

〈論 文〉

錦江河口둑에 의한 潮汐變化의 初期推定

Preliminary Prediction of Tidal Changes due to a Barrier in the Keum River

崔 秉 昊* 吳 允 根**
Choi, Byung Ho Oh, Yeun Kun

Abstract

The prediction of changes in the tidal regime due to the construction of a barrier in the Keum River was performed via one-dimensional numerical model. It is shown that a barrier in Mangwolri will lead to a small increase in the M_2 tidal range. The validity of this prediction is examined using the hydrodynamic analogy with AC circuit theory. Some of preliminary results are presented and discussed.

要 旨

錦江河口둑의 建設에 따른 潮汐體系의 變化에 대한 推定을 1차원 數值모델을 利用하여 遂行하였다. 結果로서 錦江河口 望月里 防潮堤는 主太陰半日週潮의 振幅을 增加시킬 것으로 推定되었다. 이 初期推定의 有效性은 交流回路理論의 動水力學的인 類推法을 利用하여 檢討되었다. 初期結果가 提示되었으며 討議되었다.

1. 序 論

錦江河口 望月面附近에 建設中인 河口둑이 完工되면 河口潮汐의 上流로의 傳播가 遮斷될 것이며 따라서 既存潮汐體系에 變化를 가져올 것이다. 이러한 人爲的 建設行爲에 따른 自然環境의 變化를 豫測하기 위한 方法으로는 數值潮汐 모델에 의해 現狀況을 再現시키고 變化되는 建設狀況을 모델에 入力하여 體系의 變化狀態를 檢討하는 技法이 利用되어 왔다.^{1)~4)} 錦江河口 둑에 의한 潮汐環境變化에 대한 推定調査는 1974年 和蘭의 Delft 水理研究所가 農業振興公社를 위해 遂行한 河口둑의 水理學的 妥當性 調査報告書⁵⁾에 收錄되어 있는 데 箕筭島를 外海境界로 하는 branched network 1次元모델에 의해 1974年 6月中의 大潮, 中潮, 小潮狀況 및 200, 1000, 2000, 4000m³/sec의 河川流出狀況에 대한 모델算

定을 하였다. 이 調査는 錦江感潮區間의 潮汐傳播에 대한 檢證이 省略되었으며 特定期間의 水理現象만을 再現시키는 데 置重하여 河口둑에 의해 潮汐特性이 어떻게 變化할 것인가에 대한 物理的 過程에 대한 研究가 疎忽하였다.

本 研究에서는 錦江感潮區間의 潮汐力學을 研究하기 위해 樹立된 1次元모델^{6),7)}을 利用하여 河口둑 建設後의 基本潮汐特性變化에 대한 推定을 1983年 8月 1個月期間의 潮汐模擬發生實驗을 통해 主分潮들의 變化度를 提示하므로써 遂行하였다. 이 모델의 制約點은 外海境界를 長項·群山外港으로 規定한데 있으므로 河口둑의 影響評價를 위해 適合한 境界이 있는 가를 立證하기 위해 交流回路理論의 動水力學的 類推法(hydrodynamic analogy with AC circuit theory)을 利用하여 適合성을 檢討하였다.

이러한 일련의 研究는 Delft 水理研究所에 의해 遂行되었던 榮山江 河口둑의 建設에 따른 影

* 成均館大學校 工大 土木工學科 教授

** 成均館大學校 大學院

響推定⁸⁾이 正確하지 못했던 點이 河口둑 建設後의 長期潮汐觀測에서 露呈⁹⁾되었으며 錦江 河口둑의 境遇도 멀지않은 將來에 完工後의 潮汐樣相이 觀測되어 結果가 明白히 判斷될 수 있다는 觀點에서도 重要的 바 여러 接近方法에 의한 徹底한 研究가 必要하다.

2. 1次元 錦江모델에 의한 推定

그림 1에 提示된 1次元 錦江모델⁷⁾은 非線型

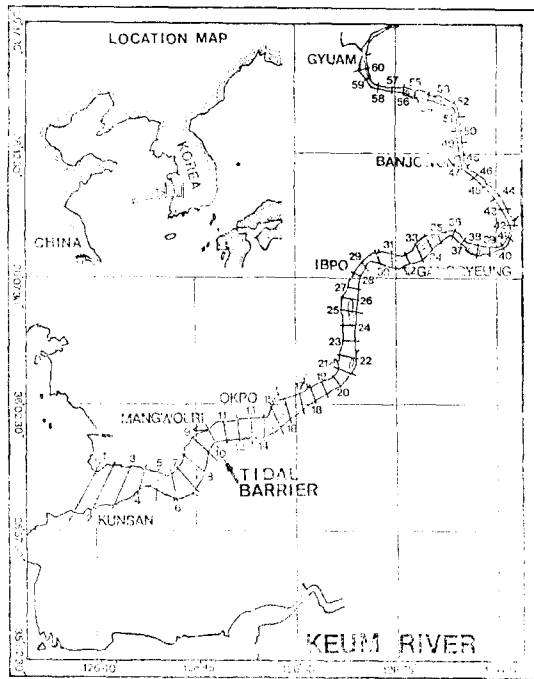


그림 1. 錦江感潮區간의 1次元動水力學的 모델

移流項 및 摩擦項을 包含하며 基本方程式은 다음과 같다.

$$b \frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} - q = 0 \dots\dots\dots(1)$$

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial(uQ)}{\partial x} + g \frac{\partial h}{\partial x} A + g \frac{|Q|Q}{AC^2R} = 0 \dots\dots\dots(2)$$

여기서,

t 時間

x 水路의 흐름方向距離

b 水路幅

h 任意水平基準面에 대한 水位 ($=\eta + d + z_0$)

z_0 任意水平基準面에 대한 河床高

d 平均水位에 대한 水路의 水深

η 平均水位에 대한 水位

Q 斷面流水量

q 水路의 單斷距離當 支川流入水量

u 水路의 平均斷面流速度

g 重力加速度

A 水路의 斷面積

C Chezy 係數로서 Manning 粗度係數(n) 및 動水半徑(R)과 下記의 關係가 있다

$$C = \frac{1}{n} R^{\frac{1}{6}} \dots\dots\dots(3)$$

모델은 60 個의 斷面으로 構成되는데 每斷面間隔은 1km 인 等間隔格子體系이며 水路斷面은 梯形斷面으로 模式化되었다. 陽解差分計算을 위한 Courant 의 安定條件을 만족시키는 時間間隔(Δt)은 90 秒를 취했으며 Manning 係數는 0.02~0.036의 範圍內에서 上流로 갈수록 크게 하였다. 이 錦江모델은 河川流出水의 增加에 따른 錦江感潮區간의 潮汐變化를 調査하는 데 一次的으로 利用되었는 바 算定된 主分潮는 感潮水位 觀測結果와 比較할 때 一般의 이 一致를 보였다.

本 研究의 主題인 望月里 河口둑($i_B=10$)의 建設影響을 評價하기 위해 세 種類의 모델에 의한 數值實驗을 遂行하였는 데 下流端의 境界條件은 群山外港에서의 14 個 分潮($M_m, Q_1, O_1, K_1, \mu_2, N_2, M_2, L_2, S_2, MK_3, MN_4, M_4, MS_4, M_6$)에 의한 1983 年 8 月의 潮位推定值를 境界條件으로 하였다.

가) 現存의 狀況(existing condition) : 上流端에 50m³/sec의 河川流出條件을 賦與.

나) 河口둑이 半程度 締切된 狀況(half closed condition) : $i_B=10$ 에서의 斷面은 $\frac{1}{2}$ 로 縮小하였으며 上流端에서는 50m³/sec의 河川流出條件을 賦與.

다) 河口둑 建設後의 狀況(closed barrier condition) : $i_B=10$ 을 上端으로 하고 5m³/sec의 河川流出條件을 賦與.

가)나) 項에서 賦與된 50m³/sec의 流量은 河

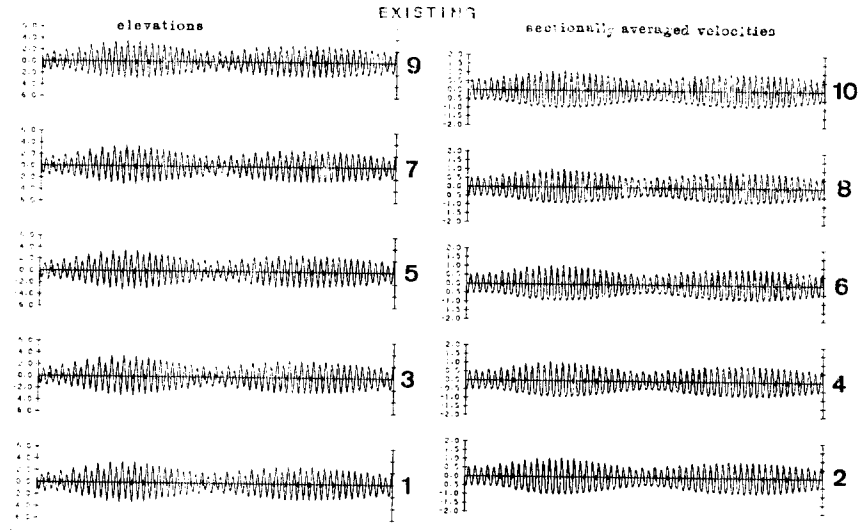


그림 2. 모델에 의해 算定된 感潮區間 下流域의 潮位 및 流速(既存狀況)

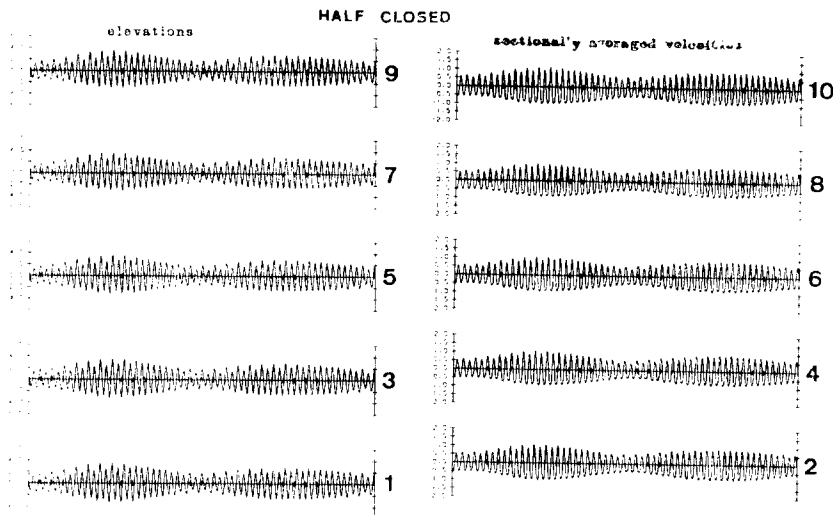


그림 3. 모델에 의해 算定된 感潮區間 下流域의 潮位 및 流速(河口둑이 折半締切된 狀況)

川維持流量⁵⁾인 35m³/sec는 超過하지마는 河川 流出에 의한 潮汐變形이 일어나지 않는 範圍로 서 看做하였다.

그림 2, 3, 4는 上記 세 狀況에 대한 河口入口로부터 望月里區間的 1個月間算定된 水位(奇數 斷面) 및 斷面平均流速(偶數斷面)의 變化를 提示하고 있는 데 河口둑 設置로 인한 下流部의 뚜렷한 潮流流速 減少狀況을 잘 나타내고 있다. 이 算定된 時系列은 通常의인 潮汐分析法인 Tidal

Institute Recursive Analysis Technique⁹⁾을 利用 하여 調和常數를 구하면 分潮들의 振幅 및 位相 變化를 考察할 수 있다.

表-1은 河口둑前面位置인 斷面 9에서의 세 境遇의 算定된 潮位の 調和常數를 提示하고 있는 데 여기서 H 는 垂直潮汐(潮位)의 分潮의 振幅 (cm)이며 K 는 局地的 遲角(度)을 나타낸다. 表-2는 斷面 8에서의 세 境遇의 算定된 斷面 平均流速斷의 調和常數를 提示하는 데 여기서 H

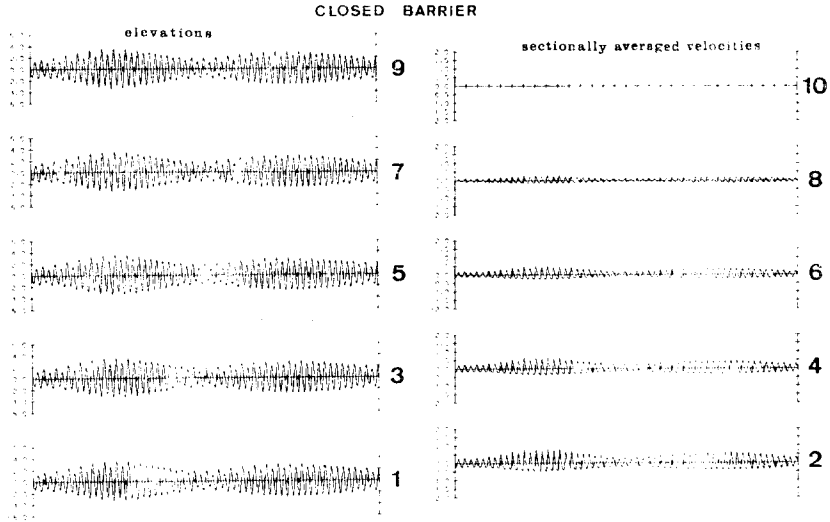


그림 4. 모델에 의해 算定된 感潮區間 下流域의 潮位 및 流速(河口둑建設後의 狀況)

表-1. 河口둑前面位置에서의 河口둑 建設前, 建設中, 建設後의 潮位의 調和常數

分 潮	BEFORE CONSTRUCTION		DURING CONSTRUCTION		AFTER CONSTRUCTION		
	H(cm)	K(度)	H	K	H	K	
1	M_m	6.1	42.1	6.1	42.4	5.0	49.5
2	MS_f	5.9	45.3	5.6	45.2	0.3	39.4
3	Q_1	7.4	229.6	7.4	229.1	7.8	225.7
4	O_1	23.7	248.1	23.8	247.7	24.0	245.5
5	M_1	0.4	160.4	0.4	161.6	0.1	94.5
6	K_1	30.2	276.6	30.3	276.2	30.8	273.6
7	J_1	0.3	220.5	0.3	222.6	0.1	106.8
8	OO_1	0.2	48.5	0.1	53.3	0.1	341.8
9	μ_2	9.7	191.1	9.4	190.7	6.9	177.7
10	N_2	34.7	76.7	34.9	76.1	36.8	71.4
11	M_2	208.4	96.0	208.8	95.3	215.7	90.1
12	L_2	14.1	122.0	14.1	121.5	13.4	115.9
13	S_2	74.5	144.4	74.9	143.5	80.2	136.9
14	$2SM_2$	1.4	339.3	1.3	339.5	0.3	270.3
15	MO_3	0.8	274.9	0.7	270.9	0.3	237.1
16	M_3	0.3	336.8	0.3	338.0	0.1	290.3
17	MK_3	2.5	300.1	2.4	297.5	2.0	283.2
18	MN_4	8.0	88.9	7.7	87.1	6.7	70.2
19	M_4	22.1	114.6	21.3	113.1	18.0	99.0
20	SN_4	1.3	216.8	1.2	214.2	0.4	144.8
21	MS_4	15.7	152.1	15.0	150.0	12.1	128.9
22	$2MN_6$	0.6	43.5	0.6	31.7	0.4	3.3
23	M_6	5.8	43.9	5.8	39.3	6.0	16.6
24	MSN_6	0.9	117.2	0.8	112.6	0.4	51.0
25	$2MS_6$	2.0	100.5	1.9	92.4	0.9	56.4
26	$2SM_6$	1.0	152.7	0.9	146.2	0.4	91.3

表-2. 河口渚 前面位置에서의 河口渚, 建設前, 建設中, 建設後의 潮流의 調和常數.

分 潮	BEFORE CONSTRUCTION		DURING CONSTRUCTION		AFTER CONSTRUCTION		
	H(cm/sec)	K(度)	H	K	H	K	
1	M_m	1.0	193.5	1.0	193.0	0.0	260.0
2	MS_f	4.9	229.8	5.0	230.0	0.1	106.7
3	Q_1	1.4	159.	1.3	159.4	0.2	143.4
4	O_1	4.5	172.8	4.2	172.5	0.7	166.5
5	M_1	0.3	42.4	0.2	42.5	0.1	267.7
6	K_1	6.3	202.7	6.0	203.1	0.9	190.7
7	J_1	0.2	91.8	0.2	95.8	0.1	330.2
8	OO_1	0.2	309.9	0.2	313.4	0.1	225.0
9	μ_2	5.6	123.0	5.3	123.9	0.4	66.0
10	N_2	12.7	10.1	11.8	11.4	2.1	342.7
11	M_2	79.1	30.0	73.8	31.2	12.7	0.4
12	L_2	6.0	51.9	5.6	53.0	0.8	24.0
13	S_2	27.5	81.8	25.7	83.2	5.1	47.8
14	$2SM_2$	0.9	257.4	0.8	255.6	0.1	101.7
15	MO_3	0.4	67.8	0.4	54.3	0.4	79.5
16	M_3	0.3	292.9	0.3	290.0	0.1	81.6
17	MK_3	0.9	210.9	0.8	218.1	0.4	141.4
18	MN_4	4.5	24.9	4.2	29.5	1.1	298.5
19	M_4	12.1	50.4	11.2	55.4	3.0	322.0
20	SN_4	0.9	155.5	0.7	163.0	0.3	18.0
21	MS_4	8.9	87.3	8.1	92.2	2.5	353.7
22	$2MN_6$	1.9	264.0	1.8	262.6	0.4	228.7
23	M_6	6.4	320.8	5.8	320.7	1.7	270.0
24	MSN_6	1.1	41.3	0.9	43.0	0.3	284.3
25	$2MS_6$	3.8	346.5	3.4	345.2	1.0	286.1
26	$2SM_6$	1.3	51.3	1.1	50.5	0.4	320.2

는 水平潮汐(潮流)의 分潮의 振幅(cm/sec)이며 K는 局地的 遲角(度)이다. 表-1에서 河口渚이 折半정도 締切된 建設中의 狀況은 既存狀況과 比較할 때 分潮의 振幅 및 位相은 거의 變化가 없으나 高周波分潮로 갈수록 差異를 보이는 데 高潮 및 低潮의 發生時刻이 影響을 받는다. 河口渚 建設後의 分潮의 振幅은 既存狀況에 비해 主分潮(M_2, S_2, N_2, K_1, O_1)의 境遇 뚜렷한 擴幅을 보이는 反面 $\frac{1}{3}$ 日, $\frac{1}{4}$ 日週潮들은 一般的인 減少를 보인다. 既存感潮體系에서 潮汐이 上流로 波及됨에 따라 擴幅되기도 하여 또한 새로이 發生하기도 하는 高周波分潮⁷⁾들은 河口渚에 의한 減縮된 感潮區間에 의해 擴幅效果는 오히려 抑制되는 것으로 說明된다. 河口渚 建設後의 分潮들의 位相은 全體의으로 既存狀況과 比較할 때

減少를 보이는 데 分潮들의 高潮發生時刻이 더 빨라지는 것을 意味하는 데 M_2 分潮의 境遇 約 12분이 빨라지는 것을 모델結果로부터 推定할 수있다.

河口渚의 建設中 締切區間의 開放部의 斷面流速은 增加하겠으나 表-2에 提示된 바와 같이 渚 下流 約 2km地點인 斷面 8에서의 流速은 既存狀況에 비해 潮流强度가 全般的인 減少를 하며 河口渚이 完工되면 M_2, S_2, N_2, M_4 分潮의 潮流强度는 79.1, 27.5, 12.7, 12.1cm/sec에서 12.7, 5.1, 2.1, 3.0cm/sec로 각기 懸著하게 감소될 것을 나타내고 있다. 또한 뚜렷한 位相變化는 M_2 分潮의 最强流速時刻이 1時間程度 빨라질 것을 示唆한다. 河口渚 建設前後의 分潮의 潮位와 潮流의 位相差는 河口渚에 의해 惹起될 潮汐波의 變

換을 나타내는 것으로 建設前의 約 65°의 位相角(差)을 갖던 半日週潮(M_2, S_2, N_2, L_2)들은 望月里 河口둑 建設後 90°의 位相角을 갖게되어 定常波로 바뀌는 것을 잘 提示해 준다. M_2 分潮와 S_2 分潮의 振幅의 擴幅에 根據하면 斷面 9(望月里 河口둑 前面 下流 1km)에서 平均大潮差는 約26cm, 平均潮差는 約 15cm, 平均小潮差는 約 3cm의 增幅이 될 것으로 一次的으로 推定된다.

3. 初期推定の 適合性

前節에 提示한 推定이 1次元모델에 根據한 結果인 바 이 모델의 外海開放境界의 設定이 適正하였는 가를 交流回路의 動水力學的 類推에 의해 檢討하기로 한다. 感潮河川의 潮汐波及과 導體內的 電氣에너지의 傳播規象의 類推關係는 여러 學者들에 의해 提示³⁰⁾된 바 있는 데 潮位는 電壓, 潮流는 電流, 河床摩擦은 抵抗으로 規定하고 境遇에 따라 貫性效果는 인덕턴스, 表面積은 캐패시턴스로서 類推하는 것이다. Garrett¹¹⁾은 Miles¹²⁾의 回路理論을 利用한 港灣의 共振反應에 대한 理論의 擴大로서 運動方程式에 直接的인 外力項을 添加하여 解를 구했는데 開放境界問題라는 題下로서 取扱된다.

內灣(G)이 入口(M)를 통해 外洋(O)과 連結된 그림 5와 같은 體系에서 內灣의 潮汐反應은 두 部分으로 나누어 생각할 수 있다.

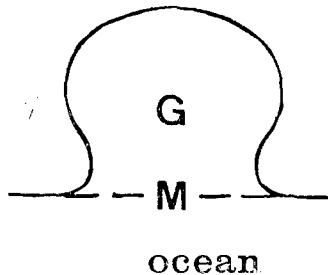


그림 5. 內灣의 體系

(가) 灣入口가 閉鎖되었다고 假定한 境遇 灣內의 直接潮汐外力에 의한 潮位(ζ_G')와 潮流速(U_G').

(나) 灣入口의 흐름 U_M 에 의한 潮位(ζ_G'')와

潮流速(U_G'').

또한 類似하게 外洋의 潮汐에 의해 定義되는 成分은 $\xi_0', U_0', \xi_0'', U_0''$ 이다. 灣入口의 幅이 좁아서 ξ, u 를 常數取扱할 수 있으며 內灣의 直接的 潮汐外力을 無視하면 灣入口의 觀測潮位 ξ_M 은 아래와 같이 提示된다.

$$\xi_M = \xi_G'' = \xi_0 + \xi_0'' \dots\dots\dots(1)$$

交流回路理論에 의한 電氣的 類推에 의하면 潮位와 灣入口를 通過하는 流速과의 關係는 아래와 같이 假定될 수 있다.

$$\xi_G'' = Z_G U_M \text{ 과 } \xi_0'' = -Z_0 U_M \dots\dots\dots(2)$$

$$\text{따라서 } \xi_M = \xi_0' - Z_0 U_M = Z_G U_M = \xi_0' \{1 / (1 + Z_0 / Z_G)\} \dots\dots\dots(3)$$

여기서 Z_0, Z_G 는 外洋과 內灣의 임피던스이다. 開放境界問題의 骨子は 沿岸開發로 인한 灣內의 地形變化는 Z_G 의 變化를 惹起할 것이며 Z_0/Z_G 에 從屬的의 ξ_M 의 窮極的인 變化를 갖는다. 따라서 灣內의 적은 變化에 대해서 ξ_M 이 敏感하지 않을 條件은 $Z_G \gg Z_0$ 이다.

Prandle¹³⁾은 式(3)으로 提示된 開放境界問題를 單一 M_2 分潮에 適用하여 內灣과 外洋의 分歧인 灣入口(M)를 防潮堤位置로서 代置하였으며 ξ_M 은 河口둑位置의 觀測된 M_2 振幅, ξ_0' 는 河口둑건설로 인한 河口둑前面의 M_2 振幅, Z_0 는 河口둑下流와 開放境界사이區間의 임피던스, Z_G 는 河口둑에 의해 閉鎖된 區間의 임피던스이며 U_M 는 河口둑位置에서 現存潮流速으로 解析했는데 河口둑에 의해 前面潮位의 振幅이 減少되기 위한 條件으로는 다음 式을 提示하였다.

$$\cos(g_0 - g_G) < -\frac{1}{2} |Z_0| / |Z_G| \dots\dots\dots(4)$$

上記條件은 滿足시키기 위해서는

$$90^\circ < g_0 - g_G < 270^\circ$$

$$|Z_0| / |Z_G| < 2$$

이어야 하는데 g_0, g_G 는 河口둑 建設前後의 潮位와 潮流의 位相角이다.

本 檢討에서는 上記의 接近方法을 適用하여 表-3 및 表-4에 提示된 錦江河口둑에 의한 M_2 分潮의 變化值에 의하면 $|Z_G| = 2.6, g_G = 66^\circ, |Z_0| / |Z_G| = 0.038, g_0 = 89.6^\circ$ 이다. 따라서 $g_0 - g_G = 24^\circ$ 이므로 式(4)의 不等號는 바뀌게되어 潮位振幅을 增加시키는 條件을 만족하게 되어 望月里의 M_2 潮位가 擴幅됨을 確認시켜준다.

表-3. 河口둑에 의한 下流域에서의 M_2 流位의 變化

節片	防潮堤建設前		防潮堤建設後	
	H(m)	K	H	K
1	2.13	89.0	2.13	89.0
3	2.12	90.7	2.14	89.5
5	2.11	92.4	2.15	89.8
7	2.10	94.1	2.16	90.0
9	2.08	96.0	2.16	90.1

表-4. 河口둑에 의한 下流域에서의 M_2 潮流의 變化

節片	防潮堤建設前		防潮堤建設後	
	H(m/sec)	K	H(m/sec)	K
2	0.78	20.6	0.37	360
4	0.79	23.4	0.30	0.1
6	0.80	26.3	0.23	0.2
8	0.80	30.0	0.13	0.4

이 推定에서 望月里의 河口둑位置는 변하지 않을 境遇 $Z_0=2.6$, $g_0=66^\circ$ 로 一定한 값이며 外海開放境界가 더 外側으로 移動했다고 假定하더라도 $g_0 \approx 90^\circ$ 일 것이며 또한 ξ_0' 와 Z_0 가 큰 변화가 없는 한 潮汐擴幅의 基準을 벗어나지 않을 것이라 望月里 河口둑의 建設이 半日週潮인 M_2 分潮를 增幅시킬 것이라는 推定은 妥當하다. 勿論 여러 外海境界에 의한 ξ_0' 의 評價와 더불어 여러 防潮堤位置에 대한 反應을 1次元모델에 의해 遂行하고 또한 改善된 段階로서 1次元모델과 2次元모델의 動的竝合에 의한 數值實驗을 追後에 遂行할 境遇 開放境界問題의 더 仔細한 理解가 可能한 것이다.

4. 結 論

錦江의 望月里 河口둑의 建設에 따른 潮汐體系의 變化를 評價하기 위해서는 工事規模를 勘案할 때 仔細한 모델에 의한 推定이 必要하나 1次的으로 本研究에서는 簡單한 1次元 潮汐數值 모델에 의한 評價를 遂行하였다. 結果로서는 主 太陰半日週潮인 M_2 分潮의 擴幅이 算定되어 平均大潮差가 約 15 cm 增幅될 것으로 推定되었는데 交流回路理論의 動水力學的 類推에 의해 이

擴幅現象은 모델의 外海境界가 더 外側으로 設定되더라도 모델에 의해 推定될 것으로 判斷하였다. 그러나 日週潮, M_2 分潮의 倍潮인 M_4 , M_6 分潮 및 淺海潮인 MS_4 分潮의 變化도 河口둑 潮位變化에 直接的인 影響을 줄 것인 바 이러한 倍潮 및 淺海潮의 모델링은 아직도 滿足할 만한 段階에 있지 못하므로 追後의 仔細한 研究가 必要하다.

參 考 文 獻

- Garrett, C. and D.A. Greenberg. 1977. Predicting changes in the tidal regime: the open boundary problem. Journal of Physical Oceanography, Vol 7, pp.171~181.
- Choi, B. 1981. Effect on the M_2 tide of tidal barriers in the west coast of Korea. Korea Ocean Research and Development Institute Report 81-01, 37pp.
- Heaps, N.S. 1968. Estimated effect of a barrage on tides in the Bristol Channel. Proceedings of the Institution of Civil Engineers, Vol. 40, pp.495~509.
- Owen, A 1979. Tides in Bristol Channel: tidal barrage studies. Ph.D. thesis, University of Liverpool.
- Delft Hydraulics Laboratory: 1974. Ogseo Agricultural Development Project-fact finding study on sedimentological and salinity intrusion aspects. Vol.1. Report on Studies, Vol. 2. Computational Results.
- 崔秉昊, 安元植. 1985. 錦江感潮區間의 潮汐傳播. 韓國水文學會誌, 第18卷 第1號.
- 崔秉昊, 李正烈, 吳允根. 1987. 河川流出水の增加에 따른 錦江潮汐의 變化, 大韓土木學會 論文集 (提出).
- NEDECO: 1965. Mokpo-Yongsan Scheme Report. UN/FAO
- 崔秉昊, 1984. 榮山江河口의 防潮堤建設에 따른 潮位變化. 大韓土木學會 論文集 第4卷 第2號.
- Van Veen, J. 1947. Analogy between tide

- and AC electricity. *Engineering*, Vol. 184.
11. Garrett, C.J.R. 1975. Tides in gulfs. *Deep-Sea Research*, Vol. 22, pp. 23~35.
 12. Miles, J.W. 1971. Resonant response of harbours: an equivalent circuit analysis. *Journal of Fluid Mechanics*, Vol. 46, pp. 241~265.
 13. Prandle, D. 1980. Modelling of tidal barrier schemes: An analysis of the open-boundary problem by reference to AC circuit theory. *Estuarine and Coastal Marine Science*, Vol. II, pp. 53~71.