

울릉도 연안산 해조류 넓미역 *Undaria peterseniana*의 서식 특성

윤 성 진*
(한국해양과학기술원)

Inhabit Features of a Brown Alga *Undaria peterseniana* in Coastal Area of Ulleung Island

SUNG JIN YOON*
(Korea Institute of Ocean Science and Technology)

Abstract

Brown alga *Undaria peterseniana* has been interested in the commercial scale aquaculture for warm water species development in southern coastal area of Korea. However, this species was classified an endangered species caused by a decrease in habitat and natural population. In this study, inhabit characteristics of *U. peterseniana* was investigated in their natural habitat of Ulleung Island, Korea. The *U. peterseniana* population was occurred dense patches at 20~30m depth. Total length of the alga reached 1.0~2.0m and the largest width ranged 10.0~35.0cm during the study. In 2013, habitats of this species increased two sites compared with the previous year and their distribution extended to low depth (10m) of coastal area. In long-term data, seawater temperature revealed a continuous increment by strong going north of East Korea Warm Current or Ulleung Warm Eddy turning around the coast of Ulleung Island. It suggested that habitat extension of *U. peterseniana* may be caused by suitable settlement condition and increase of warm water around the coastal area. Current studies of this species may be continuously required in the possibility of fisheries resources as aquaculture species and index species of increment of water temperature at the fixed monitoring site in East Sea. This is the first study to research ecological feature *U. peterseniana* population at the natural habitat of Ulleung Island.

Key words : *Undaria peterseniana*, Warm species, Habitat characteristic, Ulleung Island

I. 서론

우리나라 연안에 서식하는 대형 갈조류 식물은 식용뿐만 아니라 먹이자원으로 사용되고 있다. 특히 다시마목(Laminariales) 미역과(Alariaceae)에 속하는 미역(*Undaria pinnatifida*, 감태(*Ecklonia cava*), 곱피(*Ecklonia stolonifera*), 대황(*Eisenia bicyclis*)은 국내뿐만 아니라 해외에서도 양식생물

인 전복(*Haliotis discus hannai*)의 먹이로 사용되고 있다 (Migita, 1963; Yamanaka and Akiyama, 1993; Kang et al., 2011). 그러나 수온상승, 갯녹음 등으로 인한 연안 생태계의 사막화는 해조류의 종조성 및 자원량 감소 현상으로 이어져 해조류의 수요량이 증가하고 있는 상황이다 (Kim et al., 2004). 이에 관련 연구자들은 해조류의 인위적인 증양식을 통해 부족한 자원을 보충하기 위한 생

† Corresponding author : 054-791-8404, sjyon@kiost.ac

* 이 논문은 2010년도 정부재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 연구되었음(NRF-2010-371-H00001)

태, 생리 및 증양식 측면에서의 다양한 연구를 수행하였다 (Lüning, 1979; Lee et al., 1990; Yoon et al., 2001; Morita et al., 2003; Hwang et al., 2010). 예를 들면 Hwang et al.(2013)은 자연산 감태와 곰피의 유주자(zoospores)를 4개월 동안 실내 및 실외에서 배양하여 전복을 이용한 섭식실험을 수행한 결과 다시마(*Saccharina japonica*)의 대용 먹이로써 활용 가치가 있음을 제시하였다. 또한 Hwang et al. (2012)은 남해안 일부지역에만 서식하고 있는 것으로 알려진 넓미역과 미역의 잡종교배를 통해 생산된 개체를 먹이생물로 이용하고자 하는 연구를 시도한 바 있다.

넓미역은 쓰시마 난류의 영향을 직접적으로 받는 일본 남부 큐슈 서북부 지역에 주로 분포하며 수온 25℃ 이상인 조건에서 성숙하는 것으로 보고되었다 (Migita, 1963). Kirihara et al. (2006)은 수온과 해조류의 서식분포와의 관련성을 조사한 결과, 넓미역을 난수성 종(warm temperature species)으로 구분하였다. 우리나라 넓미역의 분포 지역은 제주도 우도와 비양도, 가파도, 청산도의 수심 15m 부근으로 보고되었으나, 광범위하게 넓은 군락이 형성된 곳은 제주도 우도 지역이 유일한 것으로 파악되었다 (Kang, 1966; Lee and Koh, 1991; Lee, 1998). 그러나 본 종의 자연군락은 해마다 감소함에 따라 남해안 일부 지역에서만 제한적으로 자원을 이용할 수 있어서 실험실 수준의 배양 실험을 실시하고 있으며, 제주도를 포함한 남해안 연안에서 멸종위기에 처한 종으로 구분하여 관리하고 있다 (Hwang et al., 2011a). 또한 본 종은 남해안 지역을 제외한 타 지역에서 서식 군락을 찾고자 하는 연구가 이루어지고 있으나 현재까지 우리나라 동해안과 서해 연안에서는 그 분포가 확인되어 있지 않다.

동한난류(East Korea Warm Current, EKWC)는 우리나라 동해안을 따라 북쪽으로 흘러 북위 37~38° 부근까지 따뜻한 바닷물을 공급하며, 울릉도 인근해역을 지나 쓰가루해협과 소야해협을 통해 북서태평양으로 빠져 나간다. 울릉도 부근

에서는 울릉분지 내부 또는 울릉분지 북쪽에서 시계방향으로 도는 울릉난수 소용돌이(Ulleung Warm Eddy, UWE)가 뚜렷하게 관측되며, 울릉난수 소용돌이는 계절에 관계없이 극전선의 경계에서 울릉도를 중심으로 항시 존재하고, 위치는 계절에 따라 이동하는 것으로 알려져 있다 (Kim et al., 1991; Mitchell et al., 2005; Rho et al., 2010). 이와 같은 해류의 흐름은 동해안 연안보다는 울릉도 주변 해역에 지속적인 난류 공급을 통해 상대적으로 해수의 수온이 높아져 울릉도 주변 해역의 해양생태계에 영향을 미칠 것으로 판단된다. 이러한 울릉도 주변 해역의 환경변화는 넓미역의 서식이 가능한 조건을 제공할 수 있을 것으로 예측되기 때문에 울릉도 연안의 넓미역 서식 분포에 대한 기초 생태조사 연구가 필요할 것으로 판단되었다. 이에 따라 본 연구에서는 울릉도의 넓미역 서식분포를 파악하기 위한 사례연구로서 난류의 영향을 받는 것으로 판단되는 울릉도 주변 연안해역의 넓미역 서식특성 조사를 실시하였다.

II. 조사방법 및 내용

본 연구에서는 울릉도 연안으로의 넓미역 가입과 생육가능성을 탐색하기 위하여 국립해양조사원에서 발행하는 동해의 계절별 평균해류도를 참조하여 2011년과 2012년 가을철 울릉도 연안 해역의 해류 흐름을 비교하였다. 울릉도 연안의 수온변화는 2003년부터 2013년까지 울릉도 조위관측소에서 측정된 일일자료를 근거로 월별 평균값과 표준편차를 산출하여 매년 동일한 시기의 표준수온의 차이 비교 및 울릉도 연안의 장기간 수온변동 패턴은 분석하였다.

넓미역의 분포 및 서식특성 연구는 2012년 5~7월과 2013년 5~10월에 울릉도 연안 16개 지역에서 수중생태 모니터링 방법을 사용하여 실시하였는데, 자원량 보호 차원에서 비파괴방법으로

수행하였다. 수중 모니터링은 2인 1조로 실시하였는데, 수중카메라와 비디오 장치를 사용하여 영상을 획득한 후 실험실에서 넓미역의 서식여부 및 주변 생물상에 대한 영상분석을 실시하였다. 조사 수심은 5~30m 범위였으며, 30m 수심에서 입수하여 반경 50m 범위를 조사하였다. 넓미역은 좁은 날개가 있는 원기둥 모양의 줄기가 있고 엽체는 넓고 길게 펼쳐진 형태였다 (Lee, 2008). 또한 넓미역의 포자낭은 미역과 달리 잎 부분의 가운데에 만들어지며 잎의 기부에서 윗 쪽 끝까지 넓은 띠 모양의 포자낭군을 이루는 것으로 알려져 있다 (Hwang et al., 2011a). 종 분류는 수중모니터링 중 넓미역으로 추정되는 일부 개체를 채집하여 포르말린으로 고정한 후 실험실로 옮겨 동정을 실시하였다. 넓미역의 동정은 Lee (2008)의 “제주 바다말” 도감과 전문가 자문을 통해 종을 확인하였다[Fig. 1]. 또한 본 연구에서는 울릉도 연안에서의 넓미역의 생육가능성을 탐색하기 위하여 동해의 계절별 평균해류도를 참고하여 울릉도 주변 해역의 해류 흐름이 넓미역의 서식 환경에 미치는 영향을 분석하였다.



[Fig. 1] Morphological character of brown algae *Undaria peterseniana* was collected in study area

III. 결과 및 고찰

1. 울릉도 주변해역의 해수순환

2003년부터 2013년까지 울릉도 조위관측소에서 측정된 연도별 평균 표층 수온은 2011년에 $15.61 \pm 5.13^\circ\text{C}$ (평균 \pm 표준편차)로 가장 낮았으며, 2012년과 2013년에는 $16.68 \pm 5.88^\circ\text{C}$ 와 $16.87 \pm 5.54^\circ\text{C}$ 로 시간이 지남에 따라 지속적으로 상승하였다. 표준편차 자료를 이용하여 분석한 연중 표층 수온의 변동 폭은 2012년에 가장 큰 차이를 보였으며(± 5.88), 2004년에는 타 년도에 비해 수온변화가 크지 않은 것(± 4.69)으로 분석되었다. 월 변화는 2010년을 제외하면 수온이 하강하는 11월, 12월 및 1월에 11°C 보다 높은 수온을 유지하고 있었으며, 2월과 3월에 낮은 값을 보이다가 8월과 9월에 높은 것으로 분석되었는데, 이와 같은 현상은 매년 유사한 변동 패턴을 보이고 있었다 [Fig. 2A]. 특히 11월에는 평균 17°C 이상의 고수온이 측정되었는데, 이와 같은 현상은 Rho et al. (2010)이 제시한 바와 같이 울릉분지 또는 울릉분지 북쪽에서 시계방향으로 회전하는 울릉난수성 소용돌이 혹은 동한난류의 북상으로 인한 난류수의 유입에 따른 결과로 판단되었다.

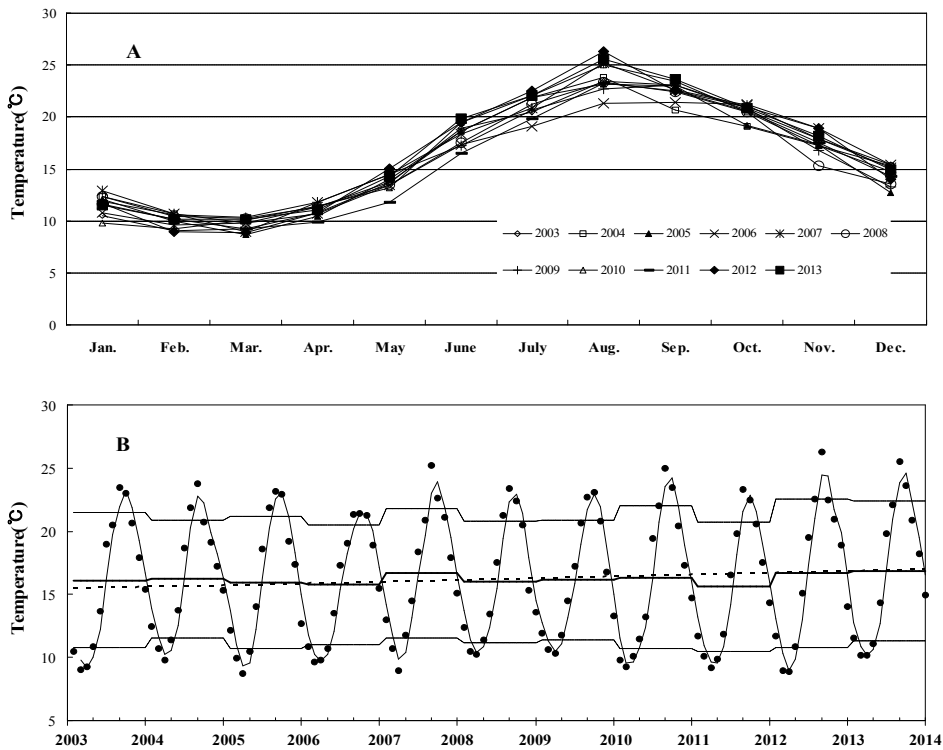
2003년부터 2013년까지의 월별 평균 표층수온 자료를 이용하여 이동평균 값을 구한 후 그래프로 나타낸 결과, 연중 월별 수온 변동 폭은 심하게 나타났으나 매년 수온의 변동 추세는 유사하여 전체적인 관측기간 동안 수온은 증가하는 경향을 보였다[Fig. 2B]. 또한 울릉도 연안의 표층수온은 시간이 지남에 따라 상승하고 있는 것으로 해석할 수 있는데, 2011년을 제외하면 평균 표층수온은 2009년 이후 지속적으로 증가하는 것으로 분석되었으며, 연중 수온변화의 표준편차 값의 변화도 유사한 패턴을 보이고 있었다. 이와 같은 결과는 2009년 이후 동한난류에 의한 난류수의 유입 강화와 관련된 것으로 고려된다.

2. 울릉도 넓미역의 서식 분포

본 연구기간 중 발견된 넓미역은 울릉도 서쪽과 북쪽 연안의 3개 정점에서 군락을 형성하고 있었다[Fig. 3]. 넓미역 군락은 2012년 7월 초에 울릉군 서면 태하항 앞쪽 심층수 라인 부근에서 처음 발견되었다. 주변 암반지역에는 소규모 갑태 군락이 형성되어 있었다. 본 조사정점은 조하대에서 수심 20m까지는 구멍갈파래(*Ulva pertusa*)와 같은 녹조류가 관찰되었으며, 저질이 작은 몽돌과 사질로 이루어진 20~30m 수심에는 넓미역 개체와 끈말(*Chorda filum*)이 함께 서식하고 있었다. 넓미역의 우점 군락은 심층수 라인 부근에서 발견되었는데, 이는 본 지역은 심층수의 취배

수구가 인접하여 주변 해수와의 혼합으로 인해 표층수(26°C)에 비해 수온(14°C)이 낮고 변동 폭이 심하지 않은 것으로 판단되었다. 조사기간 중 채집된 넓미역의 엽장은 1.0~2.0m, 엽폭은 15.0~35.0cm 범위이며, 심층수 라인을 따라 길게 분포하고 있었다. 조사지역의 넓미역 개체군의 분포 면적은 약 200×200m 면적으로 추정되었다.

2013년 5월에는 2012년에 발견된 태하항 앞쪽 심층수 취수라인 부근과 울릉군 서면 통구미와 사동신항 중간지역으로 수심 25~30m 부근에 분포하고 있었다. 본 조사정점의 저질은 대부분 사질로 구성되어 있으며, 10~20m 수심에는 소규모 갈피 군락이 형성되어 있었다. 넓미역이 발견된 수심에서는 일부 자갈과 몽돌이 혼합된 저질 환



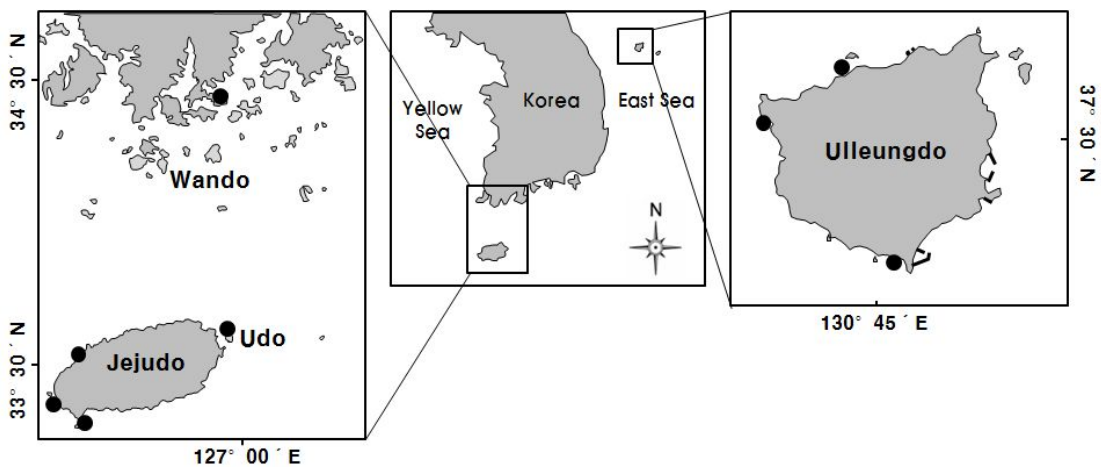
[Fig. 2] Monthly (A) and annual variations of water temperature at Ulleung tidal station. The dotted line shows the regression line of linear trend; the solid lines show averages (bold) and ranges of standard deviation in the periods 2003 to 2013.

경이 나타났는데, 넓미역의 길이는 엽장 0.5~1.5m, 엽폭 10.0~25.0cm 범위로 자갈과 몽돌에서 소규모 군락을 형성하고 있었다. Hwang et al. (2010)은 넓미역이 분포하거나 우점군락을 형성하는 지역은 수심이 깊고, 투명도가 높으며, 외양역에 면해 쿠로시오 난류의 영향이 강한 해역인 것으로 보고되었다. 이러한 서식 조건은 울릉도의 해양환경과 유사한 특성을 보였는데, 울릉도의 경우 연중 탁도가 낮고, 육지와 떨어진 지리적 특성 상 외해의 영향을 많이 받는 곳이다. 또한 울릉도 주변해역은 대마난류에서 분지된 동한난류의 영향을 받는 것으로 알려져 있다 (Kim et al., 1991). 동한난류는 북위 37~38°부근까지 따뜻한 바닷물을 공급하며, 가을철에 울릉분지 혹은 울릉분지 북쪽에서 시계방향으로 회전하는 울릉난수 소용돌이가 빈번하게 관측되었다 (Rho et al., 2010). 이와 같은 물리적 환경은 수온변화 및 영양염의 수직, 수평 분포를 조절하게 되고 결과적으로 울릉도 연안 생태계에 영향을 미치는 것으로 판단되었다 (Yoo and Park, 2009; Choi et al., 2013).

세 번째 발견된 넓미역 군락은 울릉군 북면 공암 부근으로 저질은 사질지역에 큰 암반이 겹쳐

진 형태로 이루어져 있었다. 조사 시기는 2013년 7월 말이었으며, 표층 수온은 20℃, 20m 수심에서 수온은 14℃ 이었다. 공암 부근 조하대에는 암반에 모자반과 소규모의 감태 군락이 형성되어 있었으며, 바닥의 몽돌과 암반 표면에는 산호조류가 착생하여 서식하고 있었으며, 넓미역은 주로 산호조류에 부착하여 서식하고 있었다. Hwang et al. (2010)은 넓미역 서식처 주변의 해조상을 관찰한 결과 대형 갈조류의 서식은 거의 확인되지 않았으며, 소형 홍조류 일부만 출현하여 매우 단조로운 해조상을 이루는 것으로 보고하였다. 이와 같은 결과는 본 조사에서도 유사한 경향을 보였는데, 공암 넓미역 서식처 부근의 암반 표면에는 산호조류가 착생하고 있었으며, 끈말, 불레기말 등이 서식하고 있었다. 본 조사지역의 넓미역 군락은 10~25m 수심에서 주로 발견되었는데, 넓미역의 크기는 20m 이하의 깊은 수심에서는 엽장이 1.0~2.0m 사이였으나 10m 수심에서 채집된 개체는 1.0m 이하의 작은 개체들이 서식하고 있었다. 한편 본 정점에서 발견된 넓미역 군락은 다른 두 정점에 비해 분포면적이 넓고, 낮은 수심까지 분포하는 특성을 보였다.

본 연구에서 넓미역 군락은 조류의 흐름이 약

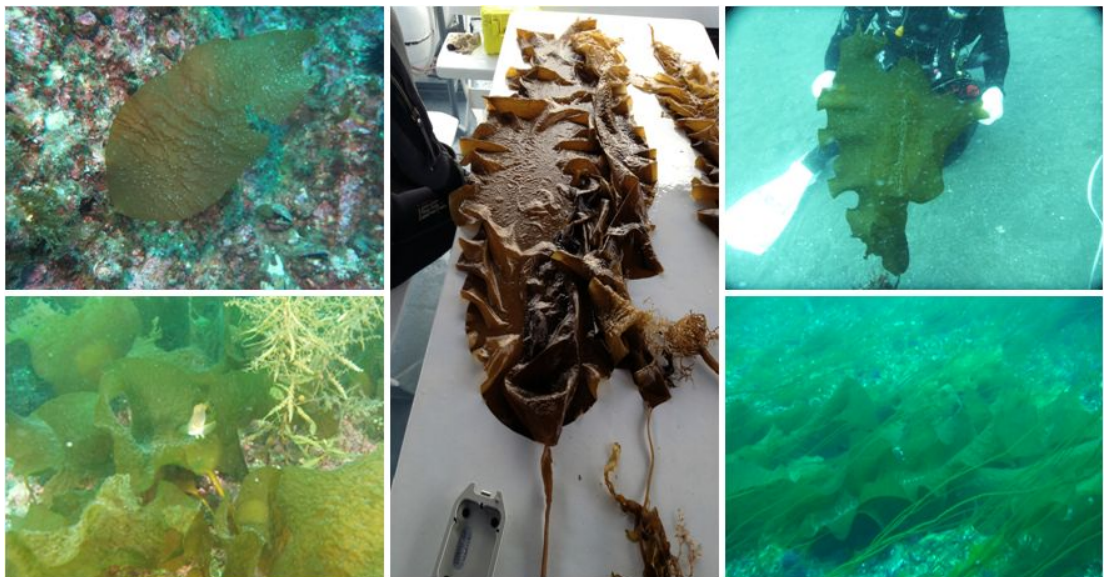


[Fig. 3] Distribution of *Undaria peterseniana* reported by several literatures and this study around coastal area of Korea

한 10m 이하의 깊은 수심과 대형갈조류가 우점하지 않고, 해조상이 단조로운 지역으로 주로 발견되었다. 이는 제주도의 넓미역 서식환경과 유사한 것으로 판단되었는데, 제주도의 경우 넓미역의 서식 가능 원인은 성장속도가 느린 다년생인 감태, 모자반류 및 소형 홍조류들에 비해 넓미역 개체군이 성장속도가 빠르고 서식지의 공간 및 수광 경쟁에서 앞서기 때문인 것으로 보고되었다 (Hwang et al., 2010). 한편 본 연구에서 발견된 3개 지역의 넓미역 서식 기질은 암반에 착생한 산호조류나 몽돌 표면에서 주로 발견되었는데, 이는 대형 갈조류의 경우 엽체가 크고 다육질로 구성되어 강한 파도나 조류의 흐름에 견딜 수 있는 반면 넓미역은 형태적 특성 상 대형 갈조류에 비해 엽체를 견고하게 부착시키기에는 다소 부적합하여 조류의 흐름이 약한 10m 이하 수심에 서식하는 것으로 판단되었다.

현재까지 우리나라 동해안의 넓미역 서식지는 울릉도 연안을 제외한 타 지역에서는 넓미역의 서식처가 발견된 바 없다[Fig. 4]. 이와 같은 현상은 동안난류의 영향을 받는 울릉도의 연안환경과

는 달리는 동해안에서 빈번하게 발생하는 용승 및 북한한류의 영향으로 냉수대가 형성되어 동해안 연안지역의 넓미역 서식환경을 저해하는 것으로 판단된다 (Suh and Hwang, 2005). 최근 들어 제주지역의 넓미역 자원량은 크게 감소하여 이용이 제한되고 있으며, 일정기간 채취를 금지하고 있다 (Hwang et al., 2010). 이와 반면 본 연구결과에 의하면 울릉도 넓미역 서식지역은 3개 지역으로 확장되었으며, 서식수심도 낮아지고 있었다. 이러한 현상은 울릉도 넓미역의 서식생태에 적합한 환경조건과 더불어 난류의 영향에 의한 수온 변화에 기인된 것으로 판단되었다. 울릉도는 동해 연안의 선박이 왕래하기 때문에 남해안 지역의 선박에 의한 넓미역 유주자의 가입이 어려운 조건이다. 울릉도는 연중 쿠로시오 난류의 영향을 받으며, 아열대화가 진행됨에 따라 제주도에서 발견되는 해조류가 다수 관찰되고 있다 (Unpublished). 이에 따라 울릉도의 넓미역 서식 분포는 선박에 의한 이동보다는 보다는 해류에 의한 유주자의 이동 및 가입에 기인된 것으로 판단할 수 있다. 울릉도 연안 넓미역의 경우와 유



[Fig. 4] Figure of *Undaria peterseniana* observed by SCUBA diving around coastal area of Ulleung Island, Korea

사하게 난류수의 유입에 따른 수온 상승과 이를 선호하는 새로운 종의 서식분포는 일본 교토지역에서도 보고되었는데 (Kirihara et al., 2006), Otani and Nakamura (1985)는 난류소용돌이의 지속적인 영향으로 인해 수온상승과 더불어 난류성 해조류의 출현빈도가 높아지는 결과를 초래한 것으로 보고하였다.

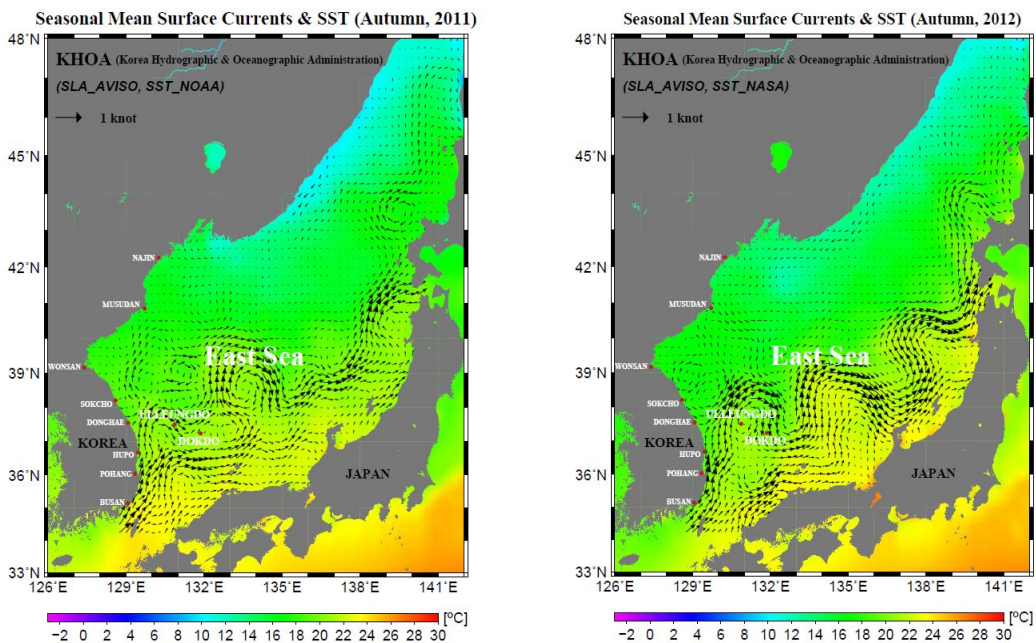
3. 넓미역의 서식 원인 및 활용

국립해양조사원의 자료를 통해 분석한 2011년과 2012년 가을철 울릉도 연안 해역의 해류는 2011년에 동안난류의 세력이 울릉도와 독도보다 아래 해역에서 강하게 나타났으나 2012년에는 동안난류의 세력이 울릉도와 독도 주변 해역까지 확장하여 두 섬을 감싸는 형태를 보였다[Fig. 5]. 이는 울릉도 연안의 표층 수온이 2011년에 비해 2012년에 상승한 것으로 해석되며, 이 시기에 넓미역의 증식이 활발하게 이루어진 것으로 판단되

었다.

일반적으로 다시마목에 속하는 해조류는 가을철부터 성장하기 시작하여 이듬해 봄철에는 성체로 성장하는데, 이 시기에 수온은 종의 출현, 분포 및 성장에 영향을 미치는 주요 요인 중 하나로 고려되고 있다 (Morita et al., 2003). 이에 Kirihara et al. (2006)은 해조류의 주 성장시기인 겨울철에 해수의 평균 수온이 1℃ 상승함에 따라 냉수성 종(cold temperature species)인 *Saccharina japonica* (as *Laminaria japonica*)와 *Saccharina sculpera* (as *Kjellmaniella crassifolia*)의 생체량이 감소하였으며, 수온이 상승함에 따라 기존에 출현하지 않았던 난수성 종인 넓미역이 서식하는 것으로 보고하였다.

넓미역은 4월 이후 자원량이 줄어드는 미역과는 달리 25℃ 이하 수온에서 성숙하고 국내에서는 7월경에도 채집이 가능한 종으로 보고되었다 (Migita, 1963; Hwang et al., 2012). 그러나 울릉도



[Fig. 5] Comparison of mean surface current and SST (autumn 2011 and 2012, respectively) estimated by Korea Hydrographic & Oceanographic Administration in the East Sea

연안 해역의 넓미역 업체는 8월 중순까지 관찰되었는데, 이는 넓미역이 미역보다 상대적으로 수온이 낮은 깊은 수심에 서식하기 때문에 장기간 동안 자연군락을 유지할 수 있었던 것으로 판단된다. 이에 남방계 미역 품종으로 분류되는 울릉도 넓미역은 생장 및 성숙주기를 비롯한 생리-생태적 특성 연구와 더불어 유용성 해조류 자원으로써 품종개량 및 대량 증식을 위한 연구가 이루어져야 할 것이다. 또한 해조류의 자연군락 형성은 가입중에 적합하게 해양 생태환경이 조성된 경우에 한하여 가능한 것으로 판단된다. 울릉도 연안 넓미역은 깊은 수심, 높은 투명도, 외양역의 조류 영향 등의 적절한 환경조건과 난류의 영향으로 인한 수온상승으로 인해 서식분포가 확장된 것으로 판단할 수 있었다. 또한 넓미역은 기존에 동해안의 수온상승과 연계하여 조사되었던 부유생물의 출현 양상변화 연구뿐만 아니라 도서지역을 고정 정점으로 한 생물상 연구를 통해 기후변화를 예측할 수 있는 지표생물로서 이용 가치가 높은 것으로 판단되었다. 이를 위해서는 울릉도 연안에 서식하는 넓미역의 지속적인 생태-생리 모니터링 연구가 선행되어야 할 것이다.

IV. 결 론

넓미역은 따뜻한 물에 서식하는 종으로서 제주도를 포함한 우리나라 남해안 연안에서 보호대상 해조류로 지정되어 일정기간 채취를 금지하고 있으며, 동해 연안에서는 서식처가 발견되지 않았던 종이다. 이에 따라 본 연구에서는 넓미역의 서식 특성을 파악하기 위하여 2012년과 2013년 울릉도 주변 연안해역의 넓미역 분포를 조사하였다. 조사결과 넓미역은 2012년 7월 경 울릉도 서쪽과 북쪽 연안의 20~30m 수심에서 발견되었으며, 2013년에는 기존 정점을 포함하여 총 3개 정점에서 발견되어 2012년보다 서식범위가 확대되었다. 한편 울릉도의 표층 수온은 2003년부터

2013년까지 점차적으로 증가하였는데, 이는 울릉분지 또는 울릉분지 북쪽에서 시계방향으로 회전하는 울릉난수성 소용돌이(UWE) 혹은 동한난류(EKWC)의 북상으로 인한 난류수의 유입 증가에 따른 결과로 고려된다. 이와 같은 현상은 울릉도 연안으로 따뜻한 물의 유입이 증가하는 원인이 되어 2012년 이후 넓미역 배우체의 가입이 활발해진 것으로 판단되었다. 결론적으로 울릉도 연안 해수의 수온상승은 넓미역의 출현과 같은 다시마목 해조류의 종조성을 변화시키는 요인으로 작용하였다. 또한 본 연구에서 발견된 넓미역 군락은 난수성 해조류를 이용한 상업적 규모의 양식을 위한 수산자원으로써의 가능성을 도모하고, 도서지역의 고정 정점을 이용한 장기 수온변동을 모니터링 할 수 있는 지표생물로서의 활용 연구가 필요한 것으로 판단된다.

Acknowledgements

본 연구의 수중조사에 행정적 도움을 주신 울릉군청 관계자에게 깊은 감사를 포함합니다.

References

- Choi, Yong-Kyu · Kim, Sang-Woo · Jeong Hee-Dong · Shim, Jeong-Min & Kwon, Kee-Young(2013). Coastal stratification induced by oceanographic conditions of open sea in the East Sea on February, 2013, Journal of the Korean Society of Marine Environment & Safety 19, 327~333.
- Hwang, Eun-Kyoung · Gong, Yong-Gun & Park, Chan-Sun(2010). Ecological characteristic of the endangered brown alga, *Undariopsis peterseniana* (Kjellman) Miyabe et Okamura, at Jeju Island, Korea: growth and maturation, Korean Journal of Fisheries and Aquatic Sciences 43, 63~68.
- Hwang, Eun-Kyoung · Gong, Yong-Gun & Park, Chan-Sun(2011a). Cultivation of brown alga, *Undariopsis peterseniana* (Kjellman) Miyabe and Okamura, as a warm-temperature species by

- artificial seed production in Korea, Journal of Applied Phycology 23, 449~455.
- Hwang, Eun-Kyoung · Shim, Cheol-Hong · Ha, Dong-Soo · Gong, Yong-Gun & Park, Chan-Sun(2011b). Regeneration and maturation induction of free-living gametophytes of *Undariopsis peterseniana* for their mass production, Korean Journal of Fisheries and Aquatic Sciences 44, 155~161.
- Hwang, Eun-Kyoung · Gong, Yong-Gun & Park, Chan-Sun(2012). Cultivation of a hybrid of free-living gametophytes between *Undariopsis peterseniana* and *Undaria pinnatifida*: morphological aspects and cultivation period, Journal of Applied Phycology 24, 401~408.
- Hwang, E.K. · Gong, Yong-Gun · Hwang, Il-Ki · Park, Eun-Jeong & Park, Chan-Sun(2013). Cultivation of the two perennial brown algae *Ecklonia cava* and *E. stolonifera* for abalone feeds in Korea, Journal of Applied Phycology 25, 825~829.
- Kang, Jae-Won(1966). On the geographical distribution of marine algae in Korea, Bulletin of Pusan Fisheries College 7, 1~125.
- Kang, Jeong-Chan · Choi, Han-Gil & Kim, Myung-Sook(2011). Macroalgal species composition and seasonal variation in biomass on Udo, Jeju Island, Korea, Algae 26, 333~342.
- Kim, Kuh · Kim, Kyung-Ryul · Chung, Jung-Yul · Yoo, Hong-Sun & Park, Sang-Gap(1991). Characteristics of physical properties in the Ulleung Basin, Journal of the Oceanological Society of Korea 26, 83~100.
- Kim, Mi-Kyung · Shin, Jae-Ki & Cha, Jae-Hun(2004). Variation of species composition of benthic algae and whitening in the coast of Dokdo Island during summer, Algae 19, 69~78.
- Kirihara, Shinji · Nakamura, Toshiki · Kon, Naoto · Fujita, Daisuke & Notoya, Masahiro(2006). Recent fluctuations in distribution and biomass of cold and warm temperature species of Laminariales algae at Cape Ohma, northern Honshu, Japan, Journal of Applied Phycology 18, 521~527.
- Lee, In-Kyu · Choi, Do-Sung · Oh, Yoon-Sik · Kim, Gwang-Hoon · Lee Jae-Wan · Kim, Kwang-Young & Yoo, Jong-Su(1990). Marine algal flora and community structure of Chongsando Island on the South Sea of Korea, Korean Journal of Phycology 6, 131~143.
- Lee, Yong-Pil(1998). *Undariella*, a new genus of the Alariaceae (Laminariales, Phaeophyta). Algae 13, 419~426.
- Lee, Yong-Pil(2008). Marine algae of Jeju, Academy book 477p.
- Lüning, Klaus(1979). Growth strategies of three *Laminaria* species (Phaeophyceae) inhabiting different depth zones in the sublittoral region of Helgoland (North Sea), Marine Ecology Progress Series 1, 195~207.
- Migita, Shunsuke(1963). Studies on ecology and culture of *Undaria peterseniana*, Bulletin of the Faculty of Fisheries Nagasaki University 15, 24~48.
- Morita, Teruwo · Kurashima, Akira & Maegawa, Miyuki(2003). Temperature requirements for the growth of young sporophytes of *Undaria pinnatifida* and *Undaria undarioides* (Laminariales, Phaeophyceae), Phycological Research 51, 266~270.
- Otani, Koichiro & Nakamura, Takashi(1985). Coastal oceanography of Japanese Islands. Coastal Oceanography Research Committee, The Oceanographic Society of Japan (ed.) Tokai University Press, Tokyo, pp. 145~154.
- Rho, Tae-Keun · Kim, Yun-Bae · Park, Jeong-In · Lee, Yong-Woo · Im, Dong-Hoon · Kang, Dong-Ji · Lee, Tong-Sup · Yoon, Seung-Tae · Kim, Tae-Hoon · Kwak, Jung-Hyun · Park, Hyun-Je · Jeong, Man-Ki · Chang, Kyung-Il · Kang, Chang-Keun · Suh, Hae-Lip & Park, Myung-Won(2010). Plankton community response to physico-chemical forcing in the Ulleung Basin, East Sea during summer 2008, Ocean Polar Research 32, 269~289.
- Suh, Young-Sang & Hwang, Jae-Dong(2005). Study on the cold mass occurrence in the eastern coast of the Korean peninsula in summer, Journal of the Environmental Sciences 14, 945~935.
- Yamanaka, Ryoichi & Akiyama, Kazuo(1993). Cultivation and utilization of *Undaria pinnatifida* (wakame) as food, Journal of Applied Phycology 5, 249~253.
- Yoo, Sin-Jae & Park, Ji-Soo(2009). Why is the southwest the most productive region of the East

- Sea/Sea of Japan?, *Journal of Marine Systems* 78, 301~315.
- Yoon, Hwan-Su · Lee, Ju-Yeon · Boo, Sung-Min & Bhattahcharya, Debashish(2001). Phylogeny of Alariaceae, Laminariaceae, and Lessoniaceae (Phaeophyceae) based on plastid-enclosed RuBis-Co spacer and nuclear-enclosed ITS squence comparisons, *Molecular Phylogenics and Evolution* 21, 231~243.
-
- Received : 23 March, 2015
 - Revised : 06 May, 2015
 - Accepted : 11 May, 2015