

회귀모형에 의한 서해안 평균해면의 연시계열자료의 평가

조 기 태 · 박 영 기 · 이 장 춘*
전북대학교 토목환경부 · *익산대학 토목환경과
(1999년 11월 20일 접수)

The Evaluation of the Annual Time Series Data for the Mean Sea Level of the West Coast by Regression Model

Ki-Tai Jo, Young-Ki Park*, and Jang-Choon Lee*

Dep't of Civil and Environmental Engineering, Chonbuk National University, Chonju, 561-756, Korea

*Dep't of Civil and Environmental Engineering, Iksan National College, Iksan, 570-752, Korea

(Manuscript received 20 November, 1999)

As the tideland reclamation is done on a large scale these days, construction work is active in the coastal areas. Facilities in the coastal areas must be built with the tide characteristics taken into consideration. Thus the tide characteristics affect the overall reclamation plan. The analysis of the tide data boils down to a harmonic analysis of the hourly changes of long-term tide data and extraction of unharmonic coefficients from the results. Since considerable amount of tide data for the West Coast are available, the existing data can be collected and can be used to obtain the temporal changes of the tide by being fitted into the tide prediction model.

The goal of this thesis lies in assessing whether the mean sea level used in the field agrees with the analysis results from the long-term observation data obtained with their homogeneity guaranteed. To achieve this goal, the research was conducted as follows. First the present conditions of the observation stations, the land level standard, and the sea level standard were surveyed to derive a vertical standard. Then the causes for the changes in the mean sea level were analyzed to set up a time series model formula for representing them. To secure the homogeneity of the time series, each component was separated. Lastly the mean sea level used in the field was assessed based on the results obtained from the analysis of the time series.

Key words : unharmonic coefficients, mean sea level, time series, tide characteristics

1. 서 론

근래 간척의 규모가 커지고 있고 연안에서의 건설활동이 활발하다. 연안에 설치하는 시설은 대상해역의 조위 특성을 필수적으로 고려하여야 한다. 따라서 대상해역에 대한 조위특성의 규명과 변화의 정확한 예측 등은 간척계획을 위하여 반드시 선결되어야 한다. 조위자료의 또 다른 응용은 간척개발과 관련한 대상지역 및 인접해역의 조석계산이다. 조위자료의 분석은 장기간 조위의 시간별 변화를 통한 조화분석을 실시하고 이로부터 조석의 비조화상수를 구하는 것이다. 조위의 예측은 조위의 시간별 변화를 예보하는 것으로 조화분석의 결과로부터 천문시에 의한 보정을 통하여 추정하거나, 기왕의 예보항의 자료로부터 임의지점의 값을 계산하는 방법 등이 있다.

조위특성의 수직기준으로는 기본수준면, 평균해면, 대조평균 만조위, 설계빈도의 이상고조위, 처오름 높이 그리고 설계파고 등이 있다. 설계조위의 기초자료가 되고

있는 이들 관측 값들이 지구환경과 검조소 주변 환경변화 등에 의하여 동질성이 상실되고 있으며, 초기에 설정해 놓은 비조화상수 등이 현실성이 없다는 문제가 제기되고 있다. 뿐만 아니라 연안에서의 건설활동이 육상 건설활동의 연장선상에 있음에도 불구하고 육상 표고기준과 해상 표고기준이 연계되어 있지 않아 연안개발 업무를 수행함에 있어 혼선이 빚어지고 있다.

본 연구의 목적은 현업에서 사용하고 있는 평균해면이 동질성이 보장된 장기 관측값의 분석결과와 부합하는지의 여부를 평가하는 데 있다.

2. 조석 검조소

2.1. 검조소 현황

장기적인 조석관측으로는 최초로 1910년 이후 토지조사와 병행하여 수직기준을 설정하기 위해 청진, 원산, 진남포, 인천 및 목포 등 5개소에 검조소를 설치하고 1년 이상 장기관측을 실시하여 평균 해면을 결정하고, 또 이

를 조화분석하여 조석예보의 기준으로 삼았다.¹⁾

해군수로국은 1960년 이후 진해, 부산, 울산, 인천 등지에서 기준 검조소를 운영한 이래 점차 증설하여 1991년 현재 동해안에 5개소, 남해안에 10개소 그리고 서해안에 8개소 도합 23개소를 운영하고 있으며, 서해안에 5개소의 기준 검조소 설치 계획을 가지고 있다.²⁾ 또한 지역의 실정에 따라 임시 검조소를 설치하여 측량기간 중 연속 관측하여 얻어진 결과로서 단기조석 조화분석을 실시하여 결정하였으며 해양조사원(구 수로국)과 농어촌진흥공사에서 조사 관측하고 있다. 우리 나라의 측지 표고인 수직기준은 1914~1916년의 인천항 연평균해면을 채택하였으며,^{3,4)} 각지의 지역적 평균해면과는 약간의 높이차가 있다. 해양조사원에서 운영하고 있는 기준 검조소 자료는 기준항의 자료이므로 인접지역의 조위는 각 지역의 실정에 따라 임시 검조소를 설치하여 측량기간중 연속관측을 실시한다. 해양조사원에서 예보항 12개소와 임시 검조소 30여개소, 농진공에서 임시 검조소 46개소를 운영하였다.¹⁾

2.2. 관측현황

서해안에서 운영하고 있는 기준 검조소 중에서 인천, 군산, 목포, 대흑산도 검조소는 1960년 이후로 연속관측을 실시하였다 그중 인천항의 조석관측은 1906년 7월 최초로 실시하였으며 연속적인 조위관측은 1960년 1월 1일부터 본격적으로 관측을 실시하였다. 1973년 12월 검조소를 인천항 확장공사로 월미도 서측으로 이전하여 현재에 이르고 있다. 해양조사원에서 1992년말 현재 발표한 평균해면과 4대 주요분조는 1975년 6월부터 1977년 6월까지 2년간의 관측조위를 분석하여 결정된 값이다. 한편 인천항의 검조소 이설로 인하여 1973년 7월부터 1974년 12월까지 조석관측이 일시 중지되었다.⁵⁾

군산항의 조석관측은 1959년 12월부터 내항 검조소에서 연속관측을 시작하였다. 연속관측이 실시된 이후 1963, 1964, 1965, '69, 1970, 1971, 1973, 1977, 1978, 1979등 결측기간이 빈번히 발생되었다. 군산 외항이 완공됨에 따라 외항에도 검조의를 설치하여 1980년 2월부터 연속관측을 실시하고 있으며, 현재 군산 내항의 검조소는 폐쇄된 상태이다. 군산 내항은 1924년 4월부터 2년간의 관측

조위를, 군산 외항은 1981년 3월부터 1982년 3월까지 1년간의 관측조위를 분석하여 조화상수가 결정되었으며, 해양조사원에서 현재 기준으로 삼고있다. 한편 농진공에서는 군산항의 조화상수를 내항의 경우 1966년 1월부터 1966년 7월까지 7개월간의 관측조위를, 외항의 경우는 1980년 2월부터 관측한 조위를 분석하여 결정된 값을 이용하고 있다.^{5,6)}

목포항의 조석관측은 1912년 토지조사시 육지표고의 기준을 설정하기 위하여 1년이상 실시하였고 그후 1928년 6개월간 실시하였으며, 1952년 9월부터 연속관측을 시작하였다. 연속관측을 실시한 이후 결측 기간은 1957년 초반, 1958년 10월, 12월의 수일간, 1962년, 1964년의 수일만에 검조자료가 비교적 양호하게 구축되어 있다. 목포항의 조화상수는 1976년 6월부터 1977년 6월까지 1년간의 관측조위를 분석한 결과로 결정되었는데, 1982년부터 새로운 조석현상이 나타나 현재 기준이 되는 조화상수는 1981년 3월부터 1982년 4월까지 관측된 조위를 분석하여 결정되었다. 한편 목포항 검조소는 1977년 10월 21일 15시(-0.9cm)와 1983년 12월 28일 09시(+20cm)에 검조의 펜을 조정하였다.^{7,8)}

3. 수직기준

3.1. 수직기준 설정연혁

우리 나라의 표고기준을 설정하기 위한 조위관측은 1911년 7월부터 조선총독부 임시 토지조사국에 의해서 청진, 원산, 목포, 진남포, 인천의 순서로 3년여에 걸쳐 수행하였다. 조위관측 결과에 따라 각 항만의 평균해면을 산출하여 수직기준을 설정하였다. 수직기준은 육상 표고기준과 해상 표고기준으로 나누어져 있으며 1914~1916년까지의 인천항 조위 관측값으로 산정된 평균해면을 수준기점으로 설정하여 육상 표고 기준값으로 사용하였다.⁴⁾

인천항의 최초 수준점은 1914년 5월 29일에 설치되었으며 해상 표고기준인 T.B.M No.1은 1959년 5월 5일에 건선거 입구 검조소 옆에 설치하였다. T.B.M No.1에서 1963년부터 1973년까지 조위관측을 실시하였으나 1973~1974년의 인천항 개발에 따라 최초의 B.M과 T.B.M No.1이 망실되었다. 검조소가 월미도로 이전됨에 따라

Table 1. The observation condition of the West Sea Observation Stations

Compartion	INCHON	KUNSAN		MOKPO	Remark
		INNER HABOR	OUTER HABOR		
Initial Ob. day	1906.07.01	1907.04.01	1980.02.	1906.09.01	
Continuous Ob. day	1960.01.01	1959.12.	1980.02.	1952.09.	
Missing Ob. day	1973, 1974	1963~1965, 1969~1971 1973, 1977~1979	-	1957~1958 1962, 1964	
Marigraph	A.Ott	A.Ott	Fuess	Fuess	
Accuracy	1/20	1/20	1/20	1/20	
Pen adjustment data (Unit:cm)				-0.9(1977.10.21) 20.0(1983.12.28)	

T.B.M. No.2를 검조소에서 100m 떨어진 산밑에 1973년 12월 31일 설치하였다. T.B.M No.2는 그 후 연안도로 건설에 따라 망실되었으나 1981년 12월에 설치된 T.B.M No.4와 1989년 11월에 설치된 T.B.M No.5가 있다. 검조소가 월미도로 이전된 이후 1974년부터 현재까지 조위관측을 실시하고 있다.¹⁾

인천항의 최초 수준기점 표고를 기본수준면상 10.112m로 정의한 것은 인천항 수준기점 표고가 평균해면상 5.477m에 있다는 기록과 關重雄이 1943~44년 인천항의 조위를 관측 분석한 결과 4개 주요 분조의 합이 4.635m가 되었는데 두 값을 더하면 10.112m가 된다. 그러므로 우리나라 수직기준은 1914~1916년에 관측된 인천항의 평균해면을 기준으로 하여 수준기점을 1917년에 인천에 설치하여 우리나라의 표고 기준값으로 설정하였다. 그 후 최초의 수준점으로부터 1963년 12월에 현재의 인하대학교에 수준원점을 이설하여 육상 표고기준을 설정하였다.³⁾

3.2. 수직기준간의 관계

우리 나라 지도를 작성하였을 때 평면좌표는 동·중·서부 원점을 기준으로 하였고 높이의 기준면은 1911년 7월부터 3년간에 설치한 청진, 원산, 목포, 진남포, 인천 등 5개소 평균해면의 높이를 결정하여 수준기점을 매설하고 전국에 이를 설치하였다. 그 중에서 원산에 매설된 수준점을 원점으로 사용하도록 되어 있다. 이 수준원점은 그간에 관측한 것도 있으나 기준 검조소의 기본수준면이 단일 기준을 택하고 있지 않아 통일되어 있지 않은 상황이다. 뿐만 아니라 각 항마다 해양조사원에서 설치한 해상 표고기준과 육지에서 사용하고 있는 육상 표고기준이 별개의 수직기준 체계를 가지고 있어 도시계획 면에서 종합적인 계획을 수립할 때 예기치 못한 착오를 초래하기도 한다.^{4,7)}

인천항 기준 검조소 수준원점의 기본수준면상 표고는 10.112m, 평균해면상 표고는 5.477m, 그리고 육지표고는

5.477m로 나타났는데, 이러한 표고는 1914년 5월29일에 설치한 인천항의 수준기점 표고와 육상표고가 동일한 것으로 나타났다. 군산 내항의 평균해면은 인천항의 평균해면에 비하여 항만국에서는 4.3cm가 낮은 것으로 조사되었다. 이⁴⁾는 군산 내항 검조소 T.B.M No.1과 군산 외항 검조소 T.B.M No.1의 수면경사 관계를 규명하기 위하여 수준측량을 실시하였다. 이에 의하면 군산 외항 검조소 T.B.M No.1의 기본수준면은 내항 T.B.M No.1의 기본수준면보다 24.8cm아래에 위치하며 평균해면은 7.1cm 아래에 위치한 것으로 규명되었다. 항만국 자료와 이⁴⁾의 조사결과를 이용하여 군산 외항의 평균해면을 정리하면 인천항 평균해면에 비하여 11.4cm가 낮은 것으로 평가되었다.⁹⁾ 한편 국립지리원에서 실시한 1980, 1981, 1982년 연안해역 기본조사 성과에 의하면 군산 내항의 평균해면은 인천항 평균해면에 비하여 32.5cm가 높은 것으로 평가되었다. 국립지리원에서 실시한 연안해역 기본조사 성과와 이⁴⁾가 실시한 금강하구 수리현상조사 성과를 토대로 군산 외항의 평균해면을 산정한 결과 인천항 평균해면보다 25.4cm가 높은 것으로 평가되었다.⁹⁾ 즉 군산 내항과 외항의 평균해면은 항만국과 국립지리원의 조사결과가 동일하게 36.8cm차가 발생하고 있다. 목포항의 경우 항만국에서 조사한 결과에 의하면 목포항 평균해면은 인천항 평균해면에 비해 21.7cm만큼 낮은 것으로 조사되었으며 농진공에서 조사한 결과에 의하면 20.2cm 낮은 것으로 조사되었다.⁸⁾ 즉 항만국과 농진공의 조사결과와 1.5cm차가 있다. 그러나 국립지리원에서 실시한 연안해역 기본조사에 의하면 인천항의 평균해면에 비해 10.8cm 낮은 것으로 평가되었다. 서해기준항의 B.M과 T.B.M 관계는 Table 2에 게재하였다.

4. 연시계열 모형

자료는 연도별, 계절별, 또는 월별로 시간이 경과됨에 따라 변화하여 얻어지게 되기 때문에 시간의 영향을 받게 되는데 이와 같은 형태의 자료를 시계열자료라고 하

Table 2. The relation of B.M and T.B.M in the West Sea observation stations

Harbor	B.M	Marine Elevation Reference		Land Elevation Reference	Difference	Remark
		Sea Level Datum	Mean Sea Level			
INCHON	Original B.M	10.112	5.477	5.477	-	N.O.R.I
				5.477	-	N.G.I
KUNSAN INNER	T.B.M No.1	7.771	4.361	4.318	-0.043	N.O.R.I
				4.686	0.325	N.G.I
KUNSAN OUTER	T.B.M No.1	8.426	4.812	4.698	-0.114	N.O.R.I
				5.066	0.254	N.G.I
				2.292	-0.217	N.O.R.I
MOKPO	T.B.M No.1	4.657	2.509	2.401	-0.108	N.G.I
				2.307	-0.202	R.D.C.

N.O.R.I. : National Oceanographic Research Institute

N.G.I. : National Geography Institute

R.D.C. : Rural Development Corporation

며 시계열 자료값의 계열을 시계열이라 한다. 시계열자료 분석은 현재까지 수집된 자료를 분석하여 미래에 대한 예측을 하기 위한 것이다. 이때 계통변동에 의하여 시계열의 특정한 형태가 미래에도 계속된다고 가정하면 미래에 대한 예측이 가능하므로 예측하고자 하는 시점까지 적용될 수 있는 통계적 모형을 설정하여 그 모형에 있는 미지의 모수들을 통계적 방법으로 추정함으로써 미래를 예측하게 된다.

연평균해면과 조화상수의 자료는 경향성분, 점프성분, 단주기 변동성분 등으로 인하여 경연변화를 하고 있다. 따라서 연평균해면은 위치와 연단위의 시간에 종속되며 조화상수 또한 시간과 공간적으로 변동하는 값이다. 평균해면과 조화상수는 시공간함수로 표시할 수 있으며 상수부분과 시계열 부분으로 구성된다. 시계열은 점프성분 δ , 경향성분 θ , 단주기 변동성분 ζ 의 합으로 표현된다. 즉,

$$Z_0(x, \phi, n) = Z_0^*(x, \phi) + \delta_0(x, \phi, n_j) + \theta_0(x, \phi, n) + \zeta_0(x, \phi, n) \quad (1)$$

$$g_i(x, \phi, n) = g_i^*(x, \phi) + g\delta_i(x, \phi, n_j) + g\theta_i(x, \phi, n) + g\zeta_i(x, \phi, n) \quad (2)$$

식(1)~(2)의 상수부분과 잔차 시계열에서 단주기 변동성분을 제거한 장주기 분조의 기여분을 시계열 해석으로 추출할 수 있다. 위 식에서 Z_0 는 임의의 점의 연평균해면, Z_0^* 는 임의의 점의 평균해면, δ_0 는 임의의 점의 점프성분, θ_0 는 임의의 점의 경향성분, ζ_0 는 임의의 점의 단주기 변동성분이며, g_i 는 분조의 위상시차, g_i^* 는 임의의 점의 분조의 위상시차를 나타낸다.

4.1. 평균해면

모든 조석 기준면을 결정할 때 그 기준이 되는 것은 평균해면이므로 수심 기준면을 결정할 때 우선 고려되는 것은 평균해면의 결정이다. 평균해면이란 바다에 조석이 없다고 가정할 때의 해면으로서 평균해면을 구하기 위해서는 조석학적으로 약 18.6년에 걸친 장기간의 검조자료를 쓰는 것이 이상적이다.^{10,11)} 18.6년에 걸친 연속 검조자료가 있는 것은 매우 드물다. 평균해면의 산출 기간은 적어도 1년 이상이 필요하지만 몇 년이라고 기간을 정한다는 것은 곤란하기 때문에 적절히 기간을 정할 수밖에 없다.

임의 지역의 평균해면 결정은 해당 지역 부근에 1개년 이상 연속하여 정밀한 조위 관측을 실시하고 있는 검조소가 있을 때는 측량기간에 대하여 검조기록에서 월평균해면을 구하고 동일기간의 기준 검조소에 있어서 연평균해면값과 월평균해면값의 차를 개정량으로 하여 해당 지역의 월평균해면값에 가감하여 연평균해면을 결정한다. 그러나 해당 지역 부근에 관측을 계속하고 있는 기준 검조소가 없을 때에는 평균해면의 연변화가 구해져 있는 가장 가까운 장소에 있어서의 검조 자료에 의하여 위와 같은 방법으로 평균해면을 결정한다.

박 등⁹⁾은 표준향 지배범위 이내의 임의의 지점에 대한 평균해면고 및 조고비와 조시차를 산정할 수 있도록 기

준향으로부터의 위·경도차를 독립변수로 하고 평균해면고 등을 종속 변수로 하는 식(3)과 같은 형태의 회귀모형을 고안하였다.¹²⁾

$$Y = A + Bx_1 + Cx_2 \quad (3)$$

여기서, Y 는 임의의 지점의 기본수준면 평균해면고, x_1 은 임의의 지점의 기준향에 대한 경도차, x_2 는 임의의 지점의 기준향에 대한 위도차, A, B, C 는 회귀 계수이다.

4.2. 경년변동 요인

Nimitsu와 Okamoto¹²⁾ 등 많은 학자들은 연평균해면의 경년변동 요인을 대기압의 변화, 대기중 탄산가스 농도가 증가하면 지구온실효과로 양 극지방 빙하가 녹아 내려 해수면이 상승, 주변의 산림채취로 인한 하천수의 유입, 기후의 온난화로 인한 오존층 파괴, 산성비 및 해양오염 등이라고 밝혔다. 한편 국내학자들 중 이¹³⁾는 평균해면 상승 원인은 ① 자연적인 상승, ② 하구둑 연안역 개발 등이며 1981년을 전후하여 그 이전의 상승량은 8~11cm, 그 이후의 상승량은 27~30cm이라고 밝혔으며, 최¹¹⁾는 한국연안의 평균해면 변화는 인천연안에서는 한강유역 댐건설로 0.25cm/yr가 감소하였으며, 군산 내항은 하구둑건설 영향으로 15cm가 상승하였고, 대흑산도에서는 난류의 영향으로 0.2~0.3cm/yr 정도가 상승하였다고 밝혔다.¹⁴⁾

서해안 기준 검조소의 주변환경 변화는 대규모 댐건설, 매립공사, 하구의 방조제 건설 등이 있다. 인천항 검조소의 경우는 한강 유역의 댐건설과 하구 주변의 방조제 건설을 들 수 있다. 한강 유역의 댐건설은 1944년 청평댐과 화천댐을 시작으로 1965년 춘천댐, 1967년 의암댐, 1973년 소양강 다목적댐 및 팔당댐, 1985년 충주 다목적댐 등 다수의 댐이 건설되었으며 하구 주변의 방조제 건설은 1989년 김포지구, 1994년 시화지구, 공사중인 화옹지구 등의 방조제 건설로 새로운 조석변화가 예상된다. 군산항 검조소는 금강 하구부의 충청남도과 전라북도 경계에 위치하고 있으며 수심이 비교적 얕은 지역이다. 이 지역은 금강 하구에 농업개발사업의 일환으로 금강하구둑이 1990년 10월에 완공되었다. 한편 1990년부터 시작된 군장국가공단 조성을 위한 매립공사와 1991년 11월에 대규모 간척종합개발사업의 일환으로 새만금 방조제 공사가 시작되어 현재까지 계속 진행 중에 있어 공사가 완공되면 군산항 검조소의 조석체계에 영향을 미칠 것으로 판단된다. 목포항 검조소의 주변환경 변화는 영산강 대단위 농업개발의 일환으로 건설된 영산강 하구둑과 영암 방조제, 금호 제1·2호 방조제 등을 들 수 있다. 영산강 하구둑 공사는 총연장 4,351m인 하구를 1978년 1월부터 단계별로 매립공사를 진행하여 1982년 8월 완공되었다. 영암 방조제는 1988년 6월 착공하여 1993년 12월 완공되었으며, 금호 제1·2호 방조제는 1989년 12월 착공하여 1992년 금호도에서 달도에 이르는 금호 제2호 방조제가 완공하였고 제1호 방조제는 1994년 3월 끝막이 하여 현재 공사 중에 있다.^{9,11)}

5. 연시계열 분석

5.1. 자료검토

연시계열 분석대상은 서해안의 4개 기준 검조소에서 관측하여 분석된 연평균해면 자료이며 연평균해면의 시계열에서 경향성분, 점프성분, 단주기 변동성분을 분리한다.¹⁷⁾

본 연구에서 이용할 자료는 검조소의 조화분석 결과 자료이다. 조화분석은 일반적으로 해양조사원에서 검조 결과를 이용하여 실시하는데 조석 연구자에 의해서 특별한 목적으로 수행되는 경우가 있다. 이들 기본자료는 서해안의 4개 주요 검조소에서 관측하여 공표하고 있는 조석자료이다.

서해안 기준 검조소의 연평균해면 시계열 자료들은 많은 결측으로 불완전한 관측자료를 포함하고 있다. 인천항 검조소는 검조소 이설로 인하여 1973년 7월부터 1974년 12월까지 관측이 일시 중단되었다. 그리고 군산항 검조소는 1963년~1965년, 1969년~1971년, 1977년~1979년 등 빈번한 결측이 발생하였다. 목포항 검조소는 1957년 초반, 1958년과 1962년 및 1964년의 수일간 결측이 발생하였다. 이러한 결측을 보완하는 방법은 각 연구자들에 따라 각기 다른 방법을 적용하였다. 최¹⁵⁾와 이¹⁾는 인천항 검조소 자료를 분석할 때 결측년 및 관측이 불완전하게 수행된 해의 연평균해면은 분석대상에서 제외시켰다.¹⁸⁾ 농진공⁶⁾은 완전한 결측년의 경우에는 분석대상에서 제외시켰지만 불완전한 관측이 수행된 해의 경우에는 월평균값을 이용하여 결측된 연평균해면을 보완하였으며,⁶⁾ 박¹⁰⁾은 5년이동 평균법을 이용하여 결측년의 연평균해면을 보완하여 분석하였다. 한편 군산항 검조소의 경우 박¹⁰⁾은 1972년 이전의 자료들은 생략하고 그 이후의 자료들만을 이용하여 분석하였으며, 박¹²⁾은 결측년의 경우는 생략하고 불완전한 관측이 실시된 해의 경우는 월평균해면을 이용하여 결측된 연평균해면을 보완하는 방법을 이용하였다.¹²⁾

본 연구에서 이용한 서해안 기준항의 연평균해면 자료는 해양조사원에서 발행한 수로기술연보²⁾에 수록된 자료이나 군산 내항의 1960~1971까지는 국립지리원 자료를 이용하였다. 인천항의 1972~1975, 군산 내항의 1973, 1979, 1988, 군산 외항의 1988, 목포항의 1986 자료는 부분 결측되어 수로기술연보에 게재되지 않았다. 농진공에서는 조화분석 과정에서 불완전한 관측이 수행된 해의 경우에는 기술적인 판단에 의하여 월평균값을 이용하여 결측된 연평균해면을 보완하였다. 본 연구에서는 결측값에 대한 보완방법을 모색하지 않았으며 이들이 제

시한 값을 그대로 수용하였다. 서해안 기준 검조소별 사용자료 현황은 Table 3에 게재하였다.

5.2. 경향성분과 점프성분의 분석

시계열의 정상적이고 규칙적인 상승 또는 하강을 경향이라고 한다. 경향의 표현 방법은 다항식 법 또는 이동 평균법이 있다. 경향 검증방법으로는 전환점 시험, Kendal의 Rank 상관시험, 그리고 선형 경향에 대한 회귀시험 등이 있다.¹⁵⁾ 본 연구에서는 조위기준면의 경향이 선형이라고 가정하였으며 경향유무를 평가하기 위해서 회귀시험을 채택하였다.

점프는 특정시기의 급격한 변동을 말하며 점프시점 전의 시계열 평균과 후의 시계열 평균의 차를 점프 값으로 정의한다. 점프전후의 시계열 값의 차를 절대 점프량이라 한다. 시계열의 무작위 성분에 대한 분산의 역수를 점프계수라고 하며 점프량은 절대 점프량×점프계수로 평가된다. 평균해면은 무작위 성분의 분산이 평가 대상이므로 점프계수를 직접 구할 수는 없다. 따라서 선형 회귀식이 평균해면 값을 가장 잘 대표한다고 할 수 있는 최적의 결정계수를 평가기준으로 하여 점프계수를 구하는 방법을 택하였으며 연평균해면의 경향과 점프량은 식(4)와 식(5)를 이용하여 평가하였다.

$$\theta_0(x, \phi, n) = \alpha_0 + \beta_0 n + \varepsilon_n \quad (4)$$

$$\delta_0(x, \phi, n) = \gamma_0 \Delta_j \quad (5)$$

여기서 α_0 , β_0 는 회귀계수이며, ε_n 는 오차항이다. 그리고 γ_0 는 점프계수이며, Δ_j 는 절대점프값이다.

인천항 검조소의 평균해면은 1971년부터 1980년까지 약 2.4cm가 하강하였으며 1981년부터 1990년까지는 2.3cm 그리고 1991년도에는 약 1.5cm가 하강한 것으로 나타났다. 한편 1980년부터 조위관측을 실시한 군산 외항 검조소의 경우 1991년에 약 5.9cm하강한 것으로 나타났다. 반면 목포항 검조소의 경우에는 1971년부터 1980년까지 1.6cm가 상승하였으며 1981년부터 1990년까지 15.2cm, 그리고 1990년에는 6.1cm정도의 평균해면이 상승한 것으로 나타났다. 이것을 영산강 하구둑이 완공된 1981년을 전후로 하여 비교하면 1980년 이전의 평균해면이 214.0cm였는데 영산강 하구둑이 완공된 1981년 이후의 평균해면은 230.5cm로 약 16.5cm가 상승한 것이다. 군산항 기준 검조소의 경우 1980년까지는 군산 내항 검조소에서만 조위를 관측하였는데 군산 외항이 건설됨에 따라 외항에서도 조위관측을 실시하게 되었다. 군산 내·외항의 기본수준면의 표고차가 24.8cm이므로 이시기의 절대 점프량을

Table 3. The condition of using data

Compartion	INCHON	KUNSAN		MOKPO	Remark
		INNER	OUTER		
DATA Source	NORI	NORI,NGI	NORI	NORI	
Data Duration	1962 ~ 1994	1960 ~ 1994	1981 ~ 1994	1960 ~ 1994	
Missing Data	1972 ~ 1975	1973,1979,1988	1988	1986	
Missing Data Supplement	RDC	RDC	RDC	RDC	

Table 4. Absolute jump values(Δ) (Unit:cm)

Compartion	1965	1967	1973	1976	1977	1980	1981	1983	1988	1990	1992	1993	1994	Remark
INCHON	3.97	3.01	0.1											Topography Change
KUNSAN						24.8			1.50					Tide Gauge Point Moving
						-12.87				1.50	-1.08	-7.34		Topography Change
MOKPO				-2.87			2.35			0.01		-6.15	2.54	Topography Change
					-0.9			20.0						Pen Control

24.8cm로 결정하였으며 1988년 금강 하구둑이 건설됨에 따라 금강 하구둑 건설에 따른 절대 점프량을 1987년과 1988년 조위차 1.50cm로 결정하여 점프량 산정에 이용하였다. 이들 두 지점의 점프량 값을 이용한 균산항 기준 검조소의 최적 점프량 결정계수는 0.934로 산정되었다. 목포항 기준 검조소의 점프량 결정기간은 1차 검조의 펜조정시기인 1977년의 -0.9cm와 1981년 영산강 하구둑이 건설됨에 따른 조위상승량 2.35cm 그리고 2차 검조의 펜조정시기인 1983년의 20.0cm로 하였다. 이들 절대 점프량을 이용하여 최적 점프량 결정계수를 산정한 결과 그 값은 0.983으로 나타났다. 한편 대흑산도의 경우는 1차 검조의 펜조정시기인 1980년의 -28.1cm를 절대 점프량으로 고려하여 최적 점프량 결정계수를 산정하였는데 그 값은 0.740으로 나타났다.

서해안 기준 검조소의 평균해면 연시계열을 회귀분석하여 선형 회귀식이 평균해면값을 가장 잘 대표한다고 할 수 있는 최적의 결정계수를 평가기준으로 하여 점프계수를 산정하여 Table 5에 게재하였다. 이러한 값들을 이용하여 각 기준 검조소의 점프량을 산정하였으며 산정된 점프량을 관측값에서 제하여 잔차 시계열을 구하였다.

Table 5. The regression analysis results of annual time series data

Compartion	INCHON	KUNSAN	MOKPO	REMARK
β	-0.121	0.173	0.053	
Mean Sea Level				
Mean	465.172	349.078	231.174	
Jump Coef.		0.934	0.983	

5.3. 잔차 시계열 분석

원시계열에서 식(4)와 식(5)로 평가된 시계열 성분을 소거하면 평균해면 시계열은 정상상태의 성분과 자기상관 시계열 성분만 남는다. 평균해면 시계열에서 정상상태의 성분을 뺀 값이 잔차 시계열이다. 잔차 시계열에는

장주기 분조 성분이 잔존하므로 단주기 변동 성분은 소거할 필요가 있다. 이산형 필터링 방법에는 평활화, 시계열의 이동 합 또는 차, 과일릿 분석필터, ARMA모형 등이 있다. 본 연구에서는 ARMA모형을 택하였다.^{16,17)} Table 6은 AIC(Akaike Information Criterion)을 판정기준으로 한 ARMA계수의 추정값이며 평균값은 Table 6의 평균값을 전제로 하여 산정된 값이다.

단주기 변동성분이 소거된 ARMA모형을 기준 검조소당 500개의 자료를 모의발생하여 장주기 분조의 년평균값을 추산하였는데 모의발생은 두가지 측면에서 의의가 있다. 초기 가정치의 영향을 없앨 수 있고 짧은 기록기간을 연장할 수 있다. 서해안 기준 검조소의 자료를 모의한 발생시계열에 대한 장주기 분조의 년평균값을 추산한 결과는 Table 7에 게재하였다.

Table 6. The estimation of model parameter

Compartion	INCHON	KUNSAN	MOKPO	Remark
AIC	87.0037	73.3653	53.4731	
MSL (Unit: cm)				
ARMA Coef.	-0.0114	0.9478	0.2235	
	-0.2091	-0.1455	0.3952	
	0.4378			
Mean	455.697	362.375	235.244	

Table 7. The statistics values of generated time series

Compartion	INCHON	KUNSAN	MOKPO	Remark
MSL (Unit: cm)				
Mean	-0.28	-0.67	-0.31	
Var.	1.18	2.41	1.11	

5.4. 평균해면 평가

평균해면 시계열에서 경향성분과 점프성분의 평가값을 소거한 시계열의 평균값과 잔차 시계열의 모의발생 평균값을 합산한 것이 본 연구를 통하여 분석한 추정값이다. 현행 평균해면, 년평균 평균해면, 추정 평균해면을 Table 8에 게재하였다. Table 8에서 4개 검조소의 평

균해면 값은 육상 표고기준으로 통일하였으며 ()는 현행값에 대한 분석 결과 값이고 누년평균과 추정값은 현행값을 기준으로 평가한 값이다. 인천항 기준 검조소의 평균해면 현행값은 누년평균보다 7.8cm 높고 추정값보다 8.1cm 높게 평가되어 누년평균과 추정값이 거의 같다. 군산 외항 기준 검조소의 평균해면 현행값은 누년평균보다 3.7cm 낮고 추정값 보다 8.3cm 높다. 목포항의 평균해면 현행값은 누년 평균치보다 5.3cm 높고 추정값보다 1.6cm 낮다.

최(1996)¹⁵⁾는 인천연안에서는 한강유역 댐건설로 0.25cm/yr가 감소하였으며, 군산 내항은 하구둑 건설 영향으로 15cm가 상승하였고, 대흑산도에서는 난류의 영향으로 0.2cm~0.3cm/yr 정도가 상승하였다고 밝혔다. 이¹³⁾는 목포연안의 평균해면이 자연적인 상승과 하구둑, 연안역 개발 등으로 16.5cm 상승하였다고 밝혔으며, 대흑산도는 난류의 영향으로 0.057cm/yr가 상승하는 것으로 평가하였다. 박¹²⁾은 목포연안의 평균해면은 상승률이 있으나 정량적으로 표현할 수 없다고 밝혔다.⁸⁾

본 연구의 결과 인천항 평균해면은 한강유역에 댐들이 건설되면서 해마다 약 0.12cm가 감소한 것으로 나타났다. 군산 내항의 경우 하구둑 건설 전·후의 평균해면의 표고를 비교한 결과 약 1.40cm가 상승한 것으로 평가되었으며, 목포항의 경우 평균해면의 연시계열 자료를 분석한 결과 해마다 0.053cm가 상승하는 것으로 평가되었으며, 또 하구둑 건설 전·후의 평균해면을 비교한 결과 하구둑 건설후 평균해면이 약 2.31cm 상승한 것으로 평가되었다.

Table 8. The Mean Sea Level of West Sea Observation Station (Unit:cm)

Compartion	INCHON	KUNSAN		MOKPO	Remark
		INNER	OUTER		
Present Values	0.0	-4.3	(-1.2)	(-2.6)	
M cumulative mean	-7.8	-	3.7	-5.3	
S estimation values	-8.1	-	-8.3	-1.6	
L					

6. 결 론

본 연구에서는 인천, 군산, 목포, 대흑산도 등의 서해안 주요 검조소에서 관측한 장기 조위관측 자료를 조화분석하여 얻어진 연평균해면의 시계열을 단주기 변동성분이 소거된 ARMA모형으로 분석하였다. 분석한 자료에는 결측기간이 포함되었으나 결측값에 대한 보완방법을

모색하지 않고 연구자들이 제시한 값을 그대로 수용하였으며 결측값에 대한 보완방법을 모색하여 적용하였으면 보다 나은 결과를 얻었으리라 판단된다. 분석한 결과를 요약하면 다음과 같다.

1) 인천항 평균해면을 기준으로 현행 평균해면이 군산 내항은 4.3cm, 군산 외항은 11.4cm, 목포항은 21.7cm가 낮다.

2) 1년 단위의 조화분석에 포함되지 못한 장주기 분조진폭의 기여분은 평균해면의 경우 -0.17cm~-0.67cm 정도이다.

3) 평균해면의 추정값으로 보면 목포항은 두 차례 검조의 펜 조정 결과로 기준값을 견지하고 있으나 인천항과 군산항은 높은 값을 사용하고 있는 것으로 이해될 수 있다.

참 고 문 헌

- 이석우, 1992, 한국근해해상지, 집문당, 75~89pp.
- 수로국, 1991, 수로법규집, 106~107pp.
- 최병호, 1984, 우리 나라 정밀수준망에 관한 연구, 국립지리원, p.332.
- 이석우, 1988, 금강 하구 수리 현상 조사, 군산항 건설사무소, 6.1~6.14pp.
- 이석우, 1994, 한국 항만 수리지, 집문당, 1~115pp.
- 농어촌진흥공사, 1987, 서남해안 조사설계지구 조위자료.
- 최병호·안원식, 1985, 금강 감조구간의 조석 전파, 한국수문학회지, 1(1).
- 최병호, 1994, 우리나라 수문망형성의 연혁과 인천의 표고기준, 한국해양해양공학회, 94(2).
- 박승우, 1986, 해수면 및 해저퇴적층 변화 예측 연구.
- 박승우, 1990, 방조제 해일 피해의 해석과 대책에 관한 연구, 농림수산부.
- 최영섭, 1991, 한국의 평균해면 관측, 수로기술연보.
- 박기진, 1995, 하구역에서 지형변화에 따른 조석체계의 변화, 부산대학교 대학원.
- 이중우, 1993, 목포항 주변 조위 상승 원인분석 및 항구대책 연구, 전라남도, 1~158pp.
- 수로국, 1982~1993, 수로기술연보.
- 최병호, 노상준, 1996, 영산강 하구둑에 의한 조위변화의 재평가, 해안공학회 정기학술강연회발표논문, 129~132pp.
- 최병호, 1984, 영산강 하구의 방조제 건설에 따른 조위변화, 대한토목학회논문집, 113~124pp.
- 최병호, 1980, A Tidal Model of the Yellow Sea and the Eastern China Sea, KORDI.