

장기조석관측 자료를 이용한 낙동강 하구 정밀조위 예측 연구

박병우* · 김태우** · 강두기*** · 서용재**** · 신현석*****†

* K-water 부장, ** K-water 선임위원, *** 현진 E&C CEO, **** 현진 E&C 과장, ***** 부산대학교 토목공학과 교수

A Study on Precise Tide Prediction at the Nakdong River Estuary
using Long-term Tidal Observation Data

Byeong-Woo, Park* · Tae-Woo, Kim** · Du Kee, Kang*** · Yongjae, Seo**** · Hyun-Suk, Shin*****†

* General Manager, K-water, ** Ph.D, Senior Specialist, K-water

*** Ph.D, CEO, Hyunjin E&C, **** Manager, Hyunjin E&C

***** Professor, Department of Civil and Environmental Engineering, Pusan National University, Pusan 46241, Korea

요 약 : 낙동강 하구 기수생태 복원이 본격으로 논의가 진행 중인 2016년까지는 하류 수위의 예측을 위해 하구에서 수km 떨어진 기존 조위관측소(부산 및 가덕도)의 측정 자료를 활용하여 분석을 수행하였지만, 조위와 위상 차이로 인해 예측이 용이하지 않았다. 따라서, 낙동강 하굿둑 인접 외해역에서 조석 영향을 받는 수위관측치를 이용하여 조석조화분해를 통한 정밀한 조위 예측 산정의 필요성이 대두되어 본 연구를 수행하였다. 연구의 방법으로는 낙동강하굿둑 인근 외해역에서 10분 간격으로 기간별 관측자료의 저장상태 및 이상자료 유무를 확인하고, 조석조화분해 프로그램인 TASK2000(Tidal Analysis Software Kit) Package를 이용하여 관측조위와 예측조위를 1대 1 비교하여 회귀상관분석을 수행하였다. 분석 결과, 관측조위와 예측조위간의 상관도는 0.9334로 높게 나타났으며, 당해 연도의 조위예측 분석시 직전 연도의 1년 조석관측 자료를 조화분해하여 산출된 조화상수를 이용하여 조위예측을 실시하면 보다 정확한 결과를 산출할 수 있음을 확인하였다. 이를 바탕으로 2022년 예측조위를 생성하여 낙동강 하구 기수생태 복원의 해수유입량의 산정에 활용 중이다.

핵심용어 : 낙동강하굿둑, 조석조화분해, 조화상수, 관측조위, 예측조위

Abstract : Until 2016, before discussions on the restoration of brackish water of the Nakdong River Estuary started in earnest, the downstream water level was predicted using the data of existing tide level observatories (Busan and Gadeokdo) several kilometers away from the estuary. However, it was not easy to carry out the prediction due to the difference in tide level and phase. Therefore, this study was conducted to estimate tide prediction more accurately through tidal harmonic analysis using the measured water level affected by the tides in the offshore waters adjacent to the Nakdong River Estuary. As a research method, the storage status of observation data according to the period and abnormal data were checked at 10-minute intervals in the offshore sea area near the Nakdong River Estuary bank, and the observed and predicted tides were measured using TASK2000 (Tidal Analysis Software Kit) Package, a tidal harmonic analysis program. Regression analysis based on one-to-one comparison showed that the correlation between the two components was high correlation coefficient 0.9334. In predicting the tides for the current year, if possible, more accurate data can be obtained by harmonically analyzing one-year tide observation data from the previous year and performing tide prediction using the obtained harmonic constant. Based on this method, the predicted tide for 2022 was generated and it is being used in the calculation of seawater inflow for the restoration of brackish water of the Nakdong River Estuary.

Key Words : Nakdong River Estuary Bank, Tidal harmonic analysis, Harmonic Constant, Observed tidal, Predicted tidal

1. 서 론

낙동강하굿둑 외해역의 조석특성은 일반적인 연안역의

조석과는 달리 하천수의 유출, 배수갑문의 조작, 연안사주지형에 의한 조석 변형 등 매우 복잡하고 불규칙적인 특성을 가진다고 볼 수 있다.

뿐만 아니라 기상성분(기압, 바람 등)에 의한 교란은 조석 예보시 예측에 반영할 수 없어, 이러한 조석 예보치의 산정

* First Author : pbwmy@kwater.or.kr

† Corresponding Author : hsshin@pusan.ac.kr

은 어느 정도 한계가 있다고 볼 수 있다.

다만, 보다 정도 높은 조석 예보치 산정을 위해서는 예측 정확도가 높은 조석조화분해(Tidal Harmonic Analysis) 프로그램을 사용하는 것이 중요하며, 또한 최신의 조석자료 특히 1년 이상의 장기조석자료를 확보하여 이를 통해 예측하는 것이 보다 정밀한 예보치를 얻을 수 있다.

이에 본 연구에서는 낙동강하굿둑 외해역에서 관측된 2020년, 2021년 2년간의 장기 조석관측자료를 이용하여 2022년 이후의 장래 조석 예보치를 산정하고자 한다.

2. 관련 선행연구

감조하천을 포함한 대부분의 하구 부근은 지형이 복잡성과 함께 수심의 변화가 심하여 천해조의 발달이 두드러지는 경향과 조석은 조차와 하천유량뿐 아니라 하천의 형상에 따라 전과양상에 차이가 발생하며 연안에서 관측되는 조석과는 사뭇달라지는 특성이 있다(Kang and Moon 2001).

과거 낙동강 하구에 선행된 연구 Ryu and Chang(1979), Choi (1985) 등은 낙동강하굿둑 건설전 하구 감조 하천에 대한 연구로 하굿둑 건설 후 조석에 대한 연구는 전무한 상태이다.

2000년대 활발히 진행되었던 하구 지형특성과 변동, 퇴적 환경에 관한 연구는 하구 주변 대표적인 부산 또는 가덕도 지점의 조석표를 이용하거나 조화분해를 통해 조위를 산정하여 사용하는 등 하굿둑 시설물 수문운영에는 물리·수리적 특성을 대표하지 않는다.

현재 진행중인 낙동강하구 기수생태복원 연구에서 해수 유입은 가장 중요한 매개인자로 수문 의해 조위에 의해 해수유입량이 수문개도에 따라 예측되어 산정되는 만큼 하굿둑 지점에서 정밀한 조석이 필요하다.

3. 자료 및 방법

3.1 조석자료

낙동강하굿둑 외해역의 장기 조석 예보치 산정을 위하여 낙동강하굿둑 외해역(NDG)에서 관측된 2020년, 2021년 각각 1년간의 조석 관측자료를 정밀 분석하였다. 분석에 사용된 자료는 Table 1, Fig. 1과 같다.

Table 1. Tide observation overview

Item	Point	Obs Position (WGS-84)	Obs term	reference
Tide	NDG	35° 06' 09" N 128° 56' 55" E	2020. 1. 1 ~ 2021. 12. 31	K-water (2015)

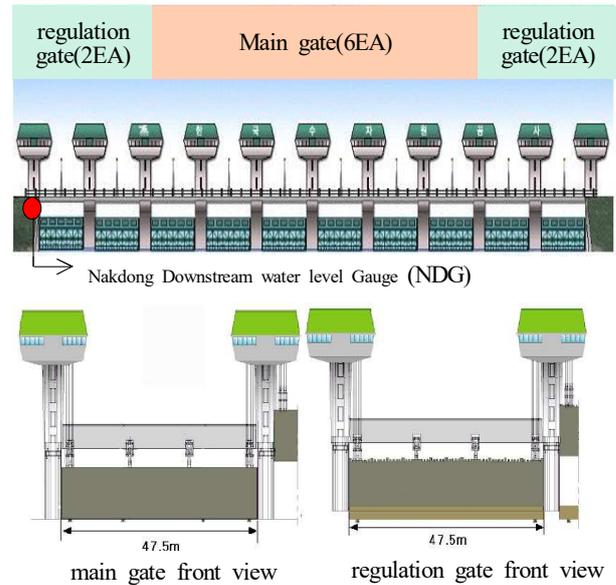


Fig. 1. Downstream water level gauge installation and gate location.

3.2 조석조화분해

낙동강하굿둑 외해역의 장기 조석 예보치 산정을 위하여 하구둑 외해역(NDG)에서 2020년, 2021년 각각 1년간 10분 간격으로 관측된 조위자료를 활용하였다.

먼저 관측자료의 저장 상태 및 이상 자료 유무를 확인하고, 조석조화분해 프로그램인 TASK2000(Tidal Analysis Software Kit) Package를 이용하여 조화분해 하였다. 연구절차는 Fig. 2의 방법으로 진행하였다.

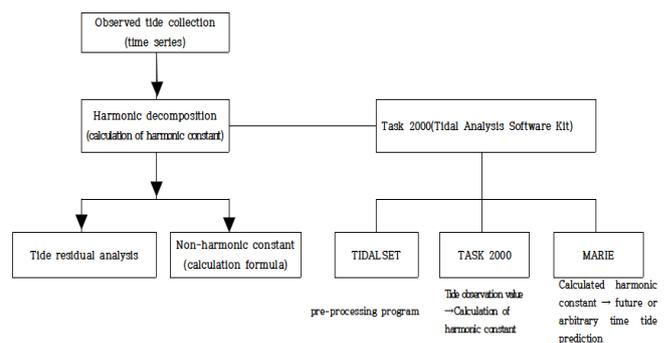


Fig. 2. Flowchart of the research.

TASK2000은 TIRA(Tidal Institute Recursive Analysis) 해법에 의하여 조석 조화분해 및 조위 예측이 가능한 프로그램으로서 영국 Proudman 해양 연구소(Proudman Oceanographic Laboratory)의 P. L. Woodworth 등에 의해 개발되어 현재 국내·외의 많은 연구기관에서 사용되고 있으며, 그 신뢰성 또한 높이 평가되고 있다(Bell et al., 1999).

관측된 조석자료의 조화분해시 임의 시(時)의 조위(Ht)는 다음과 같이 여러 분조의 합으로 표시할 수 있다.

$$H_t = A_0 + \sum fH \cos(V_0 + u + nt - K)$$

- 여기서, A_0 : 평균해면
- n : 분조의 각속도
- t : 시각
- H : 분조의 반조차(semi-range)
- K : 분조의 지각(phase lag)
- f, V_0, u : 천문 상수

조석은 다수의 규칙적인 분조들이 합성되어, 위 식에서 각 분조의 반조차(H)와 지각(K)을 조화상수(harmonic constant)라 하며, 조화상수를 구하는 계산을 조화분해라 한다.

비조화상수는 조화상수로부터 유도되며, 조석의 특성을 나타내는 상수이다. 여러 분조 중 주요 4대 분조의 특성 및 비조화상수 계산식은 Table 2와 같다.

Table 2. Calculation formula for the main 4 major tidal constituent characteristics and non-harmonic constant

harmonic Constant		angular velocity (°/hr)	cycle (hr)	harmonic constant sign	
sign	Component Tide			semi-range	phase lag
M2	Principal Lunar Semidiurnal Tide	28.98	12.42	Hm	Km
S2	Principal Solar Semidiurnal Tide	30.00	12.00	Hs	Ks
O1	Principal Lunar Diurnal Tide	13.94	25.82	Ho	Ko
K1	Mixed Tide	15.04	23.93	H'	K'
non-harmonic constant			formula		
Mean High Water Interval			Km/29		
Mean Low Water Interval			Km/29 + 6h 12m		
Approximate Highest High Water			2(Hm+Hs+Ho+H')		
High Water Ordinary Spring Tide			2(Hm+Hs)+Ho+H'		
High Water Ordinary Mean Tide			2Hm+Hs+Ho+H'		
High Water Orinay Neap Tide			2Hm+Ho+H'		
Mean Sea Level			Hm+Hs+Ho+H'		
Low Water Ordinary Neap Tide			2Hs+Ho+H'		
Low Water Ordinary Mean Tide			Hs+Ho+H'		
Low Water Ordinary Spring Tide			Ho+H'		
Spring Range			2(Hm+Hs)		
Mean Range			2Hm		
Neap Range			2(Hm-Hs)		
Tide Factor			(Ho+H')/(Hm+Hs)		

4. 연구결과 분석

4.1 조화분해

낙동강하굿둑 외해측(T1)에서 관측된 2020년, 2021년 자료를 이용하여 조석조화분해를 실시하였다.

관측 조위자료는 TASK Package를 사용하여 조석조화분해하였으며, 그 결과는 Table 4, Table 5와 같다.

조화분해에 사용한 데이터 수는 2020년은 52,704개이며, 2021년은 52,560개이다.

10분 간격으로 관측된 자료로써 2020년과 2021년의 자료 개수가 차이가 나는 것은 2020년인 윤년인 관계로 1일이 많은 366일이기 때문이다.

TASK Package에서는 일반적으로 1년 관측의 경우 추출할 수 있는 주요 분조(major constituents)는 63개(평균해면치 Z0 포함)까지 조화분해할 수 있다.

참고로 6개월 관측인 경우에는 55개 분조를, 1개월 관측인 경우에는 상대분조 8개, 주요분조 27개의 총 35개 분조를 분해할 수 있다.

Table 3은 주요 4대 조화상수 진폭과 지각이다.

Table 3. Four major harmonic constants

Year	Classification	M2	S2	K1	O1	rate
2020	semi-range	46.77cm	22.19cm	6.51cm	3.44cm	47.16%
	phase lag	245.3°	279.1°	163.0°	129.1°	
2021	semi-range	47.25cm	22.45cm	6.83cm	3.56cm	52.58%
	phase lag	244.6°	280.3°	161.2°	130.9°	

반년 주기(SA, SSA)이상의 분조의 합은 2020년에 16.33%, 2021년에 14.90%로 나타났다. 또한, 조석의 비선형을 잘 나타내는 N2, K2분조의 경에는 2020년에 9.77%, 2021년에 10.74%로 각각 나타났다.

Fig. 3은 2020년, Fig. 4는 2021년의 낙동강하굿둑 외해역에서 관측된 조석자료를 각각 조석조화 분해한 결과를 나타낸다. 그림에서 붉은 점으로 나타난 것이 관측자료이며, 청색 실선으로 나타난 것은 예측조위이다.

마지막으로 검은색 실선으로 표시한 부분은 조석잔차성분 즉, 관측치에서 예측치를 뺀 성분을 나타내며, 이는 서두에서 언급한 하천유출수의 영향, 배수갑문의 영향, 연안사주에 의한 조석변형 및 기압, 바람 등의 기상성분에 의한 영향을 나타낸다.

하계 시에 피크를 띄며 차이를 보이는 부분들은 태풍이나 저기압 통과로 인한 기상성분의 영향이 크게 반영된 것이다.

한편, 2020년과 2021년에 대하여 조화분해한 분조의 상수 및 위상을 막대그래프로 나타내었다(Fig. 5, Fig. 6).

장기조석관측 자료를 이용한 낙동강 하구 정밀조위 예측 연구

Table 4. Results of tidal harmonic analysis in 2020

NO	NAME	SPEED(°/hr)	H(m)	G(deg)	NO	NAME	SPEED(°/hr)	H(m)	G(deg)
1	ZO	0.000000	0.1489	0	33	MKS2	29.066242	0.0174	282.478
2	SA	0.041069	0.1854	137.195	34	LAM2	29.455625	0.0078	134.32
3	SSA	0.082137	0.0879	287.119	35	L2	29.528479	0.003	284.903
4	MM	0.544375	0.0255	184.448	36	T2	29.958933	0.0204	289.97
5	MSF	1.015896	0.0286	163.683	37	S2	30.000000	0.2219	279.123
6	MF	1.098033	0.0303	37.177	38	R2	30.041067	0.0132	181.825
7	2Q1	12.854286	0.0016	200.301	39	K2	30.082137	0.0632	277.239
8	SIG1	12.927140	0.0023	98.679	40	MSN2	30.544375	0.0026	343.616
9	Q1	13.398661	0.0043	101.169	41	KJ2	30.626512	0.007	108.119
10	RO1	13.471515	0.0004	181.446	42	2SM2	31.015896	0.0026	8.437
11	O1	13.943036	0.0344	129.096	43	MO3	42.927140	0.0051	129.573
12	MP1	14.025173	0.0006	102.61	44	M3	43.476156	0.0151	348.922
13	M1	14.492052	0.0026	139.638	45	SO3	43.943036	0.0061	93.109
14	CHI1	14.569548	0.002	73.933	46	MK3	44.025173	0.0061	101.024
15	PI1	14.917865	0.0015	19.129	47	SK3	45.041069	0.0063	157.467
16	P1	14.958931	0.0228	164.373	48	MN4	57.423834	0.0092	216.014
17	S1	15.000000	0.0078	78.848	49	M4	57.968208	0.0183	243.557
18	K1	15.041069	0.0651	163.023	50	SN4	58.439730	0.0023	266.334
19	PSI1	15.082135	0.0033	167.724	51	MS4	58.984104	0.0089	281.269
20	PHI1	15.123206	0.0024	240.03	52	MK4	59.066242	0.0032	242.308
21	TH1	15.512590	0.0002	35.654	53	S4	60.000000	0.0027	302.852
22	J1	15.585443	0.0053	196.501	54	SK4	60.082137	0.0016	260.115
23	SO1	16.056964	0.004	246.408	55	2MN6	86.407938	0.0015	354.608
24	OO1	16.139102	0.0035	203.715	56	M6	86.952313	0.0019	2.384
25	OQ2	27.341697	0.0036	355.661	57	MSN6	87.423834	0.0018	25.338
26	MNS2	27.423834	0.0085	205.207	58	2MS6	87.968208	0.0032	60.273
27	2N2	27.895355	0.0125	235.486	59	2MK6	88.050346	0.0012	55.183
28	MU2	27.968208	0.0308	224.948	60	2SM6	88.984104	0.0011	92.362
29	N2	28.439730	0.1003	233.831	61	MSK6	89.066242	0.0008	89.74
30	NU2	28.512583	0.0181	226.251	62	MA2	28.943036	0.0171	253.213
31	OP2	28.901967	0.0148	283.402	63	MB2	29.025173	0.0226	200.074
32	M2	28.984104	0.4677	245.299					

Table 5. Results of tidal harmonic analysis in 2021

NO	NAME	SPEED(°/hr)	H(m)	G(deg)	NO	NAME	SPEED(°/hr)	H(m)	G(deg)
1	ZO	0.000000	0.1193	0	33	MKS2	29.066242	0.0063	309.583
2	SA	0.041069	0.1807	136.578	34	LAM2	29.455625	0.003	194.485
3	SSA	0.082137	0.0462	303.332	35	L2	29.528479	0.0094	255.1
4	MM	0.544375	0.0037	186.424	36	T2	29.958933	0.0174	282.559
5	MSF	1.015896	0.0169	49.516	37	S2	30.000000	0.2245	280.272
6	MF	1.098033	0.0162	225.851	38	R2	30.041067	0.0041	187.684
7	2Q1	12.854286	0.0006	65.82	39	K2	30.082137	0.0661	273.514
8	SIG1	12.927140	0.0013	220.244	40	MSN2	30.544375	0.0008	270.453
9	Q1	13.398661	0.0045	114.387	41	KJ2	30.626512	0.0028	131.862
10	RO1	13.471515	0.0011	19.553	42	2SM2	31.015896	0.0052	74.714
11	O1	13.943036	0.0356	130.964	43	MO3	42.927140	0.0076	114.455
12	MP1	14.025173	0.0011	64.663	44	M3	43.476156	0.0172	345.612
13	M1	14.492052	0.0026	132.184	45	SO3	43.943036	0.0047	99.811
14	CHI1	14.569548	0.0009	139.752	46	MK3	44.025173	0.0051	108.293
15	PI1	14.917865	0.0008	159.268	47	SK3	45.041069	0.0073	144.105
16	P1	14.958931	0.0228	164.386	48	MN4	57.423834	0.0078	220.572
17	S1	15.000000	0.0078	87.701	49	M4	57.968208	0.0186	243.9
18	K1	15.041069	0.0683	161.206	50	SN4	58.439730	0.0023	246.977
19	PSI1	15.082135	0.0041	198.327	51	MS4	58.984104	0.0084	285.644
20	PHI1	15.123206	0.0018	199.679	52	MK4	59.066242	0.0042	256.848
21	TH1	15.512590	0.0028	165.943	53	S4	60.000000	0.0018	315.728
22	J1	15.585443	0.0042	190.693	54	SK4	60.082137	0.0019	320.704
23	SO1	16.056964	0.0017	252.802	55	2MN6	86.407938	0.0013	337.644
24	OO1	16.139102	0.0015	195.644	56	M6	86.952313	0.0029	359.238
25	OQ2	27.341697	0.001	266.639	57	MSN6	87.423834	0.0009	32.417
26	MNS2	27.423834	0.0099	215.141	58	2MS6	87.968208	0.0034	61.848
27	2N2	27.895355	0.0176	236.045	59	2MK6	88.050346	0.0012	57.041
28	MU2	27.968208	0.0231	227.702	60	2SM6	88.984104	0.0012	106.631
29	N2	28.439730	0.0975	235.145	61	MSK6	89.066242	0.0012	93.67
30	NU2	28.512583	0.0152	232.736	62	MA2	28.943036	0.0052	253.227
31	OP2	28.901967	0.0009	257.802	63	MB2	29.025173	0.0146	214.877
32	M2	28.984104	0.4725	244.637					

장기조석관측 자료를 이용한 낙동강 하구 정밀조위 예측 연구

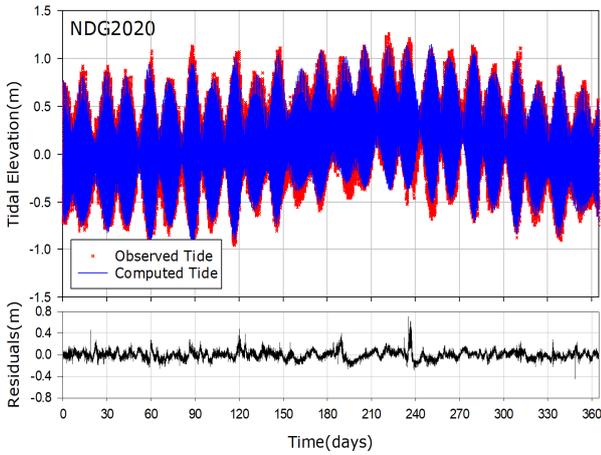


Fig. 3. 2020 tidal observation time series and harmonic analysis results.

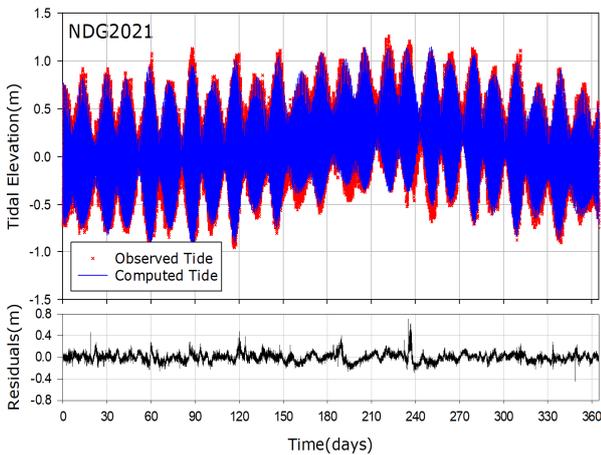


Fig. 4. 2021 tidal observation time series and harmonic analysis results.

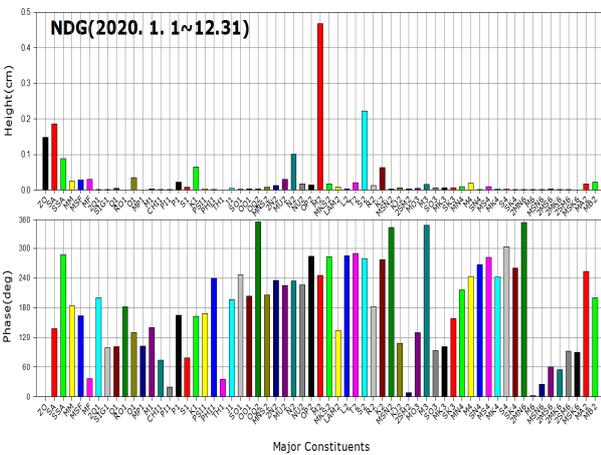


Fig. 5. Harmonic constant bar graph for each tidal constituent in 2020.

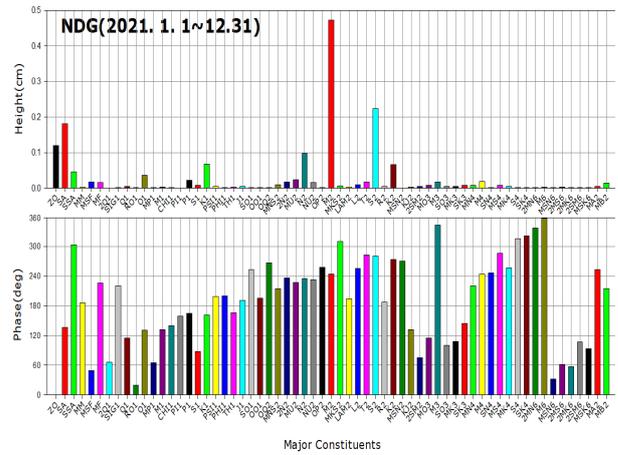


Fig. 6. Harmonic constant bar graph for each tidal constituent in 2021.

Fig. 4의 2021년 조석관측 시계열 자료의 조화분해 결과를 살펴볼 때, 앞서 언급한 바와 같이 낙동강 하구둑 외해역의 조석의 복잡성과 불규칙성을 고려하면 예측 정확도가 상당 부분 확보되는 것으로 나타났다. 또한, 2021년의 주요 조석분조 및 크게 영향을 미치고 있는 장주기 성분과 비선형 조석 성분의 크기를 비교해 볼 때 거의 편차가 없이 나타나 조석 조화상수를 이용한 예보의 가능성을 확인할 수 있다.

4.2 조위예측

낙동강 하구둑 외해역의 조위예측을 위하여 조위예측 프로그램인 TASK2000 Package를 이용하였다. 사용한 프로그램 MARIE는 TIRA의 조화분해를 역으로 이용하는 방법으로 조화상수를 이용하여 조석을 재산정, 예측하는 프로그램이다.

본 연구에서는 2020년의 1년치의 조석자료를 이용하여 조화분해된 조화상수 63개를 이용하여 2021년의 조석 예보치를 산정하였으며, 이를 2021년의 낙동강 하구둑 외해역의 조석관측치와 비교하는 방식으로 조위예측치를 검증하였다.

Fig. 7은 2021년 조위예측치와 조위관측치의 1대1 그래프를 나타낸 것이다. 가로축은 조석 관측치이며, 세로축은 조석 예보치를 나타낸 것으로 1대1로 잘 매칭되는 것을 볼 수 있다.

이들의 상관관계를 파악하기 위하여 두 성분에 대하여 회귀상관분석을 수행하여 붉은 선으로 표시하였으며, 예측치와 관측치 사이에는 $Pre = 0.9541 \times Obs - 0.013$ 과 같은 관계식이 성립하는 것으로 분석되었다.

또한, 두 성분간의 상관도는 0.9334로 높게 나타났으며, 이러한 관계성으로 볼 때, MARIE를 이용한 조위예측 프로그램의 신뢰도가 매우 높은 것으로 사료된다.

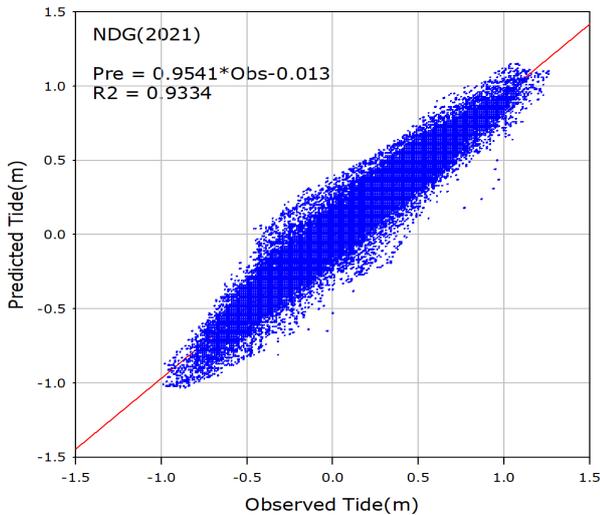


Fig. 7. One-to-one graph of tidal forecasts and observations for 2021.

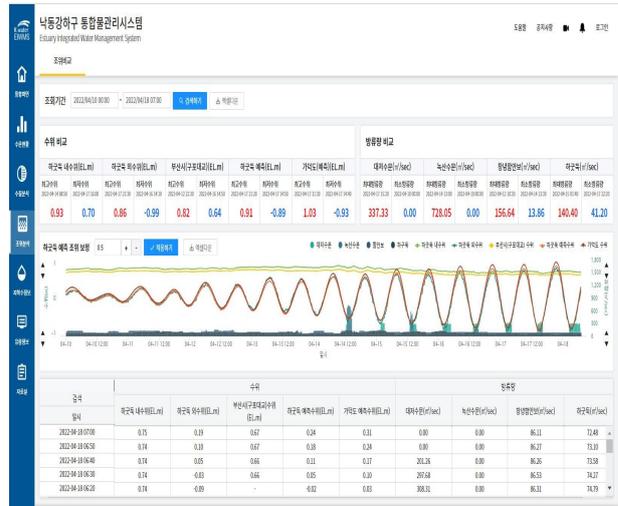


Fig. 8. Nakdong River Estuary Integrated Water management System.

5. 조위예측 자료의 활용 및 기대효과

5.1 기수생태복원 해수유입량 자료 활용

낙동강 하구는 35년만에 기수 생태 복원을 본격화하는 다양한 노력과 연구가 진행되고 있다. 해수를 유입시켜 기수 생태복원을 하기 위해서는 하류수위(조위)가 상류수위보다 높을 경우에 수문개도를 통해 해수유입량을 결정한다. 여기서 하류수위(조위)를 예측하고 정확하게 측정하는 것은 해수유입량 결정에 중요한 요소 중에 하나이다. 현재 기수생태복원은 상류 농업용수(15km 서낙동강 유입) 및 하천 생공용수(약 26km 양산, 물금취수장) 등 제약사항으로 15km 이내로 수문개도와 해수유입량으로 제어하고 있다.

- 기수복원 염수침투 거리(L) ∝ f {해수유입량, (1/상류유입량), 기타}
- 해수유입량(Q) ∝ f {하류수위(조위) > 상류수위 & 수문개도량}

본 연구에서는 기수복원 염수침투 거리(L)과 해수유입량(Q)에 가장 영향을 주는 매개변수가 하류 수위(조위)를 정밀하게 예측함으로써 신뢰성 있는 기수생태복원을 조성하는데 있다.

5.2 하구통합물관리시스템 모듈 탑재

본 연구결과는 모형 검보정 상관계수가 90% 이상으로 모형 구축 신뢰성을 확인하였으며, Fig. 8과 같이 기 구축된 낙동강 하구 통합물관리 플랫폼에 탑재되어 낙동강 본류 기수역생태복원 수문데이터와 연계되어 의사결정시스템으로 활용한다.

6. 결 론

본 연구를 요약하면 다음과 같다. 연구방법으로는 예측된 과거 10분 수위데이터로 조석조화분해 프로그램인 TASK2000 (Tidal Analysis Software Kit) Package를 이용하여 관측조위와 예측조위 비교하였고, 관측조위와 예측조위를 뺀 성분인 조석잔차성분을 구했다. 조화분해결과, 예측정확도가 상당 부분 확보되어 조위 예보 가능성을 확인할 수 있었다. 조위검증은 낙동강 하굿둑 외해역의 조석관측치와 조석예측치를 1대 1 비교하는 방식으로 검증과 상관관계를 파악하기 위하여 두 성분에 대하여 회귀상관분석을 수행결과, 두 성분 간의 상관도는 0.9334로 높게 나타났다. 현재 낙동강 하구는 2022년부터 본격적인 기수생태복원중(상류 15km 이내, 서낙동강 유입지점까지)으로 침투 거리를 예측하기 위한 해수유입량 산정에 절대적으로 필요한 하류수위(조위)를 예측산정하고 있으며, 하구통합물관리시스템에 모듈로 탑재되어 의사결정시스템으로 활용되고 있다.

본 연구를 통해 도출된 향후 개선방향은 1) 지속적인 측정과 유속계를 통한 해수유입량 산정식 개발(개도-방류량); 2) 상류 유입량 vs 해수유입량 변화에 따라 기수복원 염수침투 길이 산정과 수질변화; 3) 향후 AI 기술을 이용한 해수유입량 산정식 개발 등의 향후 노력과 조사 연구가 필요할 것으로 사료된다.

References

- [1] Bell, C., J. M. Vassie, and P. L. Woodworth(1999), POL/PSMSL Tidal Analysis Software Kit 2000 (TASK-2000), Permanent Service for Mean Sea Level, Proudman Oceanographic Laboratory.
- [2] Choi, B. H.(1985), Tides in the Nakdong River Estuary, Proceedings of Sungkyunkwan University Science and Technology Research Institute.
- [3] K-water(2015), Nakdong River estuary bank Operation and Management Manual.
- [4] Ryu, C. R. and S. D. Chang(1979) Tide and Tidal current in the Estuary of the Nakdong River, Journal of the Oceanological Society of Korea, Vol. 14, No. 2, pp. 71-77.
- [5] Kang, J. W. and S. R. Moon(2001), Tidal Propagation Characteristics in the Estuary which shows Significant Shallow Tides, Journal of Korea Coastal and Ocean Engineering, Vol. 13, No. 1, pp. 56-60.

Received : 2022. 09. 02.

Revised : 2022. 09. 30. (1st)

: 2022. 10. 06. (2nd)

Accepted : 2022. 10. 28.