

쓰시마 난류 영향권 도서 연안의 조하대 암반 생물상 비교

민원기*, 명정구**, 김윤배*, 노현수*, 우민수*, 신진용*, 최동한***

*한국해양과학기술원 동해연구소

**한국해양과학기술원 해양환경·기후연구본부

e-mail:wgmin@kiost.ac.kr

A Comparison Study on the Subtidal Rocky Fauna in Islands affected by Tsushima Warm Current

Won-Gi Min*, Jung-Goo Myoung**, Hyun Soo Rho*, Yun-Bae Kim*, Min-Su Woo*, Jin Yong Shin*, Dong Han Choi***

*East Sea Research Institute, Korea Institute of Ocean Science and Technology (KIOST)

**Marine Resources Research Division, KIOST

***Marine Environmental & Climate Research Division, KIOST

요약

동해의 해양환경 변화 속도는 지구 평균 수온증가를 능가하는 높은 수준으로, 향후 해양환경과 해양생물 서식 특성 변화의 정밀 진단이 필요하며, 수온 변화의 지시종 선정을 위해서 동해 중심에 위치한 울릉도/독도 해역의 암반 조하대 출현 생물상과 이곳보다 대마난류의 영향을 더 많이 받는 일본 남서해역의 오기섬과 쓰시마섬의 암반생태계를 비교하였다. 위도상으로는 포항과 비슷한 오기섬의 암반생태계의 해양생물상은 제주도과 울릉도/독도를 혼합해 놓은 것 같은 구조를 나타냈으며, 대마도의 남동쪽 해안의 수중생태계는 경산호 군락을 포함해서 아열대인 오기나와 암반생태계의 모습과 더 유사하였고, 제주도에서 우점하는 연산호류를 포함하여 제주에서 출현하지 않는 종들도 다수 출현하였다. 특히 오기섬의 경우는 울릉도/독도와 매우 유사하나 제주나 대마도에서 출현하는 아열대종이 다수 포함되어 있어 향후 지속적인 비교 연구를 통해 수온 증가에 따른 환경지시종을 찾을 수 있는 곳으로 판단된다. 이에 따라 추가적인 조사와 환경자료의 비교를 통해 회유성 아열대 사멸종을 모니터링하고 서식 수온에 대한 정보를 확보하여, 향후 온난화에 따른 울릉도 독도 해양 생태계 변동 예측에 대한 출현 정보를 확보할 수 있을 것으로 기대한다.

1. 서론

지난 1세기 동안 온실가스 방출의 결과로 지구의 평균 기온은 최소한 0.5°C 정도 상승한 것으로 알려져 있으며 특히, 1980년대 이후 최근 20여 년 동안 전 지구적 규모의 기온 상승이 현저하게 나타나고 있다. 기후변화는 해양 생태계의 중요한 물리적 환경인자인 수온과 염분의 변화를 초래할 수 있다. 실제로 지난 100여 년간(1900~2018년) 울릉도(독도)를 포함하는 동해 중부 해역의 해수면 온도 상승률은 1.70°C/100yr로, 전 세계 평균 상승률(0.54°C/100yr)보다 높고, 또한 한반도 주변 해역 중 가장 급격한 상승률을 보이고 있다[1]. 이러한 동해 수온 및 해양의 환경변화는 서식하는 생물의 분포를 결정하는 중요한 인자로서 작용한다. 최근 들어 동해안에서 초대형 노랑가오리, 고래상어, 보라 문어 등의 아열대 어종의 출현빈도가 증가하고, 오징어 같은 회유성 수산자원의

어장 위치 변화 등은 이러한 동해 환경의 변화를 나타낼 수 있는 대표적인 현상들이다. 이 같은 변화의 영향에 대한 예측은 복잡하며, 그 중요성에 비하여 국내의 관련 연구는 매우 미비한 실정이다.

동해의 남서부에 위치한 울릉분지는 유입되는 해류에 의해 다양한 물리적인 현상이 발생하는 해역으로, 한류의 특성을 나타내는 북한한류(North Korean Cold Water)와 난류의 특성을 나타내는 쓰시마난류(Tsushima Current)에 의해 해양 환경이 영향을 받는다[2]. 저온 저염의 북한한류는 동해 연안을 따라서 남하하며 동해안과 울릉도와 독도의 생태계에 영향을 미치고, 대한해협을 따라 북상하는 쓰시마난류 고온·고염의 특징을 나타내며, 서로 상반된 특성으로 해양환경에 영향을 미친다. 최근의 연구결과에 의하면, 기후변화의 직접적인 영향을 받는 쓰시마난류 표층 수온의 상승폭이 2.57 °C로 기온 변화폭 보다 높았으며, 동해로 유입되는 수량이 증가하여, 수온의 상승을 가속화할 수 있다고 보고되었다. 이는 육상 생태계보다 동해 연안 생태계의 아열대화가 훨씬 빠른 속

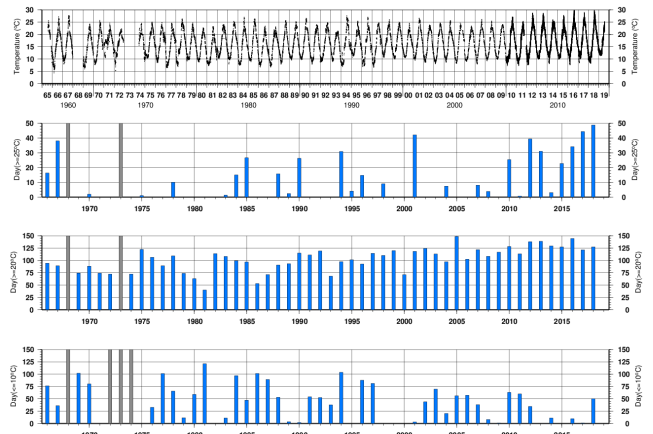
도로 진행될 수 있음을 의미하며, 동해의 수온 상승과 함께 연안 수산 생물의 서식환경에 변화 요인으로 작용할 것으로 예측할 수 있다. 이에 본 연구는 동해의 아열대화에 가장 중요한 환경 요인으로 알려진 쓰시마난류의 경로 상에 위치하여 난류의 영향을 더 많이 받고 있는 쓰시마섬과 오끼섬의 암반 생태계의 생물상과 수온특성을 조사하고, 울릉도와 독도의 생물상과 비교함으로써 향후 수온 상승에 따라 출현 가능한 생물을 탐색하고, 이를 바탕으로 향후 생태계 변화를 예측하고자 하였다.

2. 조사 및 분석 방법

울릉도와 독도 주변의 수온 변화를 분석하기 위해서, 1966년부터 2019년까지의 국립해양조사원 울릉도 조위 관측소에서 관측된 표층수온 자료를 사용하였으며, 대마난류권에 위치한 지역들의 수온변화 패턴을 분석하기 위한 자료는 국립해양조사원에서 제공하는 2017년의 표층수온 격자별, 월별 재분석자료를 사용하였다. 지역은 큐슈 남단의 야쿠시마로부터 시작해 제주도, 쓰시마섬, 오끼섬, 왕돌초, 울릉도, 독도까지 7개의 정점을 선정하였다.

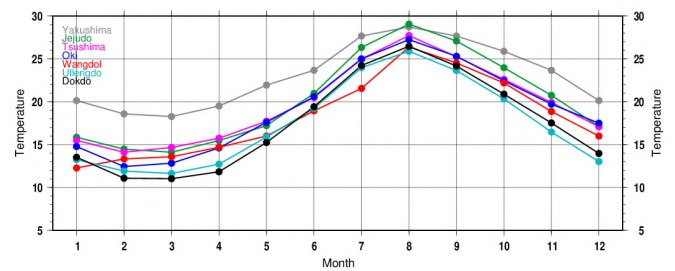
암반생물상 조사는 울릉도(독도 포함)의 4정점, 오끼섬의 4정점, 쓰시마섬의 4정점에서 SCUBA를 이용하여 수심 25미터 이내의 수중의 암반 및 해저면을 촬영하여 확인되는 초대형 저서생물 및 어류를 분석하였다(그림 1).

연안의 표층 수온은 53년간(1966-2018년) 연간 20℃ 이상 일수가 54일 증가한 반면에, 연간 10℃ 이하 일수는 42일 감소하는 경향을 보였다. 2015년 무렵부터 연간 25℃ 이상일수가 예전에 비해 크게 증가해 이전과 다른 양상의 표층 아열대화가 진행될 것으로 예상되기도 한다. 이러한 최근의 아열대화는 동해 연안인 후포에서도 유사하게 나타났다. 울릉도 주변 해역의 표층 수온은 증가하는 반면에 200-500m 근처의 중층 수온은 장기적으로 감소하는 특징을 보였다. 임. 울릉도 독도 해역은 동해 연안에 비해 여름철(6-8월)에 월평균 1.1-2.9℃ 높으며, 특히 표층 고수온 일수가 탁월하게 증가하였다.

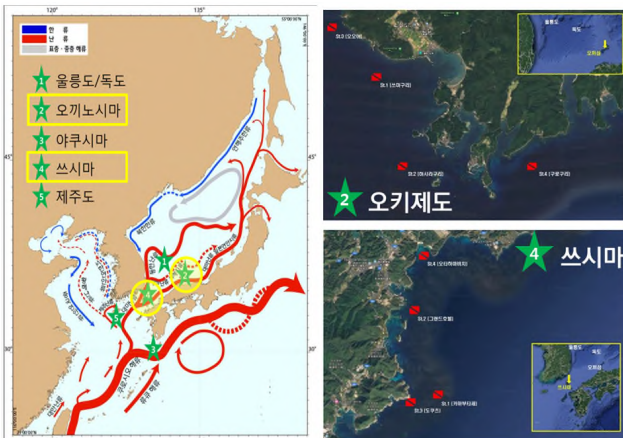


[그림 2] 국립해양조사원 울릉도 조위 관측소에서 관측된 1966~2019년 동안의 표층수온 및 수온대별(25도, 20도, 10도) 연간 출현일수 분포

대마난류권에 위치한 지역들의 수온변화 패턴을 분석하기 위해 국립해양조사원에서 제공하는 2017년의 표층수온 격자별, 월별 재분석자료를 사용하여, 큐슈 남단의 야쿠시마로부터 시작해 울릉도, 독도까지 7개의 정점의 수온자료를 비교한 결과, 각 정점에서의 연평균 수온은 야쿠시마(22.99℃), 제주도(20.20℃), 대마도(19.65℃), 오끼섬(19.17℃), 왕돌초(18.20℃), 독도(17.45℃), 울릉도(17.33℃)순으로 나타났다(그림 3, 표 1).



[그림 3] 국립해양조사원 해수유동장 재분석자료를 바탕으로 한 주요지점의 2017년의 월평균 표층수온 분포 비교



[그림 1] 쓰시마난류 영향권 암반생물상 조사 정점

3. 결과 및 고찰

3.1 환경 특성

울릉도의 경우, 국립해양조사원 울릉도 조위관측소에서 관측된 자료에 의하면, 1965년 8월부터 2019년 8월 사이에 0.023℃/년의 비율로 표층수온 증가를 나타냈다(그림 2). 울릉도

[표 1] 국립해양조사원 해수유동장 재분석자료를 바탕으로한 주요지점의 2017년의 월평균 표층수온 분포

| 월 | 야쿠시마 | 제주도 | 대마도 | 오끼섬 | 왕돌초 | 울릉도 | 독도 |
|----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 1 | 20.13 | 15.86 | 15.51 | 14.77 | 12.27 | 13.24 | 13.54 |
| 2 | 18.59 | 14.47 | 14.12 | 12.44 | 13.32 | 11.93 | 11.08 |
| 3 | 18.29 | 14.10 | 14.67 | 12.82 | 13.58 | 11.64 | 11.02 |
| 4 | 19.51 | 15.47 | 15.76 | 14.6 | 14.69 | 12.73 | 11.82 |
| 5 | 21.95 | 17.23 | 17.71 | 17.62 | 15.99 | 15.88 | 15.26 |
| 6 | 23.66 | 20.96 | 20.49 | 20.58 | 18.95 | 19.22 | 19.41 |
| 7 | 27.68 | 26.34 | 24.98 | 25.00 | 21.55 | 23.98 | 24.21 |
| 8 | 28.72 | 29.05 | 27.73 | 27.24 | 26.40 | 25.90 | 26.48 |
| 9 | 27.67 | 27.08 | 25.24 | 25.3 | 24.52 | 23.65 | 24.16 |
| 10 | 25.88 | 23.98 | 22.62 | 22.45 | 22.2 | 20.32 | 20.89 |
| 11 | 23.67 | 20.74 | 19.91 | 19.73 | 18.87 | 16.47 | 17.53 |
| 12 | 20.15 | 17.10 | 17.07 | 17.49 | 16.01 | 13.02 | 13.98 |
| 평균 | 22.99 | 20.20 | 19.65 | 19.17 | 18.20 | 17.33 | 17.45 |

3.2 암반 생물상

오끼제도의 도고섬 서남단에 위치한 隱岐の國다이빙샵을 이용하여 주변 연안역의 4정점에서 암반 생태계 잠수조사 실시한 결과, 조사정점의 수심은 5-30 m 및 수온은 21℃ 내외였다. 해저면은 모래 및 대형 암반 돌출된 지형으로, 수중지형은 울릉도 사동 주변의 물새바위나 통구미 거북바위와 유사하였다. 해조류 군락은 모자반과 넓미역, 미역, 감태 등으로 전반적으로 울릉도와 비슷한 조성을 보이나 군락지의 수심대가 다소 상이하게 나타났다. 무척추동물 중 자포동물에서는 해송 및 연산호, 거품돌산호 등이 출현하여서, 울릉도와 제주도의 혼합된 생물상을 보였다(표 2). 어류는 총 4목 21과 37종이 확인되었고 그중에 흰동가리, 아홉동가리를 포함하고 있었다(표 3). 이 중에는 울릉도에서는 발견되지 않은 종도 다수 출현하였으며, 조사해역이 도고섬 서남단에 국한되어 북쪽 및 동쪽 연안 조사 및 서쪽에 위치한 도젠섬의 조사가 향후 필요할 것으로 판단된다.

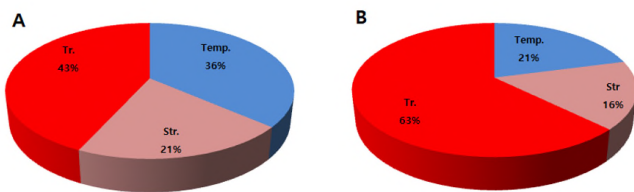
이한 생태계로 해조류 거의 없고 산호군락 위주의 전형적인 아열대(열대) 생태계 유사한 특성을 나타냈다. 출현 어류는 정점별로 24-28종이었으며, 총 8목 11아목 31과 67종이 확인되었다.



[그림 5] 쓰시마섬의 오타하마비치 정점에서 촬영된 지구 최북단 산호초로 알려진 Acropora sp. 군락지



[그림 6] 울릉도에는 서식하지 않으나, 오끼섬의 남서쪽 정점에서는 대규모로 서식하고 있는 연산호 군락



[그림 4] 일본 오끼섬(A), 대마도 연안(B)에서 확인된 어종 생태 구성 비교 (Temp.: 온대성어종; Str.: 아열대성 어종; Tr: 열대성 어종)

대한해협 쓰시마섬의 동남쪽 연안인 이즈하라항 주변 연안역의 4정점에서 암반 생태계 잠수조사 실시한 결과, 조사정점의 수심은 5-30 m였으며, 수온은 22℃ 내외였다. 해저면은 모래였으며, 비교적 평평한 대형 암반의 사면 및 아치형의 대형 바위 위주의 지형 특성을 나타냈다. 오타하마비치 정점은 해변 앞 평탄면의 모래바닥에 형성된 지구최북단 산호초 생물 군집 서식지로서 Acropora sp.의 산호초의 서식을 확인하였다(그림 5). 쓰시마섬은 울릉도, 제주도, 오끼섬 지역과는 상

[표 2] 울릉도/독도 암반생태계와 가장 근접한 오끼섬의 무척추동물 분류군별 주요 출현생물상 비교

| 분류군 | 종명 | 국명 | 울릉도/독도 | 오끼제도 |
|-------------------------------|----------------------------------|------------------------------|--------|------|
| 해면동물 | <i>Spirastrella insignis</i> | 붉은나선별해면 | | ○ |
| | <i>Callyspongia confoederata</i> | 보라예쁜이해면 | ○ | ○ |
| 태형동물 | <i>Watersipora suboboidea</i> | (물구멍이끼벌레류) | ? | ○ |
| | <i>aglaophenia whiteleggei</i> | 흰깃히드라 | ○ | ○ |
| 자포동물 | <i>Solanderia secunda</i> | 산호불이히드라 | ○ | ○ |
| | <i>Alcyonium gracilimum</i> | 분홍바다맨드라미 | | ○ |
| | <i>Corynactis viridis</i> | 보석말미잘 | ○ | ○ |
| | <i>Stichodactyla tapetum</i> | 용단말미잘 | | ○ |
| | <i>Cerianthus filiformis</i> | 실꽃말미잘 | ○ | ○ |
| | <i>pachycerianthus magnus</i> | (꽃말미잘류) | ? | ○ |
| | <i>Melithaea densa</i> | 백백말산호 | ○ | ○ |
| | <i>Alveopora japonica</i> | 거품돌산호 | | ○ |
| | <i>Antipathes densa</i> | 빛자루해송 | | ○ |
| | <i>Antipathes lata</i> | 긴가시해송 | ○ | ○ |
| 연체동물 | <i>dendrophyllia cylindrica</i> | (나무돌산호류) | ? | ○ |
| | <i>Nordotis gigantea</i> | 말전복 | | ○ |
| | <i>Hypselodoris festiva</i> | 파란갯민숭달팽이 | ○ | ○ |
| | <i>phyllidella pustulosa</i> | 혹투성이갯민숭이 | ? | ○ |
| | <i>carminodoris armata</i> | 갈옷갯민숭달팽이 | ○ | ○ |
| | <i>Chromodoris tinctoria</i> | 망사갯민숭달팽이 | ○ | ○ |
| | <i>Chromodoris orientalis</i> | 흰갯민숭달팽이 | ○ | ○ |
| | <i>Turbo Cornutus</i> | 소라 | ○ | ○ |
| | <i>Calliostoma unicum</i> | 방석고둥 | ○ | ○ |
| | 절지동물 | <i>Rhynchocinetes uritai</i> | 끄덕새우 | ○ |
| <i>Stichostylus ortmannii</i> | | (산호거미게) | | ○ |
| 극피동물 | <i>Decametra tigrina</i> | 병알꼭갯고사리 | ○ | ○ |
| | <i>Oxycornanthus japonicus</i> | 흑투성이갯고사리 | | ○ |
| | <i>Certonardoa semiregularis</i> | 빨강불가사리 | ○ | ○ |
| | <i>Henricia ohshimai</i> | 오지마애기불가사리 | | ○ |
| | <i>Clypeaster japonicus</i> | 방패연일성게 | | ○ |
| 척삭동물 | <i>Apostichopus japonicus</i> | 돌기해산 | ○ | ○ |
| | <i>Cnemidocarpa irene</i> | 유두멍게 | | ○ |
| | <i>Clavelina elegans</i> | 정초곤쟁이멍게 | | ○ |

[표 3] 울릉도/독도-오끼섬-쓰시마섬의 출현 어종 비교

| No | Scientific name | Korean name | 울릉도 /독도 | 오끼섬 | 테마도 |
|----|--|-------------|------------|-----|-----|
| 1 | <i>Girella punctata</i> | 뱅에돔 | 0 | 0 | 0 |
| 2 | <i>Chromis notatus</i> | 자리돔 | 0 | 0 | 0 |
| 3 | <i>Neoditrema ransonneti</i> | 인상어 | 0 | | |
| 4 | <i>Ditrema temminckii</i> | 망상어 | 0 | 0 | |
| 5 | <i>Oplegnathus fasciatus</i> | 물돔 | 0 | 0 | 0 |
| 6 | <i>Semicossyphus reticulatus</i> | 혹돔 | 0 | 0 | 0 |
| 7 | <i>Halichoeres poecilopterus</i> | 용치놀래기 | 0 | 0 | |
| 8 | <i>Halichoeres tenuispinis</i> | 놀래기 | 0 | 0 | 0 |
| 9 | <i>Pseudolabrus japonicus</i> | 황놀래기 | 0 | 0 | 0 |
| 10 | <i>Pteragogus flagellifer</i> | 어랭놀래기 | 0 | 0 | 0 |
| 11 | <i>Hexagrammos otakii</i> | 쥐노래미 | 0 | | 0 |
| 12 | <i>Hexagrammos agrammus</i> | 노래미 | 0 | | |
| 13 | <i>Thamnaconus modestus</i> | 말쥐치 | 0 | 0 | |
| 14 | <i>Stephanolepis cirrifer</i> | 쥐치 | 0 | 0 | 0 |
| 15 | <i>Goniistius zonatus</i> | 아홉등가리 | 0 | 0 | 0 |
| 16 | <i>Sebastes joyneri</i> | 도화볼락 | 0 | | |
| 17 | <i>Sebastes inermis</i> | 볼락 | 0 | | |
| 18 | <i>Sebastes pachycephalus</i> | 개볼락 | 0 | | |
| 19 | <i>Sebastes schlegelii</i> | 조피볼락 | 0 | | |
| 20 | <i>Hypodytes rubripinnis</i> | 미역치 | 0 | 0 | |
| 21 | <i>Erneapterygius theostomus</i> | 가막베도라치 | 0 | | |
| 22 | <i>Omobranchus elegans</i> | 앞동갈베도라치 | 0 | | |
| 23 | <i>Microcanthus strigatus</i> | 범돔 | 0 | 0 | 0 |
| 24 | <i>Takifugu niphobles</i> | 복섬 | 0 | | 0 |
| 25 | <i>Pseudoblennius cottoides</i> | 가시망둑 | 0 | | |
| 26 | <i>Bero elegans</i> | 베로치 | 0 | | |
| 27 | <i>Hyperglyphe japonica</i> | 연어병치 | 0 | | |
| 28 | <i>Seriola lalandi</i> | 부시리 | 0 | | |
| 29 | <i>Ptereleotris hanae</i> | 청황문질 | 0 | | 0 |
| 30 | <i>Epinephelus akaara</i> | 뽕바리 | 0 | 0 | 0 |
| 31 | <i>Pagrus major</i> | 참돔 | 0 | 0 | 0 |
| 32 | <i>Paralichthys olivaceus</i> | 넙치 | 0 | 0 | |
| 33 | <i>Parapristipoma trilineatum</i> | 펜자리 | | 0 | 0 |
| 34 | <i>Chaetodontoplus septentrionalis</i> | 창줄돔 | | 0 | 0 |
| 35 | <i>Pseudanthias squamipinnis</i> | 금강바리 | | 0 | 0 |
| 36 | <i>Petrosirtes breviceps</i> | 두줄베도라치 | | 0 | |
| 37 | <i>Epinephelus bruneus</i> | 자바리 | | 0 | |
| 38 | <i>Pterogobius zonoleucus</i> | 흰줄망둑 | | 0 | |
| 39 | <i>Apogon semilineatus</i> | 줄도화돔 | | 0 | 0 |
| 40 | <i>Sebastes marmoratus</i> | 솜뱅이 | | 0 | 0 |
| 41 | <i>Stethojulis terina</i> | 무지개놀래기 | | 0 | 0 |
| 42 | <i>Seriola quinqueradiata</i> | 방어 | | 0 | |
| 43 | <i>Trachurus japonicus</i> | 전갱이 | | 0 | 0 |
| 44 | <i>Trimma grammistes</i> | 꼬마줄망둑 | | 0 | 0 |
| 45 | <i>Ostracion immaculatus</i> | 거북복 | | 0 | |
| 46 | <i>Girella melanichthys</i> | 긴꼬리뱅에돔 | | 0 | 0 |
| 47 | <i>Epinephelus bruneus</i> | 자바리 | | 0 | 0 |
| 48 | <i>Ophisurus macrorhynchus</i> | 바다뱀 | | 0 | |
| 49 | <i>Cirrhitilabrus temminckii</i> | 실용치 | | 0 | 0 |
| 50 | <i>Pomacentrus coelestis</i> | 괘랑돔 | | 0 | 0 |
| 51 | <i>Istigobius hoshinonis</i> | 비단망둑 | | 0 | 0 |
| 52 | <i>Sagamia geneionema</i> | 바닥문질 | | 0 | |
| 53 | <i>Pterois lunulata</i> | 쓸배감팽 | | 0 | 0 |
| 54 | <i>Parapercis snyderi</i> | 뚝미리 | | 0 | 0 |
| 55 | <i>Pseudoblennius zonostigma</i> | 띠줄흰대 | | 0 | |

참고문헌

- [1] Kim, K., Kim, K.R., Kim, Y.G., Cho, Y.K., Kang, D.J., Takematsu, M. and Volkov, Y., 2004, “Water masses and decadal variability in the East Sea(Sea of Japan)”, Progress in Oceanography, Vol. 61, 157-174. Aug., 2004.
- [2] 윤상철, 윤석현, 심무준, 윤이용, “동해 연안(울릉분지)의 최근 10년간 해양환경 변화”, 한국해양환경·에너지학회지, 제 20권 4호, pp. 193-199, 11월 2017년.

본 연구의 자료에 향후 각 조사지역의 동계 출현종 자료를 추가하여, 쓰시마 난류역에 위치한 울릉도(독도)-오끼섬-쓰시마-제주도-야쿠시마의 수온분포에 따른 출현 생물상을 비교하여 교차 출현종을 계절별로 분석하고 수온구배에 따른 출현종을 선정한다면, 아열대 지시종으로 중요한 자료가 될 것으로 기대한다.