

東海에서의 浮漂追跡 시뮬레이션 Simulation of Drifter Tracks in the East Sea

최 병 호*, 김 동 훈*, 장 경 일**

1. 서 론

동해의 보편적인 순환계를 Lagrangian 부표 수치실험을 통하여 추적하였다. 부표 수치실험을 하기 위하여 사용된 순환장은 동해전반에 관하여 보간된 실제 해저지형을 사용한 원시방정식(primitive equation)모형으로 부터 유도되었다. 시뮬레이션된 순환장은 전반적으로 기존의 관측치와 고찰결과에 일치하지만 좀더 많은 시간적, 공간적 변화를 보여준다. 부표는 모형영역내에서 동해전역에 걸쳐 해수수층이 최소와 최대가 되는 달인 3월 1일과 9월 1일에 투하되어 각각 1년간 추적되었다. 전반적인 부표추적 결과는 상층과 중층, 하층에 대하여 시간적, 공간적으로 많은 변화를 보여준다.

동해는 한국과 일본, 러시아에 둘러싸여 있으며 협소한 대한해협과 Tsugaru, Soya 해협을 통하여 동중국해와 북태평양, 오호츠크해에 연결되어 있다. 동해는 대한해협에서 유입되는 대마난류와 북쪽의 리만해류, 북한한류로 특성지워지며 동중국해의 쿠로시오 해류에 연유한 대마난류는 대한해협을 통하여 동해로 유입되어 표층순환에 영향을 준다. 대마난류는 대한해협에 유입되면서 한국동안과 일본연안으로 2분지 또는 3분지되며 북쪽의 리만해류와 북한한류는 반시계방향의 흐름패턴을 보인다. 동해의 저층에는 균질하고 차가운 물이 채워져있으며 동해의 순환에 영향을 주는 주된요인은 대한해협으로 유입되어 Tsugaru와 Soya 해협으로 유출되는 대마난류로써 중간 규모의 와동과 동해중부의 meandering을 일으킨다.

이번 연구에서는 진단적 수치모형에 의한 동해 해류 순환의 재정립과 수치모형으로 부터 계산된 유속장을 이용한 부표 수치실험을 시도하였다. 비록 기존의 수치모형 연구(eg. Holloway et al., 1995)가 있었지만 이번 연구에서는 특별히 부표 수치실험을 하여 현재 부표관측이 된 CREAMS(Circulation Research of East Asian Marginal Seas)의 데이터(Kim et al., 1996)와도 비교하였다.

2. 순환모형

원시방정식(primitive equation)모형에 기초한 Cox(1984)의 순환모형은 rigid-lid와 정수압 방정식, 비압축성 유체, Boussinesq approximations를 적용한 모형이다. 동해의 모형 해상도는 위,경도 모두 $1/6^\circ$ 이며 수직적으로는 19개의 층으로 나누어져 있다. 수직 및 수평 와도확산계수는 각각 $1.0 \times 10^{-4} m^2/s$, $5.0 \times 10^2 m^2/s$ 이며, 대한해협의 유입량은 3월 15일에 1.85 Sv, 9월 15일에 2.55 Sv로써 sine 함수에 의해 부여되는데 이는 ADCP 및 CTD 관측자료를 근거한 Isobe(1994)의 결과를 이용한 것이다. Tsugaru해협에는 연중변동없는 1.4 Sv로써 유출된다고 보았고(Shikama, 1994) Soya해협은 그 나머지인 0.45 Sv에서 1.15 Sv가 유출된다고 보았다.

모형 순환은 진단적으로 실행되었으며 속도장은 표층바람장과 온위, 염분에 의해 계산되어진다. 월별 온위와 염분 데이터는 대부분의 JODC(Japan Oceanographic Data Center) 데이터와 the Far Eastern Regional Hydrometeorological Research Institute의 약간의 사용가능한 Russian 데이터를 보간하여 만들어진 것을 이용하였다. 월별 바람용력은 1978년에서 1987년까지 10년간

* 성균관 대학교 토목공학과 (Dept. of Civil Eng., Sung Kyun Kwan Univ., Suwon, Korea)

** 한국해양연구소 (Korea Ocean Research and Development Institute, Ansan, Korea)

의 데이터를 분석한 Na et al.(1992)의 데이터를 사용하였다. 간단적 모형으로서 시간간격마다 입력되는 은위와 염분, 바람장은 월별 데이터를 가지고 Fourier analysis에 의해 계산된 Fourier coefficients를 이용하여 역으로 그 시간 간격에서의 데이터를 계산하여 입력되도록 하였다. 모형의 초기조건은 순환이 없고 tracer의 수직분포는 이상적인 상황 -연평균과 총평균을 사용- 에서 시작하였으며 모형의 시간간격은 tracer에 대하여 30분, 유속에 대하여 75초를 적용하였다. 모형의 적분시간은 총 10년으로써 3년 이후에는 평형상태에 도달하는 것으로 나타났다. 그림 1.은 10년 째의 1월에서 4월까지 표층의 유속 분포를 나타낸다. 그림에서도 알수 있듯이 대마난류는 대한해협을 통과하면서 한국 동안과 일본 연안으로 갈라지는데 한국 동안을 따라 올라간 대마난류는 동한난류를 이룬다. 이 동한난류는 한국동안의 북위 38° 부근에서 이안되며 대한해협 유입량이 최대가 되는 가을에 좀더 북쪽에서 이안된다. 이안된 동한난류는 동쪽으로 흐르며 해저수심에 연관되어 굽이쳐 흐른다. 한편 일본서안을 따라 북동진한 대마난류는 아마도해령 부근에서 시계방향 와류가 일어나면서 계속 북동진하여 Tsugaru와 Soya 해협으로 빠져 나간다.

3. 부표 추적 시물레이션

부표는 3월 1일과 9월 1일에 각각 투하되어 1년간 추적되었으며 수직적으로는 7.5, 15.0, 105.0, 210.0, 1058.0 m에서 투하하였고 대한해협에서는 수심이 낮은 관계로 7.5, 15.0, 22.0, 30.0 m에서 투하하였다. Lagrangian 모형은 순환모형으로 계산된 바람장의 보간을 기초로하여 4차 Runge-Kutta scheme(Hofman et al., 1991)을 이용한 부표추적을 사용하였다. 그림 2.는 대한해협과 북위 39도의 위치, 그리고 북위 42도의 위치에서 수심 7.5 m에 부표를 투하한 결과이며 각각 3월 1일과 9월 1일에 투하되어 1년간 추적한 것이다. 대한해협에서는 유입량이 최대인 9월에 투하된 부표가 3월에 투하된 부표보다 한국 동안에서 좀더 북쪽에서 이안됨을 보여주며 대부분의 부표가 Tsugaru해협으로 빠져나가는 것을 볼 수 있다. 북위 39도에 동해를 가로질러 투하된 부표 중 한국 동안쪽의 부표는 대부분 Soya 해협을 통과하며 일본연안 쪽의 부표는 대부분 Tsugaru 해협을 통과하는 것을 볼 수 있다. 특히 9월에 투하된 부표중 한국 동안쪽의 몇몇 부표가 북한한류의 흐름에 따라 반시계방향의 흐름을 이루는 것을 볼 수 있다. 북위 42도 부근에 동해를 가로질러 투하된 부표는 3월과 9월 모두 반시계방향의 리만 해류와 북한한류에 의하여 회전되는 것을 보이며 9월에 좀더 뚜렷한 경향을 보임을 알 수 있다. 일본연안에 가까분 부근의 부표는 대부분 Soya 해협으로 빠져나가는 것을 볼 수 있다.

4. 결론

동해의 해수 순환을 진단적 수치모형과 부표 추적 시물레이션을 이용하여 연구되었다.

전반적으로 과거의 모형결과와 비교하여 동한난류의 계절변동과 이안현상, 그리고 대마난류의 분지설, 리만해류와 북한한류의 순환 등이 양호하게 재현되었다.

부표추적 시물레이션도 모형결과와 부합되는 결과를 얻었으며 이 또한 동한난류의 이안현상과 대마난류의 분지, 그리고 리만해류와 북한한류의 순환을 잘 보여주고 있다. 방대한 양의 3차원 수치모형의 결과들을 일부분만이 종래의 등치선적 방법으로 제시되어 결과의 해석에 어려움을 보였으나 부표추적 시물레이션을 통하여 좀 더 효율적인 결과 해석을 제시하였다.

차후 연구과제로는 진단모형이 아닌 예보모형으로써의 결과 산정과 좀더 많은 CREAMS데이터에 의한 부표 추적 시물레이션의 비교분석이 남아 있다고 하겠다.

참고 문헌

Cox, M.D. (1984), "A primitive equation, 3-dimensional model of the ocean", GFDL Ocean

Group Technical Report No. 1, GFDL/Princeton Univ.

Hofmann, E.E., Hedstrom, K.S., Moisan, J.R., Haidvogel, D.B. and Mackas, D.L. (1991), "Use of simulated drifter tracks to investigate general transport patterns and residence times in the coastal transition zone", J. Geophys. Res., Vol. 96, 15041-15052.

Holloway, G., Sou, T. and Eby, M. (1995), "Dynamics of circulation of the Japan Sea", J. Mar. Res., Vol. 53, 539-569.

Isobe, A., Tawara, S., Kaneko, A. and Kawano, M. (1994), "Seasonal variability in the Tsushima Warm Current, Tsushima-Korea Strait", Continental Shelf Research, Vol. 14(1), 23-35.

Kim, K., Choi, B.H. and Yang, J.Y. (1996), "Surface current structure derived from satellite drifters in CREAMS", CREAMS '96 Workshop Abstracts, Vladivostok, February.

Na, J.Y., Seo, J.W. and Han, S.K. (1992), "Monthly-mean sea surface winds over the adjacent seas of the Korean Peninsula", J. Oceanol. Soc. Korea, Vol. 27, 1-10.

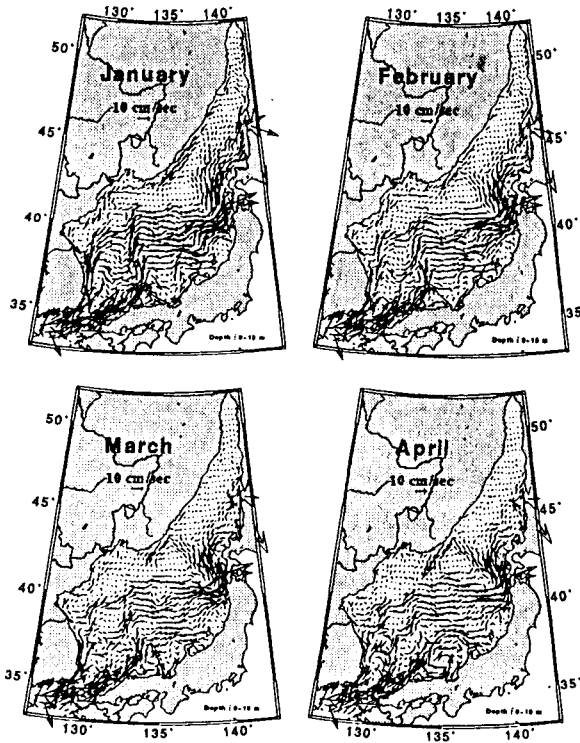


그림 1. 첫 번째층(0~15m)의 1월에서 4월까지의 유속분포

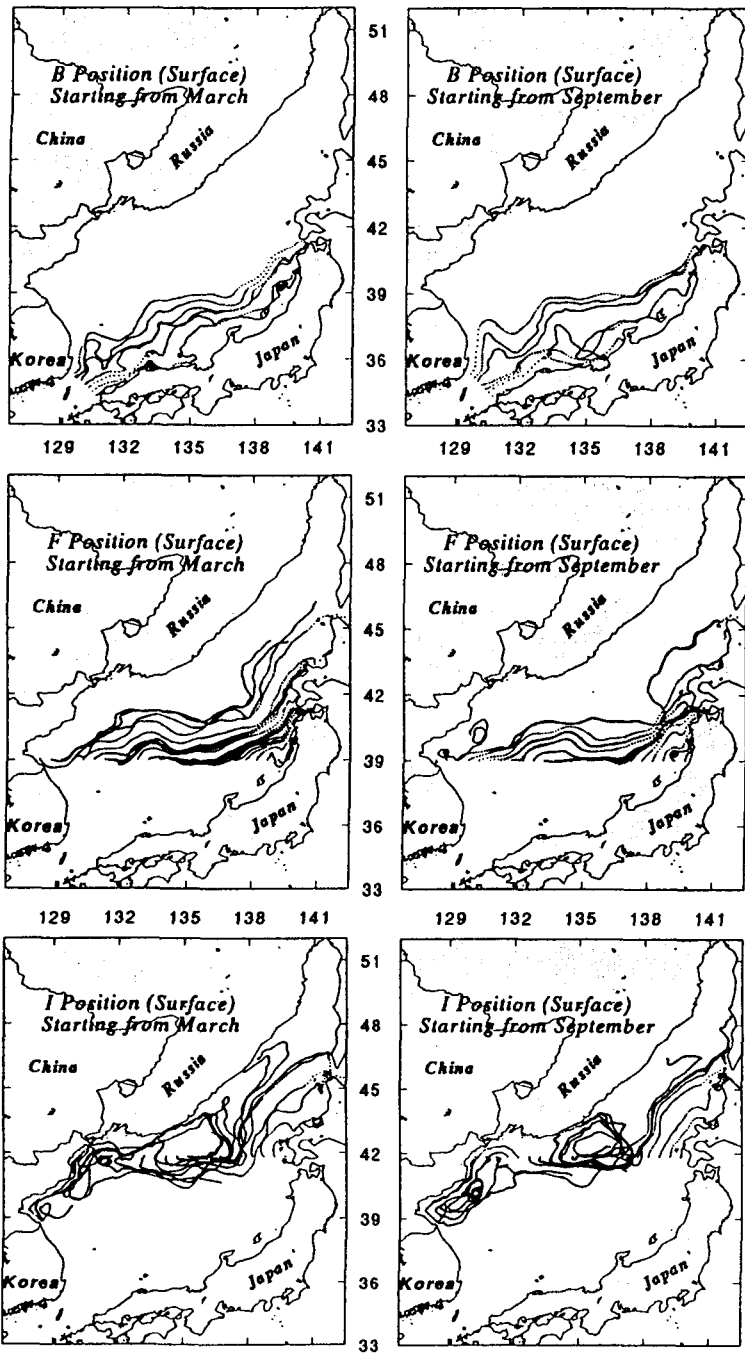


그림 2. 3월과 9월에 투하하여 1년간 추적한 부표 (대한해협, 북위 39도, 북위 42도)