

제주도 주변 해역의 조석과 조류 The Characteristics of Tide and Tidal Current around the Jeje-do

정우진¹, 이호정¹, 방익찬², 이종섭³
JEONG Uujin¹, LEE Hojeong¹, Pang Ig-Chan² and Lee Jong-Sup³

1. 서 론

제주도 부근 해역은 한국남해, 황해, 동중국해와 접하는 수역으로 대마난류가 넓은 해역에서 제주도를 회유하며 조류가 남동에서 북서방향으로 흐르므로 제주도 연안의 해수유동의 변화가 크게 나타난다. 제주해협내의 항류는 서쪽에서 유입하여 동~북동쪽으로 흐른다(김상현, 노홍길 1997). 이 해역에는 대마난류가 남쪽에서 제주도를 시계방향으로 돌아 제주도 북부해역을 거쳐 동쪽으로 진행한다

김복기·장대수(1984)는 남해안의 해류와 조류의 계절 변화를 알기 위하여 1일 관측을 수행하였고, 김상현·노홍길(1997)은 제주해협과 같은 국지적인 해역에서 단기간 조석과 조류관측을 수행한 바 있다.

장기간에 걸친 해수유동관측은 TRBM(Trawl Resistant Bottom Mounted)을 이용하여 Lee et al.(1999)가 남해 중부(34.0N, 127.7E)에서 79일 동안 관측을 하였고, 강재훈(2003)은 제주해협에서 10개월 동안 관측하였다. Teague et al.(2001)은 1999년과 2000년의 10개월 동안 대한해협 13개 지점에서 관측하였다. 하지만 조류 관측은 조석과 달리 해상에 장비를 계류해야 하는 관측의 어려움으로 인해 아직까지도 상대적으로 관측성과가 매우 부족하다.

따라서 본 연구에서 30일 조류자료의 통계적 분석을 통해 제주연안의 조석 및 조류의 특성을 밝히고자 조류의 형태수와 M2 분조의 진폭과 위상의 공

간적 분포를 살펴봄으로써 조류의 특성을 파악하고 나아가 수치모델의 검증자료로 활용하는데 있다.

2. 연구자료와 분석방법

2.1 연구지역

제주도 주변 해역은 수심 80~130m의 해역으로 전체적으로 북서에서 남동방향으로 수심이 깊어지는 형태이며, 서쪽해역에는 북동에서 남서 방향으로 뺨은 리플형(ripple type)의 지형이 있고, 남쪽 해역은 평탄하며 남동쪽으로 갈수록 100m에서 130m까지 서서히 깊어지는 전형적인 대륙붕 형태를 나타내고 있다. 제주도 북쪽에서는 북에서 동으로 이어지는 수심100m이상의 넓은 골이 형성되어 있다 이 골을 따라서 조석파가 진행하여 제주도를 중심으로 남동에서 북서 방향으로 조석파가 진행한다(Fig. 1). 따라서 제주도 북동과 남서 연안역에서 강한 조류가 나타났다.

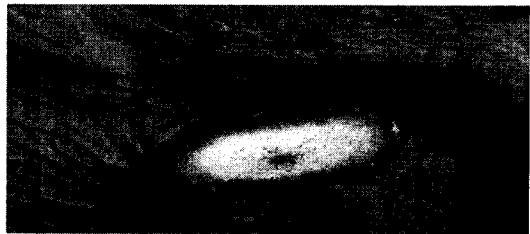


Fig. 1. Topographical map of the nearby Jeju-do

2.2 자료 및 분석방법

이 연구에서 사용한 자료는 국립해양조사원에서

¹ 발표자: 국립해양조사원

² 제주대학교 해양과학대학 해양과학부 교수

³ 부경대학교 공과대학 건설공학부 토목공학과 교수

관측한 자료를 이용하였다. 제주도 부근 4개 지점(F,G,H,J)에서 TRBM 1개월 관측을 실시하였고, 제주도해안을 따라 17개 지점에서 표층 조류관측을 실시하였다(Fig. 2). 조석자료는 1개월 관측된 TRBM 4개 지점과 제주도에 있는 4개 검조소 2007년 1년 자료를 이용하였다. 조석자료를 조화분해하여 4대분조의 반조차와 지각을 계산하였다.

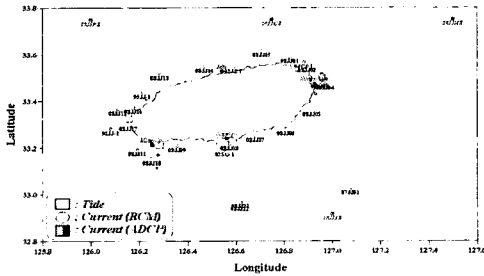


Fig. 2. Tide and Tidal current observation points

주성분 분석인 PCA(Principal Component Analysis) 방법을 이용하여 조류의 주축방향을 결정하였다. 조류 관측자료의 동방성분(U)와 북방성분(V)으로부터 분산이 제일 큰 방향성분 U_p 와 분산이 제일 적은 방향 성분 V_p 을 구한다. 이 분산을 이용하여 U_p 의 주축방향을 결정하면 타원 정도를 알 수 있다.

조류 조화분해는 조류의 변화가 N개 분조의 독립된 합성으로 가정하여 각 분조의 크기와 위상을 구하는 것이다(장선덕 등 1999; 변도성 2007). 조류에 분석에 있어 최소자승법에 의한 조화분해 방법을 사용되었다. 조화분해는 Foreman(1977, 1978)의 방법으로 MATLAB 프로그램(Pawlowic et al. 2002)을 사용하였다(유학렬 등 2006). 해수유동의 평균운동에너지(Mean Kinetic Energy)에 대한 조류의 상대적인 비율은 다음식으로 얻어진다(Teague et al., 2001).

$$R_{tmke}(z) = \frac{\overline{u_p^2(z)} + \overline{v_p^2(z)}}{\overline{u_0^2(z)} + \overline{v_0^2(z)}}$$

여기서 u_0 와 v_0 는 관측치이며 위줄 값은 시간 평균이다. u_p 와 v_p 는 조화분해된 조화상수를 모두 이용한 추산값이다. 유사하게 변동운동에너지(Mean Eddy Kinetic Energy)에 대한 조류에너지의 비율은 다음식으로 얻어진다(Teague et al., 2001).

$$R_{teke}(z) = \frac{\overline{u_p^2(z)} + \overline{v_p^2(z)}}{\overline{u'^2(z)} + \overline{v'^2(z)}}$$

u' 과 v' 은 평균값으로부터의 편차이다.

TRBM 자료는 층별로 각각의 계산을 수행하여

수심에 따른 각 특성치의 변화를 보았다.

3. 결 과

3.1 조석 분조의 공간 분포

4대분조의 합인 평균해수면 높이(MSL)는 최소 성산포128cm에서 최대 서귀포 145cm 범위를 보였으나 공간적으로 뚜렷한 경향이 없었다. 제주도에 있는 검조소의 MSL 분포는 서귀포, 모슬포가 제주도보다 컸으며, 성산포는 특히 작았다. TRBM 관측자료는 1개월 자료이므로 다소 오차가 있으나 검조소들과 비슷한 크기를 보였다. 즉 제주도 검조소의 조석은 수심에 따른 영향을 받지 않았다(Fig. 3).

일주조와 반일주조의 비율은 0.4정도를 보였다. 최소는 H지점의 0.34이고 최대는 0.42이다. 즉 공간적인 변화가 없는 고른 분포를 보였다. M2분조의 반조차는 63~74cm의 범위로 보이며 위상은 제주도 남동해역부터 북서해역으로 진행되어 J관측점이 268도 F지점이 334도를 보였다. S2, K1, O1의 위상 역시 유사한 공간분포를 보이는데 이는 조석파의 진행이 제주도 부근해역에서 북서방향으로 진행함을 잘 보여준다. 조석 주요 분조의 크기는 이상호(1988, 1986)의 연구 결과와 같이 제주도 남부가 북부보다 크게 나타났으나 차이는 크지 않았다.

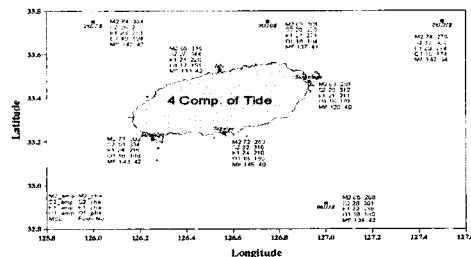


Fig. 3. Harmonic constants of Tide

3.2 해수유동 및 조류 분포

PCA 분석결과 조석파의 진행방향인 북서방향의 표층해수 유동이 우세하게 나타났다. 특히 제주도 남서와 북동 연안에서 유속 변동량의 표준편차로 60cm/sec의 강한 유속이 나타났다. 반대로 제주도 남동과 북서 해안에서 20cm/sec 이하의 유속을 보인다(Fig. 4). 항류는 제주도 서쪽 해안에서 북서방향의 29cm/sec로 가장 강한 항류가 나타났다. 또한 제주도 북서 해안을 따라 10cm/sec 이상의 항류가 지속되어 F,G 지점까지

유지되었는데 이는 대마난류가 제주도 북서부로 우회하여 제주해협을 서에서 동으로 통과함을 보여준다(Fig. 5).

조류에 의한 변동량 대비 해수유동의 변동량의 비율은 30-90%의 큰 변화를 보였으며 조류가 강한 제주도 남서와 북동해역에서 80%이상 크게 나타났으며 F,H 지점에서 40%이하의 작게 나타났다(Fig. 6).

표층조류의 주요 4대분조의 장축방향을 조석과가 진행하는 방향으로 설정하고 각각의 지점에서 위상을 표현하였다. 4대분조의 회전 방향은 시계 방향으로 나타났으며 제주도 남서와 북동 해안에서 왕복성 조류가 강하게 나타났다.

M2분조의 반조차는 최대 50cm/sec로 제주도 남서와 북동해안에서 나타난다. 유향은 제주도 해안을 따라 서-북서향하며 위상은 제주도 남동연안 J지점에서 260도 제주도 북서 연안 F에서 315도를 보인다. 공간적으로 변화가 뚜렷하게 나타나며 남동에서 북서쪽으로 전파된다(Fig. 7).

S2 분조의 반조차는 최대 30cm/sec이며, 위상은 300도~15도 범위로 전파방향과 반조차 분포는 M2와 같다(Fig. 8). K1 분조의 반조차는 최대 20cm/sec이며 반조차 분포는 M2와 같으며, 위상은 90도~218도 범위로 전파방향은 동에서 서쪽으로 전파된다. O1 분조의 반조차는 K1과 같은 최대 20cm/sec이며 반조차 분포는 제주도서부와 북부해역에서 강하게 나타났으며, 위상은 90도~184도 범위로 전파방향은 동에서 서쪽으로 전파된다.

3.3 수심별 분조의 변화

TRBM 관측한 4개 지점에서의 수심별 M2분조의 조화상수 변화에서 모든 지점에서 수심에 따라 방향과 위상이 일정하였으나 G,H,J지점에서 유속은 저층에서 다소 감소하나 일정한 반면 F지점에서는 표층이 31cm/sec, 중층에서 45cm/sec로 증가하나 저층에서 다시 감소하여 35cm/sec로 나타났다(Fig. 9).

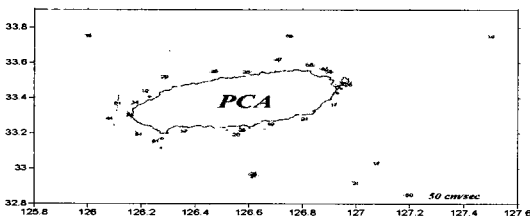


Fig. 4. Main axis and standard deviation from principal component analysis(PCA).

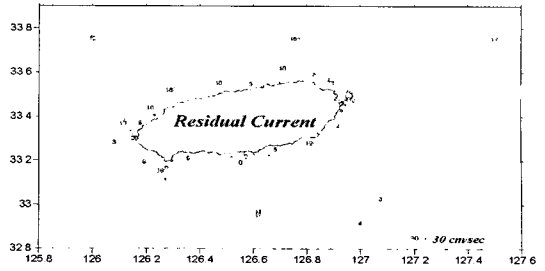


Fig. 5. Residual currents by averaged time series data for their observed period.

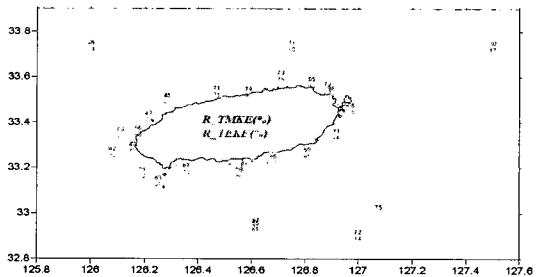


Fig. 6. Percentage of tidal current energy to mean eddy kinetic energy and mean kinetic energy.

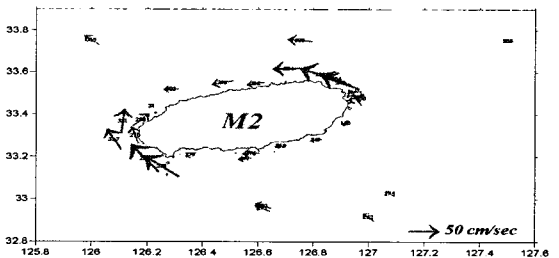


Fig. 7. Major amplitude axis and phase lag(deg.) of M2.

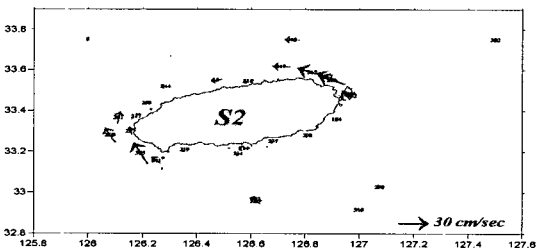


Fig. 8. Major amplitude axis and phase lag(deg.) of S2.

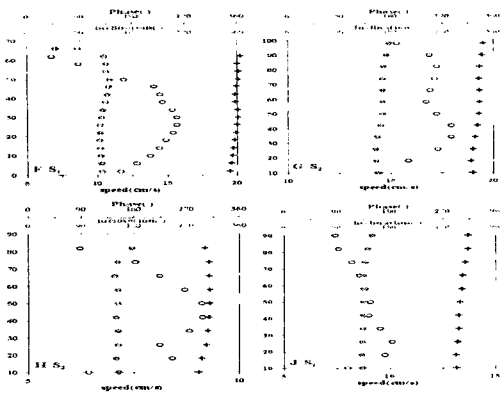


Fig. 10. Vertical variation of S2 Tidal current

S2분조는 유향과 위상이 모든 지점에서 수심별로 일정하게 나타났으나 유속은 변화가 있어서 중층 또는 저층에서 강하게 나타났으며 F와 J 지점에서는 표층에서 약하게 나타났다(Fig. 10).

해수유동의 주축 방향은 수심에 따라 일정하였으나 유속은 중층에서 강하게 나타났으며 중층부터 저층까지 점차 감소하여 저층에서 급격히 감소한다(Fig. 11).

항류의 수심별 유속분포는 변화 심하다 F지점에서는 표층에서부터 수심에 따라 급격히 감소하

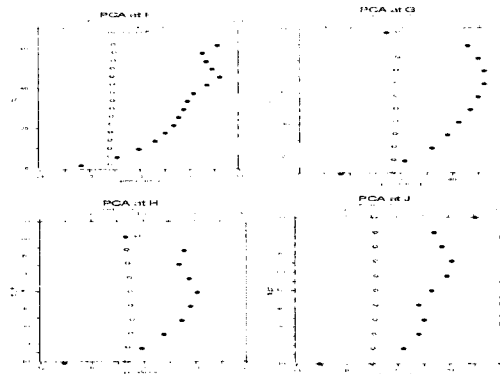


Fig. 11. Vertical variation of PCA Results.

여 중~저층에서 증가하여 일정하게 나타난다. G 지점에서는 표층이 강하고 저층으로 갈수록 점진적으로 작아지며, H지점은 중층이 강하게 나타나고, J지점은 표층보다 저층으로 갈수록 강하게 나타났으나 유속이 7cm/sec 이하로 매우 미약하다. 유향은 G,H,J 지점에서 일정하나 F지점에서는 표층이 북향이나 중층에서 서향 180도 이상의 변화를 보인다(Fig. 12).

수심별 조류변동량에 대한 전체 변동량 (R_{tmke})과 항류를 제외한 변동량(R_{teke})의 비율은 항류의 크기에 따라 달라진다. 항류가 작은 F지점에서는 둘다 같이 수심에 따라 증가하여 중층부터 95%이상을 보인다. 이는 표층이 해류에 의한 영향이 있으나 중층 이하는 조류의 영향이 강하게 나타남을 알 수 있다. G지점 역시 표층은 해류의 영향이 있으나 중층 이심해역은 조류가 강하다. H지점은 전층의 항류가 20cm/sec 이상으로 강하게 나타나서 해류의 영향이 강함을 알 수 있다. J지점의 항류가 미약하여 조류의 영향이 80%이상을 보인다(Fig. 13)

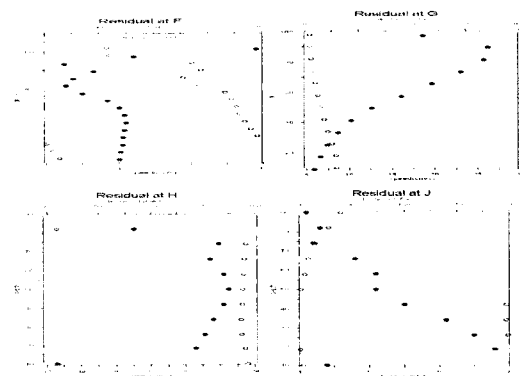


Fig. 12. Vertical variation of Residual Currents

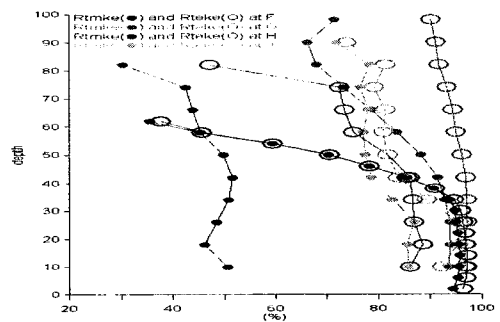


Fig. 13. Vertical variation of tidal current energy Percentages to mean eddy kinetic energy and mean kinetic energy.