

인천항의 조위예측 및 4대 주요분조의 변동특성

Tide Level Prediction and Fluctuating Characteristics of the Four Main Constituents at Incheon Harbor

안경수¹⁾, ○조길문²⁾, 박종현³⁾, 김강지¹⁾

1. 서론

조석이란 지구로부터 일정한 거리에서 각각의 고유 속도를 가지고 적도상을 운행하는 무수의 가상 천체에 기인하는 규칙적인 개개의 조석을 합성한 것이며, 이 개개의 조석을 분조(Constituent)라 한다.

인천항의 조석에 관한 연구를 살펴보면, 우선 Shigeo(1950)는 1943년~1944년의 2년간의 검조자료를 T.I.방법(Tidal Institute method, Doodson(1928, 수정)을 이용하여 60개 분조의 조화상수를 산정하였고, 이석우(1972)는 인천항의 조위 및 조류현상을 단기간관측자료 및 Shigeo의 분석결과를 이용하여 발표한 바 있으며, 한상복(1980)은 인천항의 조차의 변동을 분석하고, 조차와 조석조화상수와외의 관계를 밝힌 바 있다. 최병호(1980)는 인천항의 연별 조화분석 및 연속조화분석을 통해 설계해면자료를 추정하였고 주요 분조들의 변화도를 분석한 바 있다. 그러나 기존의 연구들을 살펴본 바, 분석기간의 변화에 따른 4대 주요 분조의 변동특성을 조위예측분석에 적용한 연구는 없었다.

따라서 본 연구에서는 분석기간의 변화가 조위예측에 미치는 영향을 알아보기 위해 인천항의 조위 자료를 검조소의 이전 전과 이전 후에 따라 범위를 설정하여, 기간별 4대 주요분조의 변동특성을 분석하여 그 결과를 조위예측에 적용하여 보았다.

2. 연구방법

인천항의 38년간의 조위실측자료에 대하여 연별 조화상수의 변화를 알아보고 분석기간의 증가에 따른 4대 주요분조의 변동특성을 알아보기 위하여 구선거 조위검조소의 조위관측자료를 '60년을 기준으로 '72년까지 분석기간을 1년씩 누적시킨 자료군과 월미도 조위검조소의 조위관측자료를 '75년을 기준으로 '98년까지 분석기간을 1년씩 누적시킨 자료군 및 연안부두 조위검조소의 조위관측자료인 '99년 조위자료군에 대하여 그 변화양상을 분석하였다.

그리고 조화상수 특성 분석에는 영국해양연구소에서 개발한 조석분해 프로그램인 TIRA(Tidal Institute Recurssive Analysis (Murray, M.T. 1964)를 사용하였고, 조위예측에는 분석된 조석조화상수를 입력자료로 하는 조위예측 프로그램인 MARIE를 사용하였다. 이때 분조는 평균해면(Zo)과 계절적 영향을 반영하기 위해 장주기 분조(Sa, Ssa, Mm, Maf, Mf)등을 포함한 63개의 분조들을 사용하였다. 그림 1.은 TIRA Program의 수행순서를 나타낸 것이다.

1) 인천대학교 토목환경시스템공학과 교수

2) (주) 세일종합기술공사 항만부

3) 인천대학교 토목환경시스템공학과 석사과정

4) 인천대학교 토목환경시스템공학과 석사과정

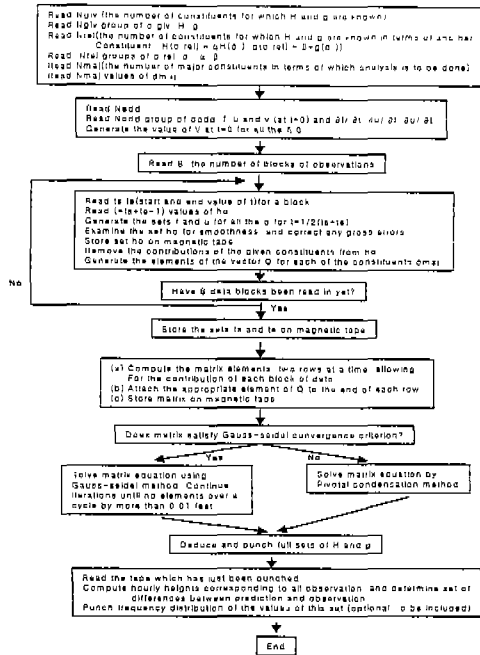


그림 1. TIRA 프로그램 수행 순서도

여기서, Ngiv = 주어진 분조의 수
Nrel = 관련 분조의 수
Nsig = 주요 분조의 수
Nodd = 추가 분조의 수

3. 인천항의 4대 주요분조의 변동특성

3.1 연별 4대 주요분조의 변화

인천항의 4대 주요분조의 연도별 변동특성을 알아보기 위하여 분석한 63개의 분조에서, 본 연구에서는 우리나라의 평균해면(Mean Sea Level)을 구성하는 4대 주요분조(O_1 , K_1 , M_2 , S_2)에 대해서만 분석하였다. 표 1.은 구선거('60년~'72년) 조위관측자료에 대한 13년간의 통계량을 계산한 표이고, 표 2.는 월미도('75년~'98년) 24년간의 조위관측자료에 대해 분석한 통계량을 나타낸 것이며, 표 3.은 연안부두('99년) 조위관측자료의 조화상수에 대한 통계량을 나타낸 표이다. 그림 3.1.~그림 5.2.는 '75년~'98년간의 조위관측자료에 대한 4대 주요분조의 진폭과 위상의 변화양상을 나타낸 것이다.

표 1. 4대 주요분조의 연별 조화상수의 통계량 ('60년~'72년) - 구선거 점조소

분조	통계량	진폭(H)					위상(g)				
		MEAN (cm)	SD (cm)	MAX (cm)	MIN (cm)	CV (%)	MEAN (°)	SD (°)	MAX (°)	MIN (°)	CV (%)
O_1		28.750	0.651	29.644	27.686	2.264	264.491	3.128	267.603	257.791	1.183
K_1		39.251	0.886	40.518	37.6516	2.257	303.696	2.888	305.879	297.28	0.951
M_2		290.178	2.871	293.483	283.611	0.989	135.506	5.580	138.651	122.555	4.118
S_2		111.646	1.423	113.363	108.865	1.275	193.465	5.562	197.245	180.666	2.875

표 2. 4대 주요분조의 연별 조화상수의 통계량 ('75년~'98년) - 월미도 점조소

분조	통계량	진폭(H)					위상(g)				
		MEAN (cm)	SD (cm)	MAX (cm)	MIN (cm)	CV (%)	MEAN (°)	SD (°)	MAX (°)	MIN (°)	CV (%)
O_1		27.654	1.538	29.234	23.284	5.562	266.290	8.500	289.341	245.946	3.192
K_1		38.759	0.613	39.725	37.503	1.582	307.572	4.083	316.692	301.408	1.327
M_2		285.747	6.676	292.066	262.919	2.336	138.871	7.007	157.826	120.413	5.046
S_2		111.438	2.957	115.669	105.764	2.653	196.930	3.053	203.146	190.417	1.550

표 3. 4대 주요분조의 연별 조화상수의 통계량 ('99년) - 연안부두 검조소

조화상수 분조	진폭(H)					위상(g)				
	통계량 MEAN (cm)	SD (cm)	MAX (cm)	MIN (cm)	CV (%)	MEAN ($^{\circ}$)	SD ($^{\circ}$)	MAX ($^{\circ}$)	MIN ($^{\circ}$)	CV (%)
O ₁	28.380	1.885	30.909	25.029	6.64	264.238	3.743	271.256	260.153	1.42
K ₁	38.730	2.148	41.976	35.642	5.55	303.247	2.162	306.305	298.941	0.71
M ₂	281.606	3.960	288.878	276.936	1.41	132.399	0.832	134.531	131.453	0.63
S ₂	110.659	2.028	114.128	107.288	1.83	189.584	1.807	193.053	186.481	0.95

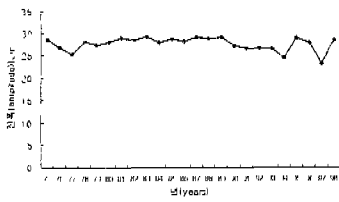


그림 2.1 O₁ 분조의 연별 변화(진폭)

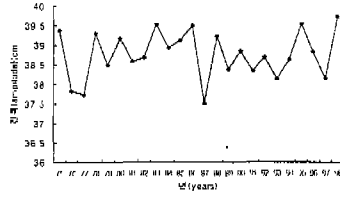


그림 3.1 K₁ 분조의 연별 변화(진폭)



그림 4.1 M₂ 분조의 연별 변화(진폭)

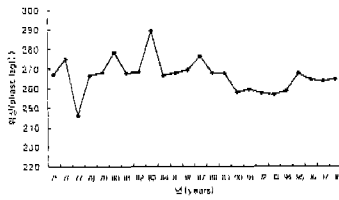


그림 2.2 O₁ 분조의 연별 변화(위상)

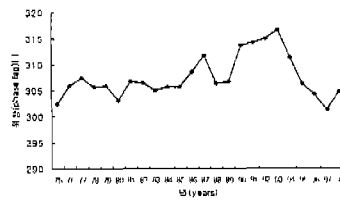


그림 3.2 K₁ 분조의 연별 변화(위상)

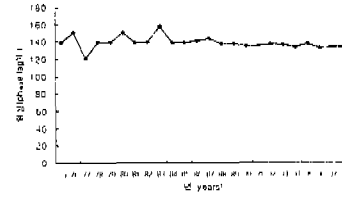


그림 4.2 M₂ 분조의 연별 변화(위상)

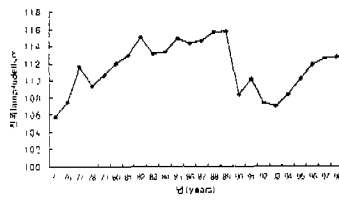


그림 5.1 S₂ 분조의 연별 변화(진폭)

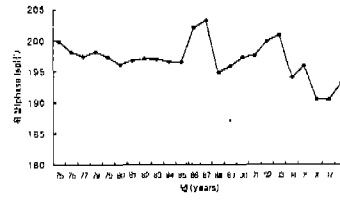


그림 5.2 S₂ 분조의 연별 변화(위상)

여기서 그림 2.1과 그림 2.2는 O₁분조의 진폭과 위상에 대한 연별 변화를 나타낸 그림이며, 그림 3.1과 그림 3.2는 K₁분조의 진폭과 위상에 대한 연별 변화를 나타낸 그림이며, 그림 4.1과 그림 4.2는 M₂분조의 진폭과 위상에 대한 연별 변화를 나타낸 그림이며, 그림 5.1과 5.2는 S₂분조의 진폭과 위상에 대한 연별 변화를 나타낸 그림이다.

3.2 분석기간 증가에 따른 4대 주요분조의 변화

인천항의 4대 주요분조(O₁, K₁, M₂, S₂)의 분석기간 증가에 따른 변동특성을 분석하였는데, 다음의 표 4는 '60년을 기준으로 '72년까지, 표 5는 '75년을 기준으로 '98년까지 1년씩 누적시켜 분석기간을 달리한 각각의 4대 주요분조의 평균통계량을 나타낸다.

표 4. 분석기간별 4대 주요분조의 통계량 ('60년~'72년) - 구선거 검조소

조화상수 분조	진폭(H)					위상(φ)				
	통계량 (cm)	MEAN (cm)	SD (cm)	MAX (cm)	MIN (cm)	CV (%)	MEAN (°)	SD (°)	MAX (°)	MIN (°)
O ₁	28.993	0.190	29.387	28.681	0.655	262.632	2.568	265.075	257.791	0.978
K ₁	39.297	0.368	39.631	38.472	0.936	301.999	2.355	304.027	297.280	0.780
M ₂	289.896	0.630	291.252	289.022	0.217	131.738	4.415	135.398	122.555	3.351
S ₂	110.769	0.612	111.470	109.775	0.553	189.934	4.464	193.541	180.666	2.350

표 5. 분석기간별 4대 주요분조의 통계량 ('75년~'98년) - 월미도 검조소

조화상수 분조	진폭(H)					위상(φ)				
	통계량 (cm)	MEAN (cm)	SD (cm)	MAX (cm)	MIN (cm)	CV (%)	MEAN (°)	SD (°)	MAX (°)	MIN (°)
O ₁	27.371	0.716	28.55	25.247	2.616	268.301	2.834	275.002	261.77	1.056
K ₁	38.534	0.3221	39.384	37.743	0.866	306.617	1.413	308.632	302.466	0.461
M ₂	277.876	6.155	286.712	257.79	2.215	140.441	2.676	150.424	135.659	1.905
S ₂	110.613	1.699	112.612	105.764	1.536	197.662	0.561	199.863	197.08	0.284

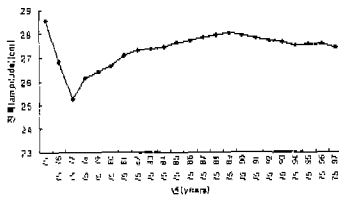


그림 6.1. 분석기간별 O₁분조의 변화(진폭)

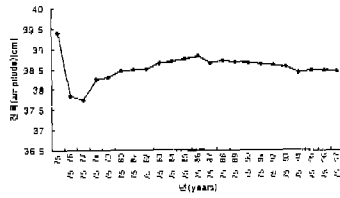


그림 7.1. 분석기간별 K₁분조의 변화(진폭)

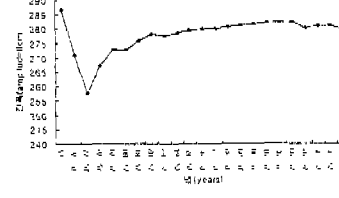


그림 8.1. 분석기간별 M₂분조의 변화(진폭)

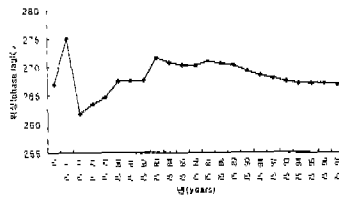


그림 6.2. 분석기간별 O₁분조의 변화(위상)

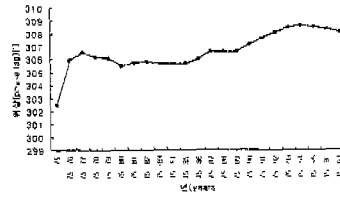


그림 7.2. 분석기간별 K₁분조의 변화(위상)

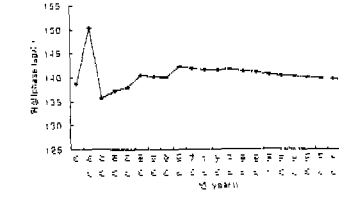


그림 8.2. 분석기간별 M₂분조의 변화(위상)

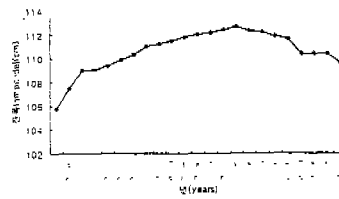


그림 9.1. 분석기간별 S₂분조의 변화(진폭)

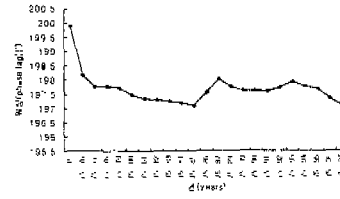


그림 9.2. 분석기간별 S₂분조의 변화(위상)

그림 6.1.~그림 9.2는 주요 4개분조의 '75년~'98년 조위관측자료에 대하여 75년을 기준으로 1년씩 98년까지 분석기간을 누적시킨 시간에 대한 진폭과 위상에 대한 변동특성을 그림으로 나타낸 것이다.

4. 조위예측분석

조위예측 프로그램은 영국해양조사원이 개발한 MARIE를 사용하였다. 본 연구결과 조석분해

프로그램인 TIRA(Tidal Institute Recurssive Analysis(Murray, M.T. 1964)를 사용하여 분석한 63개의 연별분석자료 및 분석기간 증가에 따른 조화상수를 이용하여 각각의 조위예측을 실시해 보았다.

4.1 분조 갯수에 따른 조위예측치의 변화

분조의 갯수가 정확도에 미치는 영향을 알아보기 위하여 다음의 4가지 데이터 Set을 구성하고, TIRA 프로그램의 역계산 기능을 사용하여 조위예측을 실시하였다.

- 1) 35개 분조(평균해면고(Z_0) + 26개의 Doodson 분조 + 8개의 관련 분조)
- 2) 58개 분조(평균해면고(Z_0) + 55개의 Doodson 분조 + 2개의 관련 분조)
- 3) 58개 분조(평균해면고(Z_0) + 57개의 Doodson 분조)
- 4) 63개 분조(평균해면고(Z_0) + 57개의 Doodson 분조 + 5개의 장주기 분조)

조위예측치와 조위실측치와의 조위예측의 정확성을 분석하기 위하여 표준계산오차(Standard Error of Estimates)를 구하여 판단하였으며, 그 식은 다음과 같다. 여기서 N : 관측값 수, q_i : 실측값(조위기록), \bar{q}_i : 예측값을 나타낸다.

$$SEE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (E_i)^2} = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (q_i - \bar{q}_i)^2} \quad (1)$$

표 6.은 set는 표준계산오차를 구한 결과로써 Set 4를 적용했을 때 표준계산오차가 14.685로 가장 작게 나타나 조위예측시 좋은 결과를 얻을 수 있다.

표 6. 자료 Set별 표준계산오차

Data Set	1	2	3	4
표준계산 오차(cm)	24.445	23.092	22.946	14.685

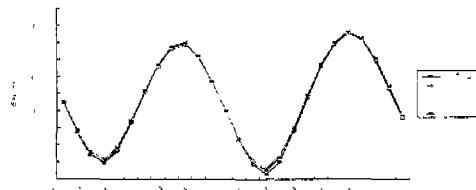


그림 10. Data Set별 조위예측

4.2 연별 조위예측치의 변화

분석기간을 1년으로 하여 얻어진 조화상수를 사용하여 1995년도의 조위예측을 실시하여 얻은 결과 표 7.과 같이 나타났고, 분석자료연별 표준오차의 변화는 그림 11.과 같다. 표준오차의 82cm의 변동폭을 가지면서 불규칙하게 변화하는 양상을 보였다. '95년도에서 가장 작은 오차를 나타냈는데 이는 자신의 조화상수를 가지고 조위예측을 했기 때문이라 보고, 오차가 0이 나오지 않은 이유는 조석에 영향을 주는 여러 가지 경향 중 63개의 분조에 제한하여 분석한 결과라 사료된다.

표 7. 분석연별 표준계산오차

분석시기 (year)	표준계산 오차 (cm)	분석시기 (year)	표준계산 오차 (cm)
75	92.073	87	36.895
76	72.294	88	30.691
77	97.443	89	31.426
78	28.958	90	40.610
79	26.445	91	34.788
80	68.277	92	34.321
81	27.096	93	40.369
82	27.718	94	70.703
83	83.733	95	15.795
84	26.252	96	35.668
85	28.297	97	82.713
86	36.783	98	38.891

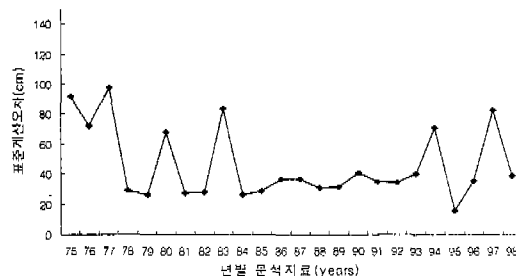


그림 11. 연별 분석자료 표준오차 변화양상

4.3 분석기간 증가에 따른 조위예측치의 변화

표 8.과 그림 12.는 분석기간의 증가에 따른 조화상수값이 조위예측의 정확도에 어떠한 영향을 미치는지 알아보기 위하여 1975년을 기준으로 하여 1998년까지 분석기간을 1년씩 증가시켜 가면서 1995년의 조위를 예측한 결과를 나타낸 것으로 변화양상을 살펴보면 분석기간을 누적시킬수록 표준계산오차가 점차 줄어드는 경향을 나타내며, 분석기간이 길어질수록 완만하게 감소하는 추세를 보여주고 있다.

표 8. 분석기간 증가에 따른 표준계산오차

분석시기 (year)	표준계산 오차 (cm)	분석시기 (year)	표준계산 오차 (cm)
75	92.073	75~87	38.982
75~76	153.638	75~88	37.632
75~77	120.538	75~89	36.533
75~78	92.102	75~90	35.546
75~79	74.899	75~91	34.635
75~80	65.357	75~92	33.841
75~81	57.359	75~93	33.391
75~82	51.690	75~94	32.203
75~83	48.125	75~95	30.840
75~84	44.695	75~96	30.651
75~85	42.026	75~97	30.880
75~86	40.549	75~98	30.773

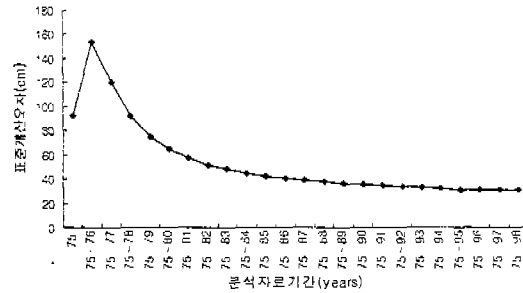


그림 12. 분석자료 증가에 따른 표준오차 변화양상

5. 결론

본 연구에서는 인천항의 조위관측자료를 이용하여 조석조화상수에 대하여 분석자료의 연변화에 따른 변동특성과, 분석자료의 기간변화에 따른 변동특성을 분석하여 비교검토 하였고, 분석결과를 조위예측에 적용하여 분석자료의 연변화 및 기간변화가 조위예측정확도에 미치는 영향에 대하여 분석하였으며, 그 결과는 다음과 같다.

1. 4대 주요분조(M_2 , O_1 , S_2 , K_1)의 연자료에 대한 자기상관관계를 구하여 진폭에 대한 변동특성을 분석한 결과 대체적으로 3년의 시차를 두었을 때 높은 상관성을 나타내었고, 위상의 경우에 연변화에 따른 장기적 변동이 불규칙한 양상을 나타내어 주기성이나 장기적 변동경향을 파악하기 힘들었다.

2. 4대 주요분조(M_2 , O_1 , S_2 , K_1)의 분석기간(년)누적에 따른 진폭의 변동양상은 변동폭은 작으나 장기변동양상이 지수식의 형태로 완만하게 증가하다가 감소하는 양상(凸)을 나타내었고, 위상의 장기적 변동양상을 보면, M_2 분조는 증가하다 감소하는 선형적인 변화양상을, O_1 분조는 증가하다가 감소하는 지수식의 형태(凸)의 변화양상을, S_2 분조는 감소하다가 증가하는 변동양상(凹,凸)을, K_1 분조는 지수식의 형태로 증가하는 변동양상을 보였다.

3. 4대 주요분조(M_2 , O_1 , S_2 , K_1)에 대하여 연별, 누적기간(년)별로 분석하여 얻어진 조화상수값들을 사용하여 조위예측을 실시하고, 표준계산오차값을 비교·분석한 결과, 누적기간별 분석결과가 연별분석한 결과보다 정확도가 더 높게 나타났다. 따라서, 조위예측시 누적기간별 조위자료를 사용하는 것이 타당하다고 판단된다.

참고문헌

- 최병호(1980), " 인천항 조위분석에 관한 연구 ", 한국해양연구소, pp1~2, pp31~34
 Murray, M.T.(1996), " Pol/PSMSL Tidal Analysis Software Kit(TASK Package) ", Proudman Oceanographic Laboratory.