

榮山江河口의 防潮堤建設에 따른 潮位變化

Effect of a Barrier on Tides in the Youngsan Estuary

崔乘昊*
Choi, Byung Ho

Abstract

This study represents results of analysis of sea level record at Mokpo for the years 1956~1982. The results are believed to be the first detailed analysis for the Port of Mokpo. The tidal constants are obtained from separate yearly extended harmonic analysis. The variability of these yearly analysis gives estimates of effects on astronomical tide due to Youngsan Barrier. Multiple statistics of sea level record for the years 1965~1980 and 1981~1982 are presented separately to evaluate the distribution of sea level frequency due to the construction of Barrier. Some of preliminary results are presented and indication of further studies are discussed.

要旨

木浦港의 1956~1982年期間의 檢潮記錄에 對한 徹底한 分析이 最初로 遂行되었다. 年別 調和分析이 擴張調和分析技法에 依해 遂行되어 榮山江 防潮堤建設이 天文潮에 미치는 影響이 評價되었다. 防潮堤建設에 따른 海面變化量 調查하기 爲한 1965~1980年期間 및 1981~1982年의 海面統計의 分析이 亦是 遂行되었다. 初期結果가 提示되었으며 之後 研究細目이 討議되었다.

1. 序論

榮山江河口에 淡水湖造成을 爲한 防潮堤가 建設된 지 數年이 經過하였다. 類似한 形態의 防潮堤들이 南陽灣, 牙山灣에도 農業用水의 確保를 '爲해' 建設되었는데 네델란드의 レル事業의 經驗들이 成功的으로 活用된 事業들이라 할 수 있다. 이리한 河口의 變換行爲는 防潮堤建設前의 潮汐體系를 크게 變化시킬 것으로豫想되어 事業計劃 및 設計段階에서는 潮汐數值모델을 利用하여 河口狀況의 變動된 防潮堤建設後의 潮

汐體系를 推定하는 技法들이 널리 利用되어 왔다.⁽¹⁻⁵⁾ 榮山江事業의 境遇도 네델란드技術用役團(NEDECO)은 境界가 榮山江河口 木浦外港으로부터 量水標가 있는 나주까지인 一次元 潮汐數值모델을 利用하여 1963年 8月 大潮期의 潮汐狀況이 防潮堤建設後 如何히 變할 것인가에 關한 推定을 20年前에 遂行한 바 있다.⁽⁶⁾ 結果의 一部를 보면 防潮堤外海側에서 大潮期 高潮位는 25cm 上昇되며 低潮位는 10cm 下降되는 潮汐擴幅을 推定하였으며 防潮堤位置와 삼학도間에는 大潮期 高潮位가 삼학도가 14cm 낮으며 低潮位는 5cm 낮은 것으로 推定하였다. 이리한

*正會員·成均館大學校 工科大學 副教授 土木工學科

推定에서 問題가 되는 點은 特定潮汐狀況이 모델에 利用되었기 때문에 潮汐自體의 特性이 어떻게 變化되었는지 判斷하기 어려운 點과 모델의 外海境界가 防潮堤에 너무 接하여 設定되었기 때문에 防潮堤建設前과建設後에 外海境界條件으로 同一潮汐狀況을 適用하는 것에도 問題가 있는 點들이 研究者들 間에 論議되어 왔다.⁽¹⁻³⁾ 우리 나라 西海岸의 複雜하고도 뚜렷한 潮汐現象은 世界的으로 잘 알려져 있으며 이렇게 두드러진 潮汐狀況下에서 防潮堤가 實際로建設되어建設後의 長期海面資料가 蓄積되어 있는 地域도 世界的으로 드물다. 本稿에는 交通部水路局에서 運用하는 木浦港 삼학도에 位置한 固定檢潮所의 檢潮資料를 防潮堤建設前과建設後로 나누어서 徹底한 潮位分析과 海面分析을 逐行하여 榮山江河口防潮堤의建設이 潮位 및 海面變化에 미친 影響을 一次的으로 評價한結果를 收錄하였다.

2. 木浦港 檢潮資料의 編輯

木浦港의 連續的¹⁾ 潮位觀測은 1952年 9月부터 第1埠頭에 假設우물을 설치하여 開始하여 오다 1965年 1月 北緯 $34^{\circ}46'41''$, 東經 $126^{\circ}23'33''$ 에 位置한 固定檢潮所(그림 1)로 移設한後 現在까지 持續되고 있는 데 缺測期間은 1956年 以後는 1957年 初半, 1958年 10月, 12月의 數日間, 1962年, 1964年의 數日間에 不過하여 太陰의 完全한 回歸週期인 18.6年 以上的 檢潮資料가 完璧하게 利用可能한 地域이다. 初期의

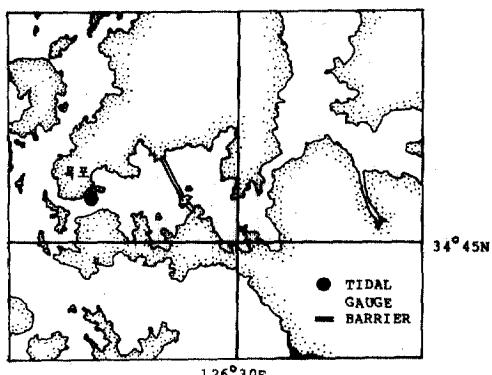


그림 1. 木浦港의 固定檢潮所 및 榮山江河口防潮堤의 位置

Richard型 檢潮儀는 現在에는 倍率 1:20인 Fuess型 檢潮儀로 代置되어 觀測에 利用되고 있다. 木浦港의 檢潮資料를 編輯하기 為해 交通部水路局이 提供한 每時間別 檢潮記錄을 천공카드에 穿孔하고 또한 磁氣테이프에 收錄하여 基礎資料로 하였다. 時間別 檢潮資料는 檢潮儀의 記錄紙로부터 手作業으로 讀取하여 作成된 것으로 一連의 編輯過程을 거친 것이지만 여려 形態의 誤差는 如前히 除去되지 않은 것이며 또한 穿孔錯誤等이 穿孔過程에서 插入되어 效率의 誤差修正方法에 依한 編輯이 要求된다. 現在까지 흔히 利用되는 檢潮資料의 誤差修正方法은 Lagrangian內插方法에 依해 誤差限界를 미리 設定하여 資料를 編輯하는 方法⁽⁷⁾이며 이 方法은 多量의 資料를 處理하는데 有用한 方法이므로 이를 利用하여 一次의 誤差修正을 하였다. 即 미리 設定한 欲보다 다음 $\delta(t)$ 欲이 를 경우 이를 手作業에 依한 修正을 하였다.

$$\begin{aligned}\delta(t) = &_0 h(t) - \left[\frac{3}{4} \{h_0(t+1) + h_0(t-1)\} \right. \\ & - 0.3 \{h_0(t+2) + h_0(t-2)\} \\ & \left. + 0.05 \{h_0(t+3) + h_0(t-3)\} \right]\end{aligned}$$

여기서 $h_0(t)$ 는 每時間 觀測值이다. Lagrangian內插方法은 機器誤差를 除外한 確認可能한 誤差全部를 索出하지 못하므로 即 假誤差가 檢出되기도 하고 어떤 境遇는 誤差가 無視되기도 하므로 本研究에서는 非潮位成分의 圖化에 依한 方法^(8,9)이 追加的으로 誤差檢索을 為하여 利用되었다. 이 方法은 每時間別 非潮位成分을 플롯하여 不規則性 및 極值들을 肉眼으로 確認하여 이들 潮位曲線原圖 및 每時間 檢潮表와 比較하여 修正하는 過程인 대 編輯되지 않은 資料와 最終 編輯된 後의 非潮位成分의 例가 그림 2에 提示되어 있다. 編輯前의 資料를 보면 週期의 曲線變化를 갖는 大的 時刻誤差와 判讀 및 穿孔錯誤로 因한 誤差들이 提示되어 있는데 이러한 誤差들을 除去한 後의 形態는 氣象學的, 海洋學的 非潮汐要因에 依한 海面變化形態를 提示해 준다. 이 方法은 潮位豫報가 現在는相當한 信賴性을 갖기 때문에 非潮位成分을 正確하게 算定한다. 上記 過程에서 세 種類의 每時間別 資料即 觀測值(observed series), 推定值(predicted

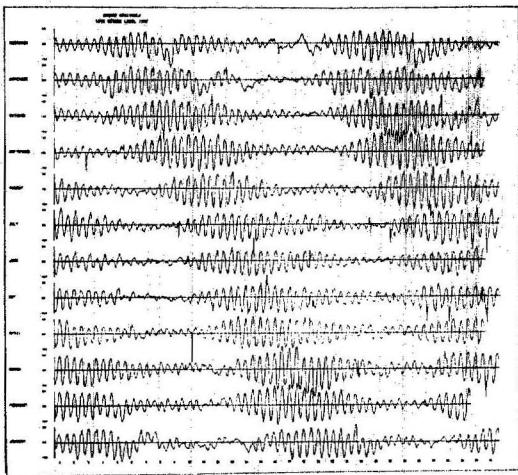


그림 2(1). 編輯되지 않은 資料의 例

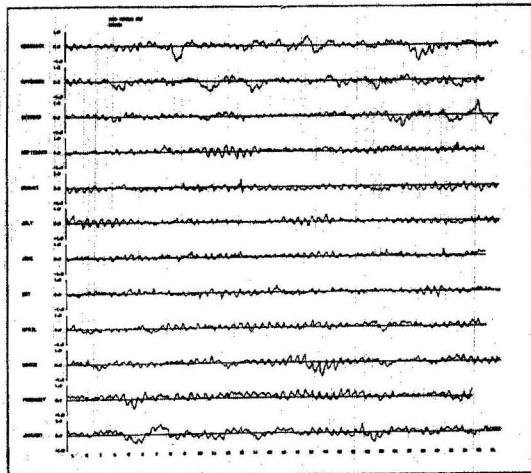


그림 2(2). 編輯된 資料의 例

series) 및 非潮位成分值(residual series)가 整理되어 磁氣레이프 및 磁氣디스크에 收錄되어 木浦港의 潮位分析을 包含하는 海面變化研究의 貴重한 基礎資料로서 利用되었다. 그림 3은 木浦港의 1975年 夏季節의 觀測時系列을 圖化한 것 으로 月齡에 따른 小潮와 大潮의 變化가 提示되고 있는 데 이는 主太陰半日週潮와 主太陽半日週潮의 遲角差에 依하여 보름週期變化가 뚜렷한데 L_2, N_2 分潮 影響으로 大, 中, 小潮의 크기는 年中變化된다. 提示된 대로 木浦港은 半日週潮가 優勢한 混合潮의 特性이 強해 日潮不等現象이 甚해서 每月 두 高, 低는 發生하지만 높이 및 出現時刻의 不等이 甚하다.

3. 木浦港 潮位의 調和分析

潮汐을 天體運動에 依해 이미 알려진 週期를 갖는 餘弦波들의 和로서 定義하고 이 和와 觀測值와의 差를 極少化하기 為한 最少自乘原理를 利用하여 餘弦波들의 振幅 및 位相을 求하는 것 이 潮位의 調和分析이며 電算機가 開發되기 前에는 Doodson⁽¹⁰⁾ 및 Schureman⁽¹¹⁾에 依한 艦上計算機를 利用하는 方法들이 主로 利用되어 有다. 그 後 Miyazaki 와 Ueno⁽¹²⁾, Cartwright⁽¹³⁾ 및 Lennon⁽¹⁴⁾은 各己電算機를 利用한 方法들을 提示하였다. 좀 더 普偏性있게 行列式의 解를 求하는 方法이 Horn⁽¹⁵⁾에 依해 提示되었으며 이와 類似한 方法들^(16, 17, 18)이 繼續 提示되었다. 本研究에 利用된 潮汐의 調和分析方法은 英國海洋研究所(Institute of Oceanographic Sciences)에서 利用하는 TIRA 技法(Tidal Institute Recurssive Analysis Technique)⁽¹⁶⁾으로 缺測이 있는 資料를 處理할 수 있으며 擴張調和分析⁽¹⁹⁾(extended harmonic analysis)을 遂行할 수 있다. 調和分析方法의 仔細한 內容을 收錄하는 것은 本稿의 目的이 아니므로 여기서는 省略한다. 木浦港의 潮汐分析은 擴張調和分析에 依해 年別로 遂行했는 데 1956~1979年 期間의 結果와 防潮堤가 建設된 後인 1982年 結果를 分離, 提示하여 防潮

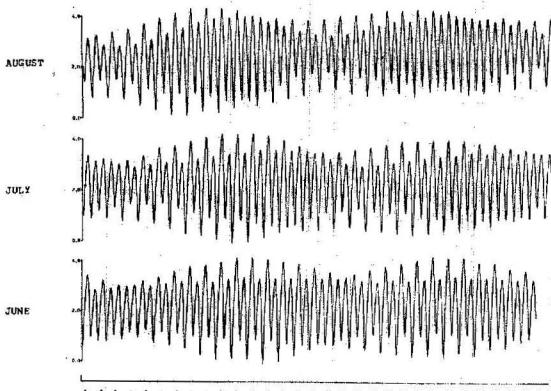


그림 3. 木浦港의 1975年 夏季節의 觀測海面

表-1(1). 木浦港의 主要分潮의 調和常數

| 分潮 | P_1 | | L_2 | | μ_2 | | ν_2 | | K_2 | | MS_4 | |
|----|-------|-------|-------|------|---------|-------|---------|------|-------|-------|--------|-------|
| | 年度 | H | g | H | g | H | g | H | g | H | g | H |
| 56 | 0.084 | 269.6 | 0.070 | 69.0 | 0.086 | 129.1 | 0.058 | 22.0 | 0.100 | 105.1 | 0.114 | 314.7 |
| 58 | 0.096 | 257.0 | 0.087 | 53.7 | 0.084 | 131.4 | 0.056 | 15.9 | 0.107 | 107.9 | 0.131 | 313.9 |
| 59 | 0.087 | 260.7 | 0.071 | 46.4 | 0.086 | 134.3 | 0.063 | 20.2 | 0.106 | 109.9 | 0.113 | 313.0 |
| 60 | 0.093 | 261.4 | 0.064 | 51.6 | 0.079 | 130.5 | 0.061 | 27.4 | 0.108 | 108.8 | 0.107 | 315.6 |
| 61 | 0.095 | 272.2 | 0.079 | 61.9 | 0.074 | 125.3 | 0.063 | 31.6 | 0.120 | 104.4 | 0.112 | 311.6 |
| 62 | 0.084 | 273.3 | 0.088 | 70.8 | 0.073 | 151.2 | 0.055 | 35.1 | 0.112 | 121.3 | 0.106 | 339.2 |
| 63 | 0.089 | 276.1 | 0.077 | 56.8 | 0.073 | 153.2 | 0.055 | 34.2 | 0.111 | 122.2 | 0.111 | 340.9 |
| 64 | 0.088 | 276.2 | 0.053 | 68.3 | 0.077 | 154.9 | 0.057 | 40.9 | 0.112 | 123.0 | 0.117 | 340.0 |
| 65 | 0.095 | 275.9 | 0.064 | 85.1 | 0.082 | 151.5 | 0.054 | 37.4 | 0.114 | 123.1 | 0.121 | 340.2 |
| 66 | 0.096 | 275.1 | 0.095 | 86.3 | 0.080 | 147.8 | 0.051 | 38.8 | 0.110 | 121.7 | 0.118 | 339.9 |
| 67 | 0.088 | 274.8 | 0.094 | 51.1 | 0.083 | 149.5 | 0.052 | 37.6 | 0.110 | 118.3 | 0.121 | 340.0 |
| 68 | 0.085 | 274.5 | 0.058 | 50.0 | 0.080 | 144.9 | 0.056 | 34.4 | 0.110 | 119.4 | 0.117 | 337.8 |
| 69 | 0.095 | 275.7 | 0.064 | 77.5 | 0.086 | 146.7 | 0.049 | 35.8 | 0.109 | 120.0 | 0.122 | 337.0 |
| 70 | 0.089 | 276.2 | 0.081 | 86.1 | 0.075 | 143.8 | 0.048 | 29.5 | 0.117 | 119.8 | 0.119 | 337.4 |
| 71 | 0.090 | 273.3 | 0.099 | 53.7 | 0.087 | 140.4 | 0.057 | 47.3 | 0.113 | 122.5 | 0.121 | 338.7 |
| 72 | 0.084 | 273.2 | 0.066 | 59.1 | 0.083 | 144.5 | 0.046 | 49.4 | 0.101 | 119.9 | 0.118 | 338.1 |
| 73 | 0.089 | 271.7 | 0.058 | 75.3 | 0.084 | 143.7 | 0.051 | 35.4 | 0.111 | 121.9 | 0.119 | 339.8 |
| 74 | 0.089 | 272.1 | 0.078 | 81.9 | 0.085 | 148.4 | 0.050 | 39.2 | 0.115 | 122.6 | 0.115 | 341.2 |
| 75 | 0.087 | 269.7 | 0.096 | 70.7 | 0.082 | 144.6 | 0.053 | 38.6 | 0.103 | 121.2 | 0.112 | 340.2 |
| 76 | 0.090 | 269.8 | 0.075 | 62.7 | 0.087 | 146.2 | 0.057 | 31.7 | 0.107 | 124.5 | 0.111 | 341.2 |
| 77 | 0.085 | 269.7 | 0.064 | 60.9 | 0.076 | 142.1 | 0.063 | 20.4 | 0.087 | 126.5 | 0.111 | 335.2 |
| 78 | 0.095 | 266.6 | 0.072 | 69.7 | 0.078 | 145.5 | 0.057 | 32.2 | 0.118 | 128.2 | 0.113 | 340.4 |
| 79 | 0.091 | 270.1 | 0.077 | 75.5 | 0.079 | 149.8 | 0.057 | 36.0 | 0.107 | 120.9 | 0.113 | 336.6 |
| 82 | 0.093 | 262.8 | 0.050 | 52.7 | 0.059 | 115.5 | 0.054 | 28.0 | 0.125 | 103.7 | 0.148 | 311.3 |

表 -1(2). 木浦港의 主要分潮의 調和常數

| 分潮 | O_1 | | K_1 | | N_2 | | M_2 | | S_2 | | M_4 | |
|----|-------|-------|-------|-------|-------|------|-------|------|-------|-------|-------|-------|
| | 年度 | H | g | H | g | H | g | H | g | H | g | H |
| 56 | 0.239 | 228.3 | 0.317 | 264.3 | 0.222 | 38.4 | 1.232 | 53.7 | 0.375 | 110.3 | 0.184 | 253.4 |
| 58 | 0.245 | 228.0 | 0.310 | 264.1 | 0.227 | 38.5 | 1.222 | 54.7 | 0.367 | 112.4 | 0.180 | 253.0 |
| 59 | 0.240 | 229.9 | 0.317 | 264.0 | 0.225 | 40.1 | 1.215 | 55.3 | 0.367 | 112.0 | 0.176 | 252.3 |
| 60 | 0.247 | 229.1 | 0.309 | 263.8 | 0.222 | 43.8 | 1.231 | 54.7 | 0.357 | 111.7 | 0.176 | 255.3 |
| 61 | 0.248 | 228.0 | 0.309 | 267.5 | 0.216 | 41.6 | 1.222 | 54.1 | 0.366 | 110.5 | 0.183 | 255.5 |
| 62 | 0.245 | 235.8 | 0.311 | 271.1 | 0.214 | 50.6 | 1.223 | 68.0 | 0.360 | 122.9 | 0.183 | 282.2 |
| 63 | 0.246 | 236.7 | 0.312 | 270.4 | 0.218 | 52.6 | 1.205 | 68.1 | 0.361 | 123.7 | 0.179 | 261.3 |
| 64 | 0.252 | 235.1 | 0.310 | 272.9 | 0.219 | 49.6 | 1.223 | 68.8 | 0.372 | 124.2 | 0.185 | 281.7 |
| 65 | 0.252 | 235.8 | 0.320 | 271.7 | 0.232 | 50.0 | 1.235 | 67.9 | 0.378 | 123.8 | 0.188 | 280.0 |
| 66 | 0.251 | 236.0 | 0.318 | 271.5 | 0.235 | 51.8 | 1.239 | 68.0 | 0.380 | 124.3 | 0.187 | 279.9 |
| 67 | 0.250 | 235.0 | 0.317 | 271.5 | 0.233 | 50.7 | 1.234 | 67.9 | 0.387 | 123.8 | 0.184 | 279.7 |
| 68 | 0.246 | 234.0 | 0.322 | 269.9 | 0.234 | 52.1 | 1.227 | 66.6 | 0.382 | 122.8 | 0.185 | 277.5 |
| 69 | 0.253 | 235.5 | 0.317 | 270.0 | 0.231 | 55.7 | 1.240 | 67.4 | 0.387 | 123.5 | 0.184 | 278.2 |
| 70 | 0.254 | 234.6 | 0.320 | 270.4 | 0.222 | 50.8 | 1.235 | 67.0 | 0.386 | 122.6 | 0.189 | 278.4 |
| 71 | 0.245 | 234.2 | 0.321 | 271.0 | 0.207 | 47.9 | 1.227 | 67.2 | 0.387 | 122.0 | 0.190 | 279.4 |

| 分潮 | O_1 | | K_1 | | N_2 | | M_2 | | S_2 | | M_4 | |
|----|-------|-------|-------|-------|-------|------|-------|------|-------|-------|-------|-------|
| | 年度 | H | g | H | g | H | g | H | g | H | g | H |
| 72 | 0.248 | 235.3 | 0.314 | 269.8 | 0.230 | 47.8 | 1.234 | 67.0 | 0.384 | 123.3 | 0.185 | 277.4 |
| 73 | 0.254 | 235.5 | 0.319 | 270.8 | 0.226 | 52.0 | 1.229 | 68.3 | 0.377 | 124.5 | 0.184 | 279.8 |
| 74 | 0.261 | 234.7 | 0.314 | 270.6 | 0.225 | 51.2 | 1.223 | 68.0 | 0.381 | 124.8 | 0.180 | 279.0 |
| 75 | 0.248 | 234.5 | 0.312 | 271.4 | 0.231 | 52.6 | 1.220 | 68.2 | 0.373 | 124.3 | 0.179 | 280.1 |
| 76 | 0.250 | 235.3 | 0.311 | 271.1 | 0.231 | 51.4 | 1.222 | 67.5 | 0.375 | 124.3 | 0.177 | 278.9 |
| 77 | 0.247 | 236.2 | 0.314 | 269.9 | 0.230 | 53.5 | 1.225 | 65.6 | 0.373 | 121.7 | 0.177 | 275.6 |
| 78 | 0.256 | 236.1 | 0.318 | 269.9 | 0.228 | 53.1 | 1.235 | 67.1 | 0.377 | 123.7 | 0.180 | 278.1 |
| 79 | 0.242 | 235.2 | 0.308 | 270.5 | 0.231 | 50.0 | 1.248 | 66.1 | 0.385 | 122.1 | 0.178 | 276.7 |
| 82 | 0.250 | 227.0 | 0.316 | 261.8 | 0.258 | 36.3 | 1.362 | 54.1 | 0.446 | 107.2 | 0.224 | 248.7 |

表 2. 木浦港의 長週期分潮의 調和常數

| 年 度 \ 分 潮 | S_a | | S_{sa} | | M_a | | MS_f | | M_f | |
|-----------|-------|-------|----------|-------|-------|-------|--------|------|-------|-------|
| | H | g | H | g | H | g | H | g | H | g |
| 56 | 0.181 | 142.4 | 0.005 | 23.7 | 0.044 | 27.1 | 0.045 | 77.8 | 0.026 | 50.6 |
| 58 | 0.175 | 156.9 | 0.027 | 54.3 | 0.029 | 72.7 | 0.039 | 43.6 | 0.008 | 309.0 |
| 59 | 0.204 | 147.9 | 0.022 | 346.1 | 0.030 | 15.4 | 0.061 | 39.7 | 0.019 | 47.6 |
| 60 | 0.170 | 142.7 | 0.029 | 336.8 | 0.018 | 47.4 | 0.057 | 51.7 | 0.019 | 334.1 |
| 61 | 0.138 | 149.5 | 0.044 | 345.2 | 0.014 | 87.7 | 0.055 | 72.0 | 0.021 | 20.9 |
| 62 | 0.240 | 162.6 | 0.038 | 228.8 | 0.021 | 50.2 | 0.076 | 69.2 | 0.013 | 16.3 |
| 63 | 0.117 | 122.7 | 0.018 | 207.0 | 0.041 | 43.8 | 0.034 | 59.4 | 0.012 | 339.5 |
| 64 | 0.141 | 146.1 | 0.009 | 340.9 | 0.010 | 341.9 | 0.035 | 50.2 | 0.006 | 92.4 |
| 65 | 0.158 | 139.8 | 0.011 | 237.9 | 0.018 | 49.6 | 0.059 | 57.1 | 0.010 | 80.6 |
| 66 | 0.184 | 134.8 | 0.081 | 342.3 | 0.035 | 35.5 | 0.047 | 53.9 | 0.003 | 38.4 |
| 67 | 0.207 | 140.9 | 0.011 | 11.5 | 0.036 | 1.3 | 0.058 | 48.1 | 0.010 | 90.3 |
| 68 | 0.172 | 150.0 | 0.029 | 347.1 | 0.027 | 41.8 | 0.064 | 64.6 | 0.012 | 45.4 |
| 69 | 0.170 | 131.9 | 0.024 | 35.8 | 0.033 | 71.3 | 0.051 | 47.8 | 0.008 | 55.7 |
| 70 | 0.152 | 151.2 | 0.022 | 337.2 | 0.004 | 58.3 | 0.060 | 55.5 | 0.014 | 359.1 |
| 71 | 0.162 | 134.0 | 0.097 | 301.7 | 0.022 | 7.7 | 0.056 | 63.3 | 0.013 | 43.8 |
| 72 | 0.156 | 141.0 | 0.040 | 277.6 | 0.024 | 6.7 | 0.052 | 52.1 | 0.004 | 138.2 |
| 73 | 0.169 | 126.3 | 0.030 | 319.4 | 0.033 | 18.0 | 0.061 | 58.5 | 0.012 | 21.0 |
| 74 | 0.170 | 135.9 | 0.054 | 275.2 | 0.024 | 31.1 | 0.061 | 44.1 | 0.014 | 341.0 |
| 75 | 0.202 | 149.9 | 0.038 | 6.2 | 0.026 | 34.7 | 0.056 | 57.2 | 0.019 | 90.9 |
| 76 | 0.165 | 133.9 | 0.025 | 349.1 | 0.011 | 21.2 | 0.063 | 47.7 | 0.007 | 34.4 |
| 77 | 0.204 | 143.9 | 0.010 | 327.7 | 0.029 | 35.3 | 0.040 | 56.4 | 0.005 | 20.5 |
| 78 | 0.178 | 143.5 | 0.036 | 308.1 | 0.036 | 53.7 | 0.053 | 40.2 | 0.024 | 346.7 |
| 79 | 0.180 | 131.8 | 0.043 | 342.1 | 0.025 | 49.6 | 0.049 | 44.1 | 0.011 | 252.9 |
| 82 | 0.185 | 137.9 | 0.037 | 356.8 | 0.039 | 54.4 | 0.024 | 65.3 | 0.061 | 85.2 |

表 3. 木浦港의 主要分潮의 安定性(1956~1979)

| | H | | | | | g | | | | |
|---------|-------|--------|--------|-------|-------|-------|-------|------|-------|-------|
| | mean | SD | SE | max | min | mean | SD | SE | max | min |
| O_1 | 0.248 | 0.0445 | 0.0093 | 0.256 | 0.239 | 233.9 | 2.89 | 0.60 | 236.7 | 228.0 |
| K_1 | 0.315 | 0.0043 | 0.009 | 0.322 | 0.308 | 269.5 | 2.74 | 0.57 | 272.9 | 263.8 |
| N_2 | 0.225 | 0.0071 | 0.0015 | 0.235 | 0.207 | 48.9 | 4.96 | 1.03 | 55.7 | 38.4 |
| M_2 | 1.228 | 0.0092 | 0.0019 | 1.248 | 1.205 | 64.7 | 5.53 | 1.15 | 68.8 | 53.7 |
| S_2 | 0.375 | 0.0095 | 0.0020 | 0.387 | 0.357 | 120.8 | 5.17 | 1.08 | 124.8 | 110.3 |
| M_4 | 0.182 | 0.0042 | 0.0009 | 0.190 | 0.176 | 272.8 | 10.91 | 2.27 | 282.2 | 252.3 |
| MS_4 | 0.116 | 0.0056 | 0.0012 | 0.122 | 0.106 | 333.6 | 10.81 | 2.25 | 341.2 | 311.6 |
| P_1 | 0.090 | 0.0041 | 0.0009 | 0.096 | 0.084 | 271.1 | 5.26 | 1.10 | 276.2 | 257.0 |
| μ_2 | 0.081 | 0.0046 | 0.0010 | 0.087 | 0.073 | 143.4 | 8.09 | 1.69 | 154.9 | 125.3 |
| ν_2 | 0.055 | 0.0047 | 0.0010 | 0.063 | 0.046 | 33.5 | 8.22 | 1.71 | 49.4 | 15.9 |
| L_2 | 0.075 | 0.0132 | 0.0028 | 0.099 | 0.053 | 66.3 | 12.38 | 2.58 | 86.3 | 46.4 |
| K_2 | 0.109 | 0.0069 | 0.0014 | 0.120 | 0.087 | 118.8 | 6.70 | 1.40 | 128.2 | 104.4 |

表 4. 木浦港의 長週期分潮의 安定性(1956~1979)

| | H | | | | | g | | | | |
|----------|-------|--------|--------|-------|-------|-------|--------|-------|-------|-------|
| | mean | SD | SE | max | min | mean | SD | SE | max | min |
| S_2 | 0.173 | 0.0268 | 0.0056 | 0.240 | 0.117 | 141.7 | 9.58 | 2.00 | 162.6 | 122.7 |
| S_{sa} | 0.032 | 0.0221 | 0.0046 | 0.097 | 0.005 | 248.0 | 126.19 | 26.31 | 347.1 | 6.2 |
| M_m | 0.026 | 0.0101 | 0.0021 | 0.044 | 0.010 | 36.6 | 24.98 | 5.21 | 341.9 | 1.3 |
| MS_f | 0.054 | 0.0101 | 0.0021 | 0.076 | 0.034 | 54.5 | 10.06 | 2.10 | 77.8 | 39.7 |
| M_f | 0.013 | 0.0063 | 0.0013 | 0.026 | 0.003 | 137.8 | 131.72 | 27.47 | 359.1 | 16.3 |

堤의建設이 各 分潮에 미친 영향이 一次的으로 평가되었다. 表 1 및 表 2는 木浦港의 主分潮와 長週期分潮의 振幅(m)과 Greenwich 遅角이 年別(1956~1979年과 1982年)로 提示되어 있으며 이 分潮들의 1956~1979年期間의 安定性을 提示하는 標準偏差(SD)와 標準誤差(SE)가 表 3과 表 4에 提示되어 있다. 여기서 平均值의 標準誤差는 資料의 散布程度에 比例하고 觀測回數에 反比例하므로 算定된 調和常數의 安定性을 평가하는 指標가 된다. 木浦港의 56~61年期間 資料는 나머지期間에 比해 主分潮에서 크게 그룹으로 遅角差를 形成하여 時刻誤差가相當한 資料로서 料되는데 이期間에는 우물破損 등 觀測上問題가 있었다 한다.⁽²⁰⁾ 長週期分潮인 S_2 (太陽年週潮) 및 S_{sa} 分潮들은 非線形의in相互作用에 起因하여 嚴密한 意味에서는 天文潮만의 性格이 아니며 역시 M_m (太陰月週潮), MS_f (日月合成半月週潮), M_f (太陽半月週潮)分潮들의 變

化는 氣象學的, 水文學的in季節的 變化要因에 主로 起因하는 데 提示된 바와 그 變化가甚하다. 防潮堤建設이 主分潮에 미친 影響을 살펴보면 O_1 , K_1 , P_1 의 日週潮의 境遇 變化가 없는 反面 半日週潮인 M_2 의 振幅은 約 14cm, S_2 의 振幅은 約 7cm, K_2 의 振幅은 約 2cm, N_2 振幅은 約 3cm 程度 擴幅이 되었으며 M_4 分潮 및 MS_4 分潮의 振幅 亦是各己 4cm, 3cm 擴幅된 것이 提示되고 있으며 擴幅된 分潮들의 遅角은 10~20 度位相이 減少된 것이 提示되어 있다. 이結果에 依하면 木浦港의 固定檢潮所 位置에서의 潮汐은 防潮堤建設로 因해概略的으로 平均大潮差가 約 42cm, 平均中潮差가 約 28cm, 平均小潮差가 約 14cm增加하였는데 이는 平均大潮時 高潮位, 低潮位가 各己 21cm 程度 더 上昇, 下降되며 平均小潮時 高潮位, 低潮位가 各己 7cm 程度 더 上昇, 下降되는 것을 意味한다. 그림 4와 그림 5는 防潮堤建設前 1975年과 建

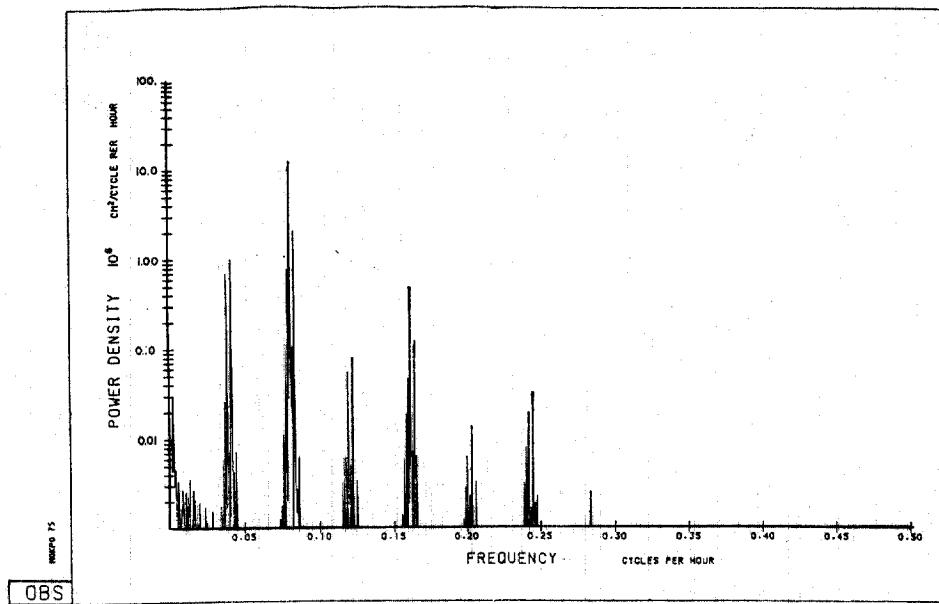


그림 4. 木浦港의 1975 年 海面 power density spectrum.

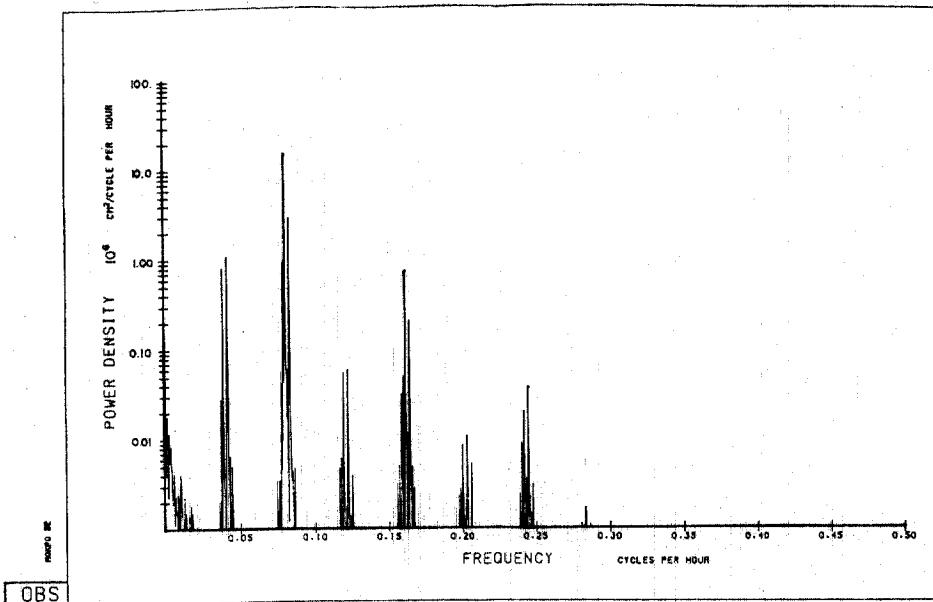


그림 5. 木浦港의 1982 年 海面 power density spectrum.

設後인 1982 年의 木浦港의 年間海面 power density spectra 인데 潮位에너지가 어떻게 分布되어 있는가를 提示한다. 即 $X(\omega)$ 가 海面觀測 時 系列資料 $X(t)$ 의 振幅스펙트럼이라면 power 스펙트럼은 $X^2(\omega)$ (또는 $P_s(\omega)$)이며 power 스펙트

럼을 全周波帶에 對해 積分하면 時系列의 總分散(total variance, $\text{Var}(X)$)이 되는데 百分率로서 各 周波帶의 分散을 提示하면

$$\text{Variance} = P_s(\omega) \times \frac{\text{Var}(X)}{100}$$

이다.

表 5. 해면통계(목표항, 1965~1980년기간과 1981/1982년)

| 통계변 수년도 | Mean | Variance | Coefficient of skewness | Kurtosis | Standard deviation | Mode of distribution (maximum) | Median |
|------------|-------|----------|----------------------------|----------|-----------------------|--------------------------------------|------------|
| 1965 | 2.107 | 1.031 | -0.3426 | 2.3168 | 1.0153 | 2.7(363) | 2.25(291) |
| 1966 | 2.133 | 1.041 | -0.3473 | 2.4215 | 1.0203 | 2.8(384) | 2.25(290) |
| 1967 | 2.115 | 1.023 | -0.3274 | 2.3052 | 1.0114 | 3.0(381) | 2.25(292) |
| 1968 | 2.099 | 0.998 | -0.3024 | 2.1973 | 0.9991 | 2.6(358) | 2.25(322) |
| 1969 | 2.149 | 1.020 | -0.3314 | 2.3097 | 1.0101 | 2.7(370) | 2.35(282) |
| 1970 | 2.141 | 1.017 | -0.3350 | 2.3117 | 1.0085 | 2.8(394) | 2.25(307) |
| 1971 | 2.181 | 1.015 | -0.2038 | 3.267 | 1.0254 | 2.8(382) | 2.35(318) |
| 1972 | 2.146 | 1.027 | -0.3364 | 2.329 | 1.0134 | 2.7(372) | 2.35(294) |
| 1973 | 2.151 | 1.030 | -0.3459 | 2.326 | 1.0147 | 2.9(368) | 2.35(304) |
| 1974 | 2.163 | 1.033 | -0.3438 | 2.333 | 1.0163 | 2.9(378) | 2.35(295) |
| 1975 | 2.182 | 1.038 | -0.3428 | 2.325 | 1.0186 | 3.1(376) | 2.35(278) |
| 1976 | 2.153 | 1.049 | -0.3462 | 2.359 | 1.0244 | 2.6(384) | 2.35(277) |
| 1977 | 2.134 | 1.074 | -0.3835 | 2.480 | 1.0363 | 2.8(387) | 2.35(250) |
| 1978 | 2.127 | 1.077 | -0.3613 | 2.469 | 1.0379 | 3.0(382) | 2.25(253) |
| 1979 | 2.134 | 1.088 | -0.3582 | 2.502 | 1.0431 | 3.0(371) | 2.35(275) |
| 1980 | 2.121 | 1.093 | -0.3384 | 2.544 | 1.0453 | 2.7(365) | 2.25(260) |
| 65~80 | 2.140 | 1.044 | -0.3340 | 2.429 | 1.0216 | 2.8(5823) | 2.35(4588) |
| 81~82 | 2.131 | 1.239 | -0.4291 | 3.397 | 1.1131 | 2.8(670) | 2.35(549) |

上記因子와 周波帶 間隔 $4f$ 로 나누면 power density 가 $\text{cm}^2/\text{cycle per hour}$ 의 單位로 나타내지는 데 總分散은 1975年이 $10,378 \text{ cm}^2$ 이며 防潮堤建設後인 1982年은 $12,676 \text{ cm}^2$ 으로 年間海面에 너지의 增加를 提示하는 데 이 增加量은 加德島의 年間 海面 스펙트럼의 總分散과 比肩할量⁽²¹⁾이다.

4. 木浦港의 海面統計

海面資料 編輯過程을 通한 木浦港의 每時間別檢潮資料를 1965~1980年 期間과 1981~1982年 期間의 資料로 나누어서 海面統計 및 確率密度函數, 累積分布函數를 일정 間隔의 海水面으로 處理하였다. 木浦港의 海面統計는 海面分布의 主모멘트들이 標準偏差, skewness 係數, kurtosis 係數로서 年別, 累年統計로서 表 5에 提示되어 있는 데 각 係數들은 다음과 같이 定義된다.

$$r\text{ 번째 모멘트} = \mu_r = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (y_i)^r$$

여기서 y_i 는 海面水位를 一定間隔으로 나

누었을 때의 i 번째 海水位

$$\text{標準偏差} = \sigma = (\mu_2)^{\frac{1}{2}}$$

$$\text{skewness 係數} = \mu_3 / \sigma^3$$

$$\text{kurtosis 係數} = \mu_4 / \sigma^4 - 3$$

陰性的 skewness 係數는 海面分布가 全體的으로 平均海面보다 낮은 海面의 發生率이 平均海面보다 높은 海面의 發生率보다 높은 것을 提示하며 kurtosis 係數는 正規分布에 對해서 편평한 程度를 나타낸다. 表 5에 提示된 대로 防潮堤建設後에 海面分布의 分散은 24%程度 增加하였으며 skewness 係數는 -0.33에서 -0.43으로 變化되어 全體的으로 平均海面보다 낮은 海面의 發生率이 더 增加하였으며 kurtosis 係數는 2.43에서 3.40으로 變化되어 正規分布에 對해서 더 편평한 分布를 이루었다. 다음 段階로 海面의 發生確率密度函數(probability density function) 및 累積分布函數(cumulative distribution function)를 1965~1980年 期間과 1981~1982年 期間으로 나누어서 求하였다. 一定水位의 發生確率을 圖化시킨 時間別 水位의 頻度分布가 그림 6에 提示되어 있는 데 實線分布는 防潮堤建設前

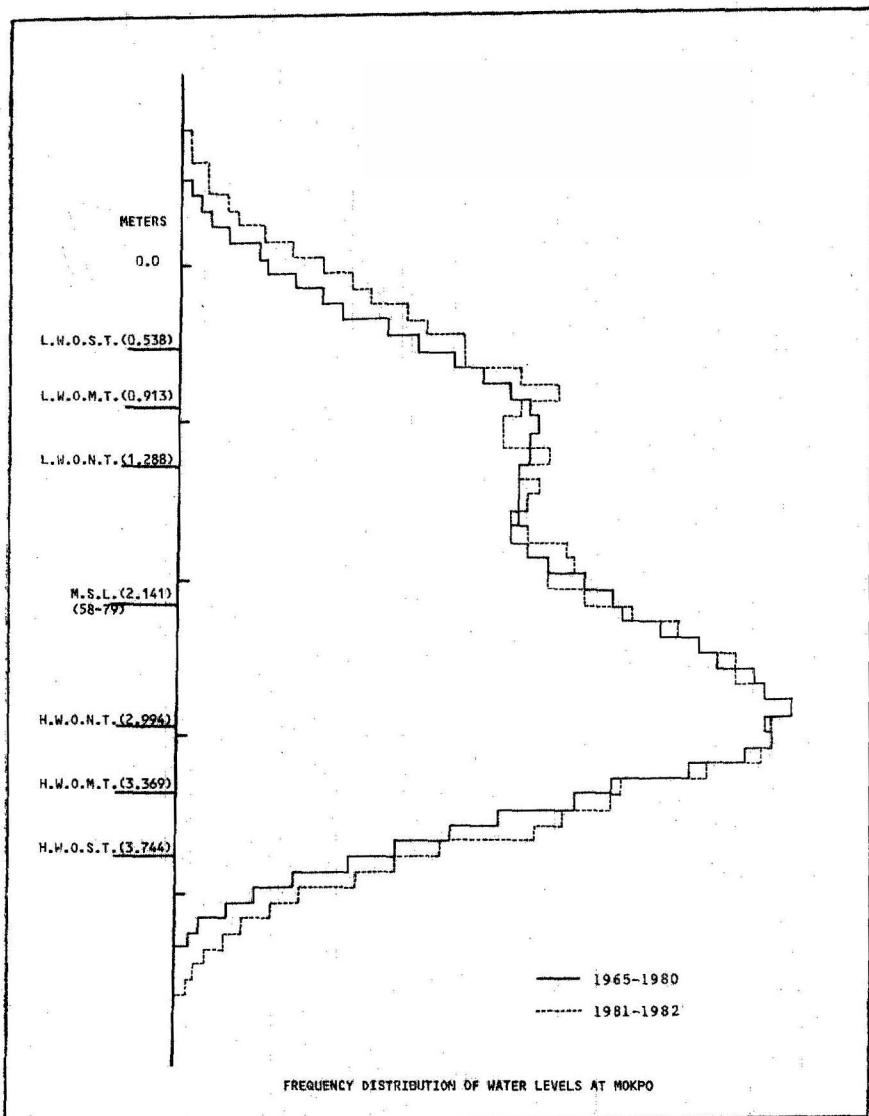


그림 6. 木浦港의 海面頻度分布

인 1965 年～1980 年 期間의 海面頻度分布이며 點線分布는 防潮堤建設後인 1981～1982 年 期間의 海面分布이다. 이 分布로부터 高潮位 및 低潮位 發生率이 더 增加된 것이 潮位分析의 半日週潮振幅의 擴幅과 더 불어 確認되었다. 海面頻度의 確率密度函數를 積累시킨 積累分布函數를 曲線形態로서 提示하면 海面露呈曲線⁽²²⁾이라 稱하는 曲線이 되어 一定海水面에 對해 陸地가 相對的으로 露出 또는 浸水되는 百分率로서 提示할 수 있다. 即 $P(\xi)$ 가 觀測海面의 確率密度函數이면 이로부터 特定水位를 超過할 確率

$$Q(\eta) = \int_{\eta}^{\infty} P(\xi) d\xi$$

이며 特定水位에서 露出될 確率

$$R(\eta) = \int_{-\infty}^{\eta} P(\xi) d\xi$$

이며 $Q(\eta) + R(\eta) = 1$ 이다.

그림 7 은 木浦港의 1965～1980 年 期間 및 1981～1982 年의 海面露呈曲線을 提示하고 있는 데 主要潮位基準面들이 同時に 提示되어 있다. 이 曲線을 利用하면 一定水位가 年中露出 또는 浸水되는 期間을 評價할 수 있는 데 防潮堤建設로 海水位 分布變化가 如何한 것인가 推定할 수 있

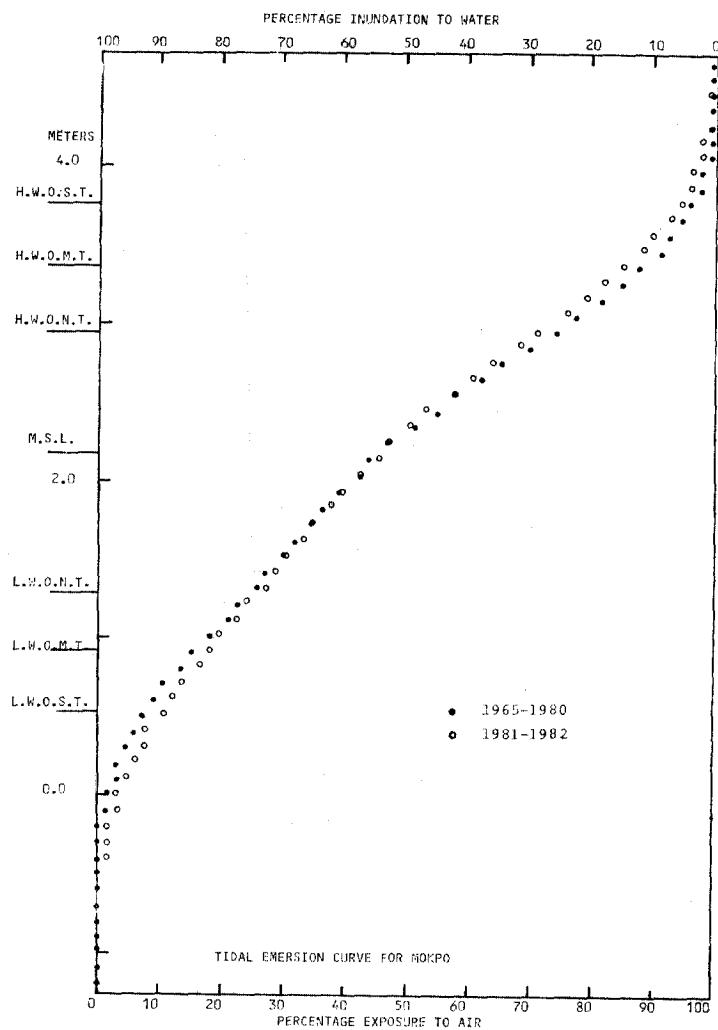


그림 7. 木浦港의 海面露呈曲線

다. 提示된 바와 같이 閉鎖된 원은 防潮堤建設前의 海面露呈曲線 및 開放된 원은 防潮堤建設後의 海面露呈曲線인데 堤防建設로 因해 高潮時沈水되는 百分率이 增加하였으며 低潮時에 大氣에 露出되는 水位가 더 增加되었다.

5. 木浦港의 月平均 및 年平均海面

平均海面이란 適切한 方法에 依하여 海面觀測值을 處理하여 潮汐影響을 除去하므로서 求解지는 海面으로 一次的으로 定義될 수 있다. Rossi-ter⁽²³⁾에 依하면 Doodson 과 Warburg⁽²⁴⁾가 提示한 X_0 filter를 適用하여 算定한 日平均海面이

가장 適合한 것으로 調査되었다. Groves⁽²⁵⁾亦是 Doodson 과 Warburg의 X_0 filter보다 더 效果的으로 潮汐影響을 除去시키는 數值 filter들을 提示하였으나 複雜하며 分析에 必要한 最終資料數를 減少시키므로 實用的이 아니다. X_0 filter는 다음과 같이 定義된다.

$$F(t) = (2, 1, 1, 2, 0, 1, 1, 0, 2, 0, 1, 1,$$

$0, 1, 0, 0, 1, 0, 1)$ 但 $1 \leq t \leq 19$ 이며

$F(t) = F(-t)$ 即 filter는 對稱形이다.

$$\text{日平均海面 } X_t = \frac{1}{30} \sum_{d=-19}^{d=19} F(d) H(T+d)$$

但 $d \neq 0$, $H(t)$ 는 每時間觀測值이며

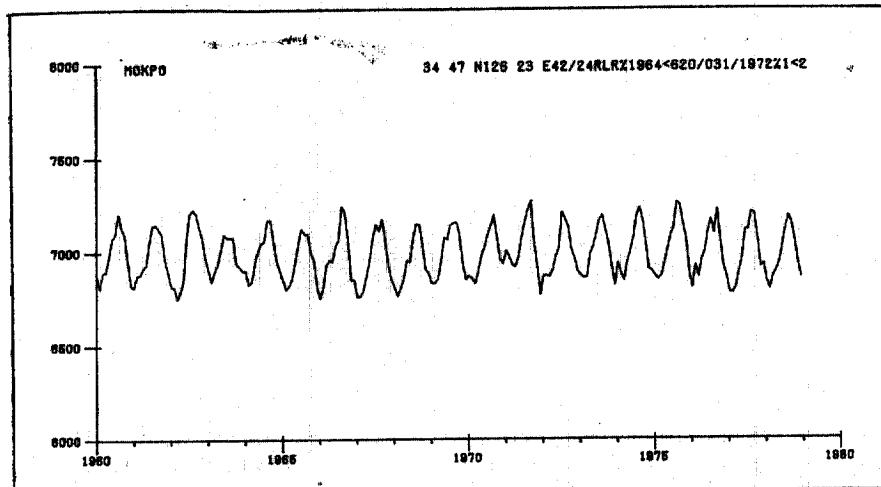


그림 8. 木浦港의 月平均海面의 變化(x 축은 年도, y 축은 RLR 기준에 대한 해면(mm))

$T=19.0$ 時이다.

月平均 및 年平均海面은 X_0 filter 를 適用한 日平均海面의 和의 平均을 主로 利用한다. 國際平均海面資料管理機構(Permanent Service for Mean Sea Level)⁽²⁶⁾은 世界主要港灣의 모든 海面 資料의 同質性을 維持하기 為해 各港口마다 修正基準面(Revised Local Reference datum)을 定하여 資料를 管理하는 데 그림 8은 木浦港의 1979年까지의 月平均海面을 RLR 基準面으로 提示한 것이다. 木浦港의 RLR 基準面은 木浦港의 潮汐基準點(Tidal Bench March)下 9.5 m에 位置하는 데 提示된 欝에 4.843 m를 減하면 水深基準面에 對한 月平均海面值이다. 防潮堤建設前後의 年平均海面은 2.144(1972), 2.150(1973), 2.162(1974), 2.181(1975), 2.152(1976), 2.133(1977), 2.125(1978), 2.134(1979), 2.120(1980), 2.144(1981), 2.119 m(1982)로서 防潮堤建設이 年平均海面에는 影響을 주지 않은 것으로 一次的으로 判斷된다.

6. 結論

實際 海面觀測資料에 依해서 燕山江河口의 防潮堤建設이 天文潮 및 海水位 頻度分布에 미친 影響을 評價하였는데 天文潮의 境遇 半日週潮의 振幅들이 擴幅되었으며 따라서 海水位 頻度分布는 高潮 및 低潮位의 發生頻度가 增加하였다.

다. 年平均海面 自體는 變化가 없는 것으로 一次的으로 推定된다. 建設前段階에서의 數值모델에 依한 推定이 制限의으로 過行되였기 때문에 觀測結果와 嚴密한 比較가 可能하지 않으나 概略的으로 水位變化를 過小推定한 것으로 思料되는 데 모델의 外海境界가 適合치 않았던 點과 制限된 潮汐狀況만이 檢討된 點에도 緣由할 것이다.

이러한 防潮堤建設에 따른 潮汐水理現象의 變化에 關한 研究는 環境工學의 侧面에서만 아니라 沿岸帶水層의 水位變化가 實生活에도 큰 影響을 주기 때문에 重要하다. 追後의 研究로는 이러한 潮汐擴幅의 過程을 徹底하게 物理的으로 說明하는 解析的, 數值的 研究가 必要하며 沿岸帶水層을 通한 沿岸地下水位와 海面水位의 變化와의 相關關係를 現場觀測을 通해 研究하는 일 이 바람직하다. 우리 나라 沿岸에서 開發을 為한 人為的 變換行爲가 活潑한 바 計劃段階에서 좀 더 徹底한 調查 및 研究가 切實히 必要하다.

謝辭

本研究를 為한 木浦港의 長期檢潮資料를 交通部 水路局에서 提供받은 바 이에 謝意를 表한다. 研究의 一部는 韓國科學技術院 전산센터의 基礎研究를 為한 電算支援에 依해 過行된 바 電算센타所長 성기수박사께 謝意를 表한다.

參 考 文 獻

1. Garrett, C. and D.A. Greenberg, Predicting Changes in the Tidal Regime: the open boundary problem. *Journal of Physical Oceanography*, 7, pp. 171~181, 1977.
2. Owen, A. and N.S. Heaps, Some Recent Model Results for Tidal Barrages in the Bristol Channel. pp. 85~92, in Tidal power and estuary management(ed. R.T. Severn, D. Dineley and L.E. Hawker). *Bristol: Scientechnica* p. 296, 1979. (Colston Paper No. 30).
3. Choi, B., Effect on the M_2 Tide of Tidal Barriers in the West Coast of Korea. *Korea Ocean Research and Development Institute Report 81-01*, p. 37, 1981.
4. Delft 水理研究所. 옥서 地區開發事業：沈澱 및 鹽水浸入에 關한 研究報告書. 1974.
5. 產業基地開發公社. 洛東江流域 河口調查 報告書. 建設部. 1976.
6. NEDECO, *Mokpo Yongsan Scheme Report*, UN/FAO, 1965.
7. Cartwright, D.E., A Unified Analysis of the Tides and Surges Round North and East Britain. *Phil. Trans. Roy. Soc.*, London, A 263, pp. 1~55, 1968.
8. Pugh, D.T. and J.M. Vassie, Extreme Sea Level from Tide and Surge Probability. *Proc. 16th. I.C.C.E.*, 1978.
9. 崔秉昊. 仁川港의 異常海面. 成大科學技術研究 第 10輯, pp. 95~104, 1982.
10. Doodson, A.T., The Analysis of Tidal Observation. *Phil. Trans. Roy. Soc.*, London A227, 1928.
11. Schureman, P., Manual of Harmonic Analysis and Prediction of Tides, *U.S. Coast and Geodetic Survey*, Washington, D.C., 1941.
12. Miyazaki, M. and T. Ueno, Tidal Analysis and Prediction by using the Electronic Computer. *Oceanog. Magazine*, Vol. 12, No. 1, 1961.
13. Cartwright, D.E. and D.B. Catton, On the Fourier Analysis of Tidal Observations. *Int. Hyd.* Rev., 15, No. 1, 1963.
14. Lennon, G.W., Some Computer Techniques for the Analytical Treatment of Tidal Data. *Communication de l'Observatoire Royal de Belgique*, 236, 1964.
15. Horn, W., Some Recent Approaches to Tidal Problems. *Int. Hyd. Rev.*, 34, pp. 5~46, 1960.
16. Murray, M.T., *Tidal Analysis with an Electric Digital Computer*. Cashiers Oceanog., pp. 699~711, 1963.
17. Harris, D.L., N.A. Pore and Cummings, The Application of High Speed Computers to Practical Problems. *Abstracts of Paper*, Vol. VI, IAPO, XIII, General Assembly, IUGG, Berkeley, 1963.
18. Godin, G., *Analysis of Tides*. University of Liverpool Press, 1972.
19. Rossiter, J.R. and G.W. Lennon, An Intensive Analysis of Shallow Water Tides. *Geophy. J.R. Astr. Soc.*, 16, pp. 275~293, 1968.
20. 李錫祐, 木浦港附近의 潮汐과 潮流. 大韓民國 水路局 書誌 第1965號, 1101.
21. 崔秉昊, 우리 나라 精密水準網에 關한 研究(우리나라 主要港灣의 平均海面 및 潮位分析). 國立地理院, 韓國測地學會, p. 332, 1983.
22. Carr, A.P. and J. Graff, The Tidal Immersion Factor and Shore Platform Development: Discussion. *Trans. Inst. Br. Geogr. N.S.* 7, pp. 240~245, 1982.
23. Rossiter, J.R., Note on Methods of Determining Monthly and Annual Values of Mean Water Level. *Int. Hyd. Rev.*, pp. 91~104, 1958.
24. Doodson, A.T. and H.D. Warburg, *Admiralty Manual of Tides*. HMSO., London, 1941.
25. Groves, G.W., Day to Day Variation of Sea Level. *Meteorological Monographs*, 2, 32, 1957.
26. Permanent Service for Mean Sea Level. Monthly and Annual Mean Heights of Mean Sea Level. *UNESCO and Institute of Oceanographic Sciences*, 1976.

(接受: 1984. 3. 29)