

명량해전 당일 울돌목 조류·조석 재현을 통한 해전 전개 재해석

A Revisit to the Myungryang Naval Battle
through Hindcasting Tidal Currents and Tides

변도성* 이민웅** 이호정*
Do-Seong Byun Min-Woong Lee Ho-Jung Lee

Abstract

As a multidisciplinary study encompassing oceanography and history, we have attempted to reanalyze the course of a historical navel battle, Myungryang Naval Battle(September 16th, 1597 according to the lunar calendar) through hindcasting the paleo-tidal currents and -tides(PTC). Firstly, we conducted harmonic analysis using 6-month current data observed at Uldolmok and 1-year elevation data provided by Korea Ocean Research and Development Institute in order to understand their characteristics and to hindcast the PTC. Observation results show that Uldolmok, ~300m wide, relatively narrow channel, is characterized by a flood-dominant mixed mainly semidiurnal tidal regime induced by relatively-strong shallow water constituents, showing closely a standing wave type of tidal current. Further, we hindcasted PTC on the day of Myungryang Naval Battle. Our results were compared and discussed with results(time and speeds of maximum(flood and ebb) currents and high and low water times) of the previous studies estimated from different methods. Lastly, we reconstruct the course of the event of Myungryang Naval Battle recorded in the Admiral Sun-Sin Yi's War Diary(Nangjung Iigi in Korean) based on our hindcasting results.

Keywords : Harmonic Analysis, Paleo-tide, Paleo-tidal Current, War Diary, Admiral Sun-Sin Yi

1. 서론

역사적으로 주요 해전의 승패는 전장의 기상조건(바

람 등)과 더불어 물리·지질학적 해양환경 특성(바닷물의 흐름과 해저지형 등)을 누가 얼마나 잘 이해하고 이용하느냐에 따라 결정되었다. 일차적으로 방어나 공격에 유리한 해저 지형과 바닷물 흐름 조건의 전장을 가진 편이 전투를 유리하게 이끌어 갈 수 있다. 대표적인 예로 기원전 480년에 좁은 해협을 이용하여 그리스 함대가 페르시아 함대를 대파한 세계 3대 해전 중의 하나로 꼽히고 있는 살라미스 해전과^[1] 함께

† 2010년 11월 18일 접수~2011년 2월 25일 게재승인

* 국립해양조사원

** 해군사관학교 인문학과

책임저자 : 변도성(dsbyun@korea.kr)

물살이 빠른 울돌목 협수로(폭 300m 이하)의 물리해양환경을 이용하여 절대적인 전함의 수적 열세(13척 : 13척)를 극복하고 일본 수군을 물리친 명량해전을 들 수 있다^[2].

이러한 명량해전의 결정적 승리 요인을 찾고 교훈으로 삼고자 당시의 전장을 이해하려는 여러 연구들이 수행되어 왔다. 해전직전의 일반정세와 병세, 물리적 해양환경 등에 관한 연구가 조^[3]에 의해 시도되었으며, 이^[4]는 여러 사료를 바탕으로 전장을 명량해협으로 택한 시기부터 당일의 해전 과정 등 명량해전의 경과 및 승리 원인을 종합적으로 분석·검토했다. 박 등^[5]은 메톤 주기법 등으로 명량해전 당일 조류를 추정하여 이순신 장군의 정유년(丁酉年) 난중일기를 바탕으로 시간대별 전황 복원을 시도하였다. 제^[6]는 실제 전장과 창·낙류 시각 등 명량해전의 주요쟁점과 함께 승리요인을 재검토했다.

이처럼 해전 전개에 대한 이들 설명은 당시 물리적 해양환경에 대한 이해를 바탕으로 한다. 따라서 당시의 조류와 조석 정보를 정확하게 추산하는 일은 명량해전장을 이해하는데 기초가 된다. 그러나 이와 관련하여 지금까지 울돌목(명량해협)에서 정확한 조화상수 추산에 필요한 6개월 이상의 장기 해수유동관측이 수행되지 않았을 뿐만 아니라 기존에 수행된 연구들은 해양물리학자가 아닌 역사학자 등에 의해 주도적으로 수행되었기 때문에 대부분 단순히 추산된 조석(조류)표를 이용 또는 바탕으로 계산하거나, 달의 남중시각과 평균고조간격을 이용하여 고조를 추산하는 조시약산법을 사용하였다^[3,5,6]. 그 결과 지금까지 조석(조류) 예보에 사용되는 보다 과학적인 조화분해 방법을 이용하여^[7], 명량해전장에 대한 조석·조류 추산 결과를 제시한 연구는 없는 실정이다.

이 연구에서는 처음으로 전남 울돌목에서 장기 관측한 해수유동자료와 조석관측자료를 조화분해(harmonic analysis)하여 울돌목의 조류와 조석의 특성을 살펴보았다. 분석된 조화분해 결과를 이용하여 명량해전 당시 울돌목의 조류와 조석을 추산하였으며, 그 결과를 이전 연구결과들과 비교하고 그 차이점에 관해 논의하였다. 끝으로 추산된 결과를 바탕으로 이순신 장군의 난중일기에 기록된 명량해전 전개과정을 재구성하였다.

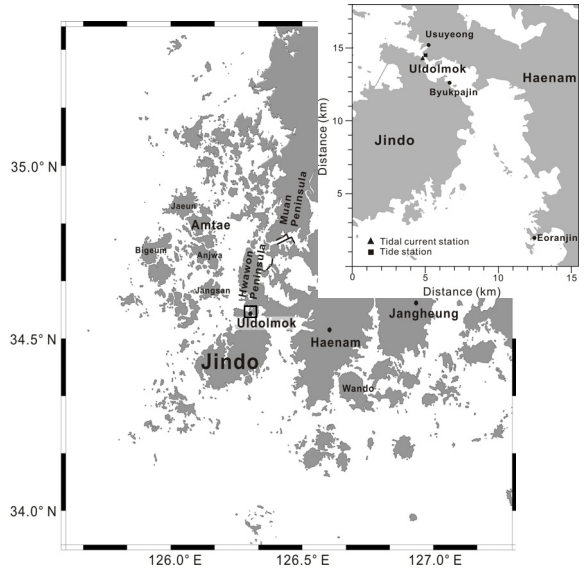


Fig. 1. Location map of Uldolmok tidal current and tide observation stations situated on the western tip of the southwest coast of Korea

2. 자료 및 방법

가. 관측 및 분석

국립해양조사원은 정확도 높은 울돌목 조류예보를 위하여 2009년 11월부터 2010년 6월까지 OTRONIX사의 300kHz의 수평 초음파유속계(Workhorse H-ADCP)를 진도와 해남을 잇는 진도대교 아래(진도쪽)에 설치하여 해수유동을 관측하였다(Fig. 1). 이 장비는 10m/s 이내의 유속범위에서 측정이 가능하고 수평적으로 240m이상까지 측정이 가능하다. 수평 셀(cell)간 거리는 5m로 설정하였고, 장비가 조석에 의해 노출되지 않도록 평균해수면 아래 약 4m에 설치하였다. 이 연구에선 2009년 11월 3일부터 2010년 5월 4일까지 6개월(183일)간 10분 간격으로 관측된 전체 45개의 cell 중 결측률이 낮고 상대적으로 큰 유속 값을 보인 15번째 cell의 유속자료에 대한 분석결과만을 제시하였다. 분석에 앞서 관측유속자료의 이상값을 제거하고 결측으로 처리하였으며, 그 결과 결측률은 전체자료의 0.65%이었다.

Fig. 2(a)는 분석에 사용된 관측자료의 분산도(scatter diagram)이다. 관측된 해수유동은 크게 조류(tidal current)와 비조류(non-tidal current) 즉, 평균류(mean

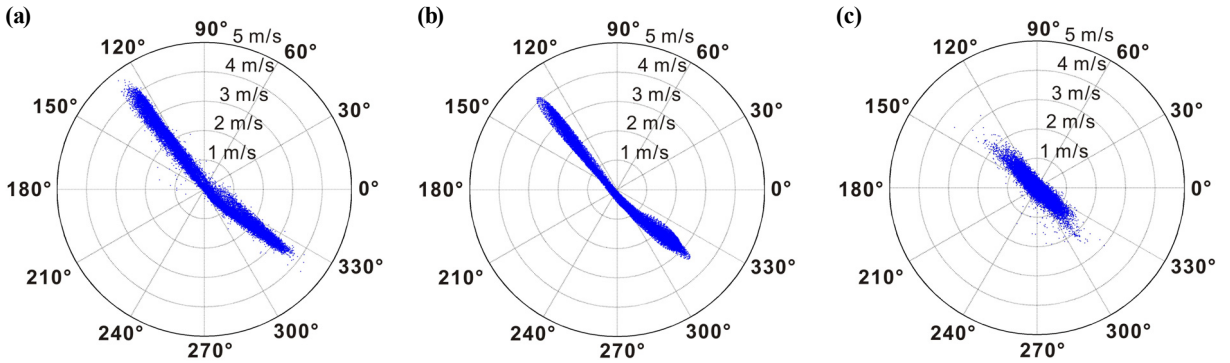


Fig. 2. Scatter diagrams of observed currents (a), tidal currents (b) and residual currents (c) at Uldolmok from November 3, 2009 to May 4, 2010

current)와 조류와 평균류가 제외된 잔차류(residual current) 성분으로 나눌 수 있다. 순수 조류성분은 관측 유속자료의 x방향의 유속성분(u)과 y방향의 유속성분(v)을 각각 조화분해한 후, 이들 조화분해 결과로부터 구하였다(Fig. 2(b)). 평균류는 관측 유속 u와 v성분을 각각 평균하여 구하였다. 불규칙한 변동성을 보이는 잔차류는 관측 유속에서 추산한 조류성분과 평균 유속을 빼서 구하였다(Fig. 2(c)). 최강 창·낙조류는 추산된 조류자료로부터 구하였다. 또한 관측지점이 협수로이므로 해수흐름은 거의 직선왕복운동에 가까우므로(Fig. 2(a)), 설명의 편의상 해수유동자료의 좌표축 변환을 통해 수로를 따르는 주 흐름방향을 북쪽으로 하는 유속자료로 변환시켰다. 이렇게 함으로써 벡터(vector)인 조류(u, v)를 스칼라(scala)인 조석처럼 취급할 수 있어서 조석조화분해와 같은 방법으로 조화분해하고 그 결과로부터 조류를 추산하였다. 반장축에 비하여 반단축 값이 작기 때문에 반장축 값과 흐름방향으로 좌표축 변환을 한 결과와 비교했을 때, 좌표축 변환 전후 조화분해 결과는 큰 차이가 없다(Table 1).

조류분석과 더불어 조석분석도 실시하였다. 한국해양연구원 울돌목(34.5722°N, 126.3072°E)에서 2003년 11월 1일부터 2004년 10월 31일까지 1년간 관측한 1시간 간격의 장기 해수면 관측자료를 제공받아 조석분석에 사용하였다(Fig. 1). 조석과 조류 조화분해에 IOS tidal package^[8,9]의 MATLAB 버전인 T-tide^[10]를 사용하였다.

나. 명랑해전 당일 조류·조석 추산

울돌목 부근의 해저 지형 변화가 거의 없고 과거와

현재의 조석 특성이 같다고 가정하면, 최근에 관측한 해수유동과 해수면 자료의 조화분해 결과로부터 지금으로부터 약 400여년 전 명랑해전 시기의 조류(조석)는 추산이 가능하다. 먼저 조류의 경우, 유속 u와 v성분을 각각 조화분해한 결과를 아래 식 (1-1)과 식 (1-2)을 사용하여 임의 시각(t)의 u와 v방향의 조류성분(U_u , U_v)을 구한 후 이들을 벡터 합성하면 조류를 추산할 수 있다.

$$U_u(t) = \overline{U}_u + \sum_{i=1}^N f_i(t)(a_u)_i \cdot \cos[\omega_i t + Local(V_i(t_0) + u_i(t)) - (\kappa_u)_i] \quad (1-1)$$

$$U_v(t) = \overline{U}_v + \sum_{i=1}^N f_i(t)(a_v)_i \cdot \cos[\omega_i t + Local(V_i(t_0) + u_i(t)) - (\kappa_v)_i] \quad (1-2)$$

여기서, \overline{U}_u 와 \overline{U}_v 는 평균유속, $(a_u)_i$ 와 $(a_v)_i$ 은 분조 i의 평균조류진폭, ω_i 은 분조 i의 각속도(°/hr), $(g_u)_i$ 와 $(g_v)_i$ 은 분조 i의 지각(phase-lag), f_i 과 u_i 는 각각 임의 시각(t)에 달 교점(node)의 경도 변화에 따라 18.61년의 주기로 변하는 태음분조(lunar constituents) i의 평균진폭과 지각을 보정하기 위한 교점 인자(nodal factor)와 태음분조 i의 교점각(nodal angle), V_i 는 그 지역 표준자오선 기준의 각 태음분조 i의 평형위상각(equilibrium phase angle)으로 임의 기준 시각(t_0)에 대한 (가상)천체의 이론적 위치이다. t는 t_0 로부터 경과된 시간이다.

식 (1-1)과 식 (1-2)의 오른쪽 두 번째 항에 있는 임의 해역의 임의 시각 t 에 태음 분조 i 에 대한 평형위상인수(equilibrium phase argument) $Local(V_i(t_0) + u_i(t))$ 은 아래와 같이 그리니치 자오선에 대한 임의 시각 t 의 태음 분조별 평형위상인수로 바꾸어 표현할 수 있다^[11].

$$Local(V_i(t_0) + u_i(t)) - \kappa_i = Green(V_i(t_0) + u_i(t)) - g_i \quad (2)$$

여기서, g_i 는 그 지역 표준시 기준으로 관측된 자료로부터 조화분해하여 산출한 분조별 지각이다. 실제 조류 추산(예측)에는 식 (2)을 식 (1-1, 1-2)에 대입한 아래 식이 사용된다.

$$U_u(t) = \overline{U}_u + \sum_{i=1}^N f_i(t)(a_u)_i \cdot \cos[\omega_i t + Green(V_i(t_0) + u_i(t)) - (g_u)_i] \quad (3-1)$$

$$U_v(t) = \overline{U}_v + \sum_{i=1}^N f_i(t)(a_v)_i \cdot \cos[\omega_i t + Green(V_i(t_0) + u_i(t)) - (g_v)_i] \quad (3-2)$$

‘2.나.’절의 ‘관측 및 분석’에서 언급했듯이, 해수가 수로를 따라 거의 직선왕복운동을 하므로 좌표축 이동을 통하여 단일 방향의 자료를 생산한 후 조화분해를 하고 그 결과로부터 식 (3-1)나 식 (3-2)를 사용하여 고조류를 추산할 수 있다. 한편, 스칼라인 고조석의 추산식은 위에서 언급한 고조류 u 성분 또는 v 성분 추산식과 같다. 단, 평균유속 대신 평균해수면(mean sea level) 또는 정의된 기준면(datum) 상의 평균수위(mean water level)를 사용한다.

T-tide^[10] 프로그램을 사용하여 명량해전 시기(1597년 음력 9월 16일)의 울돌목 조석·조류를 추산하였다. 1801년부터 2099년까지만 조화분해와 추산·예측이 가능한 Task-2000 package^[12]와 달리, 임의 시각의 천문변수값 계산에 그레고리력을 바탕으로 0000년 1월 1일 자정을 기준으로 누적된 연속일자를 사용하는 T-tide(즉, IOS tidal package)는 임진왜란 이전 시기에 대해서도 조석·조류의 추산이 가능하다^[13]. 조석·조류 추산에 관한 자세한 설명은 Schureman^[14], Foreman^[8,9], Byun and Cho^[15] 등을 참고하기 바란다.

3. 결과 및 토의

가. 울돌목 조석·조류 특성

울돌목에서 관측한 해면자료(1년)와 북서방향의 주수로 방향으로 좌표축이 변환된 해수유동자료(6개월)의 조화분해 결과로부터 울돌목의 조류와 조석 특성을 살펴보았다. Table 1에 조화분해한 조석과 조류에 대한 주요 8개 분조(M₂, S₂, N₂, K₂, K₁, O₁, M₄, MS₄)의 진폭과 지각에 대한 결과를 제시하였다. 먼저, 분석된 울돌목의 조석조화분해 결과를 바탕으로 비조화상수(nonharmonic constant)를 계산한 결과, 평균 대조차와 평균 소조차가 각각 3.02m와 1.46 m이고, 평균 소조차는 2.24m이었다.

조석 형태수(tide factor number) $F\left(\frac{a_{K_1} + a_{O_1}}{a_{M_2} + a_{S_2}}\right)$ 값은

0.32로 울돌목 해역의 조석 특성은 간단히 ‘반일주조가 우세한 혼합조 형태(mixed, mainly semidiurnal form)’로 설명할 수 있다.

Table 1. Harmonic analysis results of tidal current-velocities and tides observed at Uldolmok

Constituents	Tidal current ellipse				Tidal-current velocity		Tides		
	$a_{M_{xx}}$ (m/s)	$b_{M_{yy}}$ (m/s)	Φ (°)	ψ (°)	a_v (m/s)	g_v (°)	a (m)	g (°)	
Semidiurnal	M ₂	2.58	-0.04	133	253	2.62	253	1.12	352
	S ₂	0.69	-0.02	132	329	0.70	328	0.39	30
	N ₂	0.41	-0.01	133	219	0.42	219	0.24	335
	K ₂	0.18	-0.01	132	324	0.18	323	0.11	26
Diurnal	K ₁	0.25	-0.02	132	148	0.25	147	0.28	232
	O ₁	0.21	-0.02	130	90	0.21	88	0.21	200
Fourth-diurnal	M ₄	0.34	0.13	131	206	0.34	208	0.05	150
	MS ₄	0.31	0.08	128	265	0.31	267	0.04	233

Note that $a_{M_{xx}}$, $b_{M_{yy}}$, Φ and ψ indicate the semi-major axis, the semi-minor axis, inclination and phase of the tidal current constituents, respectively. (a_v, g_v) and (a, g) are amplitudes and phase-lags of the tidal current-velocity and tide constituents, respectively. ψ , g_v and g are referenced to 135°E.

조석에 이어, 육지(진도)로부터 약 80m 떨어진 울돌목 조류의 특성을 살펴보았다. 대·소조기의 조류를 만드는 M₂분조와 S₂분조의 진폭(a_{vM_2} , a_{vS_2})이 각각 2.62m/s와 0.70m/s이며, 대조기에 평균 최강유속($a_{vM_2} + a_{vS_2}$)은 약 3.3m/s이고, 소조기에 평균 최강유속($a_{vM_2} - a_{vS_2}$)은 약 1.9m/s이다. 이 처럼 소조기에도 이 지역의 조류가 빠른 이유는 M₂분조의 진폭에 대한 S₂분조의 진폭 비가 27%로 S₂분조의 진폭이 상대적으로 작기 때문이다. 이러한 반일주조 성분(M₂와 S₂)의 상대적 크기 특성과 더불어 이 해역은 천해분조(M₄, MS₄)의 조류 진폭이 일주조(K₁, O₁)의 진폭 보다 약 0.1m/s 정도 더 크다. 천해분조에 의한 조류의 비대칭 정도를 M₂분조에 대한 M₄분조의 진폭 비(a_{vM_4}/a_{vM_2})와 (M₂+S₂)와 (M₄+MS₄)의 진폭 비[($a_{vM_4} + a_{vMS_4}$)/($a_{vM_2} + a_{vS_2}$)]로부터 간단히 살펴보았다^[16]. 이들에 대한 진폭 비는 각각 13%와 19.6%로 천해분조가 조류 비대칭에 기여를 하지만, 이들 값은 Byun and Cho^[15]에 의해 보고된 함평만 내에서의 결과(각각 28%와 35%)보다 작다. 또한 조류 M₂분조에 대한 M₄분조의 상대 지각 차이($2g_{vM_2} - g_{vM_4}$)는 293°로 창조류의 최강 유속이 낙조류의 최강 유속보다 강한 창조우세(flood dominance) 해역임을 알 수 있다. 조류 M₂분조의 지각(253°)과 조석 M₂분조의 지각(352°) 차이는 99°로, 조류특성은 고조와 저조 때 유속이 가장 약한 정상파(standing wave) 형태를 보이지만 천해분조에 의한 조류 비대칭에 의해 최강 창·낙조류는 고조와 저조 중간에서 일어나는 않는다.

명랑해협을 따라 최강 창조류는 북서방향(131°)으로 4.1m/s이고 최강 낙조류는 남동쪽(316°)으로 3.4m/s이다(Fig. 2(b)). 6개월 해수운동자료(u, v)로부터 구한 평균류의 u 유속성분은 0.062m/s이고, v 유속성분은 0.347m/s이다. 월별로 계산한 평균류도 두 유속성분 모두 양(+)의 값을 갖고 u 유속성분에 비하여 v 유속성분이 강하여 전 관측기간 동안 북북동 방향의 평균류를 보여준다(Table 2). 잔차류는 최대 3.5m/s 이상이며, 평균 잔차류 세기는 0.47m/s이고 표준편차는 0.36 m/s로 다른 지역에 비하여 상대적으로 비조류 성분도 크다. 관측기간 동안 최고 유속은 4.7m/s로 강 등^[17]에 의해 보고된 바닥으로부터 20m층에서의 최고 유속(5.35m/s)보다 0.65m/s 정도 작다.

Table 2. Monthly and 6-month mean velocities calculated from 6-month currents observed at Uldolmok

Period	u-vel. (m/s)	v-vel. (m/s)	speed (m/s)	direction (deg.)
11/2009	0.082	0.329	0.339	76.1
12/2009	0.047	0.351	0.354	82.4
1/2010	0.028	0.372	0.373	85.8
2/2010	0.024	0.398	0.399	86.6
3/2010	0.096	0.304	0.319	72.5
4/2010	0.111	0.308	0.328	70.2
Total (6 month)	0.062	0.347	0.353	79.8

나. 명랑해전 시기 울돌목 조류·조석 추산

조류와 조석의 조화분해 결과로부터 명랑해전이 일어난 당일(1597년 양력 10월 25일)을 포함한 10월 한 달 동안 조류와 조석을 추산하였다(Fig. 3). 명랑해전이 일어난 음력 일(9월 16일)로부터 예상할 수 있듯이 해전 당일은 대조기로 6시 32분경 정조 후 북서방향으로 흐르는 창조류(밀물)가 시작되어, 3시간 40분이 지난 10시 12분경에 최강 조류속(4.1m/s)을 보인 후 유속이 점차 느려져 12시 18분경에 남동방향으로 전류하기 시작한다. 즉, 해수흐름은 남동방향으로 바뀌어 낙조류(썰물)가 시작되고 14시 42분에 최강 유속(2.8m/s)을 보인다. 낙조류는 정조(12:18) 후 약 1시간 40분이 지난 후 부터 약 2시간 동안 1.6m/s의 일정한 최강 유속을 보여 낙조류속의 시간에 따른 변화는 끝이 평평한 포물선 모양이다. 창조류와 낙조류의 지속시간은 각각 5시간 46분과 6시간 42분으로 창조류의 지속시간이 1시간가량 더 짧다.

한편 조석의 경우, 5시 58분경에 저조(간조)이고, 12시 17분경에 고조(만조), 다시 18시 28분에 저조(간조)를 보인다. 저조(05:58)와 정조(06:30), 고조(12:17)와 정조(12:21), 그리고 저조(18:28)와 정조(18:56)의 시각 차이는 4~32분이므로 고조나 저조 부근에 유속이 가장 느린 정상파(standing wave) 형태의 흐름을 보인다. 참고로 ‘3가’절에서 산출한 6개월 동안의 평균류($u = 0.062m/s$, $v = 0.347m/s$)를 고려하였을 때, 창조류의 지속시간은 2분 길어지고 낙조류의 지속시간은 1분 짧아져 평균류에 의해 생기는 지속시간 차이는 크지 않을 것으로 생각된다.

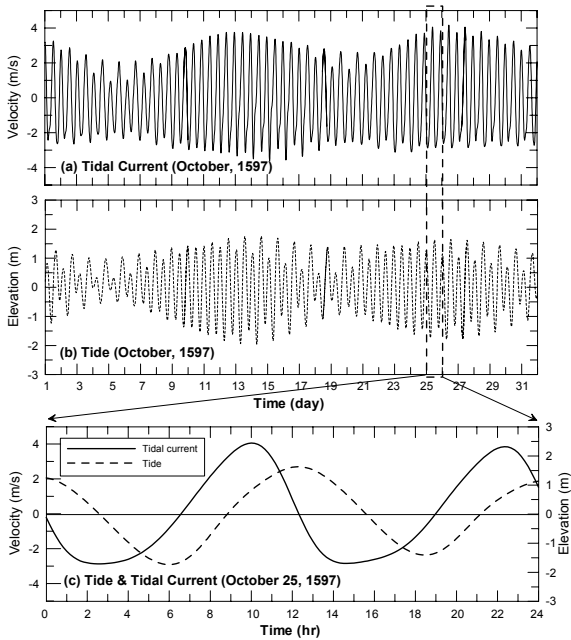


Fig. 3. Uldolmok tidal currents (a) and tides (b) hindcasted in October 1597 and on the period of Myeongryang Naval Battle (c)

이와 같이 분석된 명량해전 당일의 조류정보를 다른 방법으로 추산된 기존 연구결과와 비교하였다 (Table 3). 최^[18]는 조^[3]가 제시한 해군대학에서 1965년에 연구한 명량해전 당일의 창·낙조류 흐름방향에 대한 오류를 발견하였으며, 수로국(현 국립해양조사원)에서 발간한 6년간 조석표(1965년, 1969년, 1973년, 1977년, 1981년, 1985년)에 수록된 음력 9월 16일 명량수도 전류시각을 평균하여 전류시각, 최강 창·낙조류 시각과 그 세기를 추산하였다. 또한 명량해전 일과 음·양력이 같은 1988년의 조석표에 수록된 조류정보도 제시하여 6년 평균값과 큰 차이가 없음을 보여주었다. 전류시각은 이 연구에서 추산된 결과에 비하여 45~64분 정도 늦지만, 최강 창조류 시각은 2~10분내에서 아주 비슷하다. 그러나 최^[18]의 결과에서는 낙조류의 모습이 끝이 평평한 포물선 모양을 하지 않고 오목한 포물선 모양을 한다는 점에서 크게 다르다. 또한 최^[18]의 연구결과에서는 최강 창조류(3.8~4.0m/s)가 최강 낙조류(2.7m/s)보다 강하지 않고 반대로 최강 낙조류가 약 1m/s 더 빠르게 제시되었다. 이 또한 앞에서 관측결과로부터 설명한 이 해역의 조류특성과 일치하지 않는다.

명량해전 당일의 전류 시각 추정에 대한 보다 과학적인 접근은 박 등^[5]에 의해 시도되었다. 이들은 20(21)메톤 주기(metonic cycle)가 경과한 1977년 10월 27일의 조류 예보값(전류시각)을 바탕으로 3가지 계산법 즉, 메톤 주기(metonic cycle)법, 달과 태양의 위치 계산법 그리고 달의 남중 시각 계산법을 사용하여 명량해전 당일의 전류시각을 추산하였다. 이 또한 조화분해 방법으로 추산한 전류시각에 대한 결과와 비교하였을 때 20~40분 차이를 보인다(Table 3). 최^[18]와 박 등^[5]이 사용한 조류 예보값은 25시간 이내의 조류 관측 분석결과를 바탕으로 추산되었다는 점에서 이 연구결과보다 상대적으로 정확도가 떨어진다. 그 결과 이들 방법으로 계산된 창조류와 낙조류의 지속시간은 각각 6시간 10~12분과 6시간 15~22분으로 10분 이내의 차이를 보여, 이 연구에서 보여 준 창조류 지속시간이 낙조류 지속시간보다 1시간가량 더 짧고 창조류가 더 강한 울돌목의 조류 비대칭 현상을 잘 반영하지 못하고 있다. 제^[6]가 제시한 전류시각이 이 연구결과와 가장 가깝지만, 최강 창·낙조류 시각 특히, 최강 창조류 시각에서 1시간 20분 이상 큰 차이를 보인다.

다. 명량해전 전개 고찰

앞장에서 추산한 명량해전 당시 울돌목의 해양물리 환경정보(조류, 조석)를 바탕으로 난중일기^[2]에 기록된 명량해전 당일의 해전전개 양상을 재구성해 보았다.

1597년 9월 16일(음력) 이른 아침, 별망군(別望軍)에 의해 수없이 많은 일본 군선이 명량해협을 통과해 우수영으로 진격해 온다는 보고가 올라왔다. 이날의 조류는 오전 6시 30분을 전후해서 전류가 되어, 일본 함대가 해협을 통과해 우수영 쪽으로 진격하기 용이한 북서 방향으로 흐르는 창조류가 된다. 이 때문에 출전 준비를 마친 일본 함대는 오전 6시 30분경에 어란진(於蘭津)을 출발한 것으로 추정된다.

이 사실이 탐망군에 의해 보고되자, 이순신은 곧 부하 장수들을 소집하여 작전 지시를 내리는 등 결전을 준비하였다.¹⁾ 이순신 함대는 오전 10시경에 전투 준비를 마치고 우수영 앞 바다로 출전하였다. 이때 명량해협을 통과한 일본 함대 133척이 우수영 쪽으로 방

1) 李舜臣, 『亂中日記』 丁酉年(1597) 9월 16일
晴 早朝 望軍進告內 賊船無慮二百餘隻 鳴梁由入 直向結陣
處云 招集諸將 申明約束 學碇出海則 賊船一百三十三隻 回擁我船

Table 3. Slack times, flood and ebb maximum velocities(V , m/s) and times of low and high waters (ζ , m) estimated at Uldolmok on the day of Myungryang Naval Battle(25 October, 1597)

		This study		Choi (1991) (Table 3)		Park et al. (2002)	Je (2008)	
		Time	$V(\zeta)$	Time	$V(\zeta)$	Time	Time	$V(\zeta)$
Tidal currents (m/s)	Slack BF	06:32	-0.02	07:15	-	06:50 (06:42~06:54)	06:38	-
	Slack BE	12:18	0.03	13:25	-	13:02 (12:58~13:06)	12:57	-
	Slack BF	19:00	-0.01	19:47	-	19:17 (19:13~19:21)	19:04	-
	Flood Max.	10:12	4.1	10:08	4.2	-	08:48	5.03
	Ebb Max.	14:42	-2.8	16:50	-5.1	-	15:03	-4.36
	Flood Max.	22:21	3.8	22:28	4.1	-	-	-
Tides (m)	Low water	05:58	-1.73	-	-	-	-	-
	High water	12:17	1.63	-	-	-	-	-
	Low water	18:28	-1.40	-	-	-	-	-

Note that Slack BF and Slack BE indicate slack before flood current and slack before ebb current, respectively. Values of low and high waters are from mean sea level.

향을 틀어 막 출전한 이순신 함대를 에워싸면서 해전이 시작되는데, 그 시각은 오전 11시경으로 추정된다^[18,19].

이순신의 난중일기 기록을 보면 이날 해전의 전개 양상을 세 단계로 나눌 수 있다. 첫 번째 단계는 이순신의 대장선(上船)과 일본 함대의 선봉이 맞선 상황에서, 이순신의 전선이 각종 총통을 맹렬하게 발사하면서 많은 군관들이 화살을 빗발치도록 쏘자 일본 군선들이 저항하지 못하고 나왔다 물러갔다 하는 상황이었다. 그러나 휘하의 전선들은 이미 1~2마장)이나 뒤로 물러나 있었다. 이것은 2개월 전의 칠천량해전 패전 경험과 압도적으로 많은 일본 함대의 기세에 눌려 전의를 상실했기 때문이라 여겨진다.

두 번째 단계는 대장선이 일본 군선들에 의해 겹겹이 포위된 채, 홀로 접전을 벌이는 상황이었다. 대장선의 군사들도 열굴빛이 질릴 정도로 긴장하였으나, 이순신은 “적선이 아무리 많아도(1천척이 온다 해도)

우리 배를 침범하지 못할 것이니, 최선을 다해 적을 쏘라”고 지시하며 한동안 버티는 상황이 이어졌다. 뒤로 처진 휘하의 전선들을 불러내기 위해 후퇴하지도 못할 형편이었기 때문에, 그는 호각을 불고 깃발 신호를 올려 중군을 불렀다. 그의 호출에 중군장 미조항첨사(彌助項僉使) 김응함(金應諫)과 거계현령(巨濟縣令) 안위(安衛)의 전선 두 척이 전진해 왔다. 이들은 곧장 일본 군선과 접전을 벌여 안위의 배가 포위되는 상황도 있었지만 반격을 가해 적선 3척을 격침하기 직전까지 몰아갔다. 이때 녹도만호(鹿島萬戶) 송여중(宋汝悤)과 평산포대장(平山浦代將) 정응두(丁應斗)의 배가 잇달아 와서 협력하여 접전 중이던 적을 전부 쏘아 죽였다. 그리고 항복해 온 왜인 준사(俊沙)가 안골진에 있던 적장(敵將) 마다시(馬多時)를 지목하자, 그 시체를 건져 참수(斬首)하여 적의 기세를 꺾었다.

세 번째 단계는 이순신 함대의 모든 전선이 전진하여 이번에는 일본 함대를 공격해 들어가 조선 수군의 특기인 총통과 화살 공격을 퍼부었던 상황이다. 이와 같은 공격을 통해 일본 군선 30여 척을 쳐부수자 일

2) 한 마장馬場은 1리리와 같은 거리, 즉 400m이다.

본 함대는 후퇴한 후 다시는 가까이 오지 못했다^{[2],3)} 그런데, 그의 일기에는 없지만, 이 단계에서 조류가 썰물로 바뀌어 이순신 함대의 공세에 유리한 방향으로 흘렀고^{[20],4)} 이 조류를 타고 공격을 가해 30여척을 격파했던 것이다. 또한 이때 일본에서 유명한 해적 출신 장수인 구루시마 미치후사(來島通總)를 사살하는 전과를 거두기도 하였다^{[21],5)}

그렇다면 이와 같이 일본 함대를 공격하여 해전을 승리로 이끈 전투 시각은 바뀐 낙조류의 흐름이 1~2 m/s 이상으로 강해지는 오후 1시부터 2시 사이였을 것으로 추정된다. 전투를 마친 오후 2시 이후 양측은 서로 물러나 대치하였다. 이순신은 이런 상황을 ‘적선들은 후퇴하여서 다시는 가까이 오지 못했다’라고 기록하였다. 결국 명량해전은 오전 11시부터 오후 2시경까지 앞에 언급한 바와 같이 몇 단계를 거쳐 진행된 해전으로 13척의 조선 수군이 10배의 일본 함대를 맞아 33척을 격파하며, 일본의 서해 진출을 차단하는 전략적으로 중요한 승리를 거둔 것으로 요약할 수 있다.

한편, 일본 함대와 서로 대치하다가 이순신 함대는 이후 전열을 재정비하면서 그대로 머무르려 했으나 물이 빠져(오후 6시 28분 저조) 배를 정박시키기가 어려워지자 건너편 포구로 진을 옮겼다가 오후 7시 이후 다시 북동류로 바뀐 조류(밀물)를 따라 달빛(을)을 타고 당사도(전남 신안군 암태면)까지 후퇴하였다. 이와 같은 후퇴는 그가 일기 말미에 ‘차실천행(此實天幸)’이라고 기록했던 바와 같이 10배의 일본 함대를 상대로 힘겨운 승리를 거둔 후 신속하게 이루어진 것이었다. 다시 말해 이순신 함대는 명량해전에서 보유한 전투력을 모두 쏟아 부어 더 이상 해전이 불가능했던 것으로 볼 수 있다. 이 때문에 전력 보강과 군수

보급을 위해 작전상 후퇴를 단행한 것으로 추정된다.

4. 결론

이 연구는 명량해전(1597년 음력 9월 16일)의 전개 양상을 이해하기 위한 다학제간 연구의 시도로, 먼저 조화분해법을 사용하여 울돌목의 조석·조류 특성을 파악하고 당시의 조류와 조석을 재현하였다. 전라남도 진도 울돌목 해역에서 최초로 장기 관측된 조류와 더불어 조석의 조화분해결과, 이 해역은 조류비대칭에 기여하는 천해분조의 발달로 창조류가 낙조류보다 강한 창조우세 해역이며, 조류 M₂와 S₂분조의 진폭차가 작아 소조기에도 평균 최강유속은 약 2m/s로 빠른 특성을 보인다. 조석은 반일주조가 우세한 혼합조 형태를 보이며, 조류는 고저와 저조 때 유속이 가장 약한 정상파(standing wave) 형태의 흐름특성을 보이지만 천해분조에 의해 최강 창·낙조류는 고조와 저조 가운데에서 일어나지 않는다.

조화분해결과로부터 산출한 명량해전 당일의 전류 시각과 최강 창·낙조류 시각 및 그 세기를 이전 연구자들이 조석표 등 다른 방법으로 추정된 결과와 비교한 결과, 창·낙조류 지속시간 및 최강 창·낙조류 발생 시각 등에 있어서 큰 차이를 보였다. 그 이유는 기존 연구에선 조류 비대칭 현상을 잘 재현하지 못했기 때문이다.

이러한 해전 당일의 물리해양환경에 대한 이해를 바탕으로 난중일기에 기록된 명량해전의 전개 양상을 재구성해 보았다. 일본 수군은 오전 6시 30분경 창조류를 이용해 어란진을 출발하여 우수영 쪽으로 진격했으며, 11시쯤 본격적이 해전이 시작되어 정오를 전후로 창조류에서 낙조류로 바뀌면서 해수의 흐름이 조선 수군에게 유리해졌다는 것을 알 수 있다. 결국 일본 수군을 공격하여 해전을 승리로 이끈 시각은 바뀐 낙조류의 흐름이 1~2m/s 이상으로 강해지는 오후 1~2시 사이로 추정된다.

앞으로 울돌목을 포함한 진도 부근에 대한 조석예측모듈이 고려된 상세 수치모형을 구축하여 명량해전 당시의 조류 흐름장을 재현할 계획이다. 끝으로, 우리나라 연안에서 벌어진 역사적 해전의 전개 양상을 보다 정확하게 이해하기 위해선 당시의 물리해양환경 등에 대한 정보는 필수이므로 역사학과 물리해양학 등이 결합한 다학제간에 활발한 연구가 요구된다.

3) 이순신, 『난중일기』 앞과 같음. ; 정유년 일기는 두 가지 본이 있는데 명량해전 당일 일기는 두 본의 내용이 약간씩 차이가 있는데 이를 종합하고 비교 검토하였다.
 4) 『李忠武公全書』 권 11, 附錄3 李恒福 撰 『忠愍祠記』 ‘時早潮方退 港口湍悍 巨濟縣令安衛 順潮而下 風便迅駛 船行如箭 直衝陣前’ ; 柳成龍, 『懲愆錄』 卷二 ‘船載大砲 乘潮至順流攻之 賊敗走 軍聲大振’ 등은 당시 潮流의 변화를 언급한 기록들이다.
 5) 佐藤和夫, 『海と水軍の日本史』 下卷 原書房, 1995, 305쪽에 의하면 이날 來島通總이 戰死한 것은 확실하다. 한편 『亂中日記』의 馬多時는 來島와 혼동되지만, 部將급 將帥 중의 한 사람으로 추정된다.
 6) Smithsonian insolation formula^[22]를 사용하여 명량해전 당일(1597년 10월 25일)의 울돌목의 일출일몰 시각을 추산한 결과 각각 오전 7시 8분과 오후 6시 1분이었다.

후 기

이 연구는 국토해양부 시험연구비(일반 2000-2033-307-210-13) 지원을 받아 국립해양조사원 해양과학조사연구실에서 수행하였습니다.

Reference

- [1] Strauss, B., *The Battle of Salamis : The Naval Encounter That Saved Greece -- and Western Civilization*, Simon & Schuster, New York, p. 282, 2004.
- [2] 이순신, 난중일기, 丁酉年 9월 16일, 1597.
- [3] 조성도, “명량해전 연구”, 군사, Vol. 4, pp. 36~50, 1982.
- [4] 이민웅, “명량해전의 경과와 주요 쟁점 고찰”, 군사, Vol. 47, pp. 181~208, 2002.
- [5] 박혜일, 최희동, 배영덕, 김명섭, “이순신의 명량해전”, 정신문화연구, pp. 115~153, 2002.
- [6] 제장명, 정유재란기 명량해전의 주요쟁점과 승리요인 재검토, 동방학지, Vol. 144, pp. 207~253, 2008.
- [7] Pugh, D. T., *Tides, Surges and Mean Sea Level*, John Wiley, New York, p. 472, 1987.
- [8] Foreman, M. G. G., *Manual for Tidal Heights Analysis and Prediction*. Pacific Marine Science Report 77-10, Institute of Ocean Sciences, Patricia Bay, Sidney, B.C., p. 58, 1977.(2004 revision)
- [9] Foreman, M. G. G., *Manual for Tidal Currents Analysis and Prediction*. Pacific Marine Science Report 78-6, Institute of Ocean Sciences, Patricia Bay, Sidney, B.C., p. 57, 1978. (2004 revision)
- [10] Pawlowicz, R., Beardsley, B. and Lentz, S., “Classical Tidal Harmonic Analysis Including Error Estimates in MATLAB using T_TIDE”, *Computers and Geosciences*, Vol. 28, pp. 929~937, 2002.
- [11] 변도성, “우리나라 조석지각 기준 표기에 대한 고찰”, *한국해양학회지*, Vol. 12, pp. 234~238, 2007.
- [12] Bell, C., J. M. Vassie and Woodworth P. L., *POL/PSMSL Tidal Analysis Software Kit 2000 (TASK-2000)*. Permanent Service for Mean Sea Level, CCMS Proudman Oceanographic Laboratory, Bidston Observatory, Birkenhead, UK, p. 20, 1999.
- [13] 변도성, “조화분해법을 이용한 19세기 이전 고조석 및 고조류 추산 고찰”, *한국해양학회지*, Vol. 15, pp. 203~206, 2010.
- [14] Schureman, P., *Manual of Harmonic Analysis and Prediction of Tides*, United States Government Printing Office, Washington, p. 317, 1976.
- [15] Byun, D.-S. and C.-W. Cho, “Exploring Conventional Tidal Prediction Schemes for Improved Coastal Numerical Forecast Modeling”, *Ocean Modelling*, Vol. 28, pp. 193~202, 2009.
- [16] Aubrey, D. G. and P. E. Speer, “A Study of Non-linear Tidal Propagation in Shallow Inlet/Estuarine Systems Part I : Observations”, *Estuarine Coastal Shelf Science*, Vol. 21, pp. 185~205, 1985.
- [17] 강석구, 염기대, 이광수, 박진순, “울돌목 조류발전의 연안물리적 관점에서의 고찰”, *한국신재생에너지학회지*, Vol. 1, pp. 73~78, 2005.
- [18] 최두환, 명량해전과 강강수월래, 구해 조성도교수 회갑기념 충무공이순신연구논총, pp. 600~601, 1991.
- [19] 김일상, “명량해전의 전술적 고찰”, 임란 수군활동 연구논총, pp. 207~209, 1993.
- [20] 이항복, 李忠武公全書 권11, 附錄3, 忠愍祠記, 1601.
- [21] 佐藤和夫, 海と水軍の日本史, 下卷(東京; 原書房), p. 305, 1995.
- [22] Byun, D.-S. and Pinardi, N., “Comparison of Marine Isolation Estimating Methods in the Adriatic Sea”, *Ocean Science Journal*, Vol. 42, pp. 211~222, 2007.