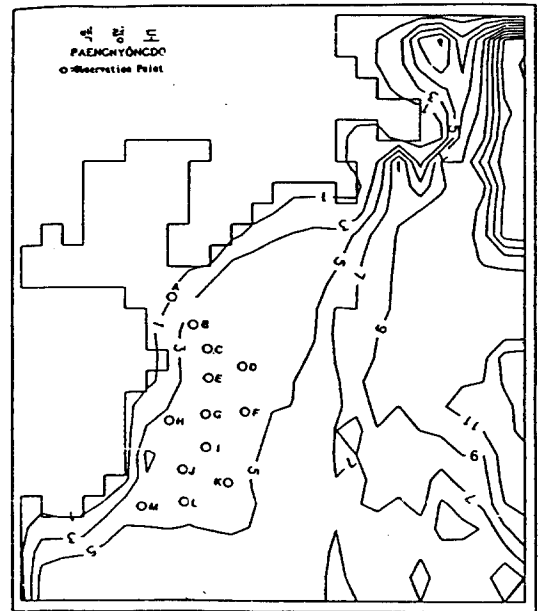
潮流觀測은 1991. 8. 4-11, 1992. 1. 21에 실시 하였다. 潮流觀測을 위한 觀測船은 진촌리 어촌계, 數 ton의 漁船을 이용하였다. 潮流觀測의 方法은 bait에서 釣을 내리고, 觀測船이 潮流에 의하여 一定한 方向을 維持하였을때 潮流速과 流向을 測定 하였다. 그러나 潮流觀測結果에는 觀測船의 搖動에 의한 誤差가 包含되어 있다고 생각된다.

潮流觀測에 利用된 流速計는 전기식유속계를 이용하였다. 潮流觀測은 10m이내의 水深에서는 上層과 中層으로 나누고, 10m이상의 水深에서는 上層, 中層, 下層으로 나누어서 觀測 하였다. 또한 觀測은 潮位差가 큰 朔 또는 望1-2일후 觀測하였다.

觀測結果 漲潮時에는 남서쪽에서 북동쪽(형제바위에서 용기포)으로 흘러 중주의 흐름과 合流하



低潮時 土砂 擴散實測地點



高潮時 土砂 擴散實測地點

여 북쪽으로 흘러가며 落潮時에는 북동쪽(용기원산)에서 흘러와 남서쪽으로 흘러 대청도와 백령주 사이의 흐름과 合流하였다. 潮流速은 용기포 附近에서 複雜하고 빠른 흐름이 觀測되었다. 또한 防潮堤가 築造되고 있는 附近에서 60-110cm/sec의 빠른 흐름이 觀測되어졌다. 그리고 해면 아래 1.5m깊이의 흐름과 流況을 알아보기 위하여, 土砂擴散과 潮流와의 關係를 알아보기 위하여 浮子を 띄워, 浮子を 追跡하면서 觀測하였다. 浮子 位置의 時間的 變化는 그림2-1과 같다.

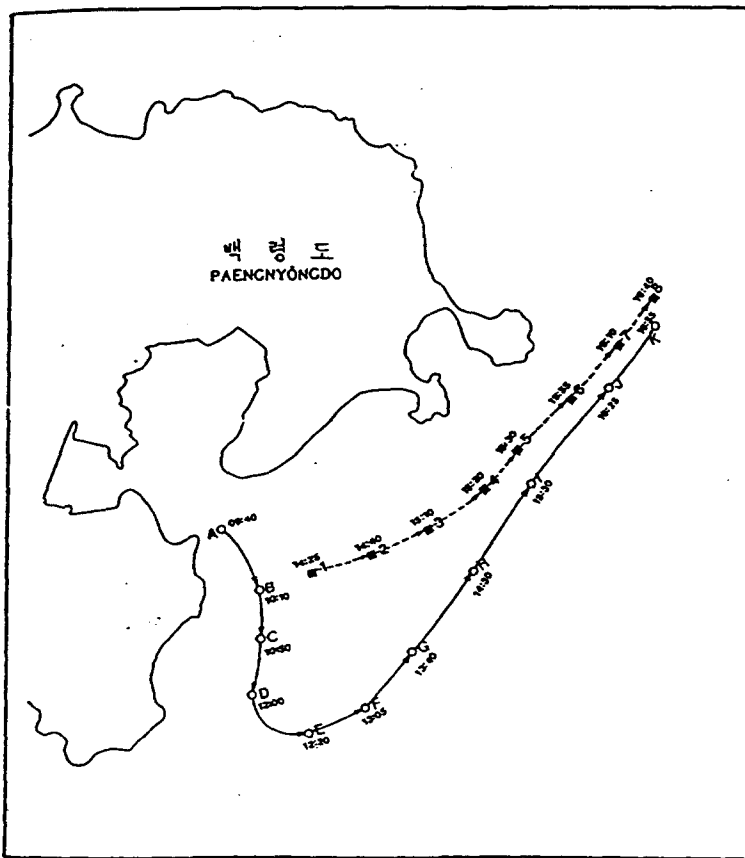


그림2-1 浮子の 時間變化에 따른 位置

### 3. 白翎島 干拓工事に 따른 土砂擴散度 現地觀測

防潮堤 築造工事が 潮流速 測定資料에 의하면 防潮堤 築造 예정선중 가장 流速이 빠른 화동쪽에 서 실시되고 있었으며 築造材料는 산흙 이었다. 防潮堤 築造에 따른 土砂擴散 濃度는 1992. 1. 21 落潮와 漲潮時에 각각 實測 하였다. 土砂擴散濃 度測定은 Tokyo TOA Electronic Ltd., Japan의

表2-1 觀測地點別 流速, 流向變動

單位: 유속(cm/sec), 流向(°)

觀測點	상 층		중 층		하 층		비 고
	유속	유향	유속	유향	유속	유향	
A	10	270	-	-	-	-	1991. 8. 10 창조시
B	15	40	20	40	-	-	
C	12	30	13	30	-	-	
D	15	40	15	60	15	55	
E	17	30	15	50	15	55	
F	15	80	17	90	18	85	
G	18	35	23	70	20	75	
H	20	30	25	30	22	35	
A	100	140	-	-	-	-	1991. 8. 10 낙조시
B	10	160	-	-	-	-	
C	40	150	35	140	-	-	
D	20	130	25	140	25	130	
E	20	140	30	160	25	150	
F	10	140	25	130	22	135	
G	15	260	30	200	25	190	
H	13	330	15	330	15	320	
A	30	330	25	30	-	-	1992. 1. 21 창조시
B	70	10	55	40	-	-	
C	60	10	55	20	-	-	
D	100	20	100	30	90	35	
E	75	40	85	45	80	40	
F	110	30	100	30	95	35	
G	90	40	70	40	65	40	
H	60	30	55	35	55	30	
A	75	180	50	180	-	-	1992. 1. 21 낙조시
B	30	165	30	165	-	-	
C	25	180	25	170	-	-	
D	30	170	25	170	25	175	
E	45	250	45	180	40	175	
F	45	180	40	170	35	165	
G	30	180	45	180	40	175	
H	15	170	18	170	15	160	

Turb. Meter Model TB-1A를 이용하여 實測 하였다. 實測結果 落潮時에는 형제바위(남서)쪽으로 높은 土砂濃度를 보이고 있었으며, 漲潮時에는 土砂濃度가 넓게 海域에 擴散하여 가면서 용기포 옆까지 土砂濃度가 實測 되었다. 實測 土砂濃度를 3次元으로 表示하면 그림3-1, 3-2와 같다.

4. 潮流 Simulation

防潮堤 築造에 따른 土砂濃度 分布를 알아보기 위하여 화동과 사곶동 앞 海城의 潮流를 計算하여 보았다.

1) 基礎方程式

海城에서 平均海面을 원점으로 하여 직교 좌표계를 그림4-1와 같이 나타내었다.

여기서 x, y축은 수평면에, z축은 연직방향으로 하고 u, v, w는 x, y, z축 方向의 流速 成分으로 한다. 그리고 z=-h 및 z=ζ는 海底 및 海面으로 한다.

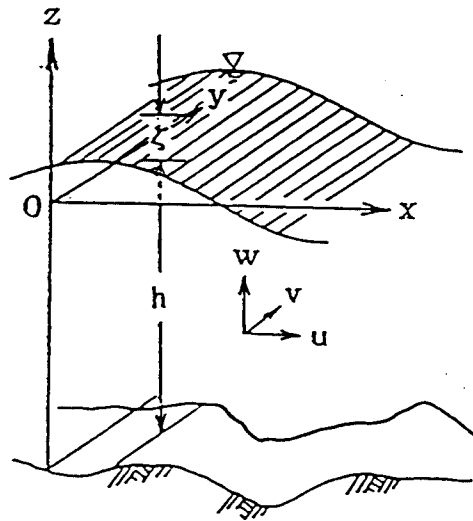


그림4-1 좌 표 계

計算의 편의를 위하여 몇가지 가정을 설정하면

- (1) 流體는 粘性, 非壓縮性이다.
- (2) 壓力은 정수압 分布를 한다.
- (3) 연직방향의 흐름은 시간적 변화량  $( \frac{\partial w}{\partial t}, \frac{\partial w}{\partial x}, \frac{\partial w}{\partial y}, \frac{\partial w}{\partial z} )$  무시한다.

(1) 運動方程式

$$\begin{aligned}
 & \frac{\partial M}{\partial t} + (2 \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{u}{h+\zeta} \frac{\partial (h+\zeta)}{\partial x}) M + ( \frac{\partial u}{\partial y} + \frac{u}{h+\zeta} \frac{\partial (h+\zeta)}{\partial y} ) N + fN \\
 & = -g(h+\zeta) \frac{\partial \zeta}{\partial x} - \frac{\gamma^2 u \sqrt{u^2 + v^2}}{h + \zeta}
 \end{aligned} \tag{1}$$

$$\begin{aligned} & \frac{\partial N}{\partial t} + \left( \frac{\partial v}{\partial x} + \frac{v}{h+\zeta} \frac{\partial(h+\zeta)}{\partial x} \right) M + \left( 2 \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{v}{h+\zeta} \frac{\partial(h+\zeta)}{\partial y} \right) N - fN \\ & = -g(h+\zeta) \frac{\partial \zeta}{\partial y} - \frac{\gamma^2 N \sqrt{u^2 + v^2}}{h + \zeta} \end{aligned} \quad (2)$$

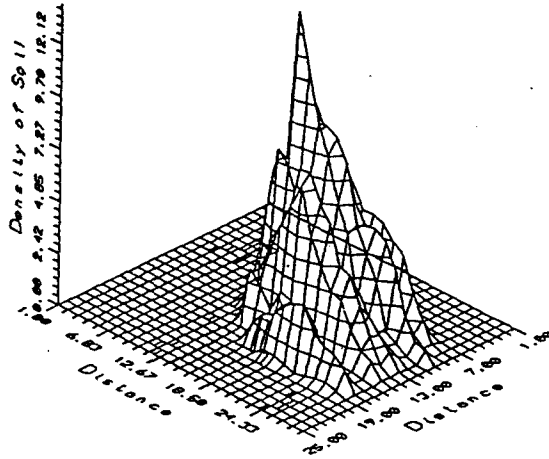


그림3-1 藤岡時實測土砂濃度の3次元分布(1992. 1. 21)

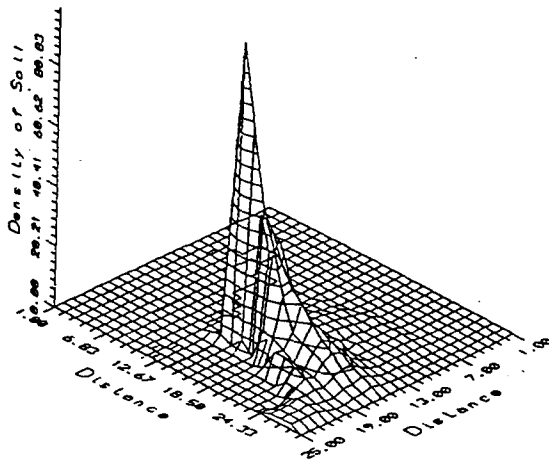


그림3-2 藤岡時實測土砂濃度の3次元分布(1992. 1. 21)

(2) 連續方程式

$$\frac{\partial \zeta}{\partial t} = - \left( \frac{\partial M}{\partial x} + \frac{\partial N}{\partial y} \right) \quad (3)$$

여기서

$N, M$  :  $x, y$  方向의 단위폭당 단위유량성분

$u, v$  :  $x, y$  方向의 平均流速成分

$\zeta$  : 平均海面으로 부터의 水位

$h$  : 平均水深

$t$  : 時間

$\gamma$  : 摩擦係數

$f$  : Corioli 係數

$g$  : 重力 加速度

### (3) 擴散方程式

古典的 擴散理論은 Fick에 의해서 確立되어 졌으며 백령도 干拓工事に 따른 土砂擴散計算도 2次元 흐름에 대한 Fick형의 擴散式으로 표시하면

$$\frac{\partial c}{\partial t} + u \frac{\partial c}{\partial x} + v \frac{\partial c}{\partial y} = D_n \frac{\partial^2 c}{\partial x^2} + D_m \frac{\partial^2 c}{\partial y^2} \quad (4)$$

여기서

$c$  : 土砂의 濃度

$u, v$  :  $x, y$  方向의 流速

$D_n$  : 分子擴散係數

된다. 그러나 海域의 흐름은 一般的으로 亂流狀態에 있기 때문에 亂流擴散을 생각하지 않으면 안 된다. 여기서, 潮流速과 濃度를 統計的 平均值와 亂流의 變動成分을 합하여 表示하면

$$\begin{aligned} u &= \bar{u} + u' \\ v &= \bar{v} + v' \\ c &= \bar{c} + c' \end{aligned} \quad (5)$$

된다.  $\bar{\quad}$  는 平均值를 '은 變動成分을 나타내며 (5)식을 (4)식에 代入하여 平均을 취하면 Fick의 方程式은

$$\frac{\partial \bar{c}}{\partial t} + \bar{u} \frac{\partial \bar{c}}{\partial x} + \bar{v} \frac{\partial \bar{c}}{\partial y} = D_n \frac{\partial^2 \bar{c}}{\partial x^2} + D_m \frac{\partial^2 \bar{c}}{\partial y^2} + \frac{\partial (\overline{-u'c'})}{\partial x} + \frac{\partial (\overline{-v'c'})}{\partial y} \quad (6)$$

된다. 亂流運動에서 輸送Flux는 分子運動에 의한 擴散과의 相似性으로 부터

$$\overline{u'c'} = -k_x \frac{\partial \bar{c}}{\partial x}, \quad \overline{v'c'} = -k_y \frac{\partial \bar{c}}{\partial y} \quad (7)$$

로 쓸 수 있다.

여기서,  $k_x, k_y$ 는 亂流 擴散係數

(7)식을 (6)식에 代入하면 Fick의 擴散方程式은

$$\frac{\partial \bar{c}}{\partial t} + \bar{u} \frac{\partial \bar{c}}{\partial x} + \bar{v} \frac{\partial \bar{c}}{\partial y} = \frac{\partial}{\partial x} \left( (D_m + k_x) \frac{\partial \bar{c}}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( (D_m + k_y) \frac{\partial \bar{c}}{\partial y} \right) \quad (8)$$

로 되며, 一般的으로 分子擴散에 비하여 亂流擴散이 크므로  $D_m$ 은  $k_x, k_y$ 에 대하여 생략된다. 그리고 沈澱과 自淨作用을 無視하면

$$\frac{\partial c}{\partial t} + u \frac{\partial c}{\partial x} + v \frac{\partial c}{\partial y} = k_x \frac{\partial^2 c}{\partial x^2} + k_y \frac{\partial^2 c}{\partial y^2} \quad (9)$$

로 된다.

토사의 침강을 고려하면

$$\frac{\partial c}{\partial t} + u \frac{\partial c}{\partial x} + v \frac{\partial c}{\partial y} = k_x \frac{\partial^2 c}{\partial x^2} + k_y \frac{\partial^2 c}{\partial y^2} - W_0 c \quad (10)$$

$W_0$  : 沈降速度로 된다.

## 2) Corioli 힘의 影響

潮流의 運動方程式에서 각 항의 크기를 比較하여 省略할 수 있는 항은 省略한 근사식을 다룰 수 있다. 현상이 수 백km에 미치는 潮汐波, 灣, 海岸線變化, 河川 plume, 海城에서 溫排水 擴散등의 현상을 다루는 경우에는 地球自轉에 의한 效果를 考慮하여야 한다. 특히 어떤 物質이 海面의 表層에 얽은 層을 形成하여 가면서 擴散하여 가는 경우 流動 scale에 비하여 길이scale이 크게 된다. 白翎島 干拓工事に 따른 土砂擴散을 計算하기 위한 運動方程式의 支配因子を 分析하여 地球自轉의 影響을 받는지 알아 보았다.

백령도 위도는  $37.54'$ 이므로 Corioli계수는

$$f = 2\omega \sin \phi = 0.00009 \text{sec}^{-1}$$

여기서

$\omega$  : 地球의 自轉角速度



$\phi$  : 緯度

地球自轉效果의 慣性力에 대한 상대속도를 나타내는 Rossby수  $Ro$ 는代表流速 ( $U=38.15c/sec$ ) 및 대표길이 ( $L=9.6km$ )로 부터 구할 수 있다.

$$Ro = \frac{U}{f L} = 44.526$$

計算結果 Rossby 수가 44.526 이기 때문에 地球自轉效果는 無視할 수 있다.

## 5. 數值解析

### 1) 防潮堤 築造 工事中の 潮流 및 土砂 擴散

運動方程式과 連續方程式을 Leap frog 方法으로 差分化하여 流速과 流向을 구하였으며, 擴散方程式의 時間項은 Euler法을 利用하여 差分하였고, 移流項과 擴散項은 Leap frog 方法을 利用하여 差分하였다. 擴散係數의 決定은 觀測된 水深別 流速資料로 부터 구한 結果 1991. 8. 10 大潮時는  $31,912cm^2/sec$ 이 計算 되었으며, 1992. 1. 21 大潮時에는  $36,092cm^2/sec$  計算되어 졌다.

計算에서 해가 발산하지 않을 安定條件은

$$\frac{\Delta s}{\Delta t} > \sqrt{2gh_{max}}$$

여기서,

$h_{max}$  : 海域의 最大水深

$\Delta s$  : 격자간격

$\Delta t$  : 시간간격

$g$  : 중력가속도

이다. 計算條件은 表2과 같다.

運動方程式과 連續方程式을 차분화하여 구한 潮流速은 그림5-4(a)-(1)와 같고 一日盛土量 7500 ton, 流失率 6%, 一日作業時間 10時間으로 推定하여 連續投下된 土砂濃度는 그림5-5(a)-(f)이다.

### 2) 防潮堤 築造 工事後의 潮流

防潮堤 築造 工事後의 潮流를 計算하기 위하여 運動方程式과 連續方程式을 Leap frog 方法으로 差分化하여 流速과 流向을 구한결과 전반적으로 조류속은 防潮堤 築造前 보다 築造後가 조금 빠른 조류속분포를 하고 있었으며 특히 조류발생 5-6시간후의 潮流는 빠른 分布를 하고 있었다. 또한 防潮堤 축조전, 防潮堤 豫定線앞 海域에서 渦流現狀이 있었으나, 防潮堤 築造後에는 渦流現狀이 적게

표2 計算條件

節點間隔 $\Delta x$	400 m
// $\Delta y$	400 m
時間間隔 $\Delta t$	15 sec
潮汐週期	12시간25분
渦動粘性係數	$1.0 * 10^4 \text{ cm}^2/\dots$
組度係數	$\gamma = 4.0 * 10^{-2}$
擴散係數	$34002 \text{ cm}^2/\text{sec}$
懸濁物質發生量	$0.0124999\text{ton}/\dots$
沈降速度	$0.4 * 10^{-5} \text{ m}/\text{sec}$

나타났다.

## 6. 結 論

本 調査에서는 白翎島 干拓工事に 따른 漁業權 被害補償을 위하여 防潮堤가 築造되고있는 동안 土砂擴散濃度를 實測하였고, 또한 工事海域의 海水流動을 알아보기 위하여 流向流速計와 표류판을 이용하여 潮流速과 流向을 알아보았다. 그리고 海水流動과 土砂擴散濃度를 豫測하기 위하여 海域에서의 運動方程式과 連續方程式, 擴散方程式을 차분화하여 計算하였다.

實測結果 海域의 흐름은 漲潮일때 남서쪽에서 북동쪽으로 흘러 중주의 흐름과 合流하여 북쪽으로 흘러갔으며 흐름이 만나는 部分(용기포에서 북동쪽으로 약5km 地點)에서 흐름의 심한 교란이 있었으며, 落潮에는 흐름이 북동쪽에서 남서쪽으로 흘러 백령주 사이의 흐름과 合流하였다. 海域의 潮流速은 대조후 1-2일후에 測定하였으며, 潮流速은 용기포 附近과 防潮堤 築造地點에서 빠른 潮流速 分布를 하고 있었다.

土砂濃度の 實測結果 漲潮時에는 형제바위와 정암쪽으로 짙은 土砂濃度 分布를 형성하고 있었으며, 工事地點에서 50-100ppm, 형제바위 부근에서 6ppm, 정암 부근에서 0.5ppm의 土砂濃度 分布가 實測되었다. 落潮時에 防潮堤를 築造하고 있는 附近의 흐름은 側流 형태로 밀려들어오기 때문에 土砂濃度 分布는 海域에 넓게 分布하면서 擴散되어 갔으며 I, L 實測地點에서 1.0 ppm, E측점에서 10ppm, F측점에서 14ppm의 土砂濃도가 實測되어 졌다. 또한 運動方程式과 連續方程式, 擴散方程式을 차분화하여 구한 潮流速 分布는 미시적인 觀點에서 實測値와 약간의 차이는 있었지만, 거시적인 觀點에서 보면 잘 일치하고 있었다. 防潮堤 築造 工事後의 潮流를 계산한 결과 전반적으로 조류속은 防潮堤

築造前 보다 築造後가 조금 빠른 조류속 分布를 하고 있었으며, 특히 조류발생 5-6시간후의 潮流는 빠른 分布를 하고 있었다. 또한 防潮堤 축조전, 防潮堤 豫定線앞 海域에서 渦流現狀이 있었으나, 防潮堤 築造後에는 渦流現狀이 적게 나타났다. 그리고 土砂 濃度 分布도 약간의 차이는 있었으나, 잘 一致하고 있었다. 그러나 一日發生土砂量中 堆積量은 저서생물에게 被害를 주므로 水中調査에서 면밀히 檢討 되어야 할 것으로 思料된다. 앞으로의 研究課題는 미시적인 觀點에서 본 차이가 어디서 發生하였는가를 糾明하고, 3次元으로의 擴大計算과 多様な 土砂擴散 Model 開發이 必要하다. 그리고 海域에서 海上工事に 따른 土砂擴散 Mechanism을 明確히 하고 土砂擴散 監視 System를 確立하여 海上工事に 따른 水産資源의 被害를 최소한으로 할 수 있는 施工技術의 開發이 要求된다.

#### 參考 文獻

1. 林迎春·申東壽·申文燮 : 干拓工學, 1988, 京文社
2. 李種南, 申文燮 : 水産土木, 1987, 京文社
3. 申文燮 李種南 : 海域에서 土砂投下에 따른 濁水塊 舉動에 관한 研究, 韓國 海岸, 海洋工學會誌, 2卷, 1990
4. 申文燮, 中什啓二, 李種南 : 鹽水投下에 따른 鹽水塊 舉動에 관한 研究, 韓國 海岸, 海洋工學會誌, 3卷, 1991
5. 申文燮 : 海域에서 土砂投下에 따른 濁水塊 舉動에 관한 研究, 慶熙大博士 學位論文, 1990
6. 申文燮 : 防波堤周圍의 沿岸流 分布에 관한 研究, 群山水産專門大學研究報告22 集2號, 1988.
7. 堀江毅 : 海上工事に伴う濁り豫測Modelと濁り監視への適用性 について, 港灣研, 26券.
8. Simpson, J. E. : Effect of the lower boundary on the head of a gravity current, J. of Fluid Mech, Vol. 53, part4, 1972, pp 759-768.