The Journal of the Oceanological Society of Korea
Vol. 15, No. 2, p. 123~128, Dec. 1980

仁川의 潮差 變動

韓 相 復

VARIABILITY OF TIDAL RANGE AT INCHON

Sangbok D. Hahn
Research Group, Korea Ocean Science and Engineering

ABSTRACT

Variabilities of tidal range at Inchon were described based on observed values. Relationships between tidal ranges and harmonic costants of tide were also examined. Fortnightly variation is predominant and its range is 571.3cm. Mean of maximum spring range($\overline{\Delta H_{max}}$) is 887.2cm and that of minimum neap range($\overline{\Delta H_{min}}$) is 315.9cm. Mean tidal range($\overline{\Delta H}$) is 634.3cm. Diurnal inequality is shown about 141cm on an average and monthly inequality is also shown about 100cm. Yearly inequality appears with a range of about 35cm, maxima in March and September, and minima in June and December. There may exist 18±1 years periodicity with a range of about 45cm. There are some relationships between tidal ranges and amplitudes of M_2 and S_2, such as $\overline{\Delta H}=2.172H_m$, $\overline{\Delta H_{max}}=3.043\ H_m$, $\overline{\Delta H_{min}}=1.071\ H_m$, $\overline{\Delta H_{max}}=2.198(H_m+H_s)$, and $\overline{\Delta H_{min}}=1.740(H_m-H_s)$.

1. 머릿말

仁川을 포함한 경기만 일대는 우리나라에서 潮差가 가장 큰 곳으로 오래전부터 潮力發電의 가능성에 대하여 논의되고 있는 곳이다. 조력발전의 타당성을 論하거나 오염물질을 바다에 버릴때 그 확산문제를 풀기 위해서는 海水의 流出入量을 정확하게 결정해야 하는데 이때 潮差는 가장 중요한 要素가 되며 나아가서 平均流速을 求할 수 있게 된다. 그러므로 潮差의 변동범위를 가능한대로 정확하게 파악하고 있으면 좀 더 슬기롭게 자연환경을 이용할 수 있게 된다.

仁川에서 潮差를 定量的으로 調査하기 시작한 것은 1876년 7월~8월 日本海軍에 의하여 부근 海域의 原點測量時부터이며 1882년 英國人 Hoskyn이 이곳의 海圖를 作成할 때 좀 더 자세히 조사된 것으로 믿어진다. 仁川港 海圖는 그후 各國에서 다투어 가면서 作成하게되었는데 1884년에는 독일이, 1887년에는 러시아가, 1891년에는 日本이, 1893년에는 미국이 해도를 작성하였다. 영국인 Eldridge와 Allen은 各己 1893년과 1896년에 1海浬를 12인치와 5.5인치로 하는 대축척 해도를 作成하기에 이르렀으며 韓國水產誌(農商工部 水產局, 1908)에 기재된 仁川의 大潮昇 31尺 $\frac{1}{4}$ 및 小潮昇 21尺 $\frac{1}{2}$은 海圖作成時에 조사된 潮汐資料를 종합하여 정리한 것이다.

大韓帝國 度支部 稅關工事課에서는 仁川港 建設을 目的으로 1906년부터 長期間 潮汐觀測을 行하였는데 1906년 7월 1일부터 1908년 6월 30일까지 만 2년간의 결과로서 平均滿潮位 25尺, 平均干潮位 4尺(關, 1950) 이었으므로 平均潮差는 21尺에 達한다. 조선총독부 임시 토지조사국에서는 地形圖 作成을 爲한 中等潮位 결정을 목적으로 1914년 1월부터 1916년 6월까지 潮汐觀測을 하였으며(朝鮮總督府 ; 1918, 1919a, 1919b) 그후에는 土木局으로 이관되었다. 인천항 잔교(37°29′N, 126°37′E)에서 6년간 조사한 결과로 조화분석한 M_2分潮의 진폭은 292cm이고 S_2分潮는 113cm(Ogura, 1933)이었다.

1926년부터 仁川港 갑門外(37°27′54″N, 126°37′12″E)로 검조소를 옮겼으며 1941년에는 海軍水路部 위탁검조소로 지정되어 한동안 부진상태에 놓여졌던 潮汐觀測이 재개되었으며 1941~1944년의 4年間 朔望平均潮差가 899.1cm이고 上下弦平均潮差는 350.8cm였다(關, 1950). 關(1950)은 1943~1944년의 2년간 潮汐觀測 資料를 가지고 60개의 조석 조화상수를 계산하였으며 大潮差 792.8cm, 小潮差 347.8cm, 平均潮差 572.4cm로 계산하였다.

1945년 이후 전란으로 인하여 潮汐觀測이 중단되어 오다가 1959년 5월 5일부터 다시 연속관측이 계속되었으며 仁川港 확장공사로 1973년 7월이후 일시 관측이 중단되었으며 月尾島(37°28′08″N, 126°35′51″E)로 검조소를 옮겨 1975년 1월부터 現在에 이르기까지 교통부수로국 주관으로 계속 관측이 되고 있다(수로국 ; 1975, 1976). 1959년 5월 이후의 潮汐資料는 수로국에서 보관하고 있으나 1945년 이전의 자료는 아직까지 行方이 묘연하다. 宋 等(1978)은 1976年의 潮汐資料만을 가지고 102개의 조석조화상수와 潮差의 빈도분포를 계산하였으며 平均潮差를 659.65cm로 發表하면서 關(1950)의 계산에 의한 平均潮差 572.4cm도 인용했지만 이들의 差異에 대하여는 관심을 기울이지 않았으며 崔(1980)도 1962~1972년과 1975~1977년의 수로국 조석자료를 가지고 潮位分析을 하였으나 潮差에 대하여는 언급을 하지 않았다.

本稿에서는 결측없이 연속적으로 조사된 1960년 1월부터 1972년 12월까지와 1976년의 潮汐資料를 가지고 潮差를 일일이 계산하여 이들의 변동성을 살펴보고 종래 비조화상수로 계산되어 오던 平均潮差〈$2H_m$〉, 大潮差 〈$2(H_m+H_s)$〉 및 小潮差〈$2(H_m-H_s)$〉와의 관계를 규명하였다.

2. 潮汐資料의 선택과 계산방법

仁川港(37°27′54″N, 126°37′12″E)에서는 1959년 5월 5일부터 1973년 6월 30일까지 Ott型 檢潮儀(倍率 1 : 20)로 관측된 潮汐資料가 교통부 수로국에 보관되어 있는데 1960년 1월 1일부터 1972년 12월 31일까지의 자료와 1976년 1월 1일부터 12월 31일까지의 자료를 가지고 1년단위로 潮差를 계산하였다. 1975년 이후의 자료는 月尾島에서 관측된 것인데 1975년 4월 1일부터 5월 2일까지 결측이 있었으므로 1976년의 자료를 선택하였으며 이 자료도 수로국에서 보관중이다.

潮差의 계산은 每年 1月 1日의 첫 高潮로부터 시작하여 다음 低潮까지의 潮差, 그리고 低潮에서 다음 高潮까지의 潮差를 時系列에 의하여 연속적으로 계산하였고 日潮不等에 起因한 변화를 없애기 위하여 4의 倍數가 되게 배열하였으며 各月의 潮差數는 116개로 통일하였다. 1960년 1월 1일에는 06時 15分에 첫 高潮가 있었으므로 이 時刻을 起點으로 潮差를 계산한 결과 年間 총 1,413個의 潮差가 나왔으나 1,412개만을 가지고 산술평균으로 年平均潮差를 계산하였으며 月平均潮差는 每月 共히 116개의 자료를 산술평균했는데 5月, 7月, 8月, 10月, 12月의 마지막 부분에서 各各 4개의 자료를 除去하면 해당하는 달의 자료가 알맞게 배열되었다.

大潮差는 3가지 方法으로 계산하였는데 첫 방법은 各各의 大潮期中 最大潮差를 취한 것이고 둘째 방법은 4列로 정리된 자료중 各列의 最大潮差를 平均한 것이며 셋째 방법은 연속된 8개의 平均値中 가장 큰 값을 가지는 것을 취하는 것이다. 小潮差는 小潮期中 最小潮差를 취하였는데 方法은 大潮差의 것과 同一하다.

潮差의 代表値인 平均값과 潮差빈도분포는 各各의 年平均潮差의 長年週期性을 검정한 후 極大와 極小値를 포함하는 기간을 中心으로 평형을 유지하도록 선택하였으며 日潮不等에 기인한 潮差變動은 平均潮差값에 가장 가까운 해의 것만을 중점적으로 다루었고 大潮差와 小潮差의 月潮不等에 기인한 潮差變動 역시 같은 方法을 취했으나 3年間의 자료를 이용하였다. 年平均값으로 계산된 平均潮差 大潮差 및 小潮差등은 同一年度의 潮汐調和分析으로 얻어진 調和常數(崔, 1980)를 利用하여 얻은 값들과 비교하였다.

3. 結 果

A. 年平均潮差의 長年週期性

1960年부터 每年의 平均潮差 變化는 〈Fig. 1〉

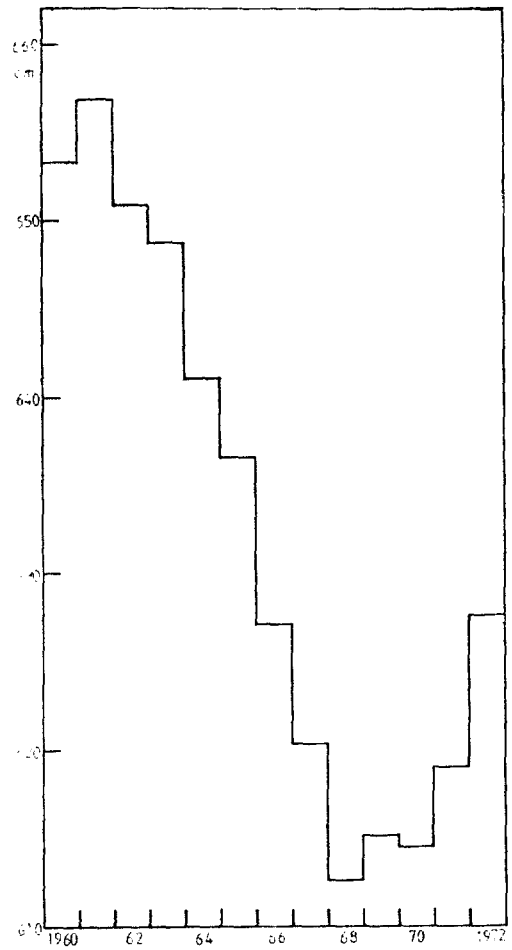

Fig. 1. Annual mean tidal ranges at Inchon (1960 ~1972).

과 같으며 1961年의 657cm를 極大値로하고 1969年의 612cm를 極小値로 하는 長年週期性을 나타내고 있는데 이는 M_2 分潮의 長年週期 因數變化와 거의 一致하고 있으며 變動의 범위는 45cm에 이르고 있다. 이와같은 長週期性은 年平均 大潮差와 小潮差에서도 同一하게 나타나고 있어서 資料가 週期性 分析에 부족함에도 불구하고 18±1年의 週期를 가진 長週期 變動의 可能性을 시사해 주고 있다.

1961年을 極大로 하고 1969年을 極小로 하는 潮差의 長年週期를 인정하면 限定된 資料中에서 平均潮差와 潮差의 빈도분포等을 계산하기 爲해서는 1960~1970年間의 資料를 使用하는 것이 타당성을 가지게 된다. 이 기간 동안의 全體 平均潮差는 634.3cm이며 極大値를 나타낸 1961年의 平均潮差는 全體 平均潮差의 1.04倍가 되고 極小値의 1969年의 것은 0.96倍이다. 平均潮差의 變動係數는 2.67%로 나타난다.

平均大潮差는 大潮期中 最大値를 平均한 값이 887.2cm고, 4개의 潮差平均으로 구한 것이 827.7cm이며 연속된 8개의 潮差平均으로 구한 것은 818.6cm이다. 平均小潮差는 小潮期中 最小値로 平均한 값이 315.9cm이고, 4개의 潮差平均으로 구한 것이 381.4cm이며 연속된 8개의 潮差平均으로 구한 것은 397.0cm이다

B. 潮差의 年變化

1960~1970年間에 每月 116個의 潮差平均値를 가지고 月別로 平均潮差의 變化를 살펴보면 〈Fig. 2〉와 같이 3月과 9月에 潮差가 크고 6月

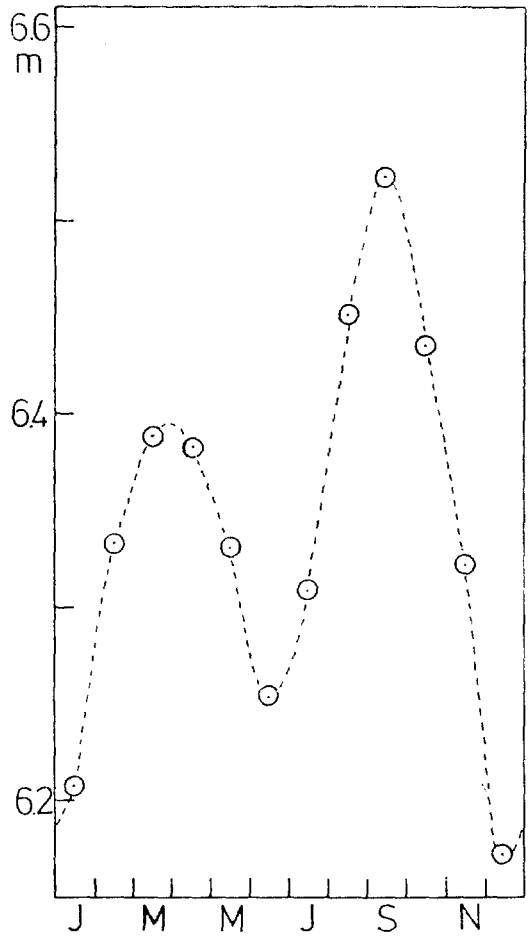

Fig. 2. Monthly mean tidal ranges at Inchon (1960 ~1970).

과 12月에 작아지고 있으며 9月 平均潮差는 年中 最大値로 652.2cm이고 12月에는 年中 最小値인 617.3cm로서 그 범위는 35cm가 된다. 3月에는 638.8cm이고 6月에는 625.4cm로 變動의 범위는 13.4cm이다. 이러한 현상은 半年週期性과 함께 年潮不等으로 해석되어 진다.

C. 潮差의 月變化

大潮期中 最大潮差를 平均한 大潮平均 最大潮差는 887.2cm인데 每月 2回 일어나는 大潮差에도 月潮不等현상으로 平均 100cm의 差異를 보이며 클때에는 180cm, 작을때에는 30cm의 값을 보인다. 큰 大潮差가 일어나는 때는 朔後 2日에 7回 나타나다가 다음에는 望後 2日에 7回 週期的으로 나타나는 현상을 보이고 있다.

小潮期中 最小潮差를 平均한 小潮平均 最小潮差는 315.9cm인데 月潮不等에 起因하여 平均 100cm의 差異가 있으며 上弦후에 작은 小潮差가 7回 나타나고 다음에는 下弦후에 7回 나타나는데 간혹 6回로 될 때가 있으며 이때에는 上弦후 작은 小潮差가 8回 出現하고 있다 . 月 二回 出現하는 大潮差와 小潮差는 月潮不等현상으로 平均 100cm 差異를 보이며 14個月을 週期로 出現時期가 바뀌는데 位相差는 大潮差와 小潮差가 서로 相反되고 있다.

D. 潮差의 日變化

每日 2回 나타나는 低潮에서 高潮에 이르는 潮差 또는 高潮에서 低潮에 이르는 潮差에도 日潮不等이 뚜렷이 보이며 日 4回의 潮差 差異는 平均 141cm에 이르는데 클 때에는 300cm가 되고 작을 때에는 4cm밖에 안 될때도 있다. 이와같은 潮差의 差異는 3月과 9月에 平均 117cm로 작고 7月과 12月에 平均 165cm의 큰값을 가진다. 〈Fig. 3〉는 1965年 5月 1日 5時 16分의 高潮로부터 계산한 潮差의 日變化와 함께 月變化도 나타내주고 있는데 望은 5月 15日이었다. 1965年의 平均潮差는 636.6cm로 平年平均値에 가장 가까우며 同年 5月의 平均潮差는 635.5cm로 平年平均値와 비슷한 값을 가지고 있기 때문에 이를 代表로 圖化한 것이다. 이때의 潮差 變動係數는 24.5%에 이른다. 하루중에서 潮差가 가장 큰 것은 低潮에서 高潮에 이르는 潮差인데 또 이 값이 가장 작은 潮差가 되기도 한다. 即 每日 2回 일어나는 低潮에서 高潮에 이르는 潮差中 첫째것이 가장 작은 潮差를 가지면 두번째것

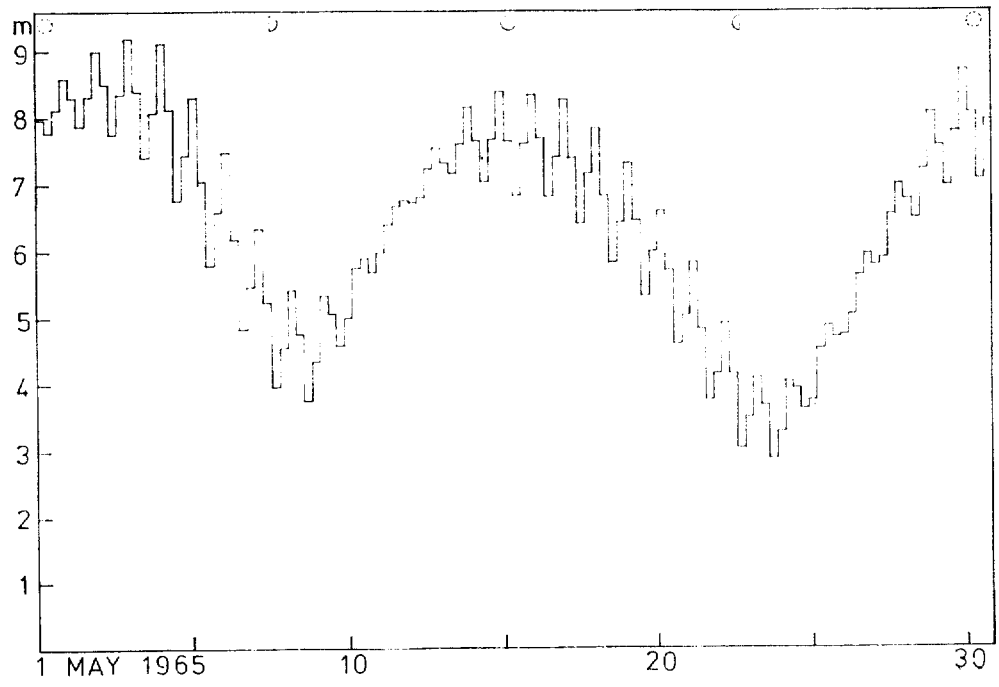

Fig. 3. Tidal ranges in May, 1965 at Inchon.

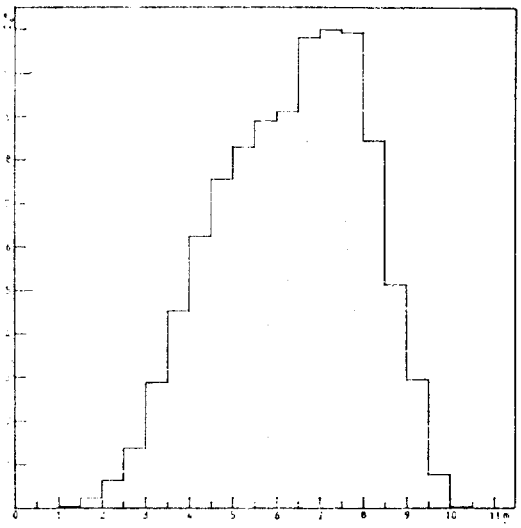

Fig. 4. Frequency distribution of tidal ranges at Inchon (1960~1970).

은 가장 큰 潮差를 가지게 되며 12日 내지 13日 후에는 첫째 것이 가장 큰 값으로 변하고 두번째 것은 가장 작은 값으로 되는 경향성이 뚜렷하다.

E. 潮差의 頻度分布

潮差의 頻度分布는 1960~1976年 間에 每年 單位로 調査한 후 平年値로 1960~1970年의 11年間 潮差 資料 15,488個를 가지고 통계처리 하였다. 潮差의 頻度分布圖는 〈Fig. 4〉와 같이 나타나며 2m 以下의 潮差는 0.30%, 3m 以下는 2.35%, 4m 以下는 9.75%, 5m 以下는 23.56%, 6m 以下는 40.76%의 分布를 보이고 10m 以上의 것은 0.01%이며 9m 以上의 潮差는 3.76%가 된다. 가장 많은 出現率을 나타내는 潮差는 7~8m로 全體의 22%가 되며 그 다음은 6~7m의 20%이다. 이 기간중 가장 큰 潮差는 1963年 11月 3日 12時 16分의 低潮에서 18時 38分의 高潮에 이르는 1,013cm이었으며, 가장 작은 潮差는 1970年 3月 16日 18時의 低潮에서 23時 20分의 高潮에 이르는 102cm이다. 1962年 9月 14日부터 17日까지는 연속하여 潮差가 9m 以上이 되었으며 반대로 1970年 2月 25日부터 28日까지는 潮差가 3m 以下로 나타났다.

F. 潮差와 潮汐調和常數의 關係式

1962~1977年間의 每年 潮汐調和常數(崔, 1980)와 같은 해에 실제로 조사된 潮差의 관계를 계산하였는데 平年値로는 1962~1968年間의 자료를 利用하였다. 平均潮差($\overline{\Delta H}$)와 M_2 分潮의 진폭(H_m)과의 사이에는

$$\overline{\Delta H}=2.172\ H_m \quad \cdots\cdots(1)$$

의 式이 成立하며 大潮平均最大潮差($\overline{\Delta H_{max}}$) 및 小潮平均最小潮差($\overline{\Delta H_{min}}$)과 H_m의 관계식은 各各

$$\overline{\Delta H_{max}}=3.043\ H_m \quad \cdots\cdots(2)$$

$$\overline{\Delta H_{min}}=1.071\ H_m \quad \cdots\cdots(3)$$

이고 $\overline{\Delta H}$, $\overline{\Delta H_{max}}$, $\overline{\Delta H_{min}}$ 사이에는

$$\overline{\Delta H_{max}}=1.397\ \overline{\Delta H} \quad \cdots\cdots(4)$$

$$\overline{\Delta H_{min}}=0.497\ \overline{\Delta H} \quad \cdots\cdots(5)$$

$$\overline{\Delta H_{max}}=2.808\ \overline{\Delta H_{min}} \quad \cdots\cdots(6)$$

의 관계를 가지고 있다.

한편 S_2 分潮의 진폭(H_s)을 도입하여 H_m과 함께 大潮平均最大潮差와 小潮平均最小潮差의 관계는

$$\overline{\Delta H_{max}}=2.198(H_m+H_s) \quad \cdots\cdots(7)$$

$$\overline{\Delta H_{min}}=1.740(H_m-H_s) \quad \cdots\cdots(8)$$

로 表示된다.

4. 論 議

仁川의 年平均潮差가 45cm의 범위를 가지고 18±1年의 長年週期性을 시사해 주고 있는 것은 M_2 分潮 因數의 18.6年 週期性과 잘 一致하고 있으며 釜山에서 1961~1977年間에 行한 결과에서도 이와같은 長年週期性이 나타나고 있다. 그러나 M_2 分潮의 진폭 自體는 18.6年의 長年週期性을 뚜렷이 나타내지 않고 1962~1977年間에 年間 0.5cm로 감소하는 경향속에서 8±1年週期에 진폭이 약 2cm인 변화를 보이고 있음이 주목되지만 現在의 제한된 자료를 가지고 어떤 結論을 내는 것은 어려운 일이다.

平均潮差의 年變化에서 最大범위를 35cm로 하는 年潮不等이 나타나는 것은 太陽이 地球赤道上에 있을때인 春分과 秋分에 月平均潮差가 키지고 冬至와 夏至에 작아지고 있으며 이러한 현상은 釜山의 潮差分析에서도 나타나고 있다. 平年平均潮差에 對한 各月別 平均潮差의 크기는 1月부터 12月까지 차례로 0.9784, 0.9986, 1.0071, 1.0061, 0.9981, 0.9860, 0.9945, 1.0170,

1.0282, 1.0143, 0.9965 및 0.9732倍가 된다.

潮差의 變動中 가장 뚜렷한 것은 14.5日을 週期로 하며 平均범위가 571.3cm인 것인데 大潮平均最大潮差가 887.2cm이며 小潮平均最小潮差는 315.9cm이고 月 二回 出現하는 大潮差와 小潮差가 月潮不等으로 各各 平均 100cm 差異를 보이며 14個月을 週期로 出現時期가 바뀌는것은 現在 그 원인을 분석중에 있다.

潮差의 日變化는 潮汐의 日潮不等에 起因하는데 平均差異가 141cm인 것으로 나타나지만 年變化와 反對로 春分과 秋分에 月平均値가 작고 夏至와 冬至에 月平均値가 커지고 있다. 一般的으로 低潮에서 高潮에 이르는 潮差가 제일 크기도 한 反面 제일 작아지는 경향이 있는데 여기에 대해서도 좀더 검토가 필요하므로 本稿에서는 생략하였다.

潮差의 頻度分布는 宋 等(1978)이 1976年의 706個 潮差資料만을 가지고 分析한 결과에는 두개의 Mode가 나타났지만 11年間에 15,488個의 資料를 가지고 조사한 바로는 한개의 Mode를 가짐이 판명되었다. 宋 等(1978)이 계산한 1976年의 平均潮差가 659.65cm임에 反하여 638.1cm가 되었는데 이때의 資料數는 706個가 아니고 1412個이다.

潮差와 潮汐調和常數의 관계는 現在까지 通用되는 $\overline{\Delta H}=2H_m$에 依하면 平年平均潮差가 583.7cm로 되어 실제 관측치에서 나온 634.3cm보다 50.6cm 작으며 1962년에는 이들의 차이가 67.1cm에 이른다. 좀더 정확한 平均潮差를 추산하려면 $\overline{\Delta H}=2H_m$보다는 $\overline{\Delta H}=2.172H_m$이 바람직하다. H_m은 一定한 값을 가지고 있진 않지만 그 變動係數가 0.67%밖에 안되어 다른 어떤 潮汐調和常數보다도 安定性이 있으며 釜山에서는 $\overline{\Delta H}=2.157H_m$의 관계가 成立되고 있다. (1)式의 常數인 2.172는 1.81%의 變動係數를 가지고 있다.

$2(H_m+H_s)$로 계산한 大潮差는 808.1cm로 실제값보다 79.1cm 작게 나타나므로 (7)式이 타당성을 가지며 이때의 常數 2.198은 0.88%의 변동계수를 나타낸다. $2(H_m-H_s)$로 계산한 小潮差는 359.4cm로 실제값보다 43.5cm 크게 나타나므로 (8)式이 바람직하며 여기의 常數 1.740은 변동계수가 7.74%이다. 그리고 大潮差와 小潮差를 潮汐調和常數를 써서 계산할 경우에 H_m과 H_s를 使用하는 (7)式 및 (8)式 보다는 오히려 H_m 하나만을 사용하는 (2)式과 (3)式이 편리할 것으로 믿어진다. H_s의 변동계수는 0.85%로 H_m의 0.67%보다 커서 불확실성이 증대하며 계산에 불편한 것도 하나의 이유가 된다.

本稿에서 潮差 變動을 고찰하는데 時間에 대한 개념을 비교적 소홀히 다루었는데 이 문제에 대하여는 별도로 상세하게 論하려고 한다.

5. 謝 辭

本 研究는 水路局에서 오랜 기간동안 仁川의 潮位 觀測없이는 이루어질 수 없는 것이므로 潮位 觀測을 수행한 여러분에게 깊이 감사드리며 特別히 資料를 제공해 주신 水路局의 好意에 謝意를 表하고 徐瑩洙, 洪承明, 趙世淵 課長님께도 고마움을 表한다. 그리고 潮汐調和常數를 利用할 수 있도록 편의를 제공해준 海洋開發研究所의 崔秉昊先生과 潮差計算 및 檢算을 도와준 崔賢珠에게도 感謝드린다.

參 考 文 獻

農商工部 水產局. 1908. 韓國水產誌 1:163.

宋源吾, Gray, Tramantini, 奉鍾憲, 崔秉昊, 馬富一, 李根鎭, 廉器大, 蔡璋源, 尹春燮, 金鎔權, 朴英吉. 1978. 潮力資源開發 豫備妥當性調査(仁川灣), pp. 35-51. 韓國船舶海洋研究所.

수로국. 1975. 수로기술연보(1973~1974), p. 269. 수로국.

수로국. 1976. 수로기술연보 (1975), p. 307. 수로국.

朝鮮總督府. 1918. 朝鮮土地調査事業 報告書, pp. 220-222.

朝鮮總督府. 1919a. 朝鮮土地調査事業 報告書追錄, p. 144.

朝鮮總督府. 1919b. 朝鮮地誌資料, pp. 279-280.

崔秉昊. 1980. 仁川港 潮位分析에 關한 研究. p. 57. 海洋開發研究所·交通部 水路局.

關重雄. 1950. 仁川港の 潮位について. 日本海洋學會誌, 6(2):16-22.

Ogura, S. 1933. The Tides in the Seas Adjacent to Japan. Bull. Hydrographic Dept., Japanese Navy, 7:33.