

## 영일만 순환류 발생구조와 해황 특성

윤한삼<sup>1,†</sup> · 이인철<sup>2</sup>

<sup>1</sup>부경대학교 해양산업개발연구소, <sup>2</sup>부경대학교 해양공학과

# Development Mechanism of Circulation Current and Oceanographic Characteristics in Yeongil Bay

Han-Sam Yoon<sup>1,†</sup> and In-Cheol Lee<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Research Center for Ocean Industrial Development, Pukyong National Univ.,  
Daeyeon 3-Dong, Nam-Gu, Busan 608-737, Korea

<sup>2</sup>Department of Ocean Engineering, Pukyong National Univ., Daeyeon 3-Dong, Nam-Gu, Busan 608-737, Korea

### 요 약

본 연구는 영일만 수괴의 만내 연안수와 동해 고유수와 상호관련성과 만내 해수순환류 발생 메카니즘에 대해서 고찰하고자 하였다. 영일만 인근 동해 고유수는 평균수온 12.2~18.4°C, 평균염분 33.32~34.43 PSU인 것으로 나타났다. 스펙트럼 해석결과를 통해 만내 연안수와 동해 고유수는 서로 일정한 주기성을 가지고 있으며, 표층과 저층 모두 약 0.84-0.91년, 1.84년의 주기를 나타내었다. 영일만에 출현하는 바람은 동계를 제외하고 대체로 SW와 NE방향의 왕복성 풍향을 나타내며 동계의 경우에는 SW방향의 풍향이 주로 출현하며, 이는 영일만내 수괴거동에 크게 영향을 미칠 것으로 판단된다. 영일만내에서의 하구 해수순환류는 표층에서 형산강 담수의 외해로의 유출과 저층에서 저온-고염의 동해 고유수가 유입되는 현상이 뚜렷하며, 이는 수괴가 안정되는 봄부터 시작하여 여름에 가장 뚜렷하게 나타나며, 그 발생주기는 단주기변동으로 약 10일 정도의 주기를 가진다. 이러한 해수의 수평·연직순환류는 조석영향이 미약한 영일만의 경우 내만의 오염물질을 외해로 수송하는 큰 역할을 담당할 것으로 판단된다.

**Abstract** – We investigated the interactions between coastal waters of the Yeongil Bay, Korea, and oceanic waters of the Eastern Sea, as well as the development mechanism of vertical circulation currents in the bay. The oceanic waters of the bay have an average water temperature of 12.2~18.4°C and salinity of 33.32~34.43 PSU. Results of spectral analysis have shown that the period of revolution between oceanic and coastal waters is about 0.84-0.91 years in the surface waters and 1.84 years in the bottom layer. The wind direction in the bay shifts between SW and NE, with the main wind direction being SW during the winter period, and water mass movement is influenced by such seasonal variations in wind direction. Vertical circulation currents in the bay are structured by two phenomena: the surface riverine outflow layer from the Hyeong-san River into the open sea and the bottom oceanic inflow layer with high-temperature and salinity into the bay. These phenomena start the spring when the water mass is stable and become stronger in the summer when the surface cold water develops over a 10-day period. Consequently, tidal currents have little influence in the bay; rather, these vertical and horizontal circulation currents play an important role in the transport of the pollutant load from the inner bay to the open sea.

**Keywords:** Yeongil Bay(영일만), Oceanic and Coastal Water(고유수와 연안수), Eastern Sea(동해), Vertical and Horizontal Circulation Current Mechanism(연직수평순환류 메카니즘)

<sup>†</sup>Corresponding author: yoonhans@pknu.ac.kr

## 1. 서론

영일만은 북동방향으로 동해와 인접한 길이 약 13 km, 폭 약 10 km, 수면적 약 115 km<sup>2</sup>의 포켓형 내만이다. 만입구 부근에서 수심 약 30 m, 만내로 갈수록 수심이 얕아져 평균수심이 25 m이나, 만외수심은 약 200 m이고, 외해로 갈수록 수심경사가 매우 급한 해저지형을 나타낸다. 영일만의 수질환경은 담수의 유입으로 인한 기수 생태계의 변화, 도시산업단지 및 포항제철의 막대한 냉각수와 폐수, 포항시의 생활하수의 만내 유입 등으로 인해 연안성 수질의 형성 뿐만 아니라, 심층해수의 출몰에 따른 수괴의 이동, 난류·한류의 상충현상 등 심해성 또는 원양성 해수의 영향으로 미묘한 변화가 생성, 소멸되는 지역이다(Kim, 1992).

최근 장래 영일신항 개발과 같이 대규모 간척사업에 따른 하구 및 내만의 수괴거동특성을 파악하기 위해서는 현시점에서 영일만 하구 및 내만의 혼합에 영향을 미치는 인자의 시·공간적인 변동특성에 대한 구체적이고 과학적인 연구의 필요성이 제기되고 있다. 그러나 영일만내 연안수 변동특성이 육상으로부터 유입되는 담수 및 동해 고유수와의 영향 정도와 아울러 계절적으로 어떤 양상을 나타내며 그 거동특성에 대해서 규명한 연구결과는 찾아보기 힘든 실정이다.

이를 위해 본 연구는 영일만내 수괴의 거동에 영향을 미칠 것으로 판단되는 기온, 강우량, 증발량, 바람 등 기상조건의 영향을 검토·분석하고 Fig. 1에 나타난 영일만 정선해양관측의 수온·염분 자료와 연안정지 수온관측자료를 수집·분석하여 영일만 해역에서의 동해 고유수와 만내 연안수(수심 30 m 미만)와의 혼합과정을 규명하고자 한다. 이상의 연구과정을 통해 영일만 수괴의 만내 연안수와 동해 고유수와의 상호관련성과 만내 해수의 수평·연직순환류 발생 메커니즘에 대해서 고찰하고자 한다.

## 2. 재료 및 방법

### 2.1 영일만 해황 특성

영일만에 접한 동해 남부해역은 몇 개의 서로 다른 수괴가 수직적으로 분포하고 있는 해역으로서(Kim *et al.*, 1983; Na *et al.*, 1991) 상부수층에는 대한해협으로부터 유입되는 동한난류수와 동해연안을 따라 남하하는 북한한류수가 출현하며 중·저층에는 동해고유냉수가 존재하는데(Lie *et al.*, 1989), 이들 수괴들의 분포는 시·공간적인 변화를 보인다(Lee, 1983; Ro *et al.*, 1995).

Lee *et al.*(1995)에 의하면 영일만 내의 해류 작용은 달만갑쪽에서 서서히 유입되어 만의 내부와 만의 남쪽 연안을 거쳐서 호미곶 해역으로 유출되며, 이러한 해류의 성격은 형산강 담수혼합, 포항시의 도시하수오염물질과 포항제철의 산업폐수오염물질을 희석 또는 외양으로 유출시켜 만내수질을 유지하는 절대적인 기능을 가진다고 주장한 바 있다. 또한 Yoon *et al.*(2003)의 영일만 내부의 물질수지 계산결과에 따르면 달만갑 해역을 통한 외해로부터의 유입으로 인해 북측 해안과 만내 깊은 곳에서는 유량이 상승하는 반

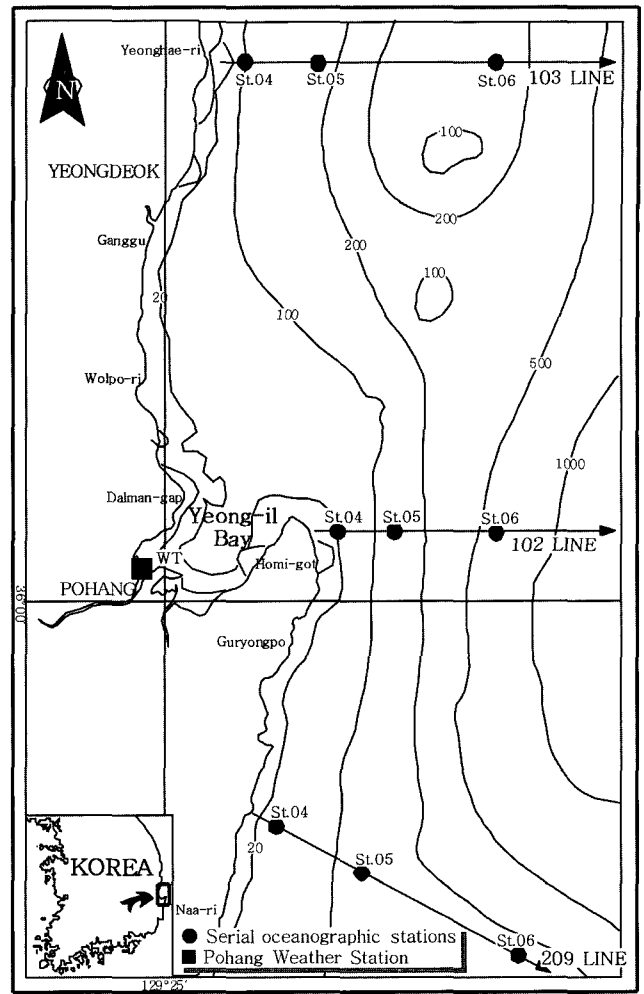


Fig. 1. Map showing the sample sites and bathymetry of the study area. Depth is in meters.

면 남측 해안은 감소하는 경향을 나타내며, 육상으로부터 하천유량이 증가할 시에는 형산강 하구부 해역은 유량이 감소하는 반면 호미곶 해역을 통한 외해로의 유출이 증가하는 것으로 보고된 바 있다.

이상과 같은 영일만의 매우 복잡한 해양환경 특성 중 만내 연안수와 동해 고유수와의 상관성에 대해 Choi(1993)는 동해 표층에서 냉수괴의 출현이 뚜렷하고 저층(30 m)에서 북쪽에서부터 남쪽으로 등온선이 나타날 때 영일만의 이상 저수온이 나타나고, 이와 반대로 표층의 냉수괴 출현이 보이질 않고 저층에서 남쪽에서부터 북쪽으로 등온선이 나타날 경우 영일만의 이상 고수온이 나타난다고 보고한 바 있으며, Seung(1986)의 경우 간단한 해석모델을 이용하여 하계 남향 연안류의 형성(37°N이북) 및 연안 저층 냉수의 상승(36°N이남) 원인을 해류의 강화에 따른 로스비 변형과정으로 설명하였다.

### 2.2 주요 기상요소

Fig. 1에서 WT지점에 위치한 포항기상대 10년간(KMA, 1992-2001)의 기온, 강우량, 증발량, 바람 관측자료를 사용하여 영일만

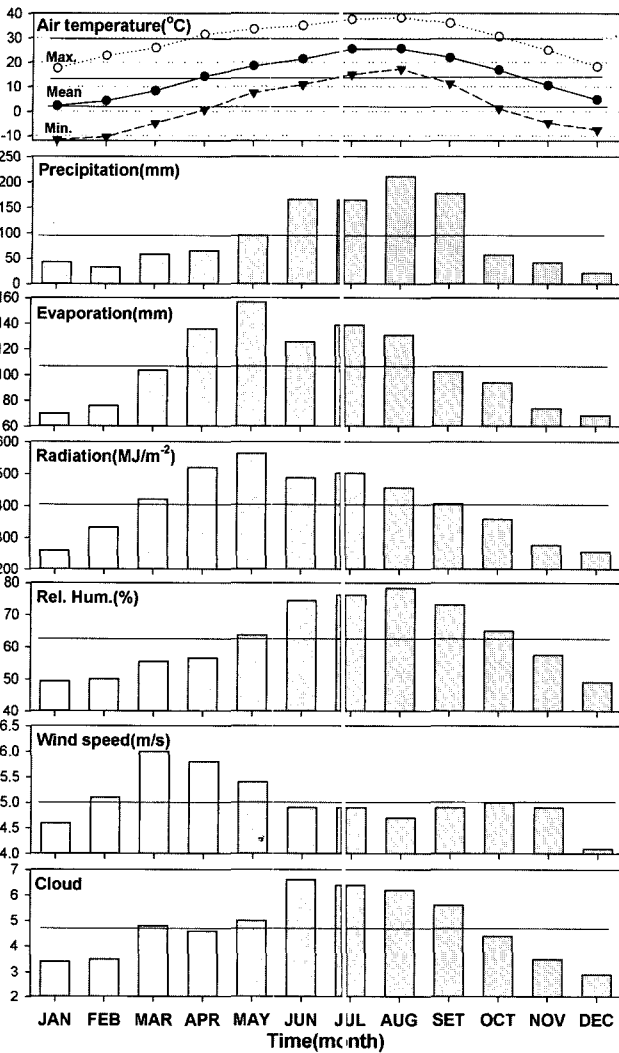


Fig. 2. Meteorological characteristics of the Pohang region.

자연환경 특성에 대해 살펴보기 위해 Fig. 2와 같이 나타내었다. 일반적으로 기온의 변화는 해수로 건 달되는 열량 즉, 접촉면의 열교환으로 인하여 수온의 변화를 유발시켜 해양생태계에 영향을 미친다(Kim, 1992). 영일만의 월평균 기온은 1월의 -11.6°C가 최저이고 8월의 38.2°C가 최고인데, 봄에 급상승하고 가을에 급강하하는 포물선을 나타내며, 계절별 기온의 최고, 최저에 대한 편차는 춘계가 가장 크고(약 30°C), 여름이 가장 작다(약 22°C). 또한 하계와 동계의 기온차는 28.9°C이다.

강수량은 6~9월에 연간 평균치 54.3 mm를 상회하며, 8월에 211.2 mm로 최대값을 나타낸다. 또한 증발량은 4~8월에 평균치 106.3 mm를 초과하며 5월에 최대 166.5 mm를 나타내었는데 이는 춘계에 강수량이 적으므로 습도가 낮고 이 기간동안 건조한 남서풍(SW)이 우세하기 때문으로 생각된다. 수평면의 일사량은 식물성 플랑크톤의 광합성을 비롯한 해양생물의 생활환경에 지대한 영향을 미치는 기상인자로, 영일만 일사량은 3~8월이 평균치 403.1 MJ/을 초과하며 5월에 최대 564.0 MJ/를 나타낸다. 이는 7, 8월에

장마나 태풍의 영향을 많이 받는데 비해, 5월에는 강수량이 적고 청명한 날씨가 계속되기 때문이다. 상대습도는 6~9월이 대체로 높고 연간 평균치는 62.5%이며, 운량은 춘계가 평균치 4.7에 가깝고 집중강우와 태풍시기인 7~10월의 하계에 평균치를 상회하며 6월에 최대 6.6을 나타내었다.

### 2.3 바람장의 경년변동

영일만 바람장의 경년변동을 살펴보면 풍속은 대체로 2~5월이 크고 연평균 약 5.0 m/sec를 나타내었다. 구체적으로 계절별 풍향·풍속을 나타내면 Table 1 및 Fig. 3과 같다. 탁월풍향의 경우 춘계는 SW~W방향(43.7%)과 N~NE(25.2%)방향이 우세하고 평균 풍속은 각각 8.1, 6.5 m/sec를 나타내었다. 또한 하계에는 SW~WSW(25.6%)와 N~NE(39.9%), 추계에는 SSW~WSW(44.7%)와 NNW~NNE(24.4%), 동계에는 SW~W(66.4%)방향이 우세한 것으로 나타났다.

이상의 결과를 통해 영일만에 출현하는 바람은 동계를 제외하고 대체로 SW와 NE방향의 왕복성 풍향을 나타내며 동계의 경우에는 SW방향의 풍향이 주로 출현함을 알 수 있다.

### 2.4 동해 고유수 수온·염분 변동해석

영일만 동해 고유수의 시공간적 변동을 Fig. 1에 제시한 영일

Table 1. Seasonal wind directions and speeds from 1992 to 2002.

Division (month)	Wind Dir. (%)	Wind speed (m/sec)
Spring (3~5)	N~NE (25.2)	6.5
	SW~W (43.7)	8.1
Summer (6~8)	N~NE (39.9)	6.0
	SW~WSW (25.6)	5.5
Autumn (9~11)	NNW~NNE (24.4)	5.9
	SSW~WSW (44.7)	5.0
Winter (12~2)	SW~W (66.4)	6.8

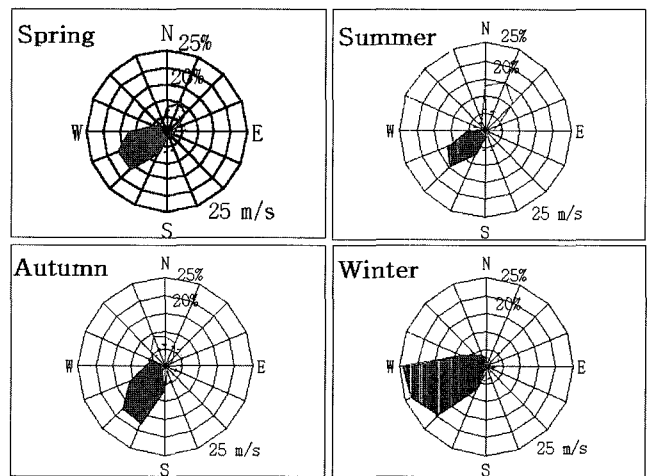


Fig. 3. Seasonal variations in wind direction and speed in Yeongil Bay.

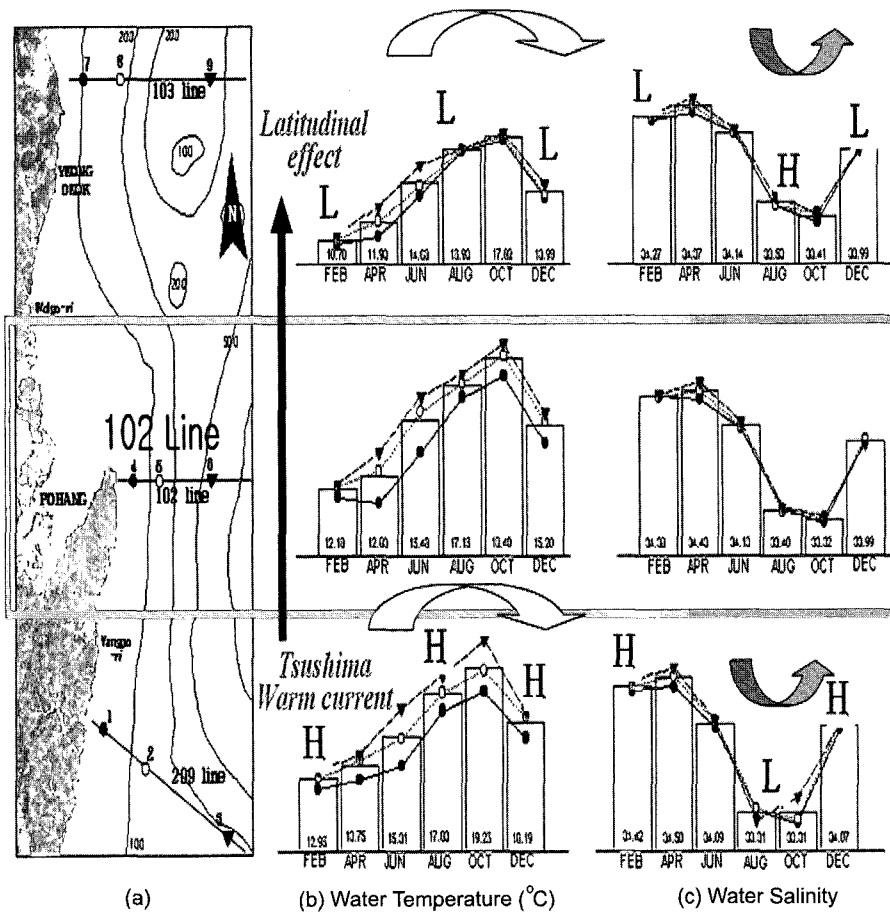


Fig. 4. Monthly variations in oceanic water data. Water temperature (°C) is on the left; salinity (PSU) is on the right and the symbol L and H are meaning Low and High, respectively.

만 부근 정선해양관측자료의 9개 정점의 관측자료(NFRDI, 1991-2002)를 사용하여 분석하였다. 정선관측자료는 영일만 수심(약 30 m) 보다 조금 더 깊은 50 m까지의 월별 평균 수온·염분 관측값을 이용하였으며, 9개 정점에 대해서 수온과 염분의 정점별, 계절별 변동을 나타낸 것이 Fig. 4(b)와 Fig. 4(c)이다.

Fig. 4(b)에서 209 line에서 103 line으로 북향할수록 수온이 감소하고 계절별로 수온의 분포가 차이남을 알 수 있다. 영일만과 인접한 102 line에서 2월의 경우 평균 수온은 12.18이고 10월의 경우 18.40에 달하는 것으로 나타났다. 또한 육역과 인접할수록 수온의 분포는 낮아지는데 이는 209 line과 103 line에서도 동일하게 나타나는 현상으로, 수심이 낮아짐에 따라서 대기와의 상호 작용에 따라 기온, 일사량의 변화, 증발량의 증가등 기상의 영향을 많이 받기 때문으로 생각된다. Fig. 4(c)에서 계절별 정점별 염분의 평균 분포를 살펴보면 계절별로 춘계 및 동계에는 높고, 하계에는 낮은 값을 나타내었다. 정선별로는 동계시기인 2월, 12월에는 209 line이 높은 반면에 하계시기인 8월과 10월에는 209 line 보다는 103 line이 높은 값을 나타내었다. 정점별로는 육역과 외해와의 염분 차이는 별로 크게 나타나지 않는 것으로 판단되었다.

이상의 결과를 통해 영일만 인근해역의 동해 고유수는 평균 약 12.2~18.4의 수온분포를 나타내며 염분의 경우 33.32~34.43 PSU 인 것으로 나타났으며, 외해에서 영일만과 같이 육역으로 가까워

질수록 수온, 염분이 낮아지는 경향을 나타내는 것으로 나타났다. 특히 동해의 수괴특성인 고온-고염의 동한 난류수괴와 저온-저염의 북한 한류수괴의 영향을 잘 나타내고 있어 영일만 동해 고유수의 변동은 대양 해류의 영향이 크게 작용할 것으로 생각된다.

상술한 9개 정점의 평균 수온과 염분의 경년변동을 Fig. 5에 나타내었다. 수온의 경우 1998년, 2001년에 급격히 상승하며, 이에 반해 염분은 급격히 하강하는데, 전년도에 걸쳐 대체로 수온과 염

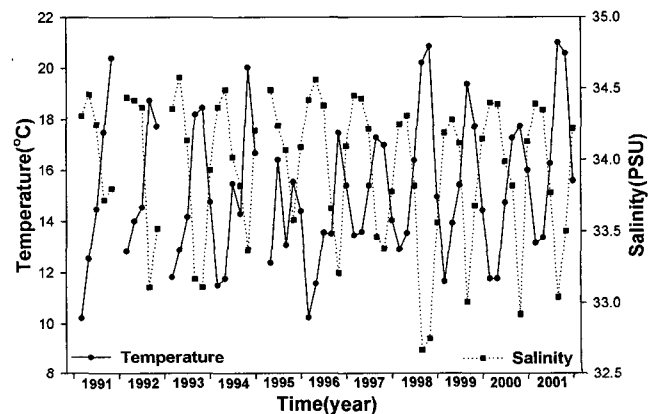


Fig. 5. Annual variations in the average water temperature of oceanic water in Yeongil Bay.

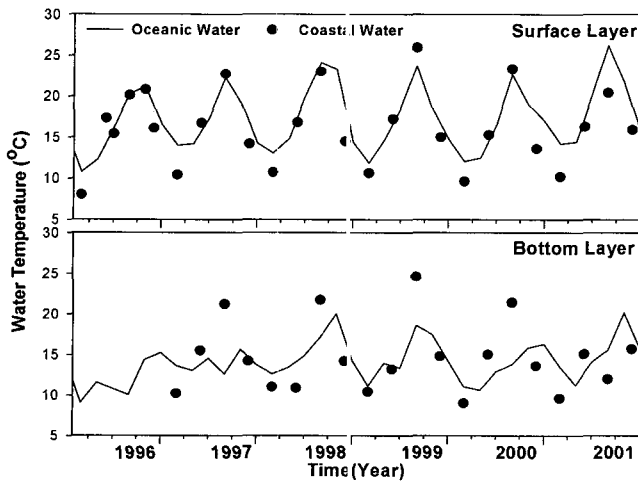


Fig. 6. Annual variations in water temperature in Yeongil Bay.

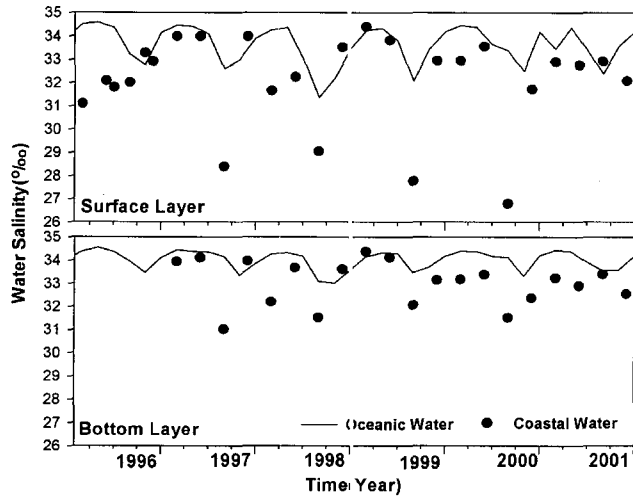


Fig. 7. Annual variations in water salinity in Yeongil Bay.

분이 반비례하는 경향을 나타내고 있다. 특히 1995년의 경우 수온과 염분의 변동이 크지 않은 것을 제외하고, 최근 3~4년의 경우, 그중 1998년은 수온·염분의 변동폭이 크게 일어나고 있음을 알 수 있는데, 이는 그해 강우량이 2,267.80 mm(포항지역 연평균 강우량 1378.8 mm)로 평년시보다 1.64배 큰 것을 감안하면 육역으로부터의 담수유입의 영향이 컸던 것으로 생각된다. 이러한 수온·염분 변동특성을 보이는 영일만 동해 고유수와 영일만 연안수와의 표·저층 수온·염분 변동특성을 살펴보기 위해 경년별 수괴의 특성을 나타낸 것이 Fig. 6과 Fig. 7이다.

Fig. 6에서 표층수온은 만내 연안수와 동해 고유수가 모두 계절에 따라 규칙적인 변동을 나타내고 있으며, 최고수온은 여름, 최저는 겨울이었으나, 저층수온은 이와 달리 만내 연안수가 겨울부터 여름까지 수온이 서서히 상승하는 현상(1999)과 봄까지는 상승하던 것이 여름에 급강하하는 현상(2001) 등의 형태를 볼 수 있는데, 이는 동해 고유수가 저층을 통해 만내로 유입되는 것으로 예측할 수 있다. 또한 만내 연안수와 동해 고유수의 표·저층간

수온차는 여름인 8월에 1~3°C이며, 2001년 여름의 경우 저층수온이 5월의 15.1°C보다 낮은 12.0°C를 나타내었다.

Fig. 7에서 표층염분은 만내 연안수와 동해 고유수가 약 31~34 PSU의 범위를 나타내나 만내 연안수의 8월 염분은 현저히 떨어져 약 27~28 PSU의 수치를 나타내었다. 또한 저층염분에서 표층염분과 마찬가지로 8월의 경우 약 31~33 PSU로 연중 최저염분치를 나타내었으나 표층염분에 비해 염분농도가 전반적으로 높은 수치를 나타내었다. 이와 같은 8월 내만수 염분농도 급강하 원인은 육상으로부터 담수유입 증가로 판단되며, 특히 2001년의 경우에서 볼 때 수온과 염분의 8월 내만수의 변동경향은 육상 담수유입의 영향보다는 영일만 동해 고유수의 영향이 클 것으로 생각된다.

따라서 8월을 포함하는 여름철의 경우 영일만 동해 고유수에 의해 내만의 수괴가 저수온화되는 경향을 나타내며 이와 달리 염분은 동해 고유수의 영향으로 고염분화되는 것을 알 수 있다.

### 2.5 수온·염분 스펙트럼해석

만내 연안수와 동해 고유수와 상호관련 및 변동주기특성을 살펴보기 위해 동해 고유수와 연안수의 수온에 대해서, 영일만과 인접한 동해 고유수의 염분에 대해서 표·저층 수온·염분의 월평균치를 사용해 스펙트럼해석을 수행하였으며, 그 결과는 각각 Fig. 8과 Fig. 9와 같다. 해석에 사용되어진 스펙트럼은 파워스펙트럼으로 William *et al.*(1992)의 해석방법에 따랐으며, 정형화된 FFT 알고리즘을 사용하여 수행하였다.

스펙트럼 해석결과를 통해 만내 연안수와 동해 고유수는 서로 일정한 주기성을 가지고 있으며, 표층과 저층 모두 그 주기는 약 0.84~0.91년, 1.84년의 주기를 나타내었다.

이는 Table 2에 제시한 바와 같이 Lee(2003)의 동해 남부해역에서 쓰시마 난류의 수온의 변동주기인 1.34년, Ro(1989)의 연안수온의 변동주기인 1.78년, Kang *et al.*(1991)의 1.17년과 1.0년의 결과와 비교해 약간의 차이를 보인다. 하지만 본 연구의 경우 영일만 인근의 연안에 한정되어 있을 뿐만 아니라 수심 50 m이내의

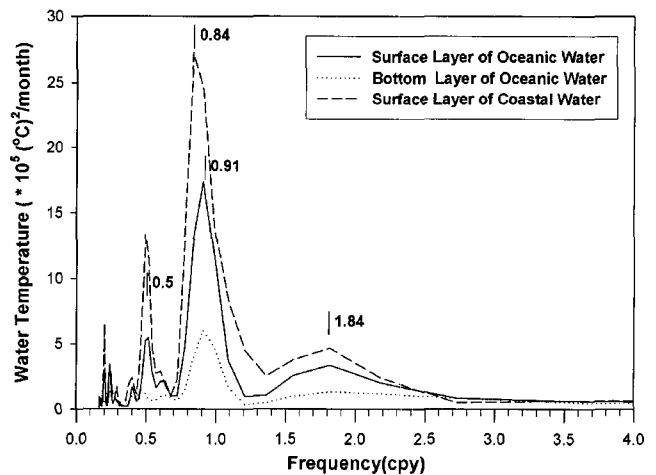


Fig. 8. Spectral analysis results of the average water temperature of oceanic and coastal waters.

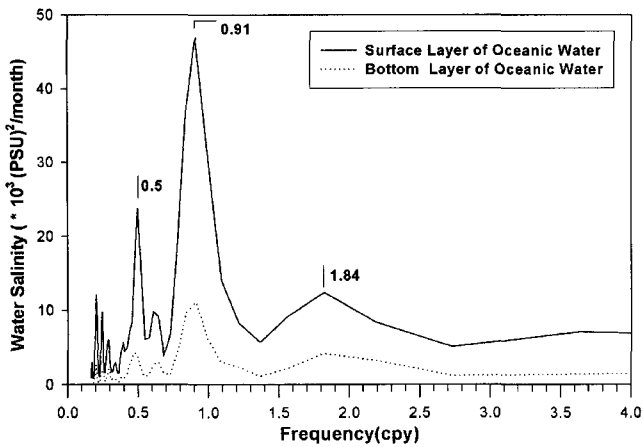


Fig. 9. Spectral analysis results of the average water salinity of oceanic waters.

Table 2. Interannual periodicity of seawater temperatures proposed by many researchers

Divisions	Interannual period(year)	Authors
El Niño	about 3.8	Quinn <i>et al.</i> (1987)
Kuroshio C.	8.4, 6.7, 3.1	Kawabe(1982)
Korea Strait (Tsushima C.)	5.33, 3.05, 1.78	Ro(1989)
	16.26, 4.53, 1.34	Lee(2003)
East Korea Warm Current(EKWC)	5.8, 3.3, 1.17, 1.0	Kang <i>et al.</i> (1991)

수온·염분 자료임을 감안하면 기존 연구 결과와의 직접적인 비교에는 약간의 차이가 있음은 당연한 결과라 생각된다. 더구나 Table 2에서 살펴보면 해협에서 연안역으로 영역이 축소됨에 따라 변동주기도 감소하는 경향을 나타내는데 이를 통해 대상해역이 더욱 연안역에 가까운 영일만의 변동주기는 더욱 짧을 것이라 생각할 수 있다. 따라서 이상의 결과를 정리해보면 영일만 연안수의 경우 동해 고유수가 계절별, 경년변동을 하는 경우 그 영향으로 유사한 변동특성을 나타내고 있음을 알 수 있다.

Fig. 10은 영일만 연안수의 연안정지 수온관측 결과로 6월 중순부터 9월초순 사이에 상승하던 수온이 갑자기 하강하였다가 다시 높아지는 현상이 매년 나타나고 있다. 기온이 계속 상승하는 여름철에 연안수온이 이처럼 급강하하는 것으로 보아 영일만에서는 만외측의 저층에서부터 발달한 냉수가 강약의 차이는 있지만 거의 매년 6~9월사이에 연안 깊숙한 해안선의 표면까지 부상하고 있는 것이라 판단된다.

또한 Fig. 11은 6월~9월까지 특징적으로 수온하강이 출현하는 연도의 연간수온자료를 스펙트럼해석한 결과이다. 1996년의 경우 단주기의 경우 약 11.0, 2.2일, 1997년의 경우 약 5.9일, 2.6일, 2001년의 경우 약 11.9일, 10.5일, 3.9일에서 피크를 나타내고 있다. 대체로 약 2.4일과 10.0일간의 단주기 일별변동이 발생하는 것으로 생각되나 1997년의 경우 10일의 단주기 변동이 나타나지 않는 것이 특징적이다. Lee *et al.*(1998)에 따르면 7월 중순에 동해

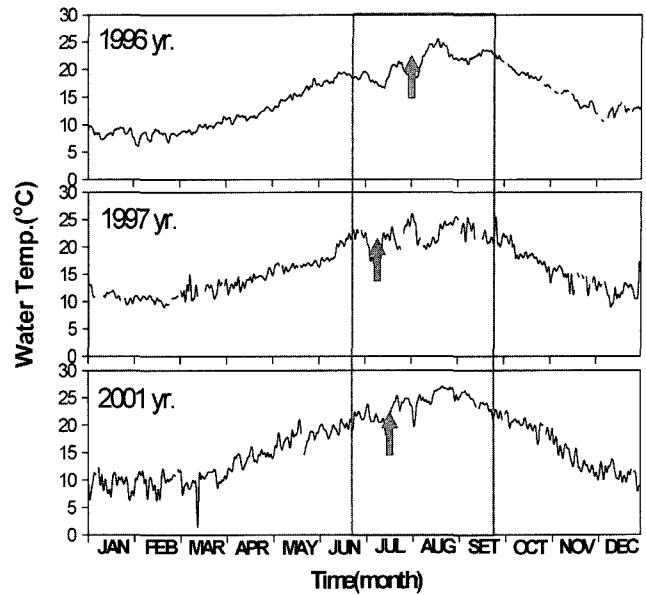


Fig. 10. Annual variations in the water temperature of coastal waters.

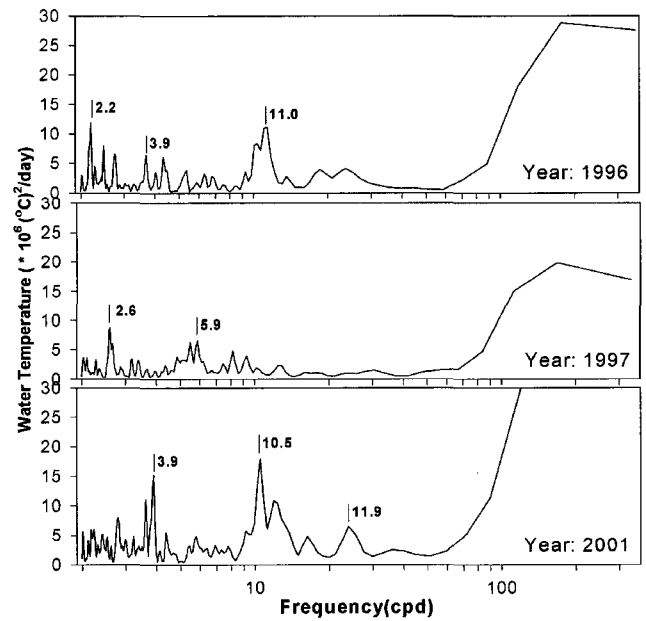


Fig. 11. Annual spectral analysis results of water temperatures of coastal waters.

남부 해안에서 발생하는 용승현상으로 인한 해수 표면에서의 냉수대 현상의 영향으로 약 0.5정도의 수온 강하 현상을 장기갑에서도 발견하였다고 보고한 바 있으며, Son(1977)은 냉수괴의 세력이 강할 때에는 만외측에서와 같은 세력의 냉수가 만 내측에까지 영향을 미친다고 주장하였다. 또한 Byun(1989)은 부산 바람자료를 이용, 바람합력(바람응력을 시간으로 적분한 것)을 계산하여 여름철 냉수대는 최소 바람응력 10 m<sup>2</sup>/sec이상일 때에만 해표면에 출현한다고 주장하였다.

이상과 같이 영일만의 경우 해상풍 기상조건에 따라서 동해남부 해안에서 발생하는 냉수대와 마찬가지로 동해 저층을 통해 남

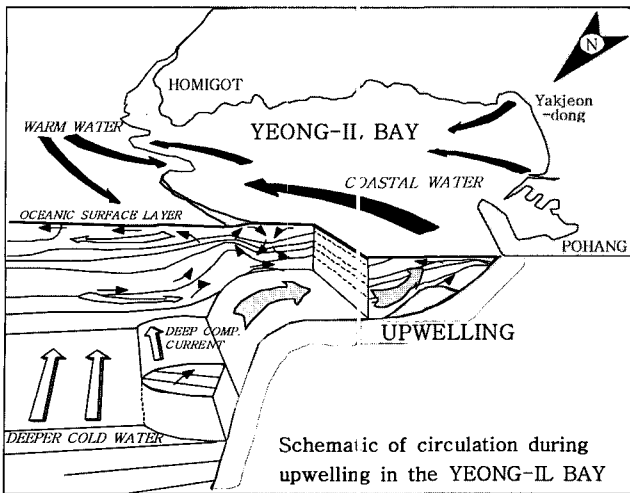


Fig. 12. Development mechanism of vertical circulation currents in Yeongil Bay.

하하는 북한한류의 영일만 저층 내부로의 유입, 연안용승현상 발생이 하계기간동안 영일만 연안수의 수온하강현상을 발생시키는 원인으로 생각된다.

### 3. 결 론

이상의 결과를 정리해보면 영일만내 수괴의 연직순환류의 순환 구조를 Fig. 12과 같이 나타낼 수 있다. 이는 표층에서 형산강 담수의 외해로의 유출과 저층에서 동해 저온-고염의 동해 고유수가 유입되어 연안 용승하는 현상으로 인해 연안 연직순환류가 발생하게 되는 것이다.

영일만에 출현하는 동해 고유수의 냉수는 수괴가 안정되는 봄부터 나타나기 시작하여 여름에 가장 뚜렷해지며, 그 발생주기는 단주기변동으로 약 10일정도의 주기를 가진다. 특히, 강우량의 증가로 담수유입이 많을 경우에는 그 세력이 더욱 커져 영일만내의 표층수도 저층 저온수의 영향을 현저히 받는 것으로 생각된다.

아울러 이와 같은 만내 순환류는 내기의 기후조건과 밀접한 관련이 있을 것으로 판단된다. 특히, NE방향의 바람이 우세한 6월~9월에 영일만 북부해안부근에서 용승(Upwelling)현상이 발생하고 이러한 현상으로 인해 취송류(Wind driven current)의 발생과 아울러 영일만내의 중심부에서 시계방향의 상하 회전성 순환류가 발생할 것으로 판단된다. 이는 Lee et al.(1995)의 영일만내 표·저층의 항류 해양관측결과를 재해석한 결과와도 유사하다. 하지만 SW방향의 바람이 우세한 춘계, 추계, 동계의 경우 NE풍향이 우세한 경우와는 반대 경향의 하구순환류 흐름이 발생할 것으로 생각된다. 특히 표층에서의 외해로의 유출, 저층에서의 외해로부터의 유출이 뚜렷해지는 경향을 나타낼 것이다.

결론적으로 조석영향이 미약한 영일만의 경우 만내 하구순환류가 내만의 오염물질을 외해로 수송하는 역할을 담당할 것으로 판단된다. 차후 현장관측조사 및 광범위한 자료수집과 아울러 3차원

수치모의실험을 통해서 상세한 해석과 검토가 수행되어야 할 것이다.

이러한 측면에서 본 연구결과는 현재 추진중인 영일신항 건설에 따른 만내 형상 변화가 만내 해수교환, 만내 수괴 및 오염물질 거동에 미치는 메카니즘을 밝혀내는데 기초자료로 활용가능할 것이다.

### 참고문헌

- [1] Byun, S.Y., 1989, "Sea surface cold water near the southeastern coast of Korea: wind effect", *J. Oceanogr. Soc. Korea*, 24(3), 121-131.
- [2] Choi, K.H., 1993, *Oceanographic properties of the Yeongil Bay*. Thesis, Pukyong National University, Busan Korea, pp. 47. (in Korean)
- [3] Kang, Yong-Q and H.E. Kang, 1991, "Long-term fluctuations of water temperatures in the upper 200 m off the southeast coast of Korea", *Bull. Korean Fish. Soc.*, 24(6), 450-458.
- [4] Kawabe, M., 1982, "Branching of the tsushima current in the Japan Sea Part I. Data analysis", *J. Oceanogr. Soc. Japan*, 38, 95-107.
- [5] Kim, C.H. and K. Kim, 1983, "Characteristics and origin of cold water mass along the east coast of Korea", *J. Oceanogr. Soc. Korea*, 18(1), 73-83. (in Korean)
- [6] Kim, K.T., 1992, *The Study of the East-Western Sea of Korea*. Yeungnam University Press, Kyeongsan, Korea, 170-237. (in Korean)
- [7] Korea Meteorological Administration (KMA), 1992-2001, *Annual Weather Report*. Seoul, Korea. (in Korean)
- [8] Lee, D.K., J.I. Kwon and S.B. Hahn, 1998, "The wind effect on the cold water formation near gampo-ulgi coast", *J. Korean Fish. Soc.*, 31(3), 359-371. (in Korean)
- [9] Lee, J.S., C.K. Kim, J.H. Kim and K.B. Lim, 1995, "Current structures and diffusion characteristics in yeongil bay", *J. Korea Society of Oceanography*, 30(5), 467-479. (in Korean)
- [10] Lee, J.C., 1983, "Variations of sea level and sea surface temperature associated with wind-induced upwelling in the southeast coast of Korea in summer", *J. Oceanogr. Soc. Korea*, 18(2), 149-160.
- [11] Lee, C.I., 2003, *Relationship between variation of the Tsushima Warm Current and current circulation in the East Sea*, Ph.D. Thesis, Pukyong National University, Busan, Korea, 67-81. (in Korean)
- [12] Lie, H.-J., M.S. Suk, and C.H. Kim, 1989, "Observations of southeastward deep currents off the east coast of Korea", *J. Oceanogr. Soc. Korea*, 24(2), 63-68.
- [13] Na J.Y., S.W. Lee and K.D. Cho, 1991, "A study on sea water and ocean current in the sea adjacent to Korea peninsula - the vertical structure of temperatures in the east sea of Korea", *Bull. Korean Fish. Soc.*, 24(4), 215-228. (in Korean)
- [14] National Fisheries Research and Development Institute (NFRDI),

- 1991-2002, *Annual Report of Oceanographic Observations*. Busan, Korea. (in Korean)
- [15] Quinn, W.H., V.T. Neal and S. Mayolo, 1987, "El Niño occurrences over the past four and half centuries", *J. Geophys. Res.*, 92(C13), 14449-14462.
- [16] Ro, Y.J., 1989, "Interannual variability of sea water temperatures in the southern waters of the Korean east sea", *J. Oceanogr. Soc. Korea*, 24(1), 1-14.
- [17] Ro, Y.J., M.J. Park, S.R. Lee and J.C. Lee, 1995, "Structures and Variability of the T-S field and the Current across the Korea Strait", *J. Oceanogr. Soc. Korea*, 30(4), 237-249.
- [18] Seung, Y.H., 1986, "On the response of coastal water to the intensification of east Korea warm current along the east coast of Korea-a theoretical consideration", *J. Oceanogr. Soc. Korea*, 21(4), 229-235.
- [19] Son, S.J., 1977, "A Study on the characteristics of cold water in young il bay", *Bull. Fish. Res. Dev. Agency*, 18, 23-28. (in Korean)
- [20] William, H.P., A.T. Saul, T.V. William, P.F. Brian. 1992. *Numerical recipes in FORTRAN: the art of scientific computing -2nd edition*, Cambridge University Press, London, U.K., pp. 498-502 & 542-551.
- [21] Yoon, H.S., I.C. Lee and C.R. Ryu, 2003, "Spatial and temporal variation characteristics between water quality and pollutant loads of Yeong-il Bay(II) - mutual variation between inflowing pollutant loads and water quality", *J. Ocean Engineering and Technology*, 17(5), 32-38. (in Korean)

---

2005년 6월 14일 원고접수

2005년 8월 16일 수정본 채택