

우리나라 主要港灣의 潮位分析

Analysis of Tidal Observations at Major Ports around Korean Coast

崔秉昊*
Choi Byung-Ho

要 旨

우리나라 沿岸의 12個 主要港灣—仁川, 群山, 木浦, 大黑山島, 濟州, 麗水, 鎮海, 釜山, 浦項, 蔚山, 墨湖, 東草港의 利用可能한 1979년까지의 長期潮位觀測 資料가 整備되어 徹底한 分析이 遂行되었다. 交通部 水路局이 提供한 主要港灣의 每時間別 檢潮資料는 一連의 潮位資料 編輯體系를 利用하여 每時間別 觀測時系列, 潮位時系列 및 非潮位時系列로 構成되어 海面研究를 爲한 基礎資料根據를 樹立하였다. 첫 段階로 各 港灣의 潮位分析이 年別로 擴張調和分析法에 依해 遂行되어 判別可能한 分潮들의 調和常數들이 提示되었으며 또한 各 港灣의 海面統計, 海面頻度分布, 海面露呈曲線이 提示되었으며 初期結果가 討議되었다. 本 研究는 交通部 水路局의 海面變化調查事業 및 建設部 國立地理院의 一等水準網 調整事業의 一環으로서 遂行되었는데 海面變化 및 潮汐研究를 爲한 基礎資料를 提供하는데 寄與할 것이다.

ABSTRACT

This work represents results of analysis of tidal observations at twelve major ports(Inchon, Kunsan, Mokpo, Daeheuksando, Jeju, Yeosu, Jinhae, Busan, Pohang, Ulsan, Mugho, Sogcho) around Korean coast for the years up to 1979. The reduction of hourly tide gauge sea level records provided by Korean Hydrographic Office was performed in systematic manner resulting digitised hourly observed series, predicted series and residual series. As a first step the application of an extended harmonic method of analyzing the tidal observations leads to the identification of 42 new constituents including 60 orthodox Doodson's constituents at major ports. The sea level statistics including sea level frequency distribution are presented and the tidal emersion curves showing the percentage of time for which different levels are covered by water and exposed are also presented to provide useful design input for coastal development. This study has been undertaken in association with the programme of sea level research at Korean Hydrographic Office and the programme of adjustment of first order levelling network at National Geographic Institute.

* 成均館大學校 工科大學 副教授

1. 序 論

우리나라 主要港灣(仁川, 群山, 木浦, 大黑山島, 濟州, 麗水, 鎮海, 釜山, 蔚山, 浦項, 墨湖東草)의 平均海面變化를 研究하기 爲한 海面變化調查事業이 仁川港에 關한 資料整備(仁川港潮位分析에 關한 研究, 交通部 水路局·海洋開發研究所, 1980)⁽¹⁾를 爲한 研究로 하여 1983년에는 國立地理院의 研究事業으로 韓國測地學會에 依하여 遂行되어 우리나라 主要港灣의 海面資料가 整備되어 그 結果의 一部가 本稿에서 提示된다. 研究의 窮極의인 目的은 더 適合하고 正確한 우리나라 標高基準의 再定義(redefinition)에 있다. 이는 日帝時代に 設定⁽²⁾⁽³⁾된 標高基準에 對한 基礎資料 및 科學的, 實用的 調整에 關한 根據가 全無한 實情이며 時期的으로도 우리나라의 標高基準을 再整備할 段階가 되었는데 標高基準으로서의 地오이드(Geoid)를 平均海面을 通常的으로 利用하는 바 우리나라 主要港灣의 海面資料가 交通部 水路局에 依해 尙期間 蓄積되어 더 信賴性있는 平均海面資料를 提供하고 있으며, 建設部 國立地理院에 依해서는 過去 數年에 걸친 一等水準網 測量事業이 完了된 段階에 있어 最近의 資料들에 依해 우리나라의 測地學的 水準網을 再調整할 必要性이 擡頭되었기 때문이다.

海面變化研究를 爲한 尙 段階로서 水路局이 提供한 每時間別 檢潮資料들이 一連의 編輯過程을 거쳐 데이터 베이스(database)의 入力資料로서 整然하게 編輯되었는데 每時間別 觀測時系列, 潮位時系列 및 非潮位時系列로 構成된다. 다음 段階로 主要港灣의 潮位の 徹底한 分析이 擴張調和分析法⁽⁴⁾(extended harmonic analysis)에 依해 遂行되어 判別 가능한 分潮들의 調和常數가 算定되었으며 主要港灣의 海面統計 및 海面의 頻度分布가 提示되었으며 海面의 累積分布 函數로부터 海面露呈曲線이 提示되었다. 本 研究結果는 우리나라 主要港灣의 海面資料를 最初로 整然하게 徹底히 分析한 것으로서 海洋學 및 測地學 基礎研究에 뿐만 아니라 港灣 및 沿岸國 韓國측지학회지

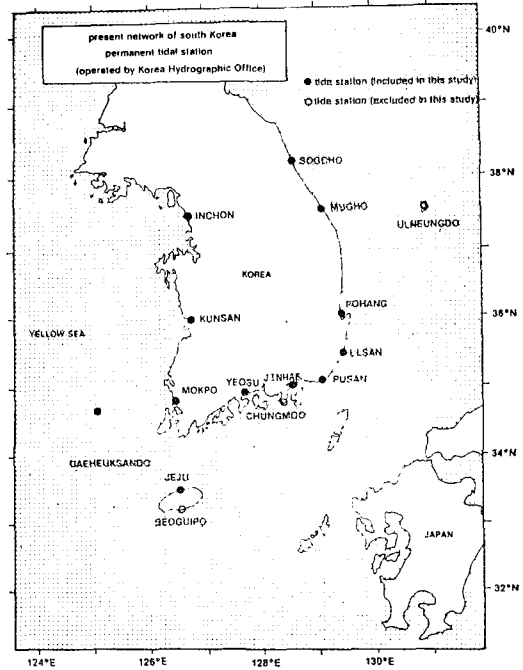


그림 1. 우리나라 主要港灣의 固定檢潮所(交通部 管轄) 註: 西歸浦港은 現在 閉鎖되었음.

土를 開發하기 爲한 實用的인 側面에서도 重要한 資料가 될 것이다.

2. 檢潮資料의 編輯

潮汐資料는 海洋研究의 가장 重要한 時系列資料의 하나로서 우리나라는 일찌기 1910年代에 淸津, 元山, 鎮南浦, 木浦, 仁川港에서 短期潮位觀測을 實施한 바 있으나(朝鮮總督府, 土地調查事業報告書, 1918)⁽²⁾ 當時의 檢潮記錄은 現在 保管되어 있지 않으며 觀測當時의 潮汐基準點들은 全部 亡失되어 記錄이 存在한다 해도 沿岸測地學的인 研究를 爲해서는 制限的인 用途밖에는 없을 것이다. 우리나라는 그림 1에 提示된 主要港灣에 位置한 固定檢潮所에서의 長期連續觀測은 交通部 水路局에 依하여 大部分 1960年을 前後로 繼續되어 오고 있으므로 달의 完全한 回歸年數인 18.6年의 檢潮資料가 利用 가능한 現時點에서 우리나라의 潮汐은 體系的인 方法⁽⁵⁾에 依하여 再分析 및 評價가 必要하였다. 本 研究에

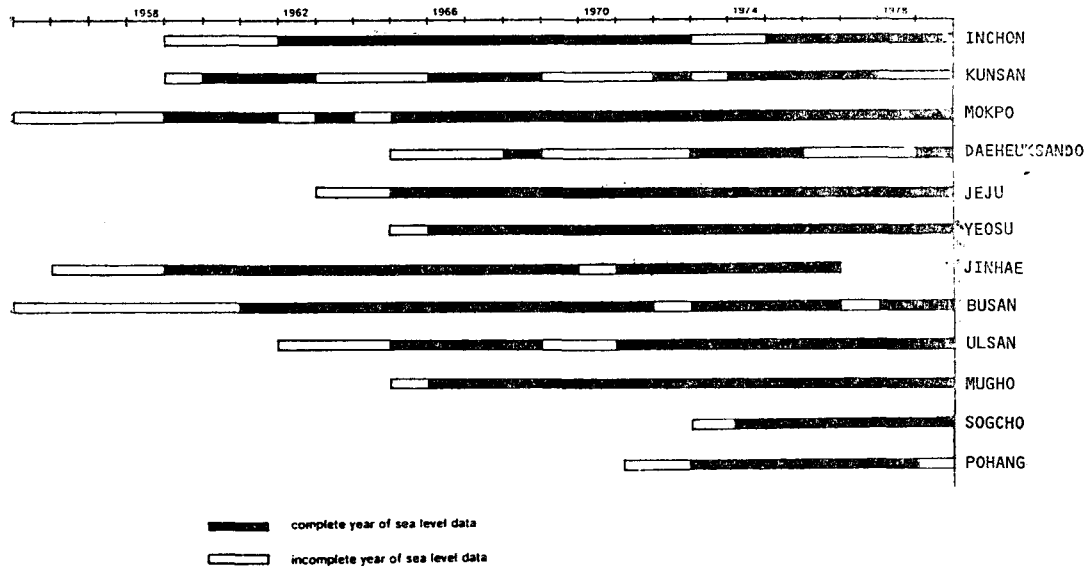
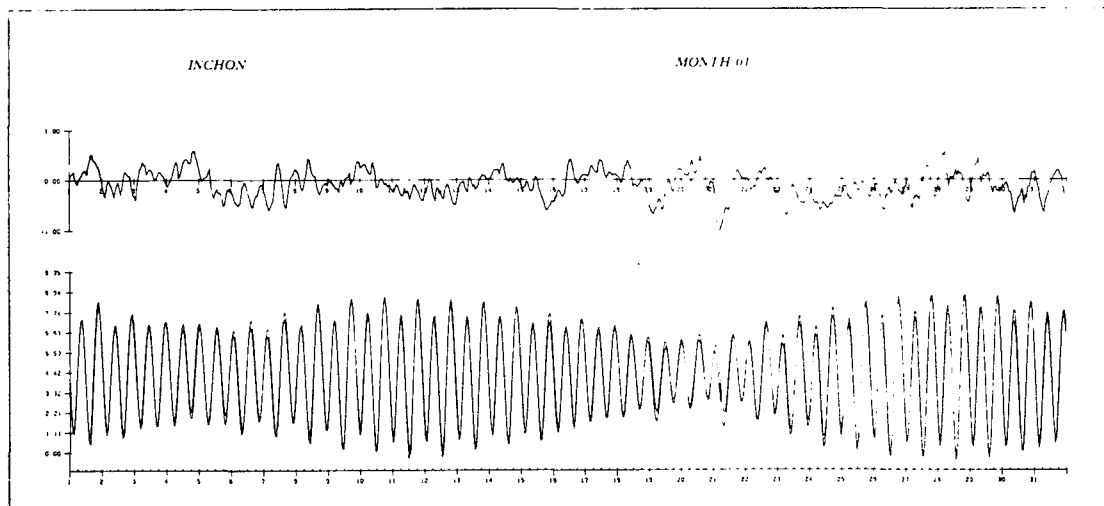


그림 2. 우리나라 主要港灣의 潮位觀測資料(~1979年)

利用된 潮位資料의 延長이 그림 2에 提示되어 있는데 1979년까지의 資料를 最終年度로 epoch 를 設定하였다. 檢潮資料의 編輯을 爲하여 水路局의 每時間別 檢潮記錄을 穿孔카드에 穿孔하고 또한 磁氣테이프에 收錄하여 基礎資料로 하였다. 水路局의 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 여러 形態의 誤差는 如前히 除去되지 않은 것이며 또한 穿孔錯誤 등이 穿孔過程에서 插入되어 效率的인 誤差修正 方法에 依한 編輯이 要求되었다. 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⁽⁶⁾이며 이 方法은 多量의



An example of monthly edited sea level data.

그림 3. 仁川港의 1963年 1月의 潮位觀測值, 推定值 및 非潮位成分值

資料를 處理하는데 有用한 方法이므로 이를 利用하여 一次의인 誤差修正을 하였다. 그러나 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하지는 못하므로 即假誤差(pseudo-error)가 檢出되기도 하고 어떤 境遇는 誤差가 無視되기도 하므로 本 研究에서

는 非潮位成分의 플롯트에 依한 方法⁽⁷⁾이 追加的으로 誤差檢索을 爲하여 利用되었다. 이 方法은 每時間別 非潮位成分을 플롯트하여 不規則性 및 極值들을 肉眼으로 確認하여 潮位曲線原圖 및 每時間檢潮表와 比較하여 修正하는 過程이다. 近年에 潮位豫報가 相當한 信賴性을 갖는 段階

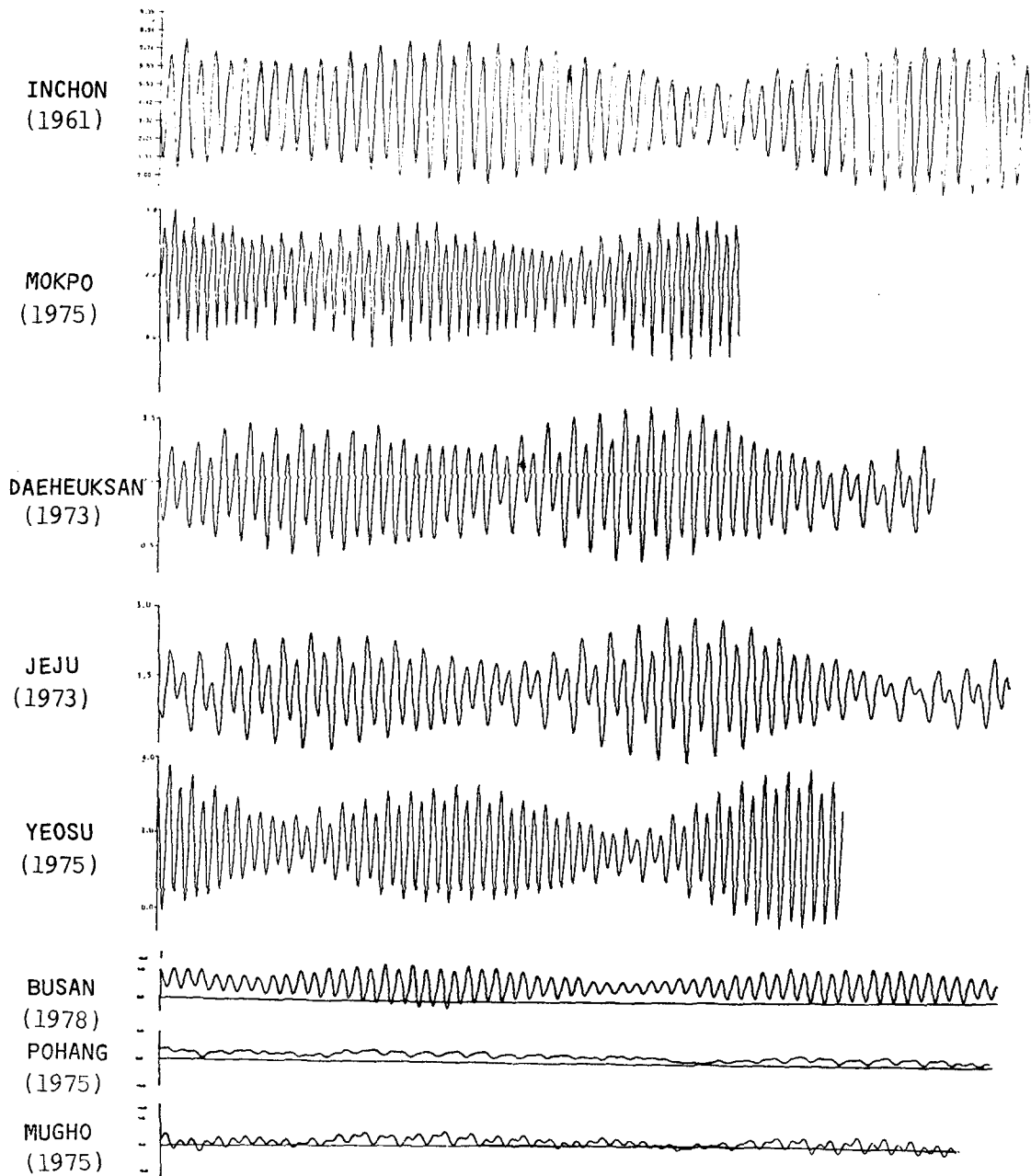


그림 4. 主要港灣의 1月中 潮位觀測曲線

에 이르렀으므로 非潮位成分을 正確하게 算定할 수 있으므로 이 方法을 利用하였다. 編輯前의 資料는 主로 週期的 曲線變化를 갖는 時刻誤差, 判讀 및 穿孔錯誤로 因한 誤差들이 包含되었으며 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. 上記過程을 통한 세 種類의 時系列資料 即 觀測值(observed series), 推定值(predicted series) 및 非潮位成分值(residual series)가 整理되어 磁氣테이프 및 磁氣디스크에 收錄되어 潮位의 分析을 包含하는 海面變化研究의 基礎資料로서 利用되었다. 그림 3은 整備된 세 時系列資料의 一例로서 仁川港의 1963年 1月의 觀測值, 推定值 및 非潮位成分值의 日別變化가 提示되어 있다. 그림 4는 몇몇 主要港灣의 1月中 觀測時系列을 圖化한 것으로 月齡에 따른 小潮와 大潮의 變化가 쉽게 判別되는데 이는 主 太陰半日週潮(M_2)와 主太陽半日週潮(S_2)의 遲角差에 依한 것으로 보름週期變化(fortnightly variation)가 우리나라 西, 南海岸의 港口에서 뚜렷하며 L_2, N_2 등의 分潮影響으로 大潮, 中潮, 小潮의 크기가 年中變化를 일으킨다. 우리나라 西南海岸은 半日週潮가 優勢하여 每日 두 高潮와 두 低潮가 發生하는데 木浦, 大黑山島, 濟州港은 半日週潮가 優勢한 混合潮로서 日潮不等(diurnal inequality)現象이 甚해서 두 高, 低潮는 發生하지만 높이의 不等程度가 甚하다. 東海岸의 港口들은 日週潮가 優勢한 混合潮로서 高潮가 1日 1回만 나타나기도 하는데 非潮汐影響이 相對적으로 크다. 이러한 潮汐의 變化하는 樣相은 圖式的으로 判別可能하지만 K_1 分潮와 O_1 分潮의 振幅의 差를 M_2 分潮와 S_2 分潮의 振幅의 差로 나눈 값 即 形態數⁽⁸⁾(form number)로 區別되기도 하는데 潮和分析過程에서 各 港灣의 仔細한 潮和常數들이 提示된다. 最近에는 pattern number에 依해 潮汐의 形態를 더 仔細하게 分類하는 方法이 Godin⁽⁹⁾에 依해 提示된 바 別途로 이에 關한 調查結果를 提示할 豫定이다.

3. 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 極小化하기 爲한 最小子乘原理를 利用하여 餘弦波들의 振幅 및 位相을 求하는 것이 潮位의 調和分析이며 電算機가 開發되기 前 時代에는 Doodson⁽¹⁰⁾ 및 Schureman⁽¹¹⁾에 依한 卓上計算機를 利用하는 方法들이 主로 利用되어 왔다. 그 後 Miyazaki와 Ueno⁽¹²⁾ 및 Cartwright⁽¹³⁾는 1年值 潮汐資料를 電算機를 利用하여 處理하는 方案을 提示하였으며 Lennon⁽¹⁴⁾ 亦是 Doodson의 方法을 電算機를 利用하여 處理하는 方案을 提示하였다. 좀 더 普遍性있게 調和常數를 求하는 方法이 Horn⁽¹⁵⁾에 依해 提示된 後 類似한 方法들^{(16)~(18)}이 繼續 提示된 바 있다. 本 研究에 利用된 潮汐의 調和分析方法은 英國海洋 研究所에서 利用하는 TIRA⁽¹⁶⁾(Tidal Institute Recursrive Analysis)技法으로 特徵은 資料를 2 個月以內의 블럭으로 나누어서 起潮力의 長週期 變化를 考慮한 f 와 u 값을 定해 주므로서 數個月 부터 몇年치의 資料라도 다룰 수 있으며 內插에 依한 方法을 거치지 않고 直接 不完全한 缺測資料를 處理할 수 있다. 또한 資料延長에 適合한 範圍內에서 適切한 數의 調和常數를 自由롭게 算出할 수 있다. 即 潮差가 작고 水深이 깊은 港口는 30個程度, 潮差가 크고 水深이 얇은 港口는 60個以上의 常數가 必要한데 TIRA는 擴張 調和分析⁽⁴⁾을 遂行할 수 있어 100個以上의 調和 常數를 抽出할 수 있다. 表-1은 各 港灣의 年別 擴張調和分析 結果中 主要分潮 M_2, S_2, K_1, O_1 의 調和常數이다. 振幅(H)은 cm로 遲角(g)은 度 單位로 提示되는데 提示된 遲角은 Greenwich 遲角으로 Greenwich에서의 平衡分潮의 位相과의 遲角을 나타내며 局地的인 遲角, K 는 一定地域의 平衡分潮의 位相과의 遲角을 나타내는데 兩者는 $g=K-jL+nS$ 의 關係가 있다. 여기서 L 은 東經, j 가 1, 2...이면 各各 日週潮, 半日週潮를 나타내며 n 은 平均太陽時當 分潮의 速度, S 는 局地的 標準時이다. 平均值의 標準誤差(standard error)는 表-2에 示되어 있다.

表-1.1 仁川港의 主要分潮의 調和常數

分潮 年度	O ₁		K ₁		M ₂		S ₂	
	H	g	H	g	H	g	H	g
62	0.281	263.9	0.398	304.7	2.919	137.3	1.105	195.7
63	0.289	265.3	0.399	304.2	2.933	138.9	1.119	197.5
64	0.292	265.5	0.396	305.3	2.933	138.4	1.116	196.5
65	0.294	265.8	0.405	305.0	2.937	138.4	1.133	196.1
66	0.287	266.1	0.392	306.1	2.919	138.0	1.125	195.8
67	0.282	265.7	0.395	304.9	2.909	137.3	1.124	194.8
68	0.290	265.3	0.398	304.3	2.881	137.4	1.131	194.9
69	0.288	266.7	0.389	304.7	2.893	137.5	1.126	195.4
70	0.292	265.8	0.394	305.4	2.901	137.8	1.137	194.8
71	0.286	267.3	0.398	305.7	2.901	137.8	1.132	195.7
72	0.285	266.5	0.385	304.9	2.907	137.6	1.136	195.4
75	0.286	266.9	0.394	306.7	2.867	138.7	1.107	196.4
76	0.281	265.7	0.385	305.5	2.848	139.3	1.090	197.4
77	0.276	267.7	0.385	305.8	2.865	138.9	1.103	197.3
78	0.281	267.0	0.392	305.0	2.860	139.7	1.097	198.2
79	0.273	268.7	0.386	305.6	2.901	139.5	1.107	197.3

表-1.2. 群山港의 主要分潮의 調和常數(群山內港)

分潮 年度	O ₁		K ₁		M ₂		S ₂	
	H	g	H	g	H	g	H	g
60	0.230	240.8	0.303	282.6	2.029	89.5	0.684	146.0
61	0.253	238.8	0.321	288.8	2.045	93.4	0.720	150.7
62	0.221	247.0	0.309	288.0	2.005	106.1	0.702	161.4
63	0.232	246.1	0.325	289.7	2.026	104.5	0.699	160.4
64	0.228	246.6	0.305	286.8	2.062	102.7	0.672	166.6
65	0.191	253.3	0.325	288.6	2.067	105.5	0.744	156.9
66	0.230	247.6	0.334	287.2	2.071	101.1	0.768	154.6
67	0.246	248.9	0.327	288.6	2.097	101.9	0.752	155.6
68	0.257	249.0	0.336	286.9	2.099	100.8	0.770	154.6
69	0.241	253.4	0.331	288.7	2.085	103.4	0.747	157.1
71	0.247	252.6	0.331	289.3	2.091	102.5	0.762	157.5
72	0.244	251.9	0.317	288.7	2.083	103.4	0.746	158.1
73	0.246	250.2	0.310	285.1	2.070	103.2	0.747	155.5
74	0.226	250.7	0.329	287.6	2.069	101.8	0.733	155.2
75	0.246	246.2	0.332	287.5	2.093	99.6	0.746	154.2
76	0.247	246.4	0.328	288.4	2.081	102.2	0.731	157.5
77	0.216	248.8	0.320	287.9	2.041	101.4	0.708	157.6
78	0.238	249.0	0.322	287.2	2.105	102.2	0.747	157.9
79	0.231	247.6	0.304	291.1	2.102	103.6	0.732	159.3

表-1.3 木浦港의 主要分潮의 調和常數

分潮 年度	O_1		K_1		M_2		S_2	
	H	g	H	g	H	g	H	g
56	0.239	228.3	0.317	264.3	1.232	53.7	0.375	110.3
58	0.245	228.0	0.310	264.1	1.222	54.7	0.367	112.4
59	0.240	229.9	0.317	264.0	1.215	55.3	0.367	112.0
60	0.247	229.1	0.309	263.8	1.231	54.7	0.357	111.7
61	0.248	228.0	0.309	267.5	1.222	54.1	0.366	110.5
62	0.245	235.8	0.311	271.1	1.223	68.0	0.360	122.9
63	0.246	236.7	0.312	270.4	1.205	68.1	0.361	123.7
64	0.252	235.1	0.310	272.9	1.223	68.8	0.372	124.2
65	0.252	235.8	0.320	271.7	1.235	67.9	0.378	123.8
66	0.251	236.0	0.318	271.5	1.239	68.0	0.380	124.3
67	0.250	235.0	0.317	271.5	1.234	67.9	0.387	123.8
68	0.246	234.0	0.322	269.9	1.227	66.6	0.382	122.8
69	0.253	235.5	0.317	270.0	1.240	67.4	0.387	123.5
70	0.254	234.6	0.320	270.4	1.235	67.0	0.386	122.6
71	0.245	234.2	0.321	271.0	1.227	67.2	0.387	122.0
72	0.248	235.3	0.314	269.8	1.234	67.0	0.384	123.3
73	0.254	235.5	0.319	270.8	1.229	68.3	0.377	124.5
74	0.251	234.7	0.314	270.6	1.223	68.0	0.381	124.8
75	0.248	234.5	0.312	271.4	1.220	68.2	0.373	124.3
76	0.250	235.3	0.311	271.1	1.222	67.5	0.375	124.3
77	0.247	236.2	0.314	269.9	1.225	65.6	0.373	121.7
78	0.256	236.1	0.318	269.9	1.235	67.1	0.377	123.7
79	0.242	235.2	0.308	270.5	1.248	66.1	0.385	122.1

表-1.4 大黑山島港의 主要分潮의 調和常數

分潮 年度	O_1		K_1		M_2		S_2	
	H	g	H	g	H	g	H	g
66	0.188	225.8	0.243	258.8	1.036	42.32	0.350	85.38
67	0.187	224.0	0.239	256.6	1.002	39.42	0.364	84.50
68	0.040	223.3	0.249	256.3	1.060	39.82	0.368	85.37
69	0.190	225.8	0.246	257.9	1.051	41.02	0.353	80.28
70	0.196	225.5	0.240	259.4	1.038	43.1	0.337	86.1
71	0.190	223.7	0.246	258.2	1.059	39.2	0.368	83.3
72	0.175	228.3	0.230	259.7	1.028	42.7	0.340	87.15
73	0.176	222.9	0.194	259.9	1.013	41.0	0.336	85.80
74	0.179	223.7	0.228	256.1	0.973	37.7	0.331	82.8
75	0.182	223.9	0.232	256.9	0.995	39.8	0.338	84.5
76	0.180	222.0	0.232	256.7	1.007	39.4	0.342	83.4
77	0.196	226.1	0.255	255.1	1.095	38.9	0.371	83.9
78	0.202	226.3	0.260	256.2	1.078	39.2	0.373	83.8
79	0.188	222.0	0.242	255.2	1.060	37.8	0.358	82.7

表-1.5 濟州港의 主要分潮의 調和常數

分潮 年度	O ₁		K ₁		M ₂		S ₂	
	H	g	H	g	H	g	H	g
64	0.172	189.4	0.231	220.0	0.713	313.3	0.300	343.4
65	0.170	188.6	0.234	220.1	0.712	312.1	0.301	342.1
66	0.166	189.1	0.227	220.4	0.699	311.7	0.293	340.9
67	0.167	188.1	0.230	219.5	0.704	310.7	0.299	340.4
68	0.167	188.9	0.232	219.3	0.698	311.8	0.300	341.7
69	0.168	188.8	0.232	220.3	0.695	314.4	0.289	343.4
70	0.165	189.4	0.226	220.4	0.693	313.7	0.295	343.6
71	0.163	190.0	0.229	219.7	0.694	312.3	0.292	342.0
72	0.166	189.4	0.225	218.9	0.696	311.7	0.292	341.3
73	0.172	188.0	0.235	218.8	0.700	310.4	0.293	339.3
74	0.169	188.9	0.231	220.0	0.700	313.4	0.296	343.2
75	0.165	188.3	0.225	219.9	0.694	313.2	0.296	343.1
76	0.164	188.1	0.226	218.5	0.691	312.0	0.289	341.9
77	0.158	185.8	0.224	217.6	0.694	310.2	0.282	340.4
78	0.162	187.0	0.221	218.3	0.694	313.5	0.283	344.3
79	0.156	183.7	0.219	218.0	0.683	313.5	0.270	343.2
80	0.157	187.8	0.221	218.9	0.668	316.1	0.263	345.8

表-1.6 麗水港의 主要分潮의 調和常數

分潮 年度	O ₁		K ₁		M ₂		S ₂	
	H	g	H	g	H	g	H	g
65	0.131	148.6	0.190	183.7	1.013	259.7	0.470	296.4
66	0.125	148.6	0.188	183.7	1.008	260.1	0.468	297.2
67	0.126	149.3	0.188	183.1	1.014	260.3	0.465	297.3
68	0.129	149.4	0.191	181.8	1.005	259.6	0.469	296.4
69	0.129	149.1	0.193	183.0	1.009	260.5	0.466	296.8
70	0.129	148.7	0.188	182.9	0.997	260.7	0.464	296.8
71	0.129	150.0	0.196	183.3	1.028	260.3	0.474	296.9
72	0.129	150.7	0.185	182.8	0.991	261.3	0.462	297.6
73	0.128	150.1	0.190	183.5	0.985	259.9	0.461	295.9
74	0.125	149.4	0.189	183.3	0.988	261.1	0.457	297.4
75	0.127	148.4	0.187	183.8	0.988	260.2	0.462	296.9
76	0.128	148.2	0.191	182.9	0.990	260.9	0.461	297.7
77	0.127	149.2	0.190	183.2	1.000	260.4	0.459	297.4
78	0.130	148.6	0.191	181.4	1.000	260.3	0.455	297.1
79	0.125	147.1	0.187	183.6	0.993	260.1	0.456	296.4

表-1.7. 鎮海港の主要分潮の調和常數

分潮 年度	O ₁		K ₁		M ₂		S ₂	
	H	g	H	g	H	g	H	g
56	0.045	124.0	0.082	154.9	0.626	231.2	0.297	270.3
57	0.043	123.9	0.079	151.9	0.627	229.8	0.301	268.3
58	0.040	124.4	0.079	153.6	0.632	230.2	0.301	268.9
59	0.040	123.9	0.077	152.4	0.627	230.8	0.292	269.7
60	0.043	122.1	0.075	155.1	0.629	232.9	0.301	269.9
61	0.040	119.8	0.077	152.9	0.636	231.5	0.300	270.0
62	0.041	121.8	0.077	163.9	0.639	246.2	0.298	284.2
63	0.042	130.5	0.083	161.6	0.627	247.3	0.294	285.2
64	0.046	128.8	0.079	163.0	0.629	245.3	0.294	282.9
65	0.045	120.0	0.080	161.9	0.638	245.2	0.302	282.9
66	0.043	126.6	0.079	162.0	0.634	244.7	0.302	282.8
67	0.043	128.3	0.080	161.0	0.625	244.3	0.299	281.7
68	0.039	121.8	0.082	157.8	0.613	243.8	0.295	280.8
69	0.044	127.6	0.082	161.4	0.618	244.3	0.288	281.8
70	0.043	126.5	0.081	160.7	0.623	245.3	0.298	282.2
71	0.035	132.3	0.078	155.0	0.623	244.3	0.295	282.1
72	0.043	130.3	0.080	160.0	0.624	245.3	0.296	282.6
73	0.044	128.6	0.081	163.1	0.618	245.8	0.292	283.1
74	0.043	129.4	0.081	161.1	0.617	246.2	0.295	283.7
75	0.042	130.6	0.080	162.9	0.618	247.2	0.295	282.2
76	0.046	123.0	0.082	160.7	0.619	246.2	0.296	284.5

表-1.8. 釜山港の主要分潮の調和常數

分潮 年度	O ₁		K ₁		M ₂		S ₂	
	H	g	H	g	H	g	H	g
61	0.017	104.0	0.045	136.8	0.410	225.9	0.191	263.7
62	0.016	114.5	0.042	146.6	0.414	237.7	0.194	274.9
63	0.015	100.8	0.046	144.6	0.399	238.2	0.187	275.4
64	0.018	100.0	0.044	146.5	0.406	237.9	0.190	275.3
65	0.018	104.1	0.044	143.5	0.410	237.9	0.194	275.4
66	0.016	103.9	0.046	144.1	0.399	239.0	0.191	275.8
67	0.017	108.3	0.047	144.3	0.410	239.2	0.194	275.9
68	0.017	102.4	0.046	143.3	0.407	238.6	0.193	275.4
69	0.017	99.3	0.048	147.2	0.409	240.2	0.192	277.1
70	0.016	105.2	0.047	142.3	0.404	238.6	0.193	274.9
71	0.017	107.3	0.048	143.6	0.408	237.1	0.192	275.1
72	0.018	113.5	0.047	142.0	0.405	237.7	0.192	275.2
73	0.017	114.8	0.044	146.9	0.398	236.1	0.190	273.5
74	0.015	108.6	0.044	143.5	0.400	235.6	0.188	273.2
75	0.015	111.5	0.044	142.9	0.397	236.2	0.188	273.7
76	0.016	103.6	0.045	142.9	0.400	236.4	0.188	274.4
77	0.017	104.0	0.044	142.1	0.400	236.2	0.188	274.7
78	0.016	102.4	0.046	140.5	0.400	235.8	0.186	274.3
79	0.016	103.6	0.044	142.9	0.398	235.9	0.187	273.2

表-1.9 蔚山港의 主要分潮의 調和常數

分潮 年度	O ₁		K ₁		M ₂		S ₂	
	H	g	H	g	H	g	H	g
63	0.017	353.7	0.020	53.1	0.110	216.6	0.015	250.6
64	0.026	345.1	0.026	50.7	0.162	214.8	0.075	256.6
65	0.031	346.5	0.034	51.5	0.171	215.4	0.079	259.2
66	0.029	343.1	0.033	49.5	0.168	213.5	0.079	256.1
67	0.028	346.6	0.032	51.7	0.168	213.8	0.079	255.4
68	0.029	348.5	0.035	49.5	0.164	214.6	0.076	256.3
69	0.029	348.8	0.032	54.9	0.167	214.9	0.077	257.2
70	0.030	346.2	0.034	51.5	0.166	214.9	0.079	256.2
71	0.030	346.6	0.033	51.3	0.166	215.4	0.078	257.4
72	0.029	346.3	0.034	55.6	0.163	216.0	0.078	258.7
73	0.028	348.9	0.030	55.2	0.160	216.4	0.077	260.2
74	0.030	346.7	0.034	51.5	0.160	215.6	0.076	259.4
75	0.029	345.2	0.033	51.2	0.162	215.0	0.078	258.1
76	0.030	348.4	0.032	52.1	0.166	214.6	0.079	258.1
77	0.028	349.7	0.032	50.7	0.164	216.6	0.077	259.0
78	0.026	348.9	0.034	50.2	0.159	214.9	0.074	257.4
79	0.028	348.7	0.032	50.5	0.164	212.9	0.078	254.7

表-1.10 浦項港의 主要分潮의 調和常數

分潮 年度	O ₁		K ₁		M ₂		S ₂	
	H	g	H	g	H	g	H	g
72	0.040	318.7	0.042	8.5	0.030	121.2	0.007	166.3
73	0.042	322.5	0.041	9.3	0.031	125.3	0.007	179.9
74	0.044	322.0	0.043	10.3	0.030	122.1	0.007	182.7
75	0.043	321.8	0.040	8.1	0.032	121.8	0.007	174.4
76	0.042	323.7	0.041	7.8	0.032	120.0	0.007	169.6
77	0.041	323.5	0.042	6.4	0.032	121.0	0.007	174.1
78	0.040	323.9	0.039	9.8	0.032	115.8	0.006	166.6
79	0.042	322.7	0.041	5.3	0.032	119.5	0.007	173.1

表-1.11 墨湖港의 主要分潮의 調和常數

分潮 年度	O ₁		K ₁		M ₂		S ₂	
	H	g	H	g	H	g	H	g
65	0.049	318.9	0.051	4.4	0.068	88.2	0.023	118.0
66	0.046	319.3	0.048	3.7	0.068	88.5	0.023	118.9
67	0.047	320.1	0.048	4.7	0.066	90.0	0.022	119.6
68	0.047	320.5	0.049	3.1	0.065	87.0	0.023	118.2
69	0.045	319.7	0.048	3.1	0.064	88.9	0.022	118.4
70	0.047	319.3	0.048	3.7	0.064	87.6	0.023	117.7
71	0.046	320.4	0.049	4.3	0.065	89.3	0.023	122.0
72	0.045	318.1	0.046	5.3	0.063	88.9	0.022	117.3
73	0.046	318.0	0.048	2.1	0.065	87.6	0.022	117.6
74	0.046	319.6	0.050	4.0	0.065	88.4	0.021	117.8
75	0.047	318.8	0.049	3.0	0.065	88.7	0.022	119.9
76	0.046	319.6	0.047	2.7	0.065	87.4	0.022	116.6
77	0.045	320.5	0.049	2.3	0.067	86.2	0.023	117.0
78	0.046	320.6	0.047	2.4	0.066	87.3	0.022	118.9
79	0.045	319.3	0.047	0.9	0.065	86.0	0.022	114.0

standard error of the mean, σ/\sqrt{n})는 資料의 散布程度에 比例하고 觀測回數의 平方根에 反比例 하므로 算定된 調和常數들의 安定性を 評價하는 指標가 되는데 이에 依하면 提示된 主分潮들은 一般的으로 安定된 값을 갖는다. 提示된 主要分潮以外的 長週期分潮 및 淺海分潮들의 調和常數는 別途로 報告될 豫定이다. 그림 5는 主要港灣에서의 觀測海面 power density spectra들을 提示하고 있다. 潮汐의 分析에 있어 스펙트럼을

利用하는 方法은 非潮汐成分值(殘留值)의 스펙트럼에서 潮汐周波帶에 여건히 潮汐成分이 남아 있는가를 判別할 수 있는 有用한 方法으로 潮位分析의 結果를 評價하고 潮位豫報를 改善하려고 할 때 必須的으로 利用되는 技法이기도 하다. 本 研究에서는 主要港灣의 潮汐에너지가 어떻게 分布되어 있는가를 判別하는데 一次的으로 利用되었다. $X(w)$ 가 潮位時系列資料 $X(t)$ 의 振幅 스펙트럼이라면 power spectrum은 $X^2(w)$ (또는

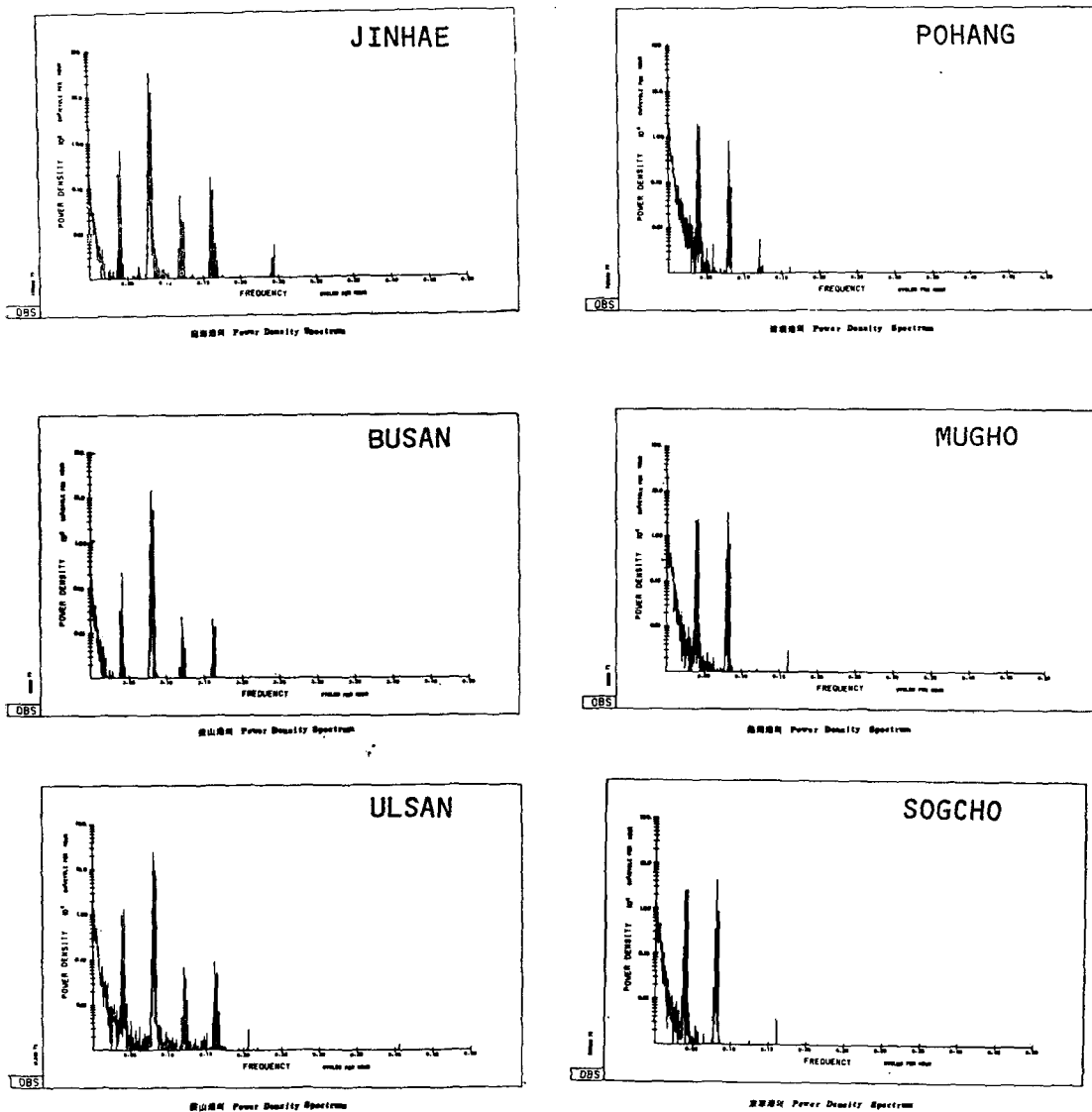


그림 5. 主要港灣의 觀測海面 power density spectra.

表-2. 主要港灣의 Power spectrum의 total variance (cm²)

港 灣	年 度	總 分 散
仁 川	1 9 7 6	52,605
木 浦	1 9 7 5	10,378
群 山	1 9 7 5	28,641
大黑山島	1 9 7 5	6,710
鎮 海	1 9 7 5	2,798
濟 州	1 9 7 5	3,781
釜 山	1 9 7 5	1,215
麗 水	1 9 7 5	7,016
蔚 山	1 9 7 5	276
浦 項	1 9 7 5	140
東 草	1 9 7 5	187
墨 湖	1 9 7 5	166

$Px(w)$ 이며 power spectrum을 全周波帶에 對해 積分하면 時系列資料의 總分散이 되는데 百分率로서 各周波帶의 分散(variance)을 提示하면 單位周波帶의

$$\text{Variance} = Px(w) \times \frac{\text{Var}(x)}{100}$$

이다. 提示된 그림들은 위의 上記因子로 나뉘어져 다시 周波帶間隔 Δf 로 나누면 power density가 cm²/cycle per hour의 單位로 나타난다. 表-2는 主要港灣의 海面 power spectrum의 總分散을 提示하고 있다. 提示된 power density spectra에 依하면 木浦港은 $\frac{1}{5}$ 日分潮 및 群山港에는 $\frac{1}{8}$ 日分潮에너지가 分布되어 있으며 大黑山島의 境遇는 主分潮의 에너지가 背景의 非潮位成分과 크게 混合되어 있어 더 仔細한 檢討가 必要하다. 釜山港은 半日週潮가 日週潮에 비해 優勢한 比率이 西海岸의 群山, 仁川港과 類似하지만 $\frac{1}{5}$, $\frac{1}{6}$ 日週潮는 無視할 程度이다. 浦項港의 스펙트럼은 墨湖, 東草港보다도 年間 海面에너지가 相對적으로 작는데 이는 小海灣에 位置한 地形的인 要因에도 起因하는 것으로 推定된다.

4. 海面統計

敘述된 海面資料 編輯過程을 통한 主要港灣의 每時間別 潮位의 海面統計 및 確率密度函數 및 累積分布函數를 求하기 爲해서 海面資料를 一定

表-3. 主要港灣의 累年海面統計

港 灣	平均	標準偏差	skewness 係 數	kurtosis 係數	期間
仁 川	4.53	2.33	-0.9786	56.4562	62~79
群 山	3.34	1.67	0.6470	17.8403	60~79
木 浦	2.14	1.02	-0.3340	2.4291	65~80
大黑山島	2.07	0.85	-0.0021	1.1418	66~79
濟 州	1.40	0.62	-0.0198	0.3707	64~79
麗 水	1.81	0.83	0.0167	0.8345	66~79
鎮 海	1.18	0.53	0.0057	0.2068	59~76
釜 山	0.64	0.35	0.0023	0.1890	61~79
蔚 山	9.31	0.17	0.0002	0.0026	63~79
浦 項	0.24	0.14	0.0003	0.0012	73~79
墨 湖	0.19	0.14	0.0008	0.0011	66~79
東 草	0.24	0.15	0.0012	0.0037	74~79

間隔의 海水位로 나누어서 處理하였다. 表-3의 主要港灣의 海面統計에는 海面分布의 主모멘트들이 標準偏差, skewness係數, kurtosis係數로서 提示되었다. 標準偏差는 仁川港의 2.33m로부터 西海岸을 따라 減小되어 木浦 1.02m, 釜山 0.35m, 墨湖 0.14m로 減小된다. 陰값의 skewness는 海面分布가 全體적으로 低潮位 發生率이 高潮位 發生率보다 높은 것을 提示한다. 반대로 陽값의 skewness는 海面分布의 高潮位 發生率이 低潮位 發生率보다 높은 것을 提示한다. 仁川, 木浦, 大黑山島, 濟州港은 陰값의 skewness를 갖고 나머지 港灣은 陽값의 skewness를 갖는 것이 提示된다. kurtosis는 定規分布에 對해 편평한 程度를 나타내는데 仁川港 및 群山港의 海面分布는 定規分布에 비해 상당히 편평한 分布를 이룬다. 半日週潮가 優勢한 仁川, 群山, 木浦, 大黑山島는 두 개의 尖頭分布를 갖는데 이 傾向은 日週潮 및 半日週潮가 優勢한 混合潮로 變하면서 尖頭사이가 편평해지는 傾向이 있다. 原因은 確實치 않으나 海面은 高, 低潮에서 一時的으로 靜止水面狀態가 되고 中潮位에서 急激한 海面變化率을 갖는데 海面이 日週潮와 半日週潮의 週期에 依한 分布로서 半日週潮가 優勢할 때 이러한 두 尖頭分布가 形成되는 것으로 推定된다. 그림 6은 累年記錄에 依한 各港灣의 海面頻度分布를 提示하고 있는데 主要潮位 基準面이 더불어 表示되어 一定水位의 頻도와 이 潮

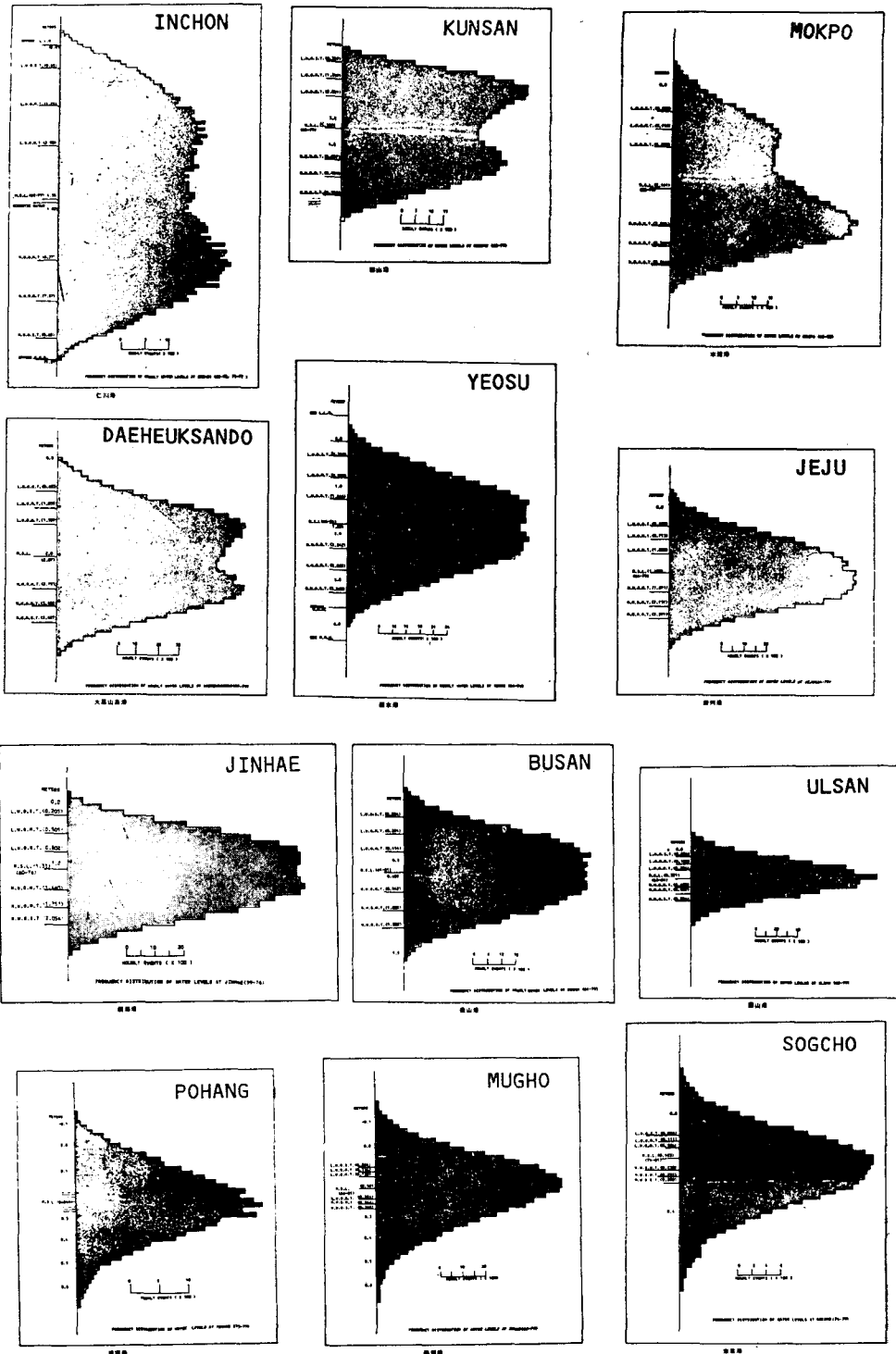


그림 6. 主要港灣의 海面頻度分布

位基準面과의 關係를 相對的으로 提示하고 있다. 이러한 海面頻度の 確率密度函數를 累積시킨 累積分布函數를 曲線形態로 表示해 주면 海面露呈曲線이라 稱하는 曲線이 되어 一定海水面에 依해 陸地가 相對的으로 露出 또는 沈水되는 百分率로써 提示할 수 있다. 即 $P(\xi)$ 가 觀測海面的 確率密度函數이면 이로부터 特定水位를 超過할 確率, $Q(\eta)$ 은

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

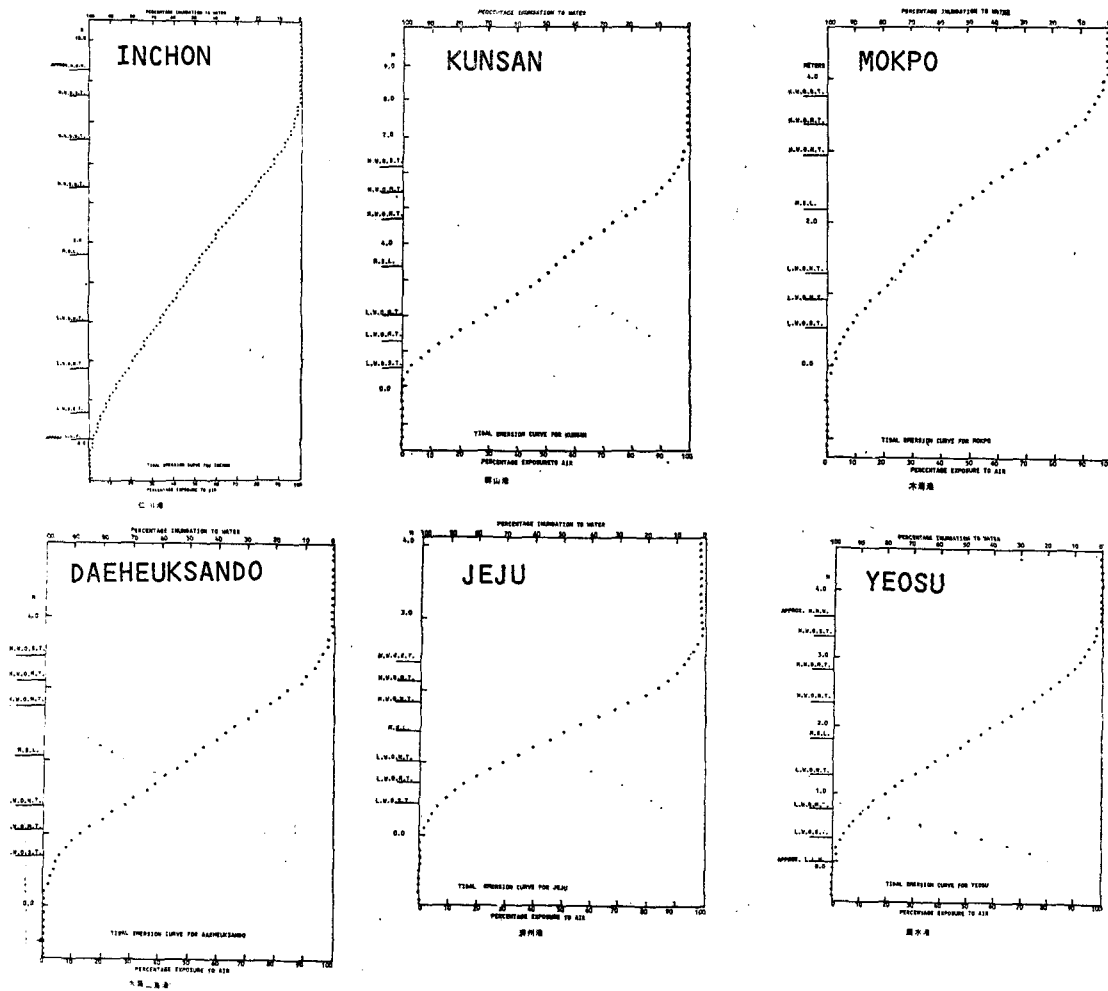
이며 特定높이에서 露出될 確率은

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

이며 $Q(\eta) + R(\eta) = 1$ 이다. 그림 7은 主要港灣의 海面露呈曲線을 提示하고 있는데 主要 潮位基準面들이 同時에 提示되어 있다. 이 曲線을 利用하면 一定水位가 年中露出 또는 沈水되는 期間을 評價할 수 있으므로 沿岸地形 變化로 干拓農地가 過去에 比해 얼마나 露出 또는 沈水될 것인가를 評價할 수 있으며 또한 防潮堤建設로 海水位 分布變化가 如何할 것인가 推定할 수 있다

5. 結 論

우리나라의 測地學的 水準網의 再定義를 念頭



에 두고 測地基準面을 設定하는데 必須인 海面變化의 要因을 糾明키 爲하여 우리나라 主要港灣의 海面資料를 一連의 一貫된 過程에 依해 整理하여 一次의 分析을 하였는데 本稿에서는 調和分析 結果 및 海面統計를 提示하였다. 整備된 海面資料를 基礎로 한 海洋學的, 測地學의 研究가 繼續 遂行中에 있는데 이러한 一連의 研究는 信賴性 있는 標高基準을 樹立하기 爲해 必須的으로 遂行되어야 할 事項이다.

謝 辭

本稿에 收錄된 結果는 1983年度 國立地理院의 研究事業으로 韓國測地學會가 遂行한 우리나라 精密水準網에 關한 研究⁽¹⁹⁾(우리나라 主要港灣의 平均海面 및 潮位分析)의 一部이다. 研究事業을 可能케 한 國立地理院에 謝意를 表하며 海面資料를 供給하여준 交通部 水路局에 역시 謝意를 表한다.

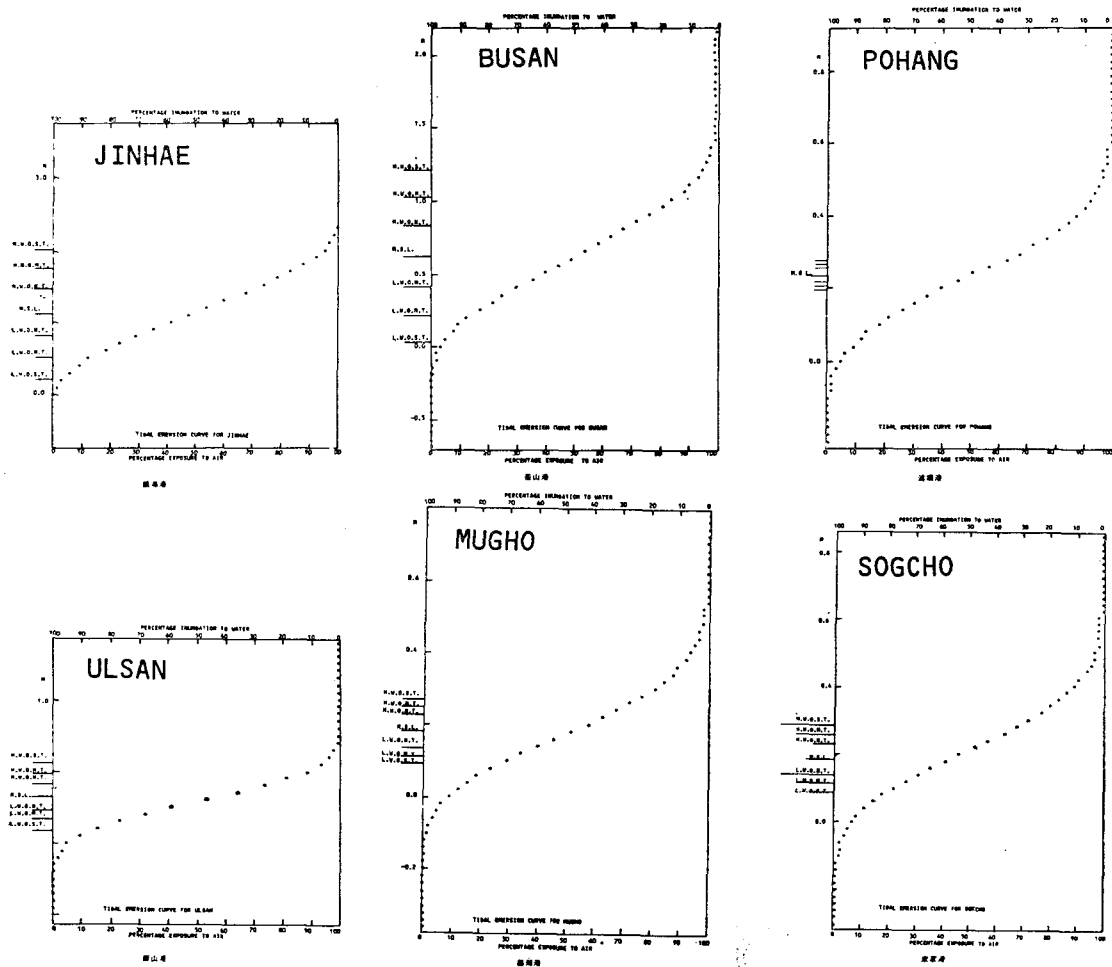


그림 7. 主要港灣의 海面露呈曲線

參 考 文 獻

1. 崔秉昊, 仁川港 潮位分析에 關한 研究(海面變化調查事業), 交通部 水路局, 海洋開發研究所, 1980.
2. 朝鮮監督府 臨時土地調查局, 朝鮮土地調查事業報告書(1918年 11月), 國文翻譯版(地盤測量編), 建設部 國立地理院, 1981.
3. 關重雄, “朝鮮の水準測量にていご”, 日本海洋學會誌 特別號(日本海洋學會 20年の歩み).
4. Rossiter, J.R. and Lennon, G.W., “An intensive analysis of shallow water tides”, *Geophys. J. R. Astro. Soc.*, 16, 1968.
5. 海洋開發研究所, 潮汐資料의 處理 및 分析의 體系化를 爲한 研究(I), 1979.
6. Cartwright, D.E., “A unified analysis of the tides and surges round North and East Britain”, *Phil. Trans. Roy. Soc. Lond.*, A 263, 1968.
7. Pugh, D.T. and Vassie, J.M., “Extreme sea level from tide and surge probability”, *Proc. 16th I.C.C.E.*, 1978.
8. Courtier, A., *Marees*. Paris: Service Hydrographique de la Marine, 1938.
9. Godin, G., “The identification and classification of tidal records through pattern recognition”, *Mar. Sci. Dir. MS Rep.*, 42, 1977.
10. Doodson. A.T., “The analysis of tidal observation”, *Phil. Trans. Roy. Soc. Lond.*, A 227, 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 Ueno, T., “Tidal analysis and prediction by using the electronic computer”, *Oceanog. Magazine*, Vol. 12, No. 1, 1961.
13. Cartwright, D.E. and Catton, D.B., “On the Fourier analysis of tidal observations”, *Int. Hyd. Rev.*, 15, No. 1, 1963.
14. Lennon, G.W., “The treatment of hourly elevations of the tide using an IBM 1620”, *Int. Hyd. Rev.* 42, No. 2, 1965.
15. Horn, W., “Some recent approaches to tidal problems”, *Int. Hyd. Rev.*, 34, 1960.
16. Murray, M.T., *Tidal analysis with an electronic digital computer*, *Cashiers Oceanog.*, 1963.
17. Harris, D.L., Pore, N.A. and Cummings, R., “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. 韓國測地學會, 우리나라 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, 1983.