

한반도 주변의 수괴와 해수순환

송 영 호
인하대 해양학과

Water Masses and Circulations around Korean Peninsula

YOUNG HO SEUNG
Dept. of Oceanography, Inha Univ., Incheon 402-751, Korea

한반도 주변에 분포하는 수괴와 해수순환에 관하여 지금까지 알려져있는 사실들을 토대로 하여 이를 요약 정리하였고 물리적 관점에서 이에 대하여 간략히 논의하였다. 한반도 주변의 해황(수괴와 해수순환)은 해역의 남쪽 경계인 쿠로시오수로 부터 분리유입된 대마난류에 의해 지배되나 담수유입, 바람, 대기와의 열교환 등에 의해 크게 변형된다. 남.서해에서 대마난류수의 확장 한계는 일차적으로 대만 북측과 제주도를 연결하는 선으로 볼 수 있으나 여름철에는 외해로 확장하는 양자강수의 영향을 많이 받고 겨울철에는 강한 북서계절풍에 의해 난류수의 황해유입이 유발되는 것이 특징이라 할 수 있다. 동해에서 대마난류수는 한국 동안 (약 37-38°N 부근)에서 일본 북부의 Tsugaru, Soya 해협을 연결하는 선 이남에 국한된다고 대체적으로 볼 수 있으나 겨울철의 북서 계절풍, 표면냉각 등에 의해 표층은 물론 심층까지 영향을 받을 가능성이 매우 크다. 그러나 한반도 주변 해황에 대한 이해는 아직도 크게 부족하여 해결되어야 할 문제점들이 많이 남아 있어서 이를 간략히 열거해 보았으며 이에 대한 몇가지 사건도 제시하였다.

Water masses and circulations around Korean peninsula are briefly described based on recent studies. The results of these studies are discussed from the physical point of view. Oceanic conditions in this region are largely due to the roles played by the Tsushima Warm Current, an onshore extension of the Kuroshio, and local conditions such as wind, surface heat flux and fresh water input etc. To the south and west of Korea, the northern/western border of the Tsushima Warm Current Water is roughly the line joining Taiwan and Cheju Island. In summer, it is affected by large amount of fresh water discharged from the Changjiang and in winter, an intrusion of this water into the Yellow Sea is induced by the prevailing northwesterly monsoon wind. To the east of Korea, the Tsushima Warm Current Water presents roughly south of the line joining the east coast of Korea near 37-38°N and Tsugaru-Soya Straits in the northern Japan. But this situation, together with those in deeper layers, may greatly be changed by winter atmospheric conditions (wind and surface heat flux). The seas around Korea are not yet physically well understood and many problems wait physical explanations. Some problems, along with personal views of them, are mentioned.

수괴 및 해류에 미치는 제 영향

한국근해의 해류와 수괴는 동지나해 대륙사면의 바깥쪽을 지나가는 구로시오의 영향을 크게 받는다. 구로시오수는 대륙사면을 넘어서 동지나해로 유입하여 대마난류를 형성한다. 대마난류는 그 주류가

동지나해를 거쳐 동해로 유입하나 또한 간헐적으로 황해로도 유입한다. 대마난류에 의해 1차적으로 결정된 해류 및 수괴분포는 한반도 주변해역에서 담수 유입, 바람, 해양-대기 열교환, 강수, 증발, 결빙, 해빙, 해저 지형 등의 국지적인 요인에 의해 크게 변형된다.

남·서해

대마난류가 구로시오로부터 분리 형성되는 과정에 대하여는 아직껏 불명확하여 여러가지 가설이 있다. 즉 대마난류가 대만 북동부 및 대만해협에서 분기되어 형성되는 대만난류의 연장이라는 주장(Guo 등, 1987; Akamatsu, 1977), 구주서측에서 분기된다는 주장(Nitami, 1972) 과 대륙사면을 따라 혼합에 의한다는 주장(Huh, 1982) 이 그것이다. 이 중 첫번째 가설은 실측해류로부터 부분적으로 입증되고 있으나 그 밖의 가설은 실측을 통하여 증명된 바가 없다. Seung 과 Nam (1992)의 순압수치모델에서도 구로시오수는 대만 동측으로 북상하여 대마난류를 형성하는 것으로 나타난다. 유입된 구로시오수는 대륙붕상을 통과하면서 인근의 대륙붕수와 혼합하여 (Lim, 1971) 대마난류수로 변질되면서 그 서측경계가 약 100 m 등 수심선을 따라 형성되어 제주도 서측을 우회하여 대한해협에 이르러 동해로 유입한다. 이러한 해류형태는 대체로 계절에 따른 변동없이 일정하다.

동계 남·서해의 해류는 강한 북서계절풍과 상기의 구로시오 유입에 의하여 결정지어진다. 중국 연안에서의 남향하는 연안류(Guo 등, 1987) 는 그 영향이 대한해협까지 미친다. 한편 한국 연안에서도 남향류가 형성되는 것으로 알려져 있으나(Hsueh, 1988)이 남향류가 한반도 서남단에 이른 후 어떻게 발전 되는가는 아직도 미지수이다. Wells 와 Huh (1984) 는 부유사의 농도분포로부터 이 남향류가 한반도 서남단에서 동향하여 대한해협에 이른다 고 하였으나 Lie(1985) 는 이곳에 동서방향의 강한 열염전선이 형성되고 있음을 들어 연안류가 이곳까지 미치지 못한다고 하였다.

한국의 남해 연안역에는 수심이 얕고 외부로부터 열의 유입이 약하기 때문에 동계에 급히 냉각되어 외양쪽을 지나는 대마난류와 뚜렷이 구분되어 강한 수온전선을 형성한다. 전선역 부근의 대마난류는 때때로 사해 및 와류를 형성하기도 한다(Lim, 1976). 이는 전선의 경압불안정과 강한 북풍에 의한 현상이 아닌가 사료된다. 한편 황해의 중앙부에는 역풍류가 형성(Hsueh 등, 1986; Park, 1986a)되어 대마난류의 일부가 북서쪽으로 침투하여 소위 황해난류라고 불리는 해류가 이에 해당된다고 할 수 있겠다. 동계

바람에 의한 황해 순환형성은 Hsueh와 Pang(1989)에 의해 대륙붕과의 이론으로 설명되고 있다. 하계의 바람은 동계보다 훨씬 미약하고 불규칙하기 때문에 지속적인 해류를 일으키지 못하여 한국 연안수의 남향류와 대마난류수의 황해유입은 일어나지 않는 것으로 알려져 있다. 중국연안에서의 남향류는 계속 유지되나 그 세력은 약화되어 양자강 이남에서는 연안수가 남향하지 못하고 외양으로 많이 확산되는 것으로 나타난다(Beardsley 등, 1985). 이 양자강수는 대마난류와 합류하여 제주해협까지 이르는 것으로 나타나는데(김 등, 1991)그 유입경로는 아직도 자세히 밝혀져 있지 않으나 양자강 수가 양자강 하구에서 제주도 쪽으로 직접 유입하지 않고 훨씬 남쪽으로 우회한 후 난류수와 합류할 가능성이 매우 높다. 대마난류는 동계와는 달리 황해로 유입되지 않고 제주도의 서측을 우회하여 대한해협으로 향하고 있음은 Park(1986b)의 염분분포로부터 알 수 있다.

하계 황해 내부에서는 강한 일사량에 의해 해표면이 가열되어 수온약층(수심 약 20m)이 잘 발달되어서 동계에 형성된 균질한 냉수와 상층부의 난수가 뚜렷이 구분된다. 이 저층냉수는 황해저층냉수라고 불리운다. 이 저층냉수는 그 후 약간 남쪽으로 확장하여 대마난류수와 경계를 이루는 것으로 알려져 있으나 (김 등, 1991) 자세한 확장범위는 더 많은 조사를 필요로 한다. 황해의 한국이나 중국측 연안역에는 수심이 낮고 조류가 강하여 조석혼합이 왕성하기 때문에 해수는 수직적으로 균질화 된다. 따라서 상층수의 수온은 황해중앙부의 것보다 낮아서 이 부근에 강한 수온전선이 형성되어 조석전선을 이룬다. 반면에 저층수의 수온은 황해중앙부의 것보다 높아진다. 조석전선역을 경계로 수평밀도 분포가 달라지게되어 이 부근에 다소나마 해수유동이 생길 수가 있으며 (Seung, 1987) 이때 생긴 해수유동은 연안수의 경우 반시계방향, 황해중앙수의 경우 시계방향의 회전을 하게된다. 1986년 하계에 부표추적 조사를 통하여 얻은 결과 (c.f., Choi 와 Lie, 1992)는 이러한 가설을 뒷받침 하는 듯 하다. 어쨌던 하계 황해의 순환은 극히 미약하여 상대적으로 강한 조류성분으로 부터 이를 구분해 내기가 어렵기 때문에 해류관측이 쉽지 않다.

남해(동지나해 포함)와 서해는 수심이 얕기 때문에

수괴의 분포는 해류분포에 의하여 그대로 결정이 된다. 즉 동계에는 대마난류수(15°C , 34.4%), 이의 확장세력인 황해난류수(12°C , 33.5%), 중국대륙연안수, 한국남해(8°C , 34.0%) 및 서해 (6°C , 32.5%) 연안수로 구분된다. 하계에는 대마난류수가 동지나해의 저염연안수의 영향을 많이 받아서 동계보다 고온저염화($<28^{\circ}\text{C}$, 33.5%)한다. 중국대륙 연안수도 하천수의 유입이 크게 늘어나기 때문에 그 세력이 확장되고 더욱 저염화($<23.5\%$) 된다. 그러나 한국 연안역에서는 담수 유입이 그다지 많지 않기 때문에 염분의 하강은 작다 ($<32\%$). 황해 내부에서 하계와 동계의 큰 차이는 앞서 언급했듯이 황해 중앙수의 상층화에 따른 수괴의 양분화이다. 상층수는 고온화되어 대마난류수보다 약간 낮으며 ($<27^{\circ}\text{C}$) 저층수는 겨울철에 결정된 수온보다 크게 오르지 못한다 ($\sim 10^{\circ}\text{C}$). 보다 자세한 수괴의 분류는 이석우(1992)에 의하여 정리된 바 있다. 그림 1은 위의 사실을 요약하여 작성된 해황 및 해류의 모식도인데 Kondo (1985)의 것을 다소 변형시킨 것이다. Kondo의 것과

다른 점은 대마난류의 분기점이 대만 부근인 것이고 여름철 대마난류의 경로가 제주도 서측을 우회한다는 것이다. 또한 겨울철의 황해난류의 세기가 그다지 크지않다는 점이다.

동 해

동해 상층부는 대체적으로 대한해협으로부터 유입된 대마난류의 영향을 받는 난수역과 표층냉각의 영향을 많이 받는 냉수역으로 구분된다. 난수역은 동해 남-남동부이며 냉수역은 북-북서부이고 이 두 수역사이에는 전선이 형성된다. 난수역의 해수는 대한해협을 통한 대마난류에 의해 공급된다. 대마난류수의 수송량은 약 2 Sv 이며 여름에 최대 겨울에 최소가 된다(이석우, 1966). 동해 상층수의 순환에 대하여는 일본학자들에 의하여 많은 유형이 제시되어 왔는데 대체적으로 대마난류의 3 분지설(Suda와 Hidaka, 1932; Uda, 1934)이 유력하였다. 그러나 대마난류를 항시 3개의 분지로 구분하기는 어려우며

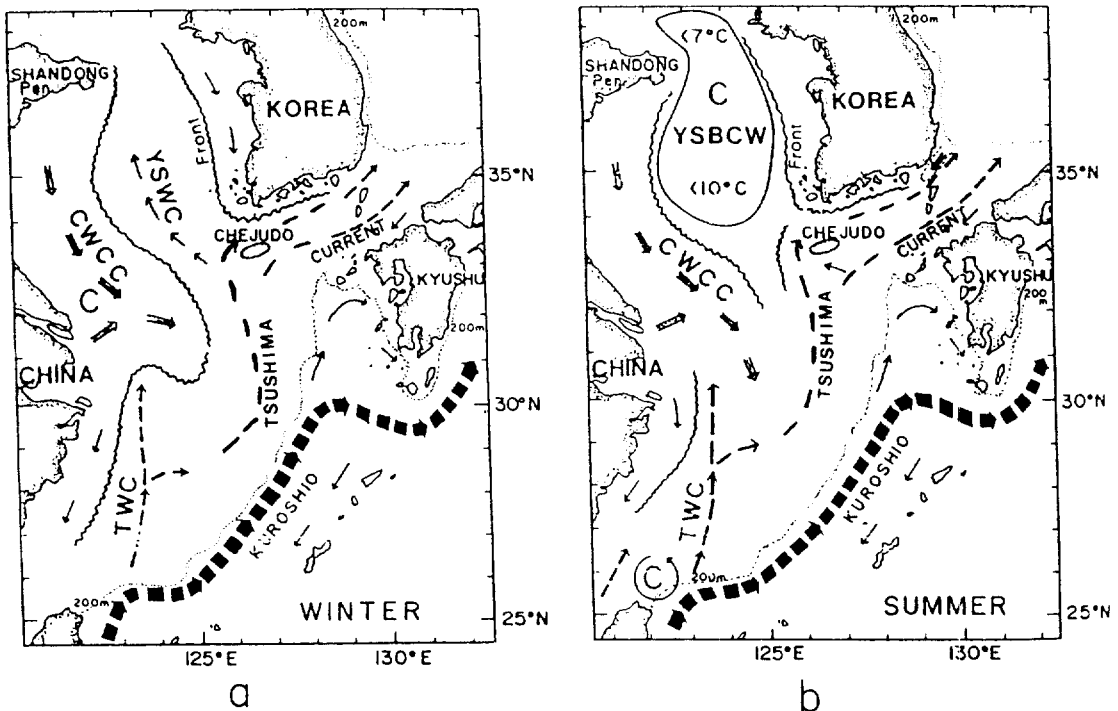


Fig. 1. Schematic diagram of the circulation and water mass distribution in the seas south and west of Korea. a) in winter and b) in summer. Modified from Kondo (1985).

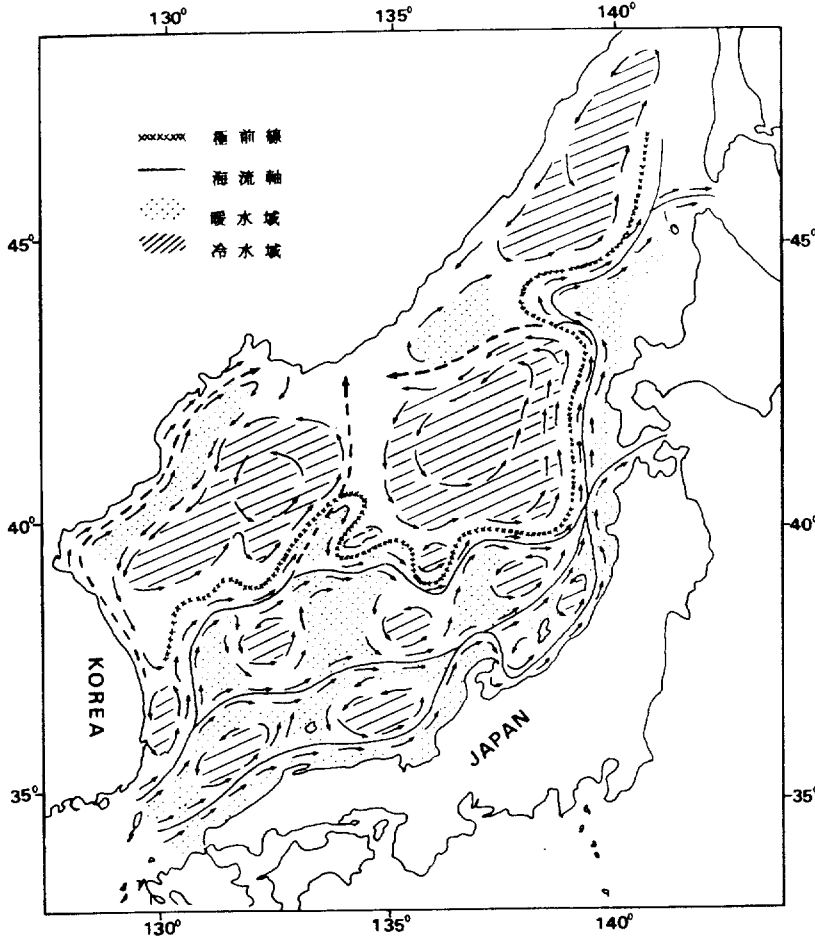


Fig. 2. Schematic diagram of the circulation and water mass in the East Sea. After Naganuma (1973).

각각의 분지가 서로 합류하거나 다시 분리되는 경우도 많이 나타난다. 이에 대하여 Naganuma(1973)는 대마난류가 한개의 커다란 주류로 이루어 졌으며 이것이 복잡한 양상으로 사행하고 있을 가능성도 시사 하였다(그림 2). 어느경우에도 확실한 것은 대마난류가 대한해협으로 유입된 후 한국연안을 따라 북상하는 동한난류와 일본연안을 따라 북상하는 일본연안지류로 나뉜다는 것이다. 이에 대한 역학적 근거는 최근의 연구에서 밝혀지고 있다. 대마난류는 대한해협의 동수도에서 전층에 걸쳐 나타나서 해저 지형의 영향을 받으나 서수도에서는 대마난류수의 두께가 수심보다 작아서 해저지형의 영향을 받지 않는다. 따라서 동수도를 지난 대마난류수는 등수 심선을 따라 흐름으로써 그의 위치와도를 보존시키

려고 한다(Yoon, 1982a). 따라서 일본연안의 얇은 수심을 따라 흐르게 된다. 제 2 지류는 일본연안의 대륙사면을 따라 형성되는데 Kawabe(1982)에 의하면 이는 하계 대마난류의 수송량이 증가함에 따라 형성되는 일종의 대륙붕파가 사면을 따라 진행함으로써 나타나는 현상이라 하였다. 서수도를 통과한 대마난류는 지구의 베타 효과에 의해 계속하여 연안을 끼고 북상할 수 있다 (Kang, 1988, Seung, 1992, Yoon, 1982b). 만약 이 북상류(동한난류)에 아무런 힘이 가해지지 않는다면 동한난류는 계속하여 북상하게되고 결국 Tsugaru 혹은 Soya 해협을 통하여 유출될 것이다. 그러나 실제로 동한난류는 북위 약 38°N 부근까지만 북상하고 여기서 부터는 외양으로 향하여 이안현상을 보이고 있다. 이는 동해내부에

작용하는 바람 (나 등, 1992) 이나 대기와의 열교환에 의해 생긴 북한한류에 의하여 그 진로가 차단되기 때문일 가능성이 매우 높다.

이안된 동한난류는 사행을 하면서 대체적으로 위도에 평행하게 흘러서 일본연안지류와 합류한 후 동해를 빠져나간다. 동한난류의 연장과 냉수역과의 사이에는 극전선이 형성되며 해류의 사행시에는 독립된 냉수역과 난수역이 형성되는데 특히 울릉도부근에서 거의 항상 존재하는 난수역(Kang, 1990)은 이로 인하여 생긴 것이라 사료된다. 전선의 북쪽 냉수역에는 북한한류(혹은 Liman 한류)라고 하는 한류가 동해 서-북측 연안을 따라 남하 한 후 앞서 언급한 바와 같이 북위 약 38°N 부근에서 북상하는 동한난류와 마주친 후 외양으로 향하여 극전선을 따라 흐르는 것으로 알려져 있다. 따라서 북한한류의 연장부분은 반시계방향의 순환을 이루는데 냉수역에는 이외에 몇개의 크고 작은 독립된 반시계 방향의 순환류가 있는 것으로 알려져 있다. 이 중 가장 두드러진 것은 동해 북동부 일본 분지상에 존재한다. 냉수역에 반시계방향의 순환이 존재한다는 간접적인 증거는 대한해협을 통하는 수송량이 동해의 북서-남동 단면을 통하는 수송량에 비해 현저히 작다는 (Lim 과 An, 1985) 사실에서도 나타난다. 이러한 순환류가 어떻게 하여 생성될 수 있는가는 동해해수 순환구조를 밝히는 데에 매우 중요하리라 생각되는데 현재로서 가장 가능성이 많은 설명은 이것이 동해 (특히 북-북서부) 에서의 국지적인 힘 (바람, 해표면 냉각)에 의해 생성된다는 것이다(Seung, 1992).

동해는 수심이 3000 m 이상되는 곳도 있는 심해이기 때문에 동해의 순환이나 수괴분포는 대양적 성질을 띄고 있다. 따라서 위에서 언급한 순환은 동해의 상층부에 국한된 것에 지나지 않아서 중층이심의 순환에 대하여는 알려진 바가 거의 없다. 동해의 수괴분포는 이석우(1992)에 잘 나타나있으며 여기서는 기본적인 사항들만 언급하고자 한다. 동해 상층부의 수괴분포는 상층부 순환과 밀접히 관계되어 있어서 계절에 따라 변화하는 계절수온약층 이천수를 제외하고는 대략적으로 대마난류수(14°~17°C, 34.4~34.7‰)와 동해중앙수(9~11°C, 34.10~34.30‰)로 구분할 수 있다. 북서부의 표층역에는 북한한류수(13~21°C, 32.00~33.05‰)가 있으며 중층이심의 수괴는 중간수(3~4°C, 33.90~34.05‰), 동

해고유수(0.1~0.2°C, 34.10~34.15‰)로 크게 나눌 수 있다. 위의 수괴 구분은 여름철을 기준으로 한 것인데 동계에는 상층수괴가 냉각된후 상층이심의 수괴와 혼합되어 그 성질이 변형된다. 대마난류수는 수온이 약 1~2°C 낮아지고 북한한류 표층수는 중간수의 성격을 많이 띄게되며 장소에 따라서는 (북부 연안역의 결빙해역)동해고유수와 수직혼합이 일어날 가능성도 있다. 따라서 춘, 하계에 대마난류수 밑에 존재하는 중간수는 동해 북부에서 형성되어 남하했을 가능성이 크다. 실제로 이 중간수는 많은 용존 산소를 함유하고 있으며 또한 북한한류수의 저염분성도 갖고 있다(Kim and Chung, 1984; Kim 등, 1991). 실제로 동해안 심층부(600~800 m)에서 남향류(Lie 등, 1989)가 관측되고 있음은 이를 입증하는 듯하다. 그러나 이 남향류가 그 후 어떻게 발전되어가는 지는 더 많은 연구가 있을 후어나 밝혀질 문제이다.

동해해수의 대부분을 차지하는 동해고유수도 동해의 어디선가 표층에서 형성된 것만은 틀림없으나 아직껏 이를 입증할 만한 근거는 없다. 이에 관하여는 다음과 같은 가설을 생각할 수 있다. 즉 얼마전까지만 해도 동해 고유수는 동해북부의 표층에서 재생되어 왔으나 최근의 난동현상으로 이것이 정지되고 있다는 것이다. 동계의 기상조건이 중간수의 형성및 확장(결국 대마난류 수에도 영향을 줌)에 중요하다는 증거는 Kim과 Legeckis(1986), Hong 등(1984), Seung 과 Nam(1991)에 의해서 보여진 바 있다. 어쨌던 동해의 중층이심 순환이 대양의 열염 순환적 특징을 보이고 있음은 무척 흥미있는 일이다.

문제점 및 향후 연구방향

이상의 고찰에서 보았듯이 한반도 주변의 물리해양학적 이해는 아직도 크게 부족한 상태이다. 많은 문제점들이 있겠으나 크게 몇가지 열거하면 다음과 같다.

1. 구로시오 - 대마난류계의 거시적 연구

한반도 주변을 흐르는 가장 강한 해류이며 이곳의 해황을 지배하는 대마난류의 특성을 거시적으로 이해하기 위하여는 대마난류가 시작되는 곳에서

부터 이것이 끝나는 곳 까지를 포함하는 대규모의 영역을 잡지 않을 수 없으며 이 경우 대마난류의 형성 및 발달과 밀접히 연관된 구로시오를 생각하지 않을 수 없다. 광범위한 영역을 대상으로 하기 때문에 장기적인 해양관측이 요구되나 기초자료를 활용하고 소규모 관측을 병행하거나 이론적(수치적)인 연구방법을 활용하면 소기의 목적을 달성할 수도 있을 것이다. 세부적으로는 대마난류의 수송량과 구로시오와의 역학적 관계, 국지적 요인(계절풍 등)에 의한 영향, 구로시오가 대륙사면을 넘어서 대마난류로 분기되는 과정 등에 대한 규명이 있어야 하겠다.

2. 황해 - 동지나해 해수교환

황해 내부의 해수순환에 대하여는 아직도 잘 알려져 있지 않은 부분이 많이 있어서 (특히 하계) 그 자체가 하나의 문제점으로 되어 있지만 황해의 순환이 극히 미약한 것은 사실이다. 따라서 황해 내부의 물리, 화학, 생물학적 물량들이 어느 정도로 외부(동지나해)의 해수와 상호교환을 하고 있는가를 밝혀야 할 것이다. 이는 장차의 황해 환경 보존적 측면에서도 필수적이다. 이를 위하여는 기존의 해류측정 방법(해류계 계류, 부표추적등)보다는 저절환 추적자를 선정하여 이를 측정 분석함이 더 효율적 이리라 사료된다. 황해 - 동지나해수의 교환율이 산정된 후에는 이 교환이 어떠한 과정을 통하여 이루어 지는가를 밝힘으로써 황해의 해수유동이나 순환문제도 해결될 수 있을 것이다. 대상이 되는 물리량 으로서는 열, 염이 있을수 있으며 기타 생물, 화학적인 요소가 있을 수 있다. 이러한 물량들은 황해-동지나해의 경계를 통하여 교환될 뿐 아니라 해표면을 통해서도 대기와 교환되고 있기 때문에 이에 대한 측정도 병행되어야 하겠다. 연구의 성격상 장기적이고 체계적인 연구계획과 해양의 여러분야가 연루된 광범위한 연구수행이 요구된다.

3. 동해 순환

동해 순환은 여러가지 요소가 복합적으로 연관되어 있다. 즉 대마난류의 순환형태, 이의 이안현상, 북한난류의 형성, 중간수의 형성 및 확장, 동해고유수의 생성 및 저층순환 등이 그것이다. 따라서 이들 현상들을 모두 규명함으로써 만족할 만한 동해순환

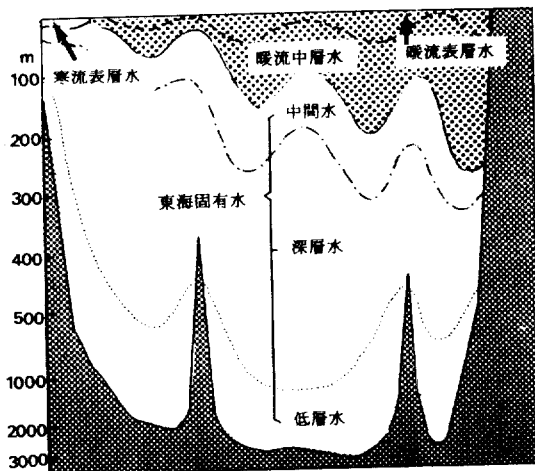


Fig. 3. Schematic diagram showing the vertical distribution of water masses along the NW-SE section across the East Sea. Cited from Yi (1992).

을 파악할 수 있을 것이다. 동해에서의 해양관측은 우리나라와 일본 측에 의해서 비교적 많이 수행되어 왔다(해류관측은 다소 불충분한 듯 사료된다). 그러나 대마난류수역 이북의 냉수역에 대한 실측 자료가 상당히 부족한 실정이다. 이 해역이 대마난류수 밑의 중층 내지 심층의 해황을 좌우하는 곳이라 생각할 때 그 중요성은 말할 필요도 없다. 따라서 빠른 시일 내에 인접한 북한, 소련과의 공동연구 혹은 자료교환이 이루어 져야겠다. 이러한 문제점이 해결된다고 하여 동해순환이 밝혀지는 것은 물론 아니다. 동해 해수 순환과정의 이해를 위하여 밝혀져야 될 사항들을 부분적으로 열거하면 다음과 같다. 첫째로 동해에 유입하는 난류수의 유량을 정확히 파악하여야 한다. 현재 이에 대하여 우리가 알고 있는 바는 해수면 변화나 해양관측을 통하여 간접적으로 측정된 것이며 간혹 행하여진 부분적인 해류관측이 전부이다. 대한해협에서의 해류는 순수한 순압해류도 아니고 순수한 경압성분만 있는 것도 아니다. 따라서 보다 완벽한 실측해류가 요구된다. 이에 대하여는 유입구 뿐 아니라 유출구에서도 같은논리가 적용된다. 둘째, 현재 해류도식도에 의하여 알려져 있는 3 분지설 혹은 사행설의 실체를 밝혀야 된다. 이를 위하여는 인공위성 추적부표가 가장 효율적일 것이다. 냉수역 내에서의 표층해류도 도식도에 의한 지식을 탈피하기 위하여는 같은 방법을 사용할 수 있을 것이다. 셋째, 냉수역 내에서 형성되는 중층수 혹은

심층수의 양을 파악하고 형성된 중, 심층수의 확장 경로를 밝혀야 한다. 이를 위하여는 해양학에 대한 경제적, 기술적 지원과 아울러 국제공동연구의 기반이 필수적이다. 비슷한 해양조사연구에 대한 선례로서 프랑스 남부 지중해에서 행하여진 MEDOC 캠페인 (MEDOC Group, 1970) 과 Canada 동부 Labrador 해에서 행하여진 국제공동연구(Clarke & Gascard, 1983)를 들 수 있다.

기타 동해에는 아직도 우리가 전혀 알지 못하는 현상들이 있는데 동해 북서부(북한한류수)의 저염분의 근원, 북부에서의 결빙정도 및 이것이 동해해황에 미치는 영향, 동해에서의 해표면 냉각(동해수의 열수지) 등이 그것이다. 이러한 부분적인 사항들이 밝혀졌을 경우 이것을 물리적으로 해석하고 이것들을 조합하여 해수순환 및 해황변화와 연결시키기 위하여는 첨단학의 해양순환이론이나 문제해결 기법이 요구된다. 최근 선진 해양학계에서는 대양에서의 열염순환에 대한 이론이나 Ventilation theory 에 대한 연구가 한창 인데 동해의 경우 이와 비슷한 현상이 일어나는 것으로 보이며 더욱이 동해의 크기가 대양보다 훨씬 작기 때문에 경제적인 실험장이 될 수 있는 유리한 조건을 갖고 있다.

4. 기타

위에 열거한 기본적인 문제점 외에 많은 국지적인 문제점들이 있겠으며 이 중 몇가지를 열거하면 아래와 같다.

- a. 남해 연안수와 난류수와의 전선역에서의 사행 및 와류 형성
- b. 대한해협 저층냉수 유입 경로
- c. 울릉도 난수역의 형성
- d. 동해의 극전선 역에서 형성되는 와류의 역학적 과정
- e. 동해 연안으로 유입하는 낙동강수에 의한 연안와류형성
- f. 조석 잔차류가 황해 순환에 미치는 영향
- g. 황해 및 남해 표층냉수역에서의 해무 발생
- h. 동해 연안의 해저지형에 의한 연안장파의 변형
- i. El-Niño 현상과 한반도 주변의 해황

참고문헌

- 김 구, 노홍길, 이상호, 1991. 하계 제주도 주변 해역의 수계 및 해수순환. 한국해양학회지, 26: 262-277.
- 나정열, 서장원, 한상규, 1992. 한국 근해의 월평균 해상풍. 한국해양학회지, 27: 1-10.
- 이석우, 1966. 대한해협을 통한 수송량의 계절 및 연년변화. 한국해양학회지, 1 :1-6.
- 이석우, 1992. 한국 근해 해상지. 집문당. 334 pp.
- Akamatsu, N., 1977. On the origin of the Tsushima Warm Current. Lecture note of Fall meeting of Oceanogr. Soc. Japan, 1952.
- Beardsley, R. C., R. Limeburner, H. Yu and G.H. Canon, 1985. Discharge of the Changjiang into the East China Sea. Continental Shelf Res., 4: 57-76.
- Choi, B. H. and H. J. Lie, 1992. Physical Oceanography Programme of the East China Sea and the East Sea (Japan Sea) dynamics in Korea. Proc. PORSEC-92. Okinawa, Aug., 25-31, 1992.
- Clarke, R. A. and J. C. Gascard, 1983. The formation of Labrador Sea Water. Part I: Large-scale processes. *J. Phys. Oceanogr.*, 13: 1764-1778.
- Guo, B., K. Lin, H. Zuo and J. Lu, 1987. Some features on the circulation in the East China Sea. In 'Essays on the investigation of Kuroshio', edited by X. Sun. Ocean Press, Beijing. 15-32.
- Hong, C. H., K. D. Cho and S. K. Yang, 1984. On the abnormal cooling phenomenon in the coastal areas of East Sea of Korea in Summer 1981. *J. Oceanol. Soc. Korea*, 19:11-17.
- Hsueh, Y., 1988. Recent current observations in the eastern Yellow Sea. *J. Geophys. Res.*, 93: 6875-6884.
- Hsueh, Y. and I. C. Pang, 1989. Coastally trapped long waves in the Yellow Sea. *J. Phys. Oceanogr.*, 19: 612-625.
- Hsueh, Y., R. D. Romea and D. W. deWitt, 1986. Wintertime winds and coastal sea-level fluctuations in the northeast China Sea. Part II: Numerical model. *J. Phys. Oceanogr.*, 16: 241-261.
- Huh, O. K., 1982. Spring season flows of the Tsushima warm Current and its separation from the Kuroshio: Satellite evidence. *J. Oceanol. Soc. Korea*, 17: 71-82.
- Kang, Y. Q., 1988. On the formation of the East Korean Warm Current. Ocean Research, 10: 1-6.
- Kang, Y. Q., 1990. Spatio-temporal characteristics of the Ullung Warm Lens. Bull. Korean Fish. Soc., 23: 407-415.
- Kawabe, M., 1982. Branching of the Tsushima Current in the Japan Sea. Part II: Numerical experiment. *J. Oceanogr. Soc. Japan*, 38: 183-192.
- Kim, K. and J. Y. Chung, 1984. On the salinity minimum and dissolved oxygen maximum layer in the East Sea (Japan Sea). In 'Ocean hydrodynamics of the Japan and East China Sea' edited by T. Ichiye. Elsevier. 55-65.
- Kim, K. and R. Legeckis, 1986. Branching of the Tsushima Current in 1981-83. *Prog. Oceanogr.*, 17: 265-276.
- Kim, C. H., H. J. Lie and K. S. Chu, 1991. On the Intermediate Water in the southwestern East Sea (Sea of Japan). In 'Oceanography of Asian Marginal Sea' edited by K. Takano: Elsevier. 129-141.

- Kondo, M., 1985. Oceanographic investigations of fishing grounds in the East China Sea and Yellow Sea. I: Characteristics of the mean temperature and salinity distributions measured at 50 m and near the bottom. *Bull. Seikai Regional Fish. Res. Lab.* **62**: 19-66.
- Lie, H.J., 1985. Wintertime temperature-salinity characteristics in the southeastern Hwanghae. *J. Oceanogr. Soc. Japan*, **41**: 291-298.
- Lie, H.J., 1989. Tidal fronts in the southern Hwanghae (Yellow Sea). *Continental Shelf Res.*, **9**: 527-546.
- Lie, H.J., M.S. Suk and C.H. Kim, 1989. Observations of southeastward deep currents off the east coast of Korea. *J. Oceanol. Soc. Korea*, **24**: 63-68.
- Lim, C.H. and H.S. An, 1985. The comparison of the volume transport in the Korea Strait and in the Middle of the East Sea (Japan Sea). *J. Oceanol. Soc. Korea*, **20**: 50-55.
- Lim, D.B., 1971. On the origin of the Tsushima Current Water. *J. Oceanol. Soc. Korea*, **6**: 85-91.
- Lim, D.B., 1976. The movements of the waters off the south coast of Korea. *J. Oceanol. Soc. Korea*, **11**: 77-88.
- MEDOC group, 1970. Observation of formation of deep water in the Mediterranean Sea, 1969. *Nature*, **227**: 1037-1040.
- Naganuma, K., 1973. A discussion on the existence of Tsushima Current third sub-branch. *News Fish. Res. Japan Sea*, No. 266.
- Nitani, M., 1972. Beginning of the Kuroshio. In 'Kuroshio. Its Physical aspects.', edited by H. Stommel and K. Yoshida. Univ. Tokyo Press. 129-156.
- Park, Y.H., 1986a. A simple theoretical model for the upwind flow in the southeastern Yellow Sea. *J. Oceanol. Soc. Korea*, **21**: 203-210.
- Park, Y.H., 1986b. Water characteristics and movements of the Yellow Sea Warm Current in Summer. *Prog. Oceanogr.*, **17**: 243-254.
- Seung, Y.H., 1987. A summer circulation inferred from the density(temperature) distribution in the Eastern yellow Sea. *J. Oceanol. Soc. Korea*, **22**: 63-70.
- Seung, Y.H., 1992. A simple model for separation of East Korean Warm Current and formation of North Korean Cold Current. *J. Oceanol. Soc. Korea*, **27**: 189-196.
- Seung, Y.H., C.H. Jung and Y.C. Park, 1990. Oceanographic studies related to the tidal front in the Mid-Yellow Sea off Korea: Physical aspects. *J. Oceanol. Soc. Korea*, **25**: 84-95.
- Seung, Y.H. and K. Kim, 1989. On the possible role of local thermal forcing on the Japan Sea circulation. *J. Oceanol. Soc. Korea*, **24**: 29-38.
- Seung, Y.H. and S.Y. Nam, 1991. Effects of winter cooling on subsurface hydrographic conditions off Korean coast in the East(Japan) Sea. In 'Oceanography of Asian Marginal Sea' edited by K. Takano. Elsevier. 163-178.
- Seung, Y.H. and S.Y. Nam, 1992. A numerical study on the barotropic transport of the Tsushima Warm Current. Proc. 6th JECSS workshop, Kyushu Univ. (in press).
- Suda, K. and K. Hidaka, 1932. The results of the oceanographical observations on board RMS Syunpu Maru in the southern part of the Japan Sea in summer, 1929. *J. Oceanogr.*, **3**: 291-375.
- Uda, M., 1934. The results of simultaneous oceanographical investigations in the Japan Sea and its adjacent waters in May and June, 1932. *J. Imp. Fish. Exp. Sta.*, **5**: 57-190 (in Japanese).
- Wells, J.T. and O.K. Huh, 1984. Fall-season patterns of turbidity and sediment transport in the Korea Strait and southeastern Yellow Sea. In 'Ocean Hydrodynamics of the Japan and East China Seas', edited by T. Ichiye. Elsevier. 387-397.
- Yoon, J.H., 1982a. Numerical experiment on the circulation in the Japan Sea. Part III: Formation of the nearshore branch of the Tsushima Current. *J. Oceanogr. Soc. Japan*, **38**: 119-124.
- Yoon, J.H., 1982b. Numerical experiment on the circulation in the Japan Sea. Part I: Formation of the East Korean Warm Current. *J. Oceanogr. Soc. Japan*, **38**: 43-51.