

## 전남 나주호와 영산강 지류에 나타나는 조석현상의 분석

조 주 환<sup>1</sup> · 임 광 혁<sup>2</sup>

<sup>1</sup>조선대학교 사범대학 과학교육학부 지구과학 전공, 501-759 광주광역시 동구 서석동 375

<sup>2</sup>조선대학교 교육대학원 지구과학 전공, 501-759 광주광역시 동구 서석동 375

### Analysis of Tidal Phenomena in chunnam the Naju Lake and Youngsan River

Ju-Whan Cho<sup>1</sup> · Kwang-Heuyk Im<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Department of Earth Sciences Major, College of Education, Chosun University, Kwangju, 501-759, Korea

<sup>2</sup>Earth Earth Sciences Education Major, Graduate School of Education, Kwangju, 501-759, Korea

**Abstract:** To investigate the characteristics of tides in the Naju Lake and Youngsan River, we measured the water level at the Naju Lake for one month (from 30 Dec. 1997 to 27 Jan. 1998) and at several points along the Youngsan River. We found that there are predominant waves with periods of semidiurnal and diurnal tides. The amplitudes of  $M_2$ ,  $S_2$ ,  $O_1$  and  $K_1$  calculated by harmonic analysis are 0.56, 0.39, 0.48, 0.43mm, respectively. The tidal ranges along the Youngsan River, which are almost coincident with the tidal variation of Mokpo, are from 4mm to 18mm depending upon the locations and the distances from the river mouth. In the branch of Chisuk, a oscillation of semidiurnal period is predominant in the east-west direction and that of six-hours period in the north-south direction.

Key words: tidal phenomena, harmonic analysis, Naju Lake and Youngsan River

**요 약:** 내수면에 나타나는 조석현상을 조사하기 위하여 전라남도의 나주호와 영산강에서 1997년 12월 30일부터 1998년 1월 27일까지 1시간 간격으로 수위변화를 측정하였다. 여기서 얻어진 결과는 다음과 같다.

나주호와 영산강지류에서 모두 일주조와 반일주조가 나타났으나 조차는 수 mm 내지 수 십 mm로 작다. 하루에 두 번씩의 고조와 저조가 있었고, 1일 2회의 고조 중에서 일조부등 현상도 나타났다. 그믐과 보름이 지난 2일 후에 대조가 나타나고, 상현과 하현 후에 소조가 나타났다. 조화분해한 결과에 의하면 나주호에 나타나는 조석은 반일주조가 우세하며, 진폭이 가장 큰 순서로 주태음반일주조( $M_2$ )가 0.55mm이고, 주태음일주조( $O_1$ ) 0.47mm, 월일합성일주조( $K_1$ ) 0.43mm, 주태양반일주조( $S_2$ ) 0.39mm의 순이다. 영산강 지류에 나타난 조석은 4mm에서 크게는 18mm로 장소, 지형, 방향에 따라서 조차가 다르게 나타난다. 목포항의 고조 시각과 영산강 지류에 나타난 고조 시각과는 약간의 차이가 있다. 남평 지석강 수중보에서 나타나는 수위변동은 동·서 방향으로는 반일주조에 가까운 반면에 남·북 방향에서는 6시간 정도의 변동주기가 나타났다.

주요어: 조석현상, 조화분석, 나주호와 영산강

## 서 론

조석현상은 바다에서 뿐만 아니라 하천이나 호수에서도 발생할 수 있다. 하천의 경우에는 바다에 가까운 하구부근에 해양조석의 영향이 미치는 부분을 감소 하천이라 하고 우리 나라의 한강, 금강 등 하천에서도 강 하류에서 조석현상이 탁월함은 이미 잘 알려진 사실이다(지구과학개론, 1998). 그러나 호수에 나타나는 조석은 큰 호수를 제외하고는 별로 관심을 끌지 못하고 있

다. 실제로 넓이가 4km인 호수에서 평형 조석론에 의해 조차를 계산해 보면 달에 의한 기조력으로 발생한 조차는 약 0.3mm 정도이다(안희수, 오임상, 1998; 윤재열, 1994). 이처럼 미세한 조차는 관측이 어려울 뿐만 아니라 실제 일상 생활에 미치는 영향이 거의 없다.

그러나 이러한 미세한 현상이라도 우리주변에 산재해 있는 작은 호수나 하천에서는 얼마 만큼의 조석이 일어날 수 있을까 궁금증을 가지게 된다. 더욱이 중·고등학교에서 조석에 대해 학습하고 있는 학생들에게는

조석이 모두 바다와 관련지어 설명되고 있으므로 더욱 호기심을 일으키게 될 것이다(민경덕 등, 1996; 김시중 등, 1997). 따라서 본 연구는 이러한 과학교육의 탐구활동이라는 관점에 착안하여 호수와 하천에서 나타나는 조석현상을 대상으로 현장에서의 실제관측을 통하여 그 특성을 분석하고 정량적으로 설명해 보고자 한다.

연구의 대상으로 선정한 곳은 전라남도 나주시 다도면(126° 52' E, 34° 57' N)에 위치한 나주호와 영산강의 지류이다.

나주호는 만수 면적 780ha, 평균수위 5.7m이며 길이가 약 4km 정도의 호수이다. 나주호와 영산강은 다른 호수와 하천에 비하여 특별한 특징이 있는 것은 아니며 수위관측방법에서 규격화된 기구를 사용하지 않은 관계로 학술적 가치를 생각하기는 어려우나 과학의 탐구활동의 면에서 가치가 있다고 본다.

### 수위측정 및 연구방법

#### 수위측정

상술한 내수면에는 기존의 수위측정자료가 없으므로 연구의 목적에 따라 Fig. 1 에서 보는 바와 같이 나주호와 영산강을 따라 몇 개 지점을 선정하여 수위를 측정하였다. 즉, 나주호에서는 1개 지점을 선정 1997년 12월 30일~1998년 1월 27일(음력 12.1~12.29)까지 1시간

간격으로 한 달 동안의 수위를 측정하였고, 영산강에서는 영산강 하구언을 기점으로 영산강 지류를 따라 장성호까지 총 연장 73.9km를 같은 거리로 분할하여 수중보가 있는 영산강 지류의 강(영산강 하구언, 몽탄, 함평중촌포, 나주 구진포, 남평 지석강, 황룡강) 6개 지점과 상류의 호수(장성호, 나주호) 2개 지점을 포함하여 총 8개 지점을 선정하여 1998년 1월 1일(음력 97.12.3) 사리때를 택하여 목포항의 고조 시각에 맞추어 30분 간격으로 동시에 25시간 측정하였다. 관측결과 조차가 특히 큰 남평 지석강은 보다 정밀한 분석을 위하여 지석강 주위에 다시 6개 지점을 선택하여 2일간 측정하였다.

각 지점의 수위측정은 Fig. 2와 같은 우물식 측정장치를 만들어 사용하였다. 연구목적에 맞추어 풍랑, 너울, 호수의 고유진동에 의한 짧은 주기의 수면 진동을 제거하기 위하여 도구관속에 모래와 흙을 충전시켰다.

#### 연구방법

본 연구의 목적은 연구지역에서 조석현상의 해석이므로 측정자료로부터 1일 이상의 장주기 변동을 제거하기 위하여 25시간의 이동평균을 실시하였다. 즉, 이동평균을 취한 다음 수면자료에서 이동 평균된 값을 제거하고 하루보다 짧은 주기(25시간)로 변화하는 수면값만을 구하였다. 우물식 측정장치는 도수관을 통과하는 과정에서 풍파, 너울, 호수의 고유진동 등 수분 이하의 짧은 변동은 제거되었고, 측정시간 간격을 30분으로 한

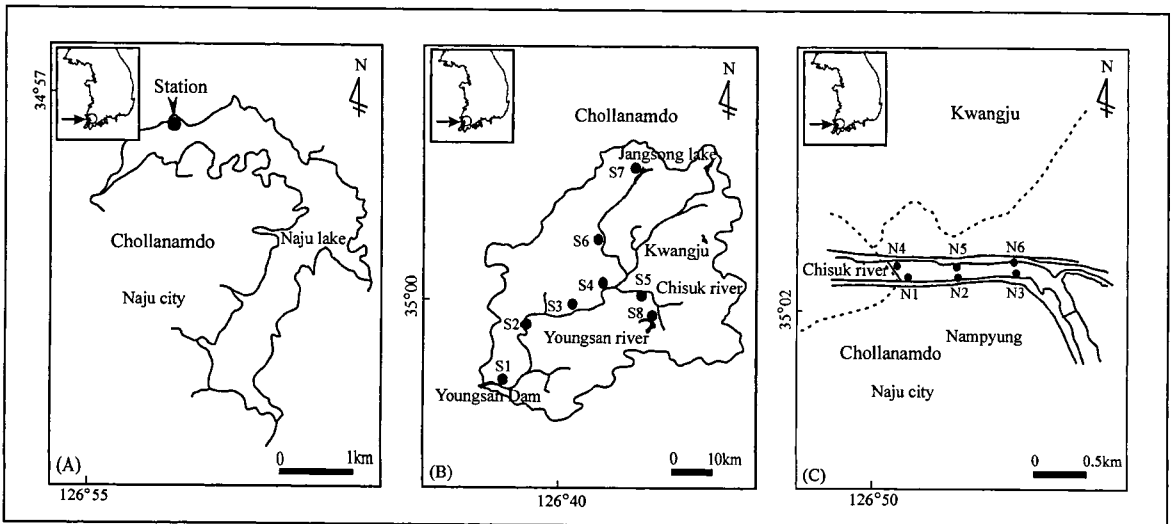


Fig. 1. Locations of the measurement at the Naju Lake(A), Youngsan River(B), and Chisuk branch(C).

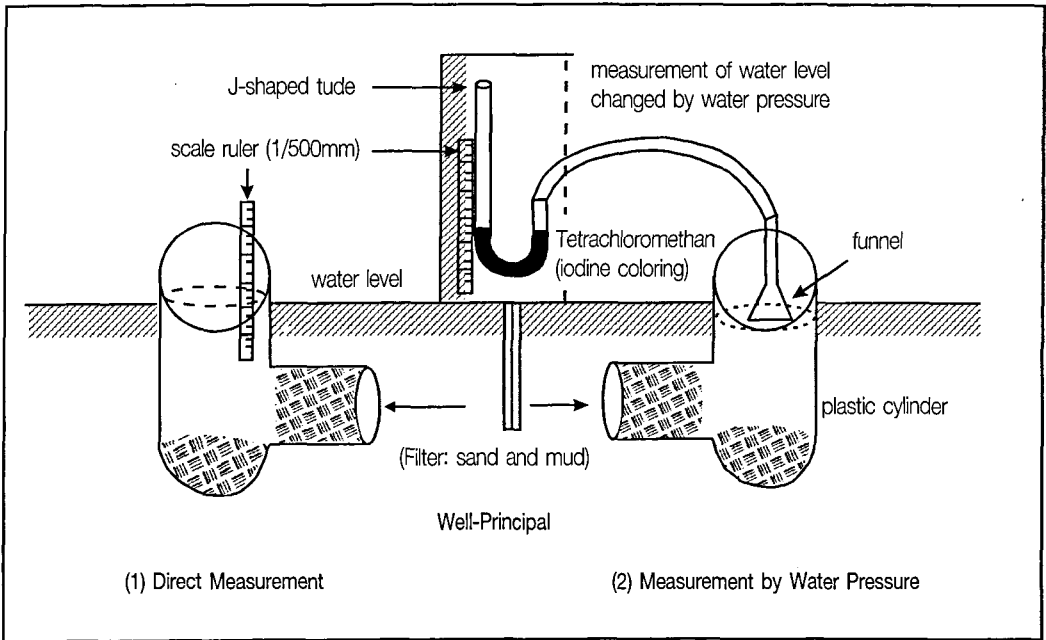


Fig. 2. Water level gauge used in this study.

결과 적어도 한 시간 이상의 장주기 변동만이 측정되었으므로 이 자료를 이용하여 조화분석(調和分解)을 실시하였다.

조화분석의 계산식은 천체들의 영향에 의한 주기적인 수면 변화를 천체운동의 각 주기별로 다음과 같은 삼각함수의 합으로 표현한다. 이 식에서 수면자료에 의한 각 분조(constituent)의 진폭과 위상을 구하였다(이석우, 1982; Pugh, 1987; Mcmillan, 1968).

그 원리는 다음 식으로 표현된다.

$$H = H_0 + H_1 \cos(\omega_1 t + \phi_1) + H_2 \cos(\omega_2 t + \phi_2) + H_3 \cos(\omega_3 t + \phi_3) + H_4 \cos(\omega_4 t + \phi_4)$$

여기서  $H_0$ 는 평균수면이고  $\omega_1 = 0.243355$ ,  $\omega_2 = 0.262521$ ,  $\omega_3 = 0.505852$ ,  $\omega_4 = 0.523599$ 로서 이미 천체의 운동주기로부터 알려져 있는 값이다.

주어진 자료로부터  $H_1$ ,  $\phi_1$ ,  $H_2$ ,  $\phi_2$ ,  $H_3$ ,  $\phi_3$ ,  $H_4$ ,  $\phi_4$ 를 구하는 과정이 조화분석이고 진폭( $H$ )과 위상( $\phi$ )은 조화상수가 된다.

## 나주호의 조석현상

### 자료 분석

나주호에서 한 달 동안 1시간 간격으로 얻은 480개의 수면 자료를 살펴보면 Fig. 3에서 보는 바와 같이 수면은 태음력 1일과 2일에는 거의 일정한 수준을 유지하다가 3일에 약간의 상승이 있었고, 8일 이후부터 수면이 급격하게 상승하기 시작하였는데 이는 강수로 인해 호수의 상류인 4개의 지류로부터 강물이 유입되었기 때문인 것으로 추정된다. 그러나 이 자료에서는 조석주기의 변동은 거의 볼 수가 없다. 24시간 50분의 일 주조와 반태음일인 12시간 25분의 반일주조만을 나타내기 위하여 25시간의 이동평균을 취한 다음 수면 자료에서 이동평균된 값을 제거함으로써 Fig. 4와 같이 조석곡선을 얻었다. 이와 같이 일일주기 이하의 변동값만으로 나타낸 곡선을 보면 해양에서의 조석곡선과 흡사한 조석이 나주호에서도 나타나고 있음을 알 수 있다. 이 조석곡선에는 그림이 지난 2일 후와 보름 2일 후에 대조가 나타났으며 7일에서 11일 사이에 소조가 나타남을 알 수 있다. 또한 하루에 2회의 고조와 2회의 저조가 나타나며 이들 사이에 일조부등이 뚜렷이 나타

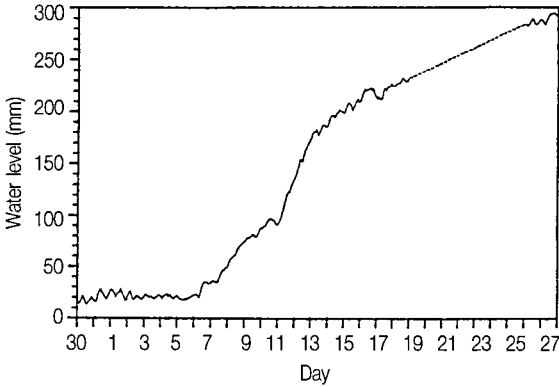


Fig. 3. Variation of water level at Naju Lake.

난다.

Fig. 5는 한 달간의 자료 중 대조가 나타나는 12월 30일부터 다음해 1월 1일 사이의 변동을 보여 준다. 수면이 최대인 고조(HW)는 6.8mm이고 수면이 최저인 저조(LW)는 -5.7mm이고 조차는 약 13.5mm로 나타났다.

조석의 조화분석

나주호에서의 22일간의 수위자료를 조화분석한 결과 반일주조인 주태음반일주조( $M_2$ )와 주태양반일주조( $S_2$ )는 0.39~0.55mm의 진폭을 가지며, 일주조인 주태음일주조( $O_1$ )와 일월합성일주조( $K_1$ )의 진폭은 0.43~

0.47mm이다. 진폭이 가장 큰 것은  $M_2$ 이며, 진폭은 0.55mm이다. 다음은  $O_1$ 로서 0.47mm의 진폭을 갖는다.

따라서 나주호에서는 주태음반일주조( $M_2$ )가 우세하게 나타나고 있음을 알 수 있다. 나주호 수면 변화를 조화분해한 결과  $O_1$ ,  $K_1$ ,  $M_2$ ,  $S_2$  분조에 대한 위상과 진폭은 Table 1과 같다.

영산강 지류의 조석현상

영산강 지류의 조석

영산강의 감조역은 목포항의 조석변화(Fig. 6)의 영향 범위에 있을 것으로 생각된다(이석우, 1969). 따라서 강의 지형과 방향에 따라서는 조석이 어떻게 나타나며, 목포항으로부터의 거리와 고·저조는 어떤 관계가 있는지 알아보기 위해 전라남도 목포시 영산강 하구인 S-1을 기점으로 지류를 따라 수증보가 있는 6개 지점(S-1, S-2, S-3, S-4, S-5, S-6)과 발원지인 호수(장성호 S-7, 나주호 S-8) 2개 지점에서 동시에 관측한 25시간 관측 자료를 분석하였다.

일반적인 특징을 보면 각 지점에서 거의 12시간 25분 주기의 반일주조가 존재한다. 목포항의 고조 시각과 영산강 지류에서의 고조시각은 약간의 차이가 있으나 조석주기는 거의 일치하고 있다(Fig. 7). 이들간의 변동을 서로 비교하면, 영산강 하류에서 상류로 조차의 감소경향이 보이지 않고, 각 지류와 나주호, 장성호 모두

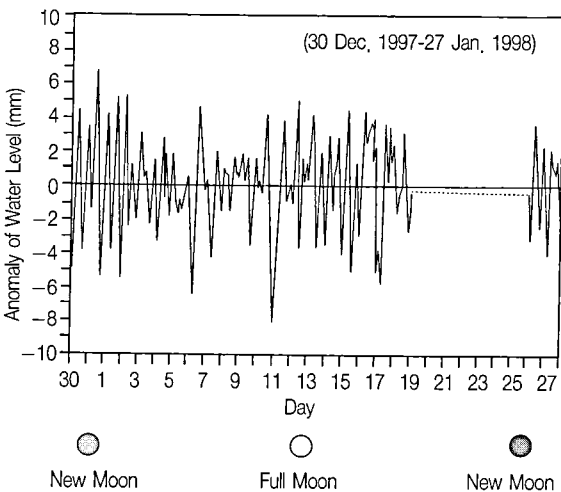


Fig. 4. Water level after removal of low frequency variation.

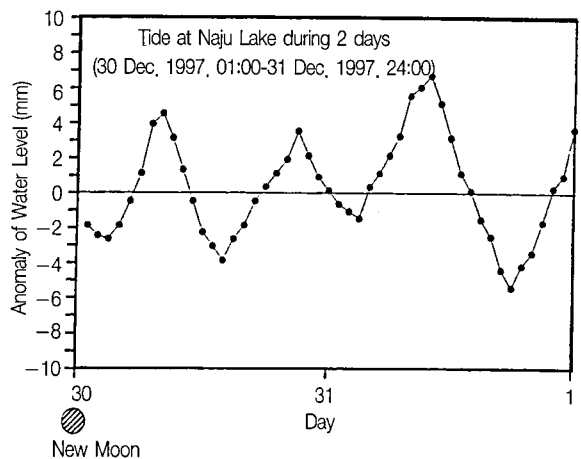


Fig. 5. Tide at the Naju Lake for two days(Dec. 30 1997- Jan, 1, 1998).

**Table 1.** Harmonic analysis of water level at the Naju Lake.

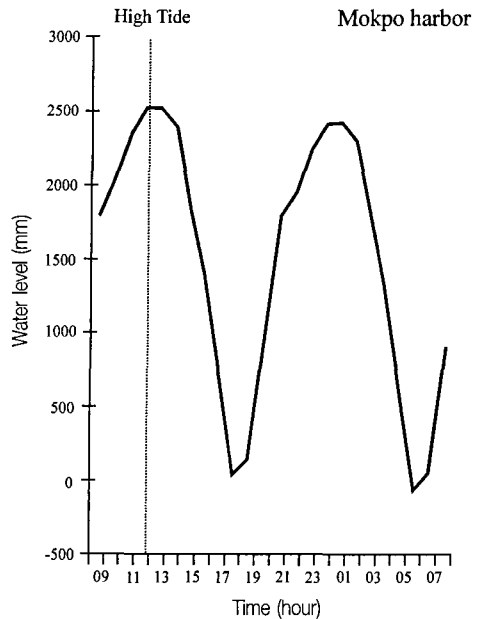
Division	Period (hour)	Amplitude (mm)	Phase of moon		
			(G,M,T)	(135° E)	(K local)
O <sub>1</sub>	25,819	0.477	93,769°	103,281°	94,437°
K <sub>1</sub>	23,934	0.436	203,543°	203,173°	194,329°
M <sub>2</sub>	12,421	0.558	223,167°	232,310°	214,622°
S <sub>2</sub>	12,000	0.393	116,378°	116,378°	98,690°

조석의 크기가 비슷하게 나타난 것으로 보아 하천수인 영산강 지류도 하나의 작은 규모의 호수로 생각할 수가 있겠다. 이는 바다와 연결되어 있지 않을 뿐만 아니라 강의 지류에는 수중보가 있어 강의 하류와 상류 사이가 서로 단절되기 때문일 것이다.

총 8개 지점의 측정자료 중, 남평 지석강(S-5)에서 조석곡선이 가장 뚜렷한 반일주조 형태의 조석이 나타나고 있으며 조차도 약 18mm로 가장 높게 나타나고 있다.

**남평 지석강의 조석진동**

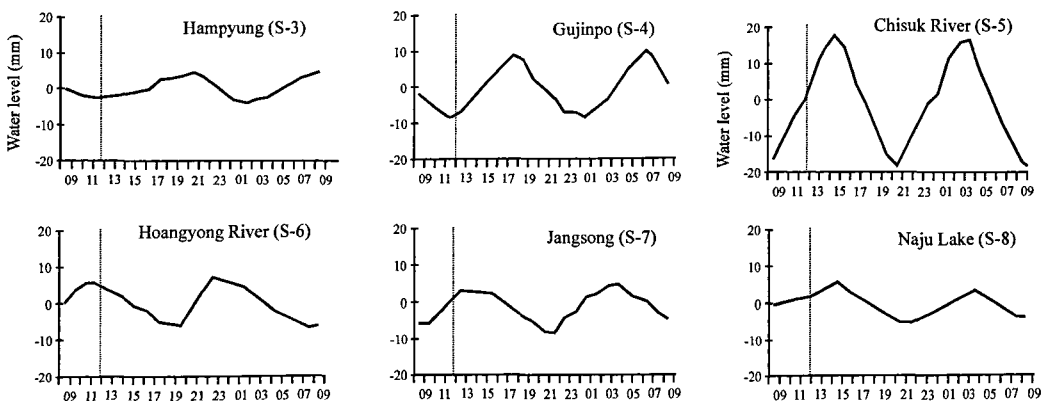
남평 지석강에서 나타나는 조석현상을 보다 자세히 조사하기 위하여 남평 지석강의 남쪽 강변을 따라 서에서 동으로 N-1, N-2, N-3의 순으로, 북쪽 강변을 따라 서에서 동으로 N-3, N-4, N-6의 순으로 정점을 설치하였다. Fig. 8에서 볼 수 있듯이 모든 정점에서 반일주조가 발견되었다. 서쪽 정점 N-1과 동쪽 정점 N-3에서 각각의 조차는 약 13.6mm와 13.4mm로 나타나고 있으며, 정점 N-1의 수위가 낮을 때는 정점 N-3의 수위가 최고



**Fig. 6.** Tide at Mokpo harbor(1-2 Jan., 1998)(Lee, 1969).

점, 또한 정점 N-1의 수위가 높을 때는 정점 N-3의 수위가 낮음을 알 수 있다. 이와 같은 수면의 주기적 운동은 강의 북쪽 강변을 따라 서쪽의 정점 N-4와 동쪽 정점 N-6에서도 존재하며, 조차는 약 11.8mm와 12.0mm이다. 따라서 동·서 방향의 조석주기를 가진 고유진동이 존재함을 알 수 있다.

한편 강의 남·북 방향으로의 조석을 비교하여 보면, 북쪽 정점 N-5와 남쪽 정점 N-2에서는 약 6시간 주기의



**Fig. 7.** Variations of water level at S-1 to S-8 of the Youngsan River(1-2 Jan., 1998).

짧은 진동이 존재한다. 조차는 약 5.6mm와 6.0mm로 나타나며 남쪽과 북쪽의 위상이 반대임을 알 수 있다

### 결론

나주호의 조석의 제반 특성을 분석하고, 영산강 지류와 남평 지식강 수중보에서 특별히 동·서·남·북 방향의 서로 다른 위치에서 수위를 측정하고 분석한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

나주호와 같은 작은 내륙의 호수에서도 기조력에 의한 규칙적인 승강운동이 있었다. 조석곡선에 나타난 자료를 보면 하루에 두 번씩의 고조와 저조가 있었고, 1일 2회의 고조 중에서도 일조부등현상도 나타났다. 그림과 보름이 지난 2일 후에 대조가 나타나고, 상현과 하현 때 소조가 나타난다.

수문자료를 조화분해한 결과 나주호의 조석은 반일 주조가 우세하며, 진폭이 가장 큰 주기는 주태음반일주

조(M<sub>2</sub>)로 0.55mm이고, 주태음일주조(O<sub>1</sub>) 0.47mm, 월일 합성일주조(K<sub>1</sub>) 0.43mm, 주태양반일주조(S<sub>2</sub>) 0.39mm의 순이다.

영산강 지류에 나타난 조석은 4mm에서 크게는 18mm로 위치, 지형, 방향에 따라서 조차가 다르게 나타난다. 목포항의 고조 시각과 영산강 지류에 나타난 고조 시각과는 약간의 차이가 있으나 주기는 거의 일치되고 있다.

남평 지식강 수중보에서 나타나는 조석은 동·서 방향에서 반일주조가, 남·북 방향에서 1/4일 주조(6시간 주기)가 크게 나타났다.

### 사사

본 연구는 1998년도 조선대학교 학술연구비의 지원을 받아 수행되었으며, 연구를 지원해 준 관계자에게 감사를 드린다.

### 참고문헌

김시중, 우종욱, 민경덕, 정완호, 정근화, 한복수, 구창현, 이종면, 이광석, 임경배, 최돈형, 김병국, 이향진, 박범익, 1997, 중학교 과학3, 금성교과서주식회사, 223-224.  
 민경덕, 안희수, 우종욱, 이문원, 김정률, 김봉섭, 1997, 고등학교 지구과학II, 금성교과서(주), 248-249.  
 안희수, 오임상, 1998, 물리해양학, 시그마프레스, 323-356.  
 윤재열, 1994, 해양역학입문, 청문각, 362-390.  
 이석우, 1982, 물리해양학통론, 집문당, 161-180.  
 이석우, 1969, 목포항 부근의 조석과 조류, 46-51.  
 한국지구과학회, 1998, 지구과학개론, 교학연구사, 273-280.  
 Pugh, D.T., 1987, Tides, Surges and Mean Sea Level, John Wiley and Sons, 472-480.  
 Macmillan, D.H., 1968, Tides, New York: American Elsevier, 56-82.

2000년 2월 18일 원고 접수  
 2000년 4월 14일 원고 채택

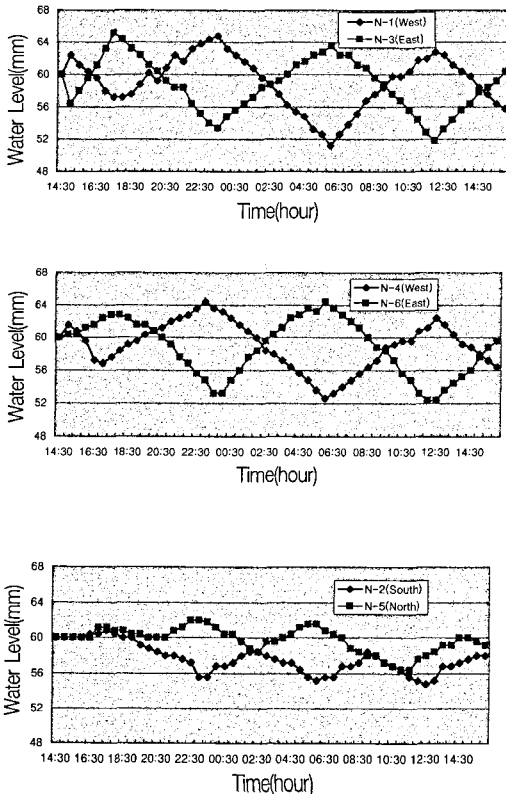


Fig. 8. Variations of water level at the Chisuk River(1-2 Jan., 1998)