

# 인공위성자료를 이용한 남극해의 혼합층 결정

## Determination of mixed layer depth in Southern Ocean using satellite data

박진구<sup>1\*\*</sup>·조영현<sup>1\*</sup>·김현철<sup>2</sup>

Jinku Park<sup>1\*\*</sup>, Yeoung-Heon Jo<sup>1\*</sup>, and Hyun-Cheol Kim<sup>2</sup>

1 부산대학교 해양학과

2 한국해양과학기술원부설 극지연구소

### Abstract

해양의 혼합층은 대기와 해양의 에너지 교환에 의해 형성되는데, 보다 정확한 혼합층의 시·공간적 정보를 알면 미래의 기후 변화가 어떻게 진행 될지 알 수 있다. 일반적으로 해양의 혼합층은 현장 관측 자료를 이용하여 측정하는데, 인공위성 자료에 비해 공간 해상도가 좋지 않아 인공위성자료를 이용하여 관측하는 방법이 필요하다. 본 연구에서는 인공위성자료를 multi-linear 알고리즘에 접목하여 해양의 수직적인 해수 분포를 예측한 결과를 보고 하려 한다. 염분의 변화가 큰 남극해 주변에 위성자료로 얻은 해수면 고도와

해수면 온도를 이용하여 두 지역을 집중적으로 분석하였다. 염분의 변화가 적은 곳의 Root Mean Square Error(RMSE) 와 염분의 변화가 큰 곳의 RMSE는 각각 0.14 와 0.7로 나타났다. 그리고 두 곳의 상관계수도 0.92와 0.8°C 로써 큰 차이를 알 수 있었다. 본 연구에서는 염분의 자료를 적용하지 않았지만, 염분을 관측하는 Aquarius 자료를 개발된 알고리즘과 접합하면 보다 정확한 해양의 온도 분포를 알아낼 수 있기 때문에, 이를 이용하면 혼합층을 파악할 수 있을 것으로 기대된다.

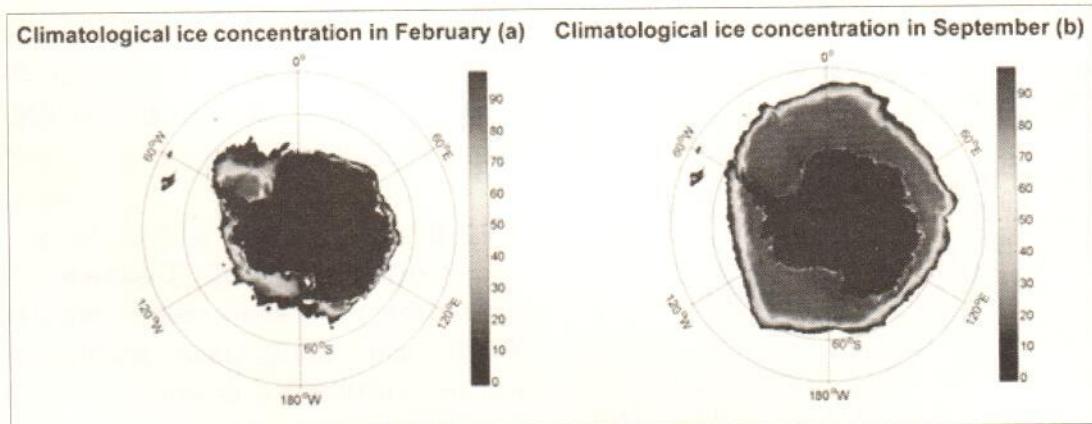


Figure 1. 남극의 sea ice concentration climatology (1991-2011). 위자료는 마이크로파를 이용한 SSM/I 자료이며 NSIDC (National Snow and Ice Data Center)에서 제공 받았다 (공간 해상도 12.5km).

## 1. Introduction

해양의 혼합층은 여러 가지 이유에서 매우 중요하다. 그 중 대표적인 이유는 아마도 지구의 열에너지를 가장 잘 조절하는 것으로, 해수면 온도 1도의 상승은 대기의 온도 100도의 상승과 같은 역할을 한다. 혼합층은 CTD, XBT, Argo와 같은 현장관측에 의하여 관측이 가능하며 혼합층의 장기적인 변화를 통하여 과거와 현재 그리고 미래의 기후 변화에 대한 분석과 진단이 가능하다. 혼합층은 해양의 buoyancy fluxes와 mechanical stirring을 통하여 형성되는데, (Kraus and Turner, 1966), 특히 남극 주변의 Southern Ocean에서 혼합층 연구는 중요한 의미를 지닌다. 예는 buoyancy fluxes와 바람에 의한 mechanical stirring 외에 남극의 해빙에 혼합층이 변화하기 때문이다.

Figure 1. 은 남극대륙에서 여름인 2월과 겨울인 9월의 sea ice concentration을 SSM/I자료로 관측한 것을 나타낸 것이다. 보이는 바와 같이 여름과 겨울의 계절에 해빙의 분포는 상당한 차이를 나타낸다. 남극대에서의 melting과 freezing을 반복하면서 만들어지는 혼합층을 관측한다는 것이 상당히 어렵다. 하지만 인공위성을 이용하여 간접적으로 관측한다면 효과적으로 혼합층을 관측하고 연구 할 수 있을 것으로 판단된다.

그러므로 본 연구는 현장관측자료 이외에 인공위성 자료를 이용한 혼합층 계산과 그 결과를 바탕으로 얼마만큼 정확한 혼합층을 계산할 수 있는지를 파악하는 시도를 두었다.

## 2. Methodology

연구자료를 이용하기 위해서는 먼저 혼합층 자료를 이용하여 아래에서 소개

하는 multi-linear 방식에서 쓰일 상수들을 결정해야한다. Multi-linear 방식을 소개하기에 앞서, linear 방식은 다음과 같다. Subsurface Temperature Anomaly(이하 STA)를 나타내는  $Q(z,t)$ 는 Sea Surface Height Anomaly(이하 SSHA,  $H(t)$ )의 장기간의 시계열의 선형적인 결합으로 나타낼 수 있다.

$$Q(z,t) = a(z)H(t) + b(z) \quad (1)$$

Eq. 1에서 상수  $a$ 와  $b$ 를 결정하기 위하여 LSM(Least Square Method)를 이용하였다. 즉,

$$E^2(z) = \sum_{t=1}^n [a(z)H(t) + b(z) - Q(z,t)]^2 \quad (2)$$

여기서  $t$ 와  $n$ 은 각각 관측 기간과 수심을 나타내며 이들 상수는  $E$ 가 가장 작을 때 결정된다(Eq. 3).

$$\frac{\partial E}{\partial a} = 0, \text{ and } \frac{\partial E}{\partial b} = 0 \quad (3)$$

또한 간단히 행렬의 형태로 나타낼 수 있다.

$$\begin{bmatrix} \sum_{t=1}^n H^2(t) & \sum_{t=1}^n H(t) \\ \sum_{t=1}^n H(t) & N \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a \\ b \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sum_{t=1}^n (H(t)Q(t)) \\ \sum_{t=1}^n Q(t) \end{bmatrix} \quad (4)$$

다시 이들 상수로 정리하면,

$$\begin{bmatrix} a \\ b \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sum_{t=1}^n H^2(t) & \sum_{t=1}^n H(t) \\ \sum_{t=1}^n H(t) & N \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} \sum_{t=1}^n (H(t)Q(t)) \\ \sum_{t=1}^n Q(t) \end{bmatrix} \quad (5)$$

와 같이 나타낼 수 있다. Eq. 5에서 상수  $a$ 와  $b$ 는 모든 수심에서 계산되어진다. 위에서 나타낸 linear system을 동일하게

multi-linear 방식으로 나타낼 수 있다. 즉, STA  $Q(z,t)$ 는 SSHA와 SST의 multi-linear combination으로 나타낼 수 있다.

$$Q(z,t) = a(z)H(t) + c(z)T(t) + d \quad (6)$$

### 3. Result

위에서 나타낸 Eq. 6를 이용하여 Argo 자료를 통해 상수들을 결정하고 인공위성의 해수면 고도자료와 수온자료를 통하여 해수면 아래의 온도를 계산하였다. 이러한 결과 값들은 혼합층을 결정하는데 사용되어 질 것이다. Figure 2에서 나타낸 것은 관측 수온과 계산된 수온 값의 수직분포와

시계열을 비교를 한 것이다. 지역적으로 남위  $46.5^{\circ}$ 는 해빙이 만들어지는 곳에서 조금 멀리 떨어져 있어 상대적으로 예측한 값과 실제 관측한 값이 매우 유사하게 나타난다(Figure 2a 와 2b). 하지만 해빙의 직접적인 영향이 있을 것으로 판단되는 지역(남위  $62.5^{\circ}$ )은 다소 차이를 보이는데 이는 염분의 변화로 인한 것으로 보인다(Figure 2c 와 2d).

### 4. Conclusion

남위  $46.5^{\circ}$ , 동경  $50^{\circ}$  지역에서의 수온 수직 분포의 RMSE는 0.14이며 동일한 자료에서 상관계수는 0.92로 나타났다

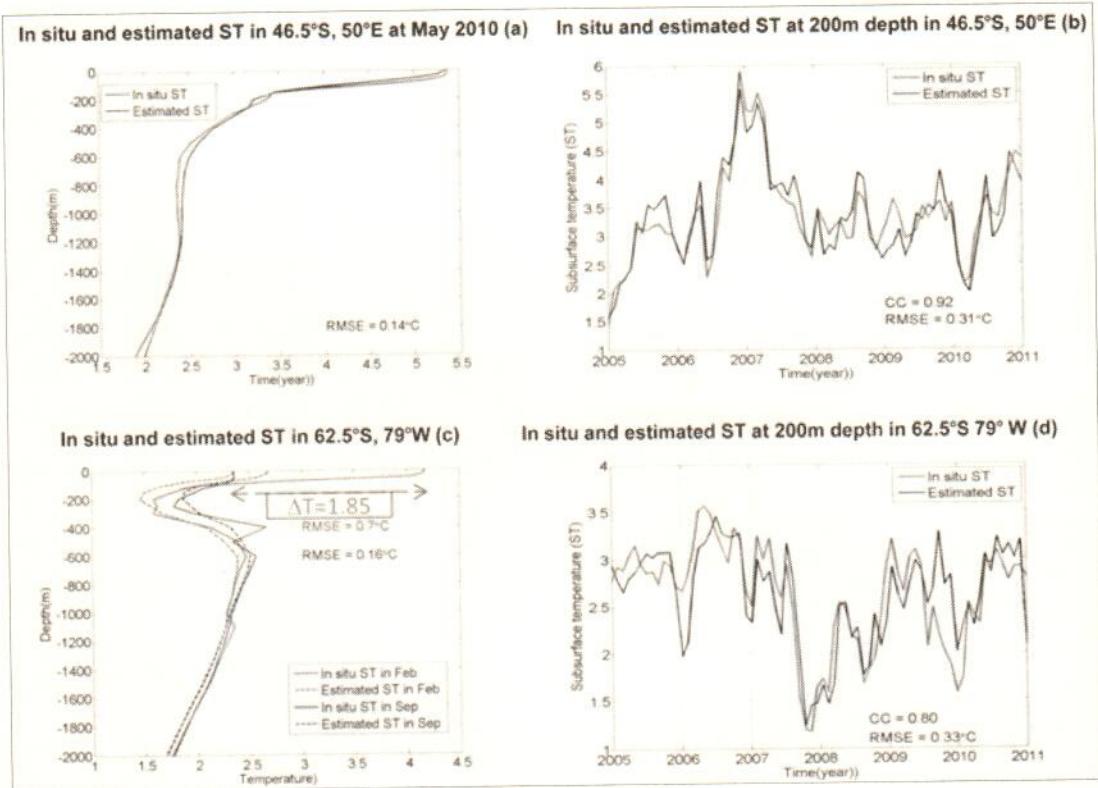


Figure 2. Eq. 6를 이용하여 예측한 5월의 수온수직분포(a)와 수심 200m에서의 시계열( $46.5^{\circ}\text{S}$ ,  $50^{\circ}\text{E}$ ). 다른 지역( $62.5^{\circ}\text{S}$ ,  $79^{\circ}\text{W}$ )에서의 2월 수온수직분포(c)와 수심 200m에서 시계열 자료(d).

(Figure 2a 와 2b). 남위 62.5°, 동경 79° 지역에서의 RMSE는 0.70 그리고 상관계수는 0.80로 나타났다(Figure 2c와 2d). 위에서 나타낸 알고리즘은 해빙의 영향이 적은 지역에서는 매우 만족한 결과를 얻을 수 있지만 해빙의 영향이 큰 지역은 염분의 변화를 알고리즘에 결합할 필요가 있다. 따라서 염분 변화 특성을 multi-linear 알고리즘에 적용한다면 보다 정확한 수온 분포가 위성자료를 통하여 계산될 수 있을 것으로 기대된다.

#### Acknowledge

본 연구는 한국해양과학기술원 부설 극지연구소의 연구 과제인 ‘서남극해 원격 탐사’의 일환으로 수행되었습니다.

#### Reference

Kraus, E. B. and J. S. Turner, 1966: A one-dimensional model of the seasonal thermocline, *Tellus*, vol. 19, pp. 88-97