

이학석사 학위논문

동해에서 알케논 합성 수심과 계절적
변화

Depth and seasonal changes of alkenone production
in the East Sea



지도교수 이 경 은

2012년 2월

한국해양대학교 대학원

해양생명환경학과

이 성 혜

本 論 文 을 이 성 혜 의
理 學 碩 士 學 位 論 文 으 로 認 准 함 .

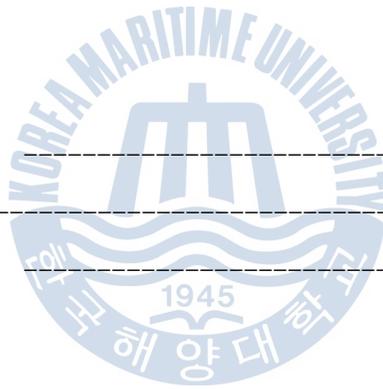
위원장	이학박사	이 호 진	(인)
위 원	이학박사	이 경 은	(인)
위 원	이학박사	강 효 진	(인)

2011년 12월

한국해양대학교 대학원

목 차

List of tables	-----	i
List of figures	-----	ii
List of appendix	-----	iv
Abstract	-----	1
1. 서 론	-----	2
2. 연구 지역	-----	5
3. 재료 및 방법		
3.1 해수 시료 채취	-----	8
3.2 알케논 추출	-----	10
3.3 알케논 GC 분석	-----	12
4. 결 과		
4.1 재현성	-----	14
4.2 연구 지역의 염분 및 영양염	-----	18
4.3.1 수층 해수 시료의 알케논 농도	-----	22
4.3.2 수층 해수 시료의 $U_{37}^{K'}$ 온도	-----	24
4.4.1 표층 해수 시료의 알케논 농도	-----	27
4.4.2 표층 해수 시료의 $U_{37}^{K'}$ 온도	-----	30
5. 토의 및 결 론	-----	35
6. 참고 논문	-----	40



List of tables

	Page
Table. 1. Mixed-layer depth range and alkenone maximum concentration depth of seasonal subsurface water.	37



List of figures

	Page
Fig. 1. Bathymetric map of East Sea.	7
Fig. 2. Collection sites of sea water samples. Surface water samples were collected from Jumunjin to Ulsan along the black dots. Subsurface water samples were collected in the Coastal station (209-04) and the Open sea station(103-11).	9
Fig. 3. Scheme of alkenone analysis(Hex, Hexane; Tol, Toluene; EA, Ethyl Acetate).	11
Fig. 4. Chromatogram of C ₃₇ alkenones from 1 to 4, extracted from sea water sample.	13
Fig. 5. Alkenone-derived temperature of same sediment samples (range of 18.5-19.1°C).	15
Fig. 6. Normal distribution of Alkenone-derived temperature results.	16
Fig. 7. $U_{37}^{K'}$ error range of same sediment samples(Average - $U_{37}^{K'}$ value of each sample).	17
Fig. 8. Vertical distribution of salinity, temperature and nutrient at the Open sea station(103-11).	20
Fig. 9. Vertical distribution of salinity, temperature and nutrient at the Coastal station(209-04).	21
Fig. 10. Vertical distribution of seasonal alkenone concentration at the Coastal station(209-04) and the Open sea station(103-11).	23
Fig. 11. Vertical distribution of seasonal in situ temp. and Alkenone-derived temp. at the Coastal station(209-04). Straight line indicates in situ temp. data. Red open rectangle indicates Alkenone-derived temp.	25

Fig. 12. Vertical distribution of seasonal in situ temp. and Alkenone-derived temp. at the Open sea station(103-11). Straight line indicates in situ temp. data. Red open rectangle indicates Alkenone-derived temp.	26
Fig. 13. Spatial distribution of surface alkenone concentration.	28
Fig. 14. Seasonal in situ temp. of surface water samples.	31
Fig. 15. Seasonal alkenone temp. of surface water samples.	33
Fig. 16. Relationship between in situ Temp. and alkenone Temp. for surface and subsurface water samples.	38
Fig. 17. Seasonal average alkenone concentration of surface water sample.	38



List of appendix

	Page
Appendix 1. Alkenone analysis data of subsurface water samples.	43
Appendix 2. Alkenone analysis data of surface water samples.	44



Depth and seasonal changes of alkenone production in the East Sea

Sung-Hye Lee

Department of Marine Bioscience and Environment
Graduate School of
Korea Maritime University

Abstract

In order to investigate the depth and season of alkenone production in the East Sea. We have analyzed sea water samples collected from the East Sea during the 2008-2010 East Sea observations cruise of National Fisheries Research and Development Institute Korea. We collected suspended material from surface water(3 m) and subsurface water(20, 50, 70, 100 m). The alkenone concentration of surface water samples was the lowest in winter. Alkenone concentration of subsurface water samples was high in the mixed-layer. Alkenone-derived temperature of subsurface waters samples correspond to CTD in situ temperature within mixed-layer. Ours results mean that the alkenone in the East Sea would be synthesized in the mixed-layer.

1. 서론

현재 변화하는 지구환경에 대한 이해와 미래 기후 예측을 위해 과거에서 현재까지 기후가 어떻게 변화했는지에 대한 연구는 반드시 필요하다. 고기후 연구는 육상과 해양의 암석과 화석, 퇴적물 등이 사용되는데 특히 해양의 심해 퇴적물은 육상에 비해 비교적 교란되지 않고 잘 보존되어있다. 따라서 퇴적물에 포함되어 있는 미고생물이나 그 외 유기 및 무기 물질을 이용하면 과거의 해양환경이나 기후 변화를 복원할 수 있다. 예를 들면 유공충 껍질에 있는 방사성 탄소 동위원소로 연대 측정을 하여 깊이별 퇴적물의 연대를 유추해 낼 수 있다. 그리고 그 연대에 해당하는 깊이의 퇴적물에 포함된 여러 가지 물질이나 생물 화석을 연구하여 과거의 표층 수온이나 빙하의 범위, 여러 가지 해양 생태계에 관한 정보를 알아낼 수 있다. 고기후 연구의 도구들 중에 하나인 알케논(alkenone)은 Prymnesiophyte에 속하는 몇몇 식물플랑크톤이 합성하는 물질로써 과거 표층 수온(Sea Surface Temperature, SST)을 복원하는데 사용된다.

Brassell *et al.*(1986)이 표층 해수에 생존한다고 알려진 특정 식물플랑크톤이 C₃₇ 알케논을 합성하며, 알케논의 불포화된 정도는 해양생물의 성장 온도에 따라 변화한다고 제시하였다. 즉 해수 온도가 따뜻할수록 불포화정도가 적게 되는 것이다. 따라서 알케논의 불포화된 정도와 성장 온도와의 관계를 파악하면 퇴적물의 알케논 분석을 통해 퇴적물이 퇴적되었을 당시의 표층 수온을 유추할 수 있다. 알케논(C₃₇)에 대해 자세히 알아보면, C₃₇ 알케논은 탄소수가 37개로 이루어진 긴 사슬 구조의 유기 화합물로써 이중 결합수가 각각 2개, 3개, 4개인 세 종류의 물질

($C_{37:2}$, $C_{37:3}$, $C_{37:4}$)로 구성되어있으며, 이들의 이중 결합수는 불포화된 정도를 나타내는데 이것을 알케논 불포화 지수로 나타낼 수 있다 ($U_{37}^K = C_{37:2} - C_{37:4} / (C_{37:2} + C_{37:3} + C_{37:4})$). 이후의 연구에서 Prahl and Wakeman (1987)이 알케논($C_{37:4}$)은 퇴적물에서 농도가 매우 낮거나 항상 존재하지 않아서 이를 생략한 불포화 지수 [$U_{37}^{K'} = C_{37:2} / (C_{37:2} + C_{37:3})$]를 제시하였다. Prahl *et al.* (1988)은 알케논 합성종인 *Emiliania huxleyi*의 배양 실험을 통해 배양 온도에 따른 알케논 불포화 정도를 연구하였다. 그 결과 배양 온도와 불포화 지수 사이에 선형의 상관관계를 밝혀냈으며 온도 관계식을 만들어냈다. 이후 해양 퇴적물뿐만 아니라 해수 시료와 sediment trap (Prahl *et al.*, 1993; Sikes and Volkman, 1993; Ternois *et al.*, 1997), 상부 퇴적물 시료 (Müller *et al.*, 1998)를 이용한 많은 알케논 수온 복원 연구에서 알케논 불포화 지수와 수온의 직선의 관계가 증명되었다. 알케논이 고수온 복원의 도구로서의 가능성이 증명되면서 해양 퇴적물 시료를 이용한 과거 SST 복원 연구에 널리 이용되고 있다.

알케논을 이용한 표층 수온 복원연구가 좀 더 정확한 결과를 내기 위해서는 이와 관련된 연구들이 실행되어야 한다. 예들 들어 이때까지의 연구 결과들은 알케논 합성 생물종이 표층에서만 생존한다는 것을 전제로 하였다. 그래서 복원한 성장 온도는 표층 수온을 대변한다고 할 수 있는 것이다. 하지만 이 생물종이 반드시 표층 해수만이 아닌 혼합층 아래에서도 생존하며 알케논을 합성할 수 있다는 의견이 제시되었다(e.g. Prahl *et al.*, 2000; Herbert, 2001). 최근 연구에서 표층해수와 수층별 해수의 알케논을 이용하여 복원한 수온과 실제 현장온도와 비교하였다 (Lee and Schneider, 2005). 그 결과 지역별로 알케논이 주로 합성되는

깊이가 달랐다. 이것은 연구 지역에서 해양 퇴적물을 이용하여 알케논 복원을 할 때 그 지역의 알케논 합성 수심을 규명하는 것이 반드시 필요하다라는 것을 의미한다. 또한 복원한 수온이 어느 특정한 계절을 대표하는지, 아니면 연평균을 나타내는지를 규명하는 것도 필요하다. 연중 시기별로 알케논이 합성되는 함량은 다양하다(Harada *et al.*, 2006; Popp *et al.*, 2006). 만약 어느 특정시기에 알케논 합성 농도가 치우친다면 복원한 수온이 어느 특정한 계절을 나타낼 수도 있다. 그러므로 해양퇴적물 시료를 이용하여 얻은 알케논 수온값이 정확히 어느 수심을 대표하는지와 연평균 수온을 나타내는지에 대한 자료는 과거 해양 환경을 명확히 복원하는데 있어 중요할 것이다.

이 논문에서는, 동해에서 알케논의 합성 수심과 농도를 알기 위해 동해 연안과 외해에서 깊이별로 해수 시료를 수집하여 분석하였다. 그 결과를 이용하여 동해에서 시추하여 얻은 해양 퇴적물의 알케논 수온 복원이 어느 깊이의 수온을 대표하는지에 대해 평가하였다. 또한 계절별 표층 해수 시료의 농도를 평가하였다.

2. 연구 지역

동해는 반폐쇄 해역으로 한반도 동해 남부에서 대한해협(Korea Strait)에 의해 동중국해(East China Sea)와 연결되어 있다. 동해의 평균 수심은 약 1350 m, 최대 수심은 3700 m이다. 동해에는 세 개의 분지(일본 분지, 야마모토 분지, 울릉 분지)가 존재하는데 그 중 울릉 분지는 한반도와 근접한 지역에 위치한다. 울릉도와 독도의 남쪽에 위치한 울릉 분지는 수심이 2000-2500 m으로 북쪽으로는 한국 대지(Korea plateau)와 동쪽으로는 Oki Bank와 연결되어 있다. 울릉 분지의 서부 연안 대륙붕은 좁고(<20 km 넓이), 경사가 급한 대륙사면(수심 130-150 m)으로 이루어져 있고, 동부와 남부는 완만한 경사로 이루어져 있다. 분지의 북부(37.3°N 보다 북쪽)에 위치한 한국 대지는 해저 산맥, 해산, trough와 같은 불규칙한 해저 지형들이 존재한다. 분지의 남부(35.75°N 보다 남쪽)에는 넓은 대륙붕과 300 m 의 얇은 수심이 특징인 남동해역 대륙붕(southeastern continental shelf)이 있다. 연구 지역은 위도 35-38°N, 경도 128.5-131.5°E 으로 주문진에서 울산까지의 해역이다. 남부 해역(감포-울산) 조사 정선은 최소 수심 44 m(연안)에서 최고 수심 240 m이 내(외해)인 얇은 지역으로 남동해역 대륙붕(southeastern continental shelf)에 위치한다. 중부 해역(주문진-포항)은 최소 수심 97 m(연안)에서 최고 수심이 2000 m이상(외해)인 울릉 분지와 한국 대지를 모두 포함하고 있다(그림 1).

연구 지역의 수온 분포는 8월에 표층 온도가 24°C이상으로 가장 높았고, 2월에 4-13°C로 가장 낮았다. 동해 중부 연근해와 남부 해역은 난류수의 영향을 받아 다른 해역보다 상대적으로 월평균 수온범위보다 2-3°C

더 높았다. 표층 염분 분포는 8월에 30.0-33.5‰로 낮고, 2월에는 33.8-34.5‰로 가장 염분이 높았다. 특히 8월에 동해 남부 해역은 저염수 유입으로 31.0‰이하의 분포가 나타났다. 표층 영양염(NO_3)의 분포는 2월에 1.53-9.85 μM 의 범위로 가장 높았고, 6월에 0.01-2.92 μM 으로 가장 낮았다.



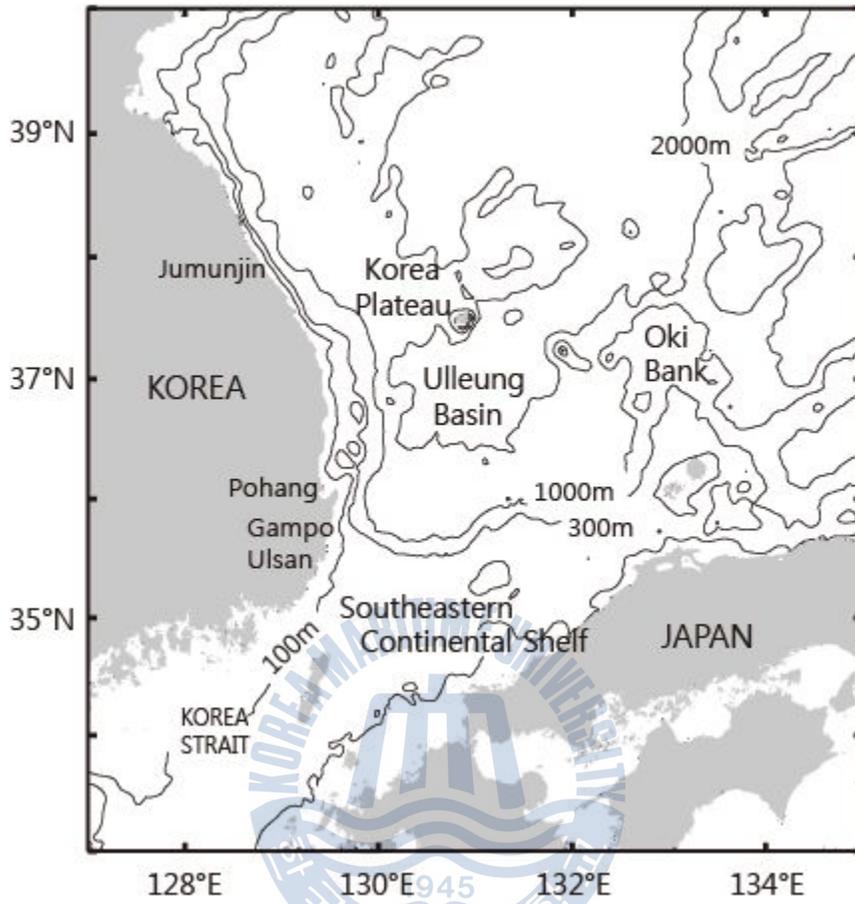


Fig. 1. Bathymetric map of East Sea.

3. 재료 및 방법

3.1 해수 시료 채취

이 연구를 위하여 국립수산과학원의 해양 조사선 탐구 5호에 승선하여 2008년 10월에서 2010년 12월까지 2달 간격(2, 4, 6, 8, 10, 12월)으로 해수 시료를 채취하였다. 위치는 동해의 주문진 해역에서 울산 해역까지 연안과 외해를 포함하는 지역이다(위도 35°N-38°N, 경도 128.5°E-131.5°E). 시료 유형은 표층 해수 시료와 수층 해수 시료로 나뉜다. 표층 시료는 그림 2에서 표시된 조사 정선을 따라 배가 운항하는 동안 펌프로 표층 해수를 퍼올려 채취하였다. 표층 시료는 시료당 100 L씩 해수를 여과하여 채취하였다. 수층 시료는 두 개의 정점에서 채취하였는데, 각각 감포 연안 정점(209-04)과 축산 외해 정점(103-11)이다(그림 2). 감포 연안 정점(209-04)의 수심은 약 55 m이고, 축산 외해 정점(103-11)의 수심은 2000 m 이상이다. 수층 시료는 각각 외해 정점(103-11)은 20, 50, 70, 100 m에서, 연안 정점(209-04)은 20, 50 m에서 시료당 100 L씩 여과하여 채취하였다. 채수는 해수 수온염분측정기(CTD)가 장착된 로젯 샘플러를 이용하였다. 표층 시료의 여과지는 GF/F(90 mm)를 사용하였고, 수층 시료는 GF/F(47 mm)를 사용하였다. 채취된 해수는 선상에서 바로 여과지로 여과하였고, 알케논 분석 전까지 -25°C 이하에서 냉동 보관하였다.

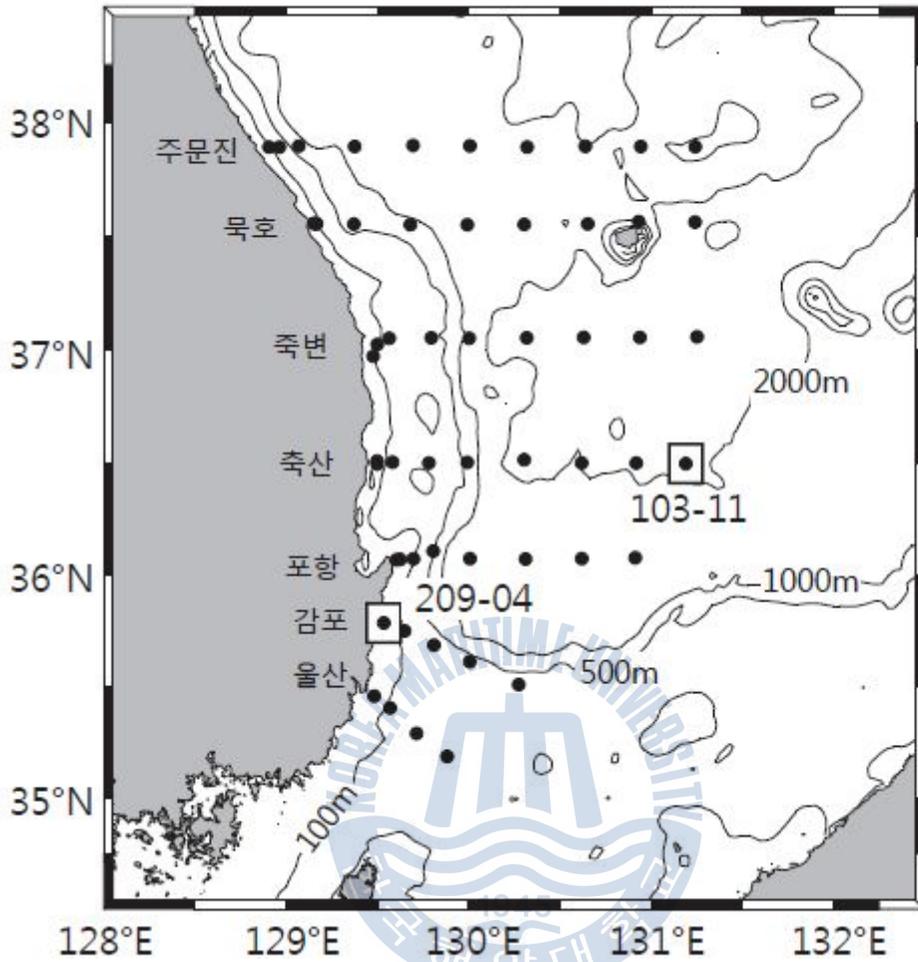


Fig. 2. Collection sites of sea water samples. Surface water samples were collected from Jumunjin to Ulsan along the black dots. Subsurface water samples were collected in the Coastal station(209-04) and the Open sea station(103-11).

3.2 알케논 추출

여과지는 냉동된 상태에서 동결건조기(Yamato Science, DC400)로 동결 건조하였다. 건조된 여과지에 내부표준물질(2-nonadecanone)을 첨가하여 가속용매추출기(Accelerated Solvent Extractor, Dionex ASE-200)로 100°C, 1500psi에서 11분동안 유기물질을 추출하였다. 용매는 Dichloromethane:methanol (99:1 v/v) 혼합액을 사용하였다.

추출된 시료는 Saponification의 과정을 거쳤다. 이 때 시료는 완전히 농축시킨 후 0.1M의 KOH/methanol 혼합액을 첨가하여 70°C에서 2시간 동안 열로 처리하였다. 그 후 헥산을 이용하여 헥산에 녹아있는 중성지질을 분리해 내었다.

분리해 낸 시료는 자동 고상 추출 장비(Rapid Trace SPE Workstation, Zymark)를 사용하여 실리카 겔 컬럼 크로마토그래피를 수행하였다. 이 때 각각의 시료는 물질의 극성 차이에 따라 다시 4개의 fraction(fr.)으로 분리하였다. 각각 fraction의 용매 조건은 fr. 1은 4 mL의 헥산; fr. 2는 2 mL의 헥산/톨루엔(3:1 v/v), 2 mL의 헥산/톨루엔(1:1 v/v), 2 mL의 헥산/에틸 아세테이트(19:1 v/v); fr. 3은 2 mL의 헥산/에틸 아세테이트(18:2 v/v), 2 mL의 헥산/에틸 아세테이트(17:3 v/v); fr. 4는 4 mL의 헥산/에틸 아세테이트(4:1 v/v), 2 mL의 에틸 아세테이트로 하였다. 이 순서에 따라 단계적으로 혼합물을 분리하였다(그림 3).

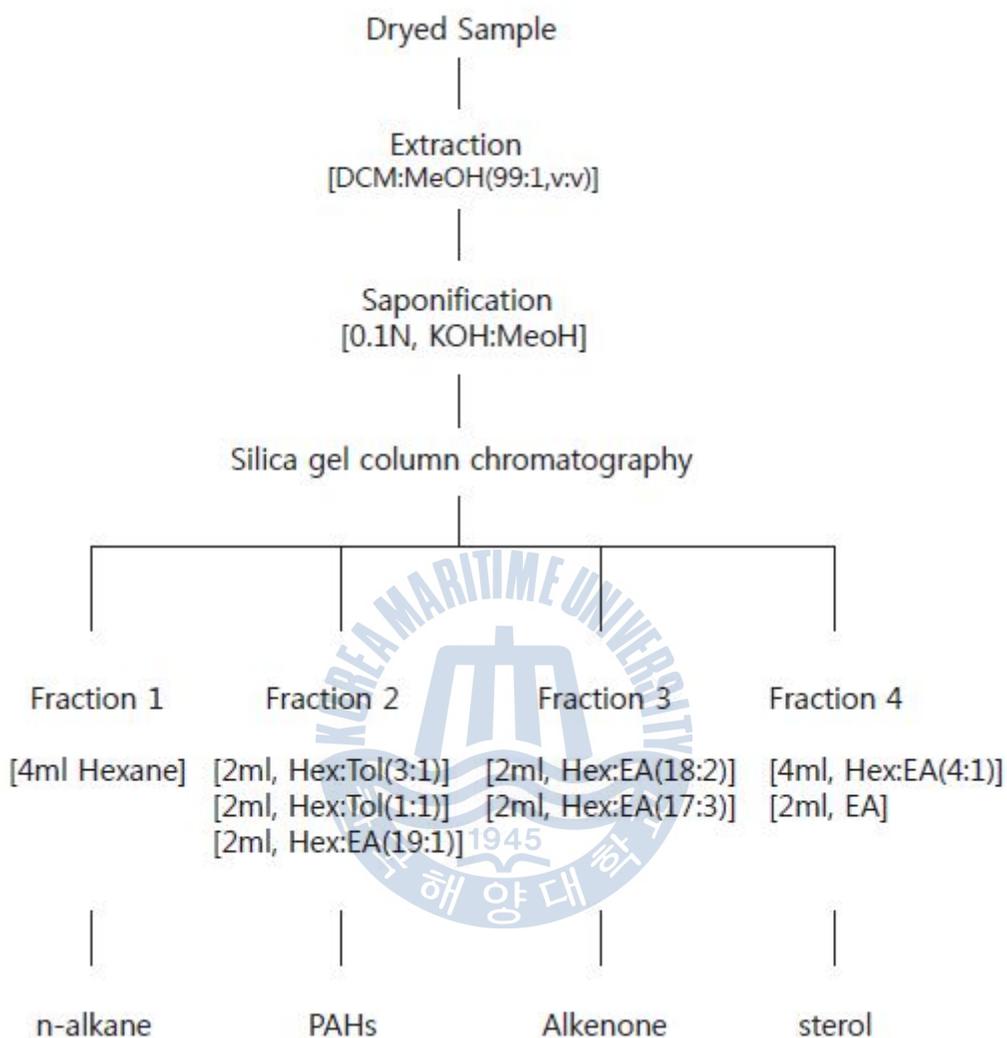


Fig. 3. Scheme of alkenone analysis(Hex, Hexane; Tol, Toluene; EA, Ethyl Acetate).

3.3 알케논 GC 분석

분리된 알케논(fr. 3)은 가스 크로마토그래피(Gas chromatography, Agilent 7890A)를 사용하여 정량적으로 분석하였다. 먼저 알케논이 분리되는 fraction을 확인하기 위해 실험이 끝난 일부 시료를 무작위로 골라내어 fraction 1-4까지 모두 GC 분석하였다. 그래서 알케논과 내부표준물질(2-nonadecanone)이 fraction 3에서 검출됨을 확인하였다(그림 4). GC column은 DM-1 column(60 m × 0.32 mm × 0.10 μm film thickness, J&W Scientific)을 사용하였고, 운반가스로는 고순도 헬륨을 사용하였다. GC의 온도 프로그램은 60-200°C(20 °Cmin⁻¹), 200-310°C(15 °Cmin⁻¹), 310-320°C(15 °Cmin⁻¹)으로 실행 하였다. 알케논의 불포화 지수($U_{37}^{K'}$) 계산은 Prahl and Wakeman (1987)의 논문을 참고하였고,

$$U_{37}^{K'} = [C_{37:2}] / ([C_{37:2}] + [C_{37:3}]) \quad [1]$$

$U_{37}^{K'}$ 수은 계산식은 Prahl *et al.* (1988)의 논문을 참고하였다.

$$T = (U_{37}^{K'} - 0.039) / 0.034 \quad [2]$$

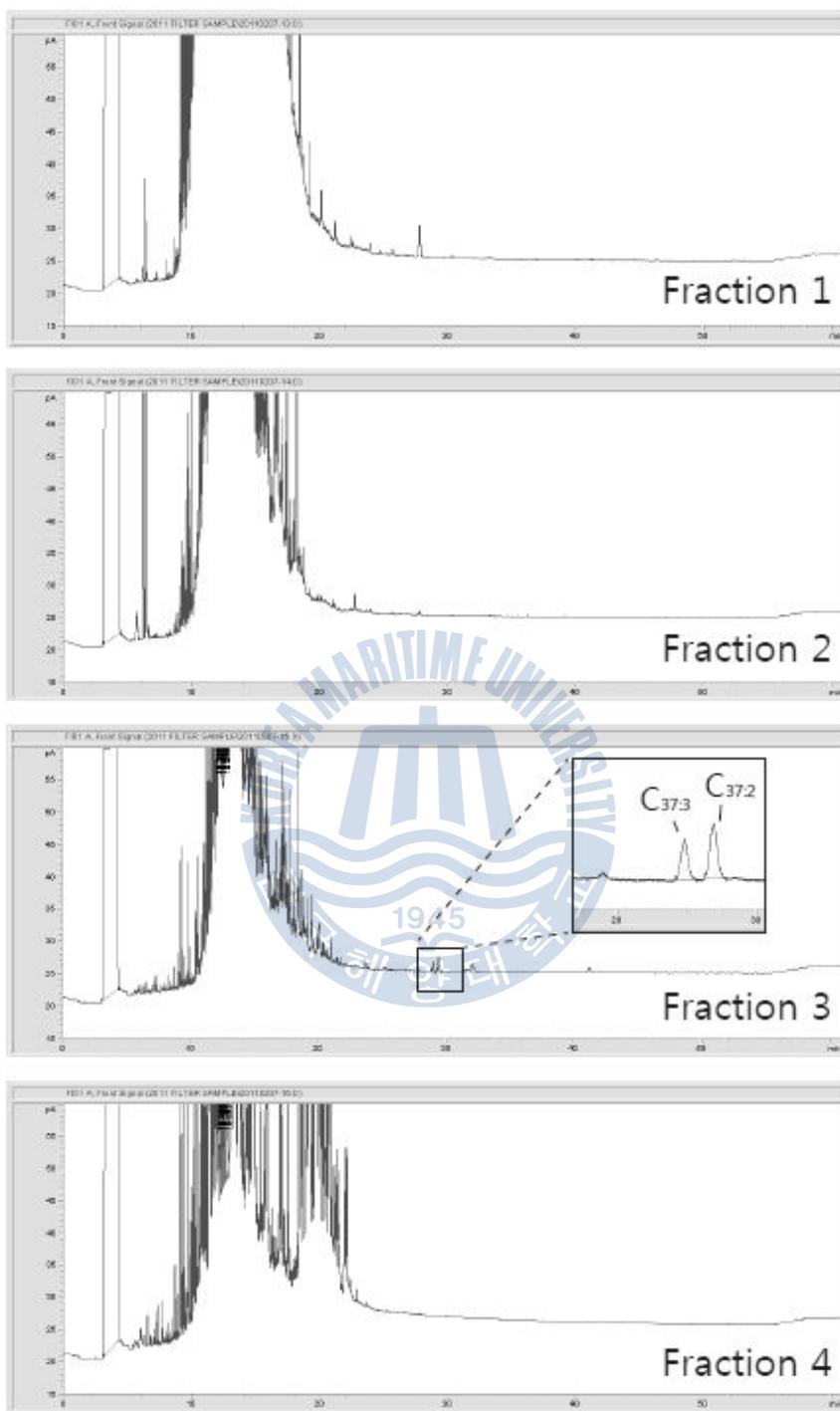


Fig. 4. Chromatogram of C₃₇ alkenones from 1 to 4, extracted from sea water sample.

4. 결과

4.1 재현성

알케논 불포화도 분석의 재현성을 평가하기 위해 동일한 퇴적물 시료 (07TYBC2)를 같은 실험 방법으로 18번 반복 실험 하였다. 그래서 18개 시료의 알케논 불포화도의 재현성을 평가하였다. 불포화 지수는 $[U_{37}^{K'} = C_{37:2}/(C_{37:2} + C_{37:3})]$ 를 사용하였고, 온도 계산식은 $T = (U_{37}^{K'} - 0.039)/0.034$ 를 사용하였다(Prahl *et al.*, (1988)). 알케논 수온을 복원한 18개 시료의 평균 수온은 18.8°C이며(그림 5), 정규분포는 신뢰구간 95%에서 표본오차 ± 0.084 이다(그림 6). 이때 상한값과 하한값은 18.7-18.9°C이다. 그리고 18개 시료에 대한 불포화 지수($U_{37}^{K'}$)의 불확실성은 ± 0.01 으로 나타났다(그림 7). 이 수치는 Prahl and Wakeman (1987)이 보고한 불확실성 ± 0.02 - ± 0.03 의 이내의 범위이다. 따라서 실험의 재현성이 높은 것으로 평가되었다.

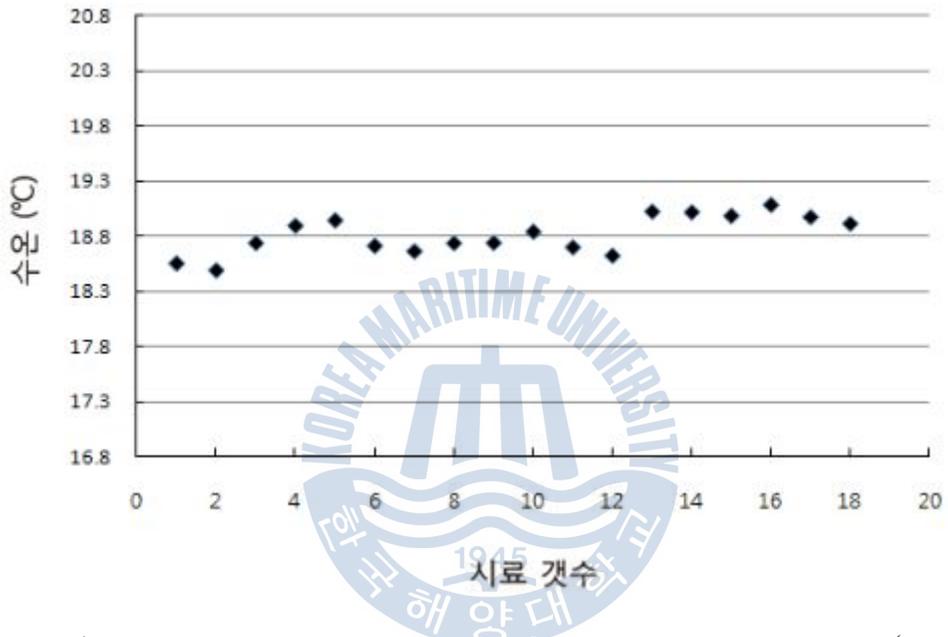


Fig. 5. Alkenone-derived temperature of same sediment samples (range of 18.5-19.1°C).

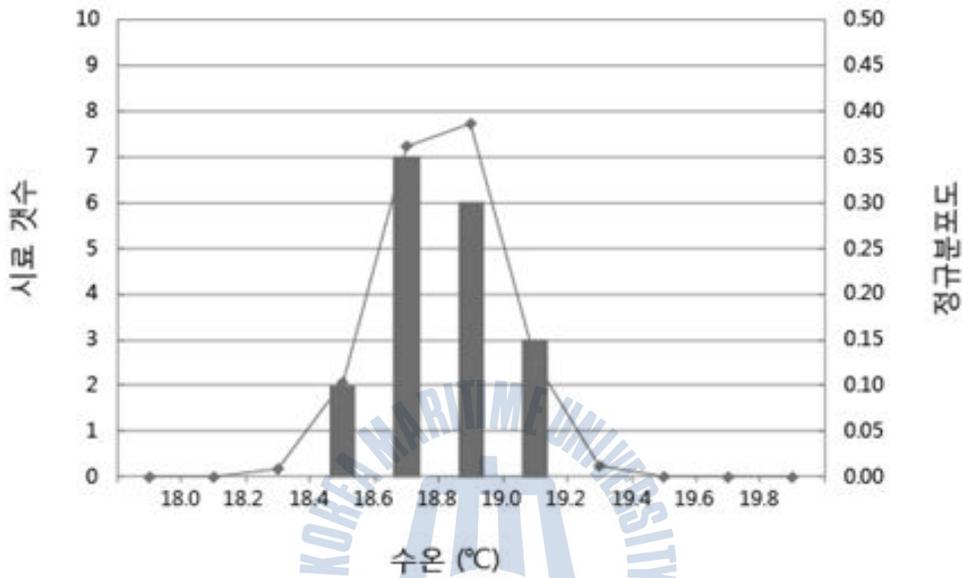


Fig. 6. Normal distribution of Alkenone-derived temperature results.

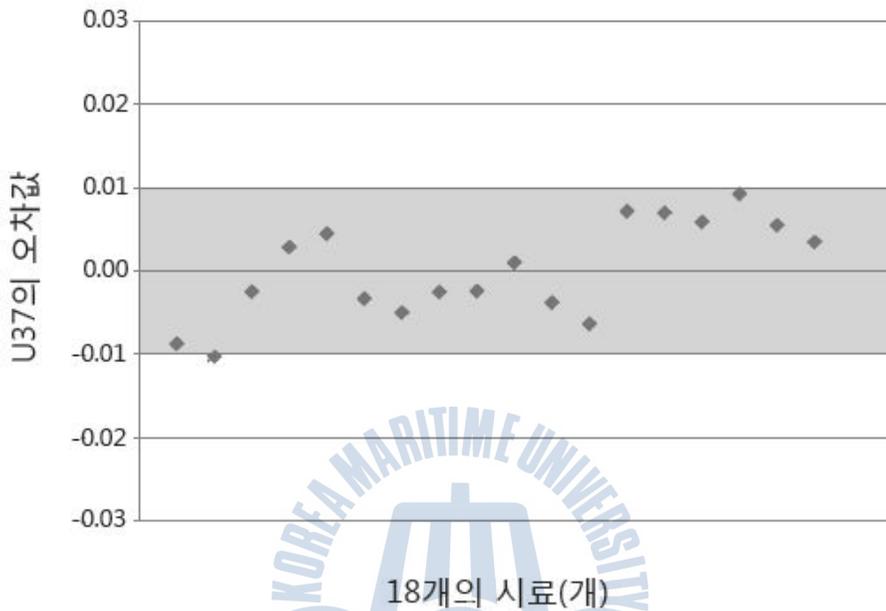


Fig. 7. $U_{37}^{K'}$ error range of same sediment samples(Average - $U_{37}^{K'}$ value of each sample).

4.2 연구 지역의 염분 및 영양염

(1) 수층 해수의 염분 및 영양염

외해 정점과 연안 정점에서 수층 해수의 염분 및 영양염(NO_3 , PO_4 , SiO_2)의 수직적 분포를 그림 8과 그림 9에 나타내었다.

연안 정점(209-04)에서 혼합층의 염분이 가장 낮은 달은 2008년 10월과 2009년 8-10월이었고(33.0%), 2월과 4월은 상대적으로 염분이 높았다(34.3%). 연중 혼합층의 염분 변화는 1.3%이었다. 월별 영양염(NO_3 , PO_4 , SiO_2) 분포는 2월에 농도가 가장 높았다. 혼합층에서는 모든 영양염 농도가 낮고, 수심이 깊어질수록 농도가 증가했다.

외해 정점(103-11)에서 혼합층의 염분이 가장 낮은 달은 2009년 8월이었고(33.0%), 2월과 4월은 상대적으로 염분이 높았다(34.3%). 연중 혼합층의 염분 변화는 1.3%이었다. 2009년 2월에 혼합층의 영양염 농도(NO_3 , PO_4 , SiO_2 의 총량)는 9.1-14.1 μM 으로 가장 높았다. 4월은 0 m와 20 m는 각각 3.8, 4.1 μM 이었고, 50 m와 100 m는 각각 10.0과 9.6 μM 이었다. 2008년 10월, 2009년 6월, 8월, 10월에 혼합층의 영양염 분포 범위는 1.82-4.14 μM 이었고, 그 아래 수심에서 영양염이 점점 증가하였다.

(2) 표층 해수의 염분 및 영양염

동해에서 월별 표층 염분은 2월에 34.1-34.5‰로 연중 가장 높고, 8월에 31.0-33.0‰로 가장 낮았다. 그 외 6월은 대체로 33.7-34.3‰으로 연안역은 34.0‰이하로 나타났고, 10월에 연안역은 33.1‰이하로 외해역은 33.3-33.7‰으로 나타났다. 12월에는 33.9-34.3‰의 분포를 보였다. 6월과 8월에 동해 남부 해역은 저염수의 유입으로 중부 해역보다 상대적으로 낮은 염분이 나타났다. 연중 표층 염분이 가장 높은 달과 가장 낮은 달의 최대 염분차는 약 3.5‰이었다. 표층 영양염(NO_3)의 분포는 2월에 1.53-9.85 μM 의 범위로 가장 높았고, 6월에 0.01-2.92 μM 으로 가장 낮았다.



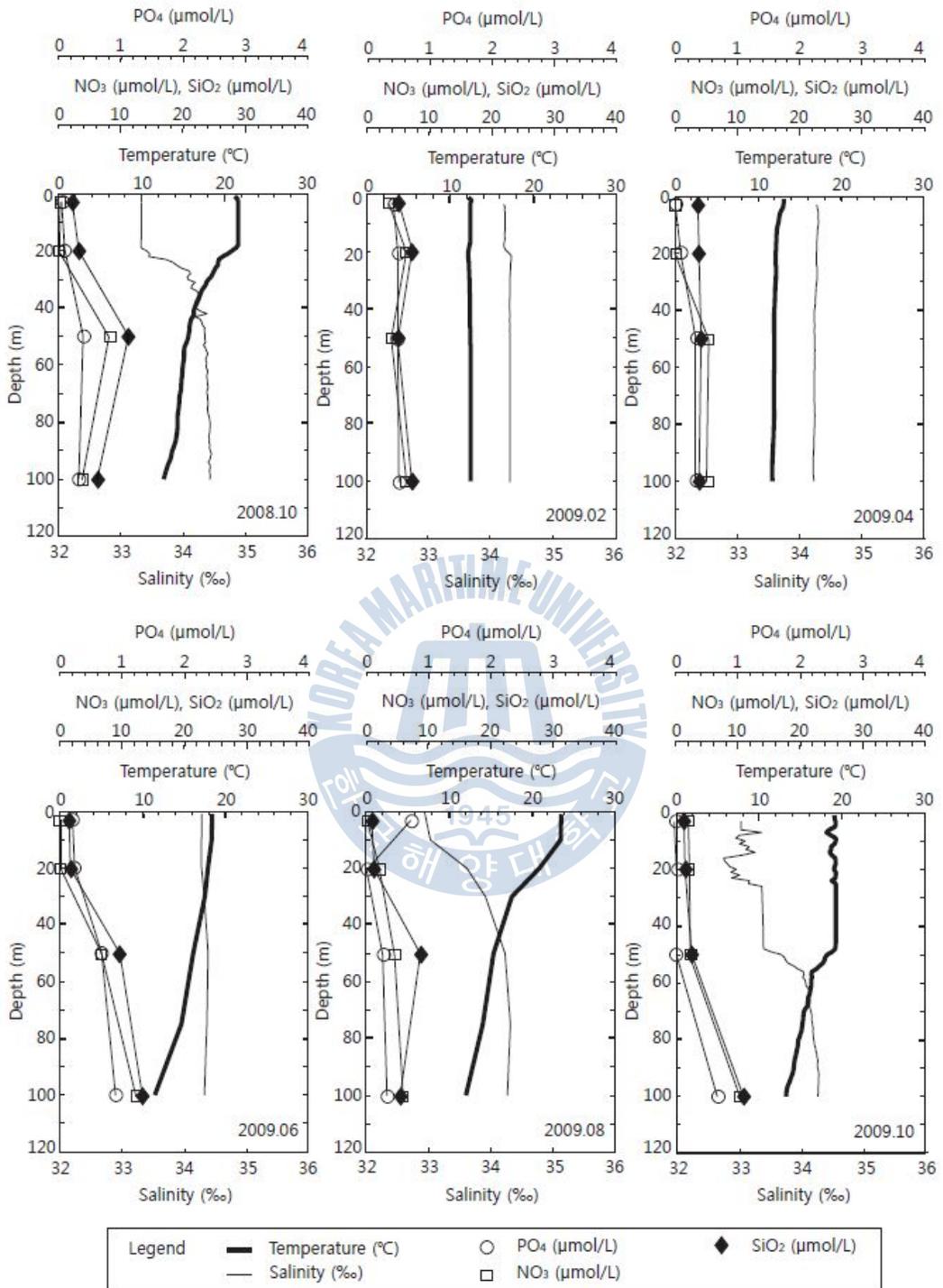


Fig. 8. Vertical distribution of salinity, temperature and nutrient at the Open sea station(103-11).

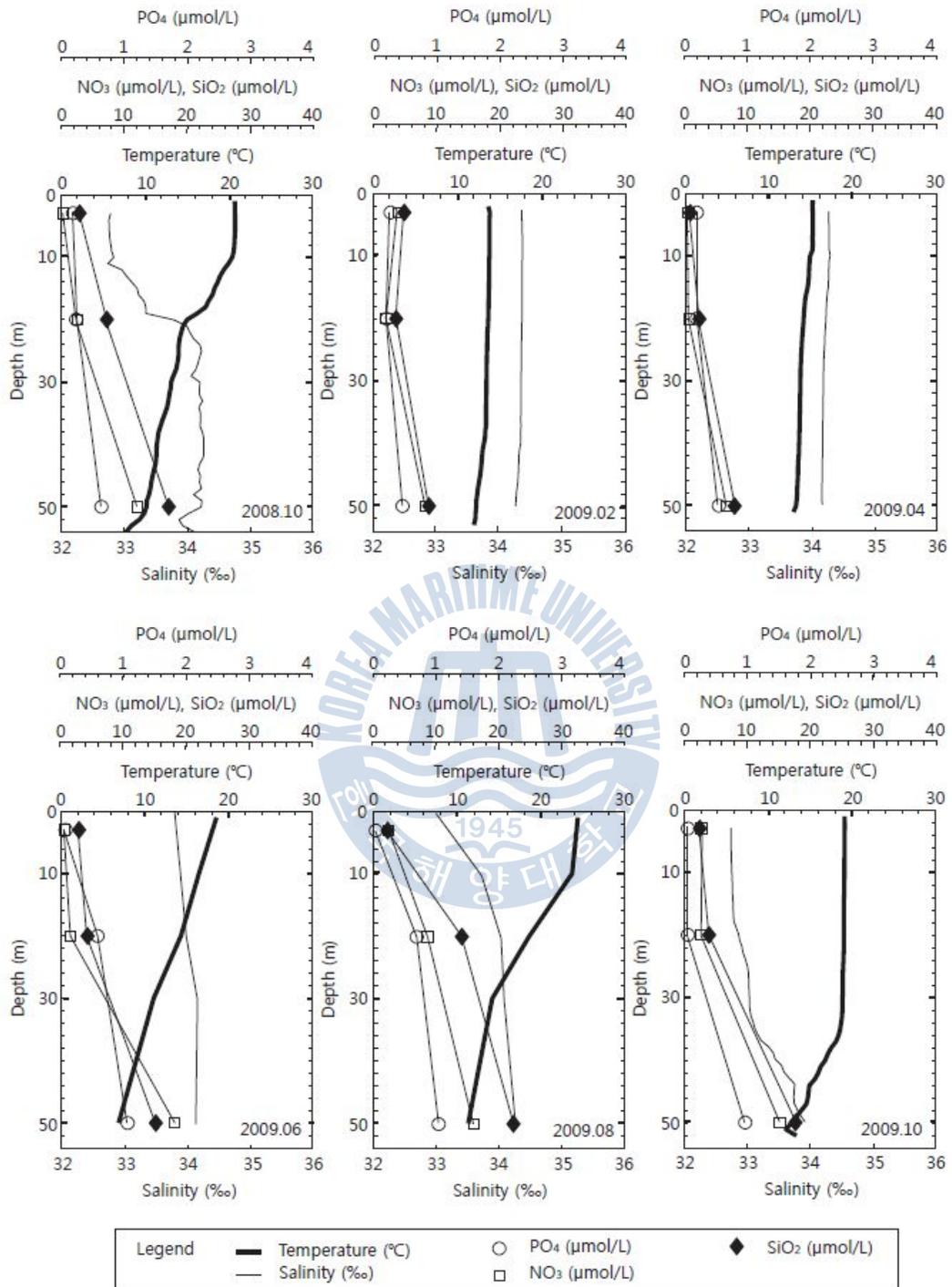


Fig. 9. Vertical distribution of salinity, temperature and nutrient at the Coastal station(209-04).

4.3.1 수층 해수 시료의 알케논 농도

연안 정점(209-04)의 수심별 알케논 농도 분포는 2월-6월에 20 m에서 농도가 가장 높고 수심이 깊어질수록 농도가 감소했다. 8월은 20 m, 50 m에서 모두 농도가 거의 없고 표층에서만 1.4 ng L^{-1} 의 농도가 나타났다. 2008년 10월과 2009년 10월의 농도는 50 m에서 가장 높았다. 외해 정점(103-11)에서는 2월에 20 m에서 농도가 가장 높고 수심이 깊어질수록 농도가 감소했다. 4월은 모든 층에서 알케논 농도가 나타나지 않았다. 6월은 0-50 m까지 농도가 높다가 70 m이하의 수심에서 급격히 감소했다. 8월은 0-20 m까지 농도가 높다가 50 m이하의 수심에서 급격히 감소했다. 2008년 10월과 2009년 10월에 0-20 m에서 농도가 가장 높았다.

연안 정점(209-04)에서는 10월을 제외하고는 0-20 m에서 알케논 농도가 가장 높았고, 외해 정점(103-11)에서는 6월을 제외하고는 0-20 m에서 농도가 높았다. 월별 농도결과에서는 연안 정점은 2009년 10월에 상대적으로 높았고, 외해 정점은 6월-8월에 상대적으로 높았다(그림 10).

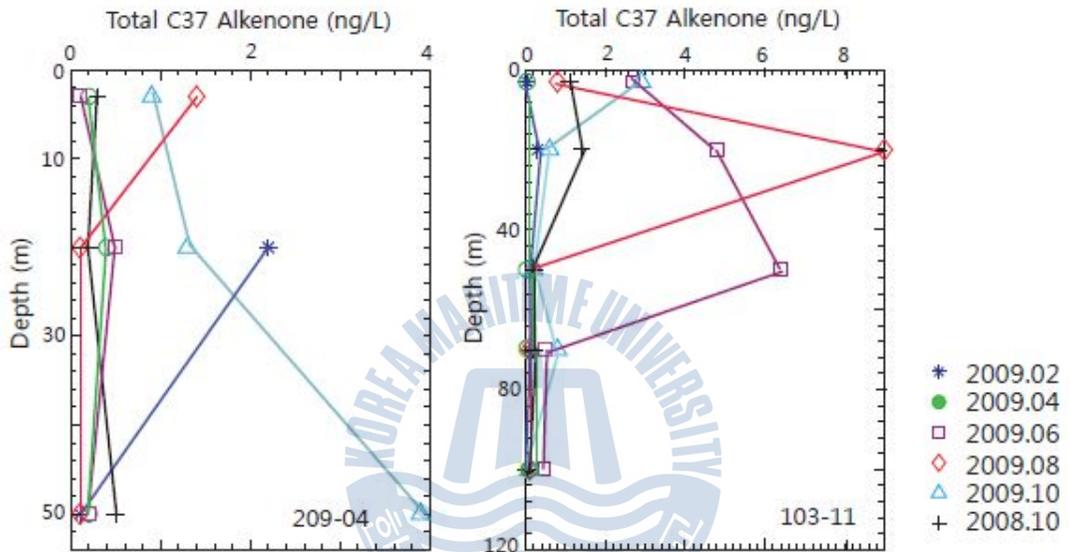


Fig. 10. Vertical distribution of seasonal alkenone concentration at the Coastal station(209-04) and the Open sea station(103-11).

4.3.2 수층 해수 시료의 $U_{37}^{K'}$ 온도

연안 정점(209-04)의 알케논 복원 온도와 현장 온도를 그림 11에 나타냈다. 2월에 수심 20 m의 현장 온도는 13.6°C , 알케논 복원 온도는 6.6°C 으로 7°C 의 수온차가 났다. 4월에 수심 3, 20, 50 m에서 현장 온도와 복원 온도의 수온차는 각각 2.5°C , 2.2°C , 0.2°C 였다. 6월에 수온차는 각각 1.1°C , 1.8°C , 7.8°C 로 20 m까지는 2°C 보다 작았다. 8월에 수심 20, 50 m는 알케논 농도가 너무 낮게 나와 알케논 복원 수온을 측정할 수 없었다. 3 m의 현장 온도는 25.1°C 이고 복원 온도는 26.8°C 이었다. 2009년 10월에 수온차는 2.4°C , 0.7°C , 5.3°C 이었고, 2008년 10월에 수온차는 2.1°C , 4.2°C , 10°C 이었다. 월별로 20 m와 50 m에서 현장 수온의 차이가 많이 나는 거에 비해 알케논 복원 수온의 차는 $0.2\text{-}2^{\circ}\text{C}$ 로 두 깊이의 알케논 수온이 비슷했다.

외해 정점(103-11)의 알케논 복원 온도와 현장 온도를 그림 12에 나타냈다. 2월에 수심 20, 50, 70 m의 현장 온도와 복원 수온의 수온차는 각각 3.4°C , 3.2°C , 3.4°C 으로 거의 비슷하였다. 4월은 모든 층에서 알케논 농도가 거의 나타나지 않았다. 6월에 수온차는 3, 20, 50, 70, 100 m에서 각각 1.9°C , 1.6°C , 1.7°C , 0.3°C , 2.9°C 로 혼합층 아래에서 수온차가 가장 컸다. 8월에 3, 20, 50 m의 수온차는 2°C , 1.7°C , 3.7°C 이었다. 2009년 10월에 3, 20, 50, 70 m의 수온차는 0.5°C , 0.5°C , 0.3°C , 2.3°C 으로 혼합층에서 수온차는 0.5°C 이하로 연중 가장 작았다. 2008년 10월에 3, 20, 50, 70 m의 수온차는 1.5°C , 1.7°C , 1.1°C , 7°C 였다. 2월을 제외하고 모든 월에서 혼합층의 수온차보다 그 아래 수심에서 수온차가 더 컸다.

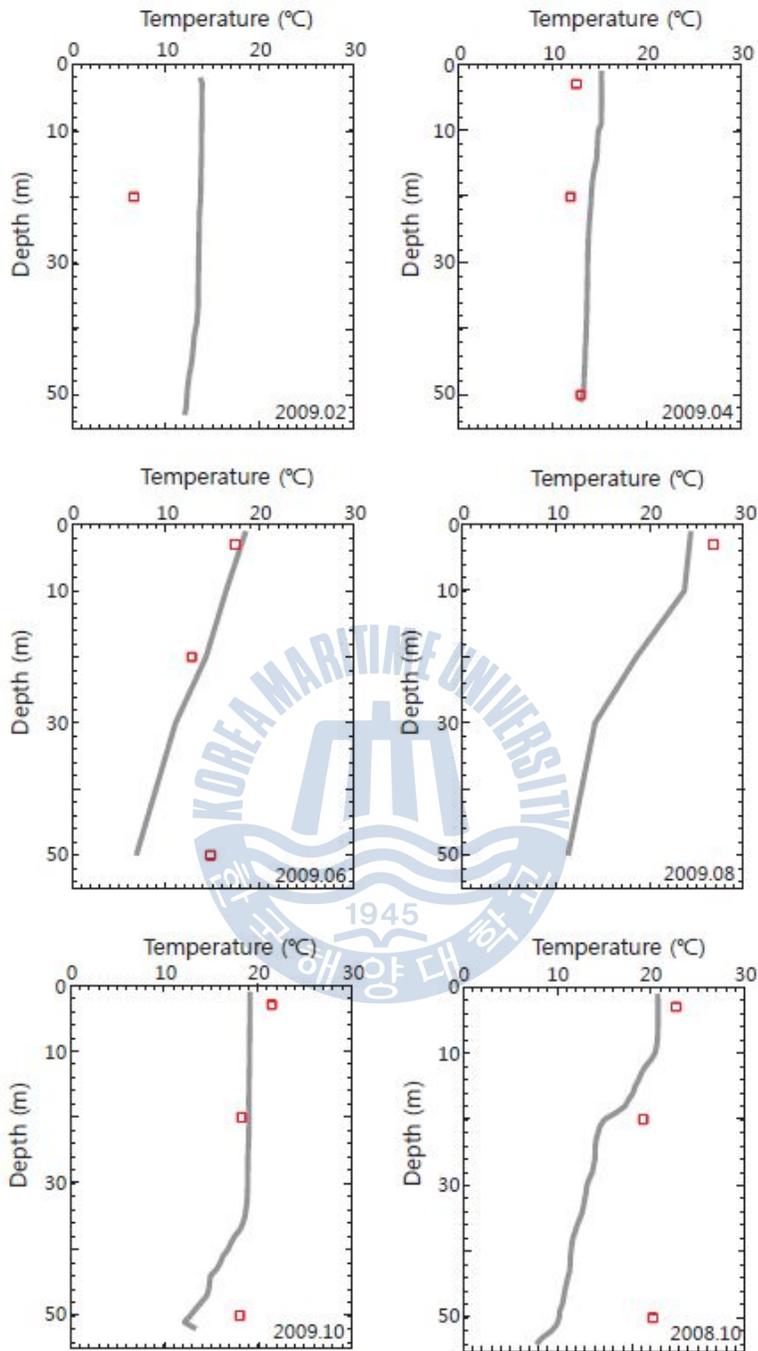


Fig. 11. Vertical distribution of seasonal in situ temp. and Alkenone-derived temp. at the Coastal station(209-04). Straight line indicates in situ temp. data. Red open rectangle indicates Alkenone-derived temp.

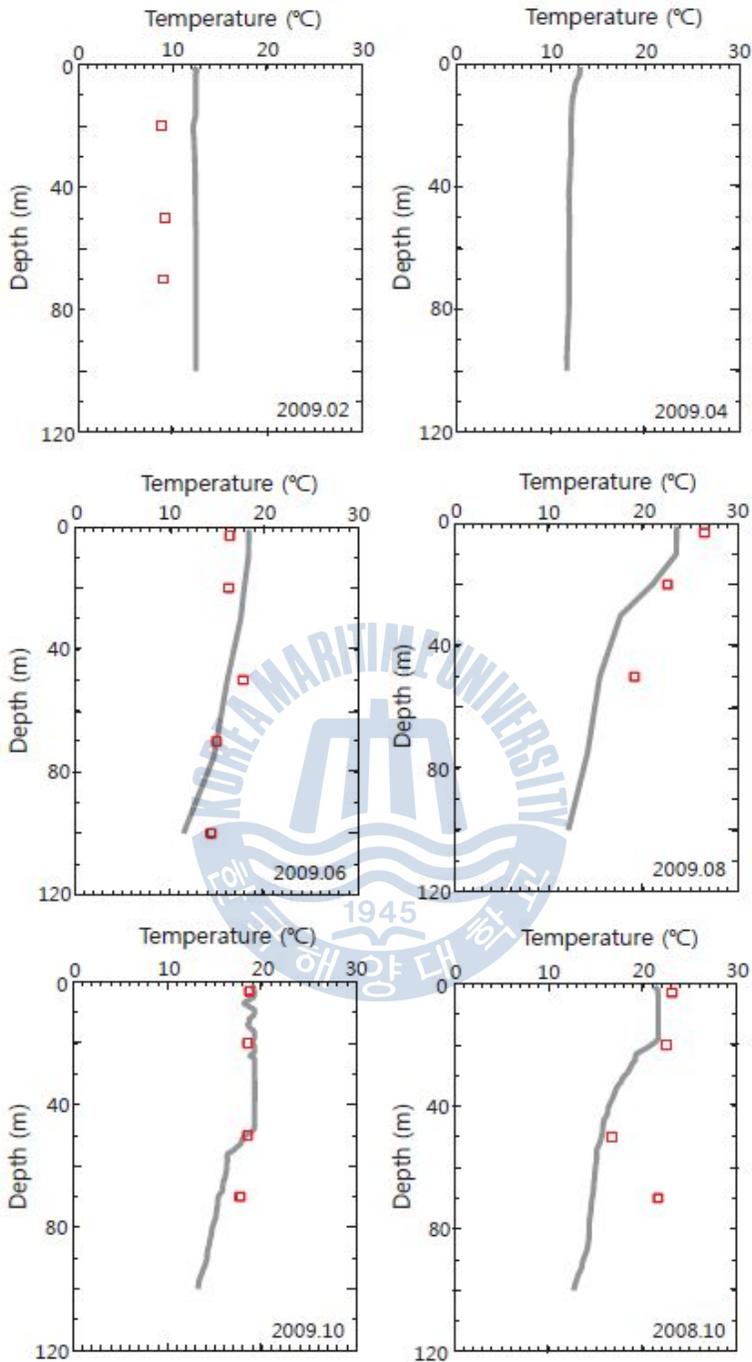


Fig. 12. Vertical distribution of seasonal in situ temp. and Alkenone-derived temp. at the Open sea station(103-11). Straight line indicates in situ temp. data. Red open rectangle indicates Alkenone-derived temp.

4.4.1 표층 해수 시료의 알케논 농도

주문진 부근 해역에서 포항 부근 해역까지 표층 해수에서의 알케논 농도는 12월-2월 사이에는 $0.1-0.6 \text{ ngL}^{-1}$ 으로 비교적 낮았고, 4월, 6월과 10월에는 각각 $0.2-3.0 \text{ ngL}^{-1}$, $0.2-3.8$, $0.3-2.9 \text{ ngL}^{-1}$ 으로 비교적 높았다. 월별 알케논 농도의 범위는 2008년 10월에 $0.3-2.4 \text{ ngL}^{-1}$ (평균 1.18 ngL^{-1})이었다. 2009년 2월에는 $0.1-0.2 \text{ ngL}^{-1}$ (평균 0.11 ngL^{-1}), 4월에 $0.2-0.8 \text{ ngL}^{-1}$ (평균 0.6 ngL^{-1}), 6월에 $0.4-3.0 \text{ ngL}^{-1}$ (평균 1.31 ngL^{-1}), 8월에 $0.8-1.3 \text{ ngL}^{-1}$ (평균 1.06 ngL^{-1}), 10월에 $0.3-2.9 \text{ ngL}^{-1}$ (평균 1.6 ngL^{-1})으로 나타났다. 2010년 4월에는 $0.2-3.0 \text{ ngL}^{-1}$ (평균 1.19 ngL^{-1}), 6월에 $0.2-3.8 \text{ ngL}^{-1}$ (평균 1.05 ngL^{-1}), 8월에 $0.7-1.0 \text{ ngL}^{-1}$ (평균 0.76 ngL^{-1}), 12월에 $0.2-0.6 \text{ ngL}^{-1}$ (평균 0.35 ngL^{-1})이었다(그림 13).

감포 연안에서 울산 연안 해역까지 표층 해수에서의 알케논 농도는 12월에 $0.3-0.4 \text{ ngL}^{-1}$ 으로 가장 낮았고, 8월에 $0.6-4.2 \text{ ngL}^{-1}$ 으로 가장 높았다. 월별 알케논 농도의 범위는 2008년 10월에 $0.3-1.1 \text{ ngL}^{-1}$ (평균 0.7 ngL^{-1}), 2009년 4월에 $0.2-0.4 \text{ ngL}^{-1}$ (평균 0.3 ngL^{-1}), 6월에 0.1 ngL^{-1} , 8월에 1.4 ngL^{-1} , 10월에 0.9 ngL^{-1} , 2010년 8월에 $0.6-4.2 \text{ ngL}^{-1}$ (평균 2.77 ngL^{-1}), 12월에 $0.3-0.4 \text{ ngL}^{-1}$ (평균 0.35 ngL^{-1})이었다(그림 13).

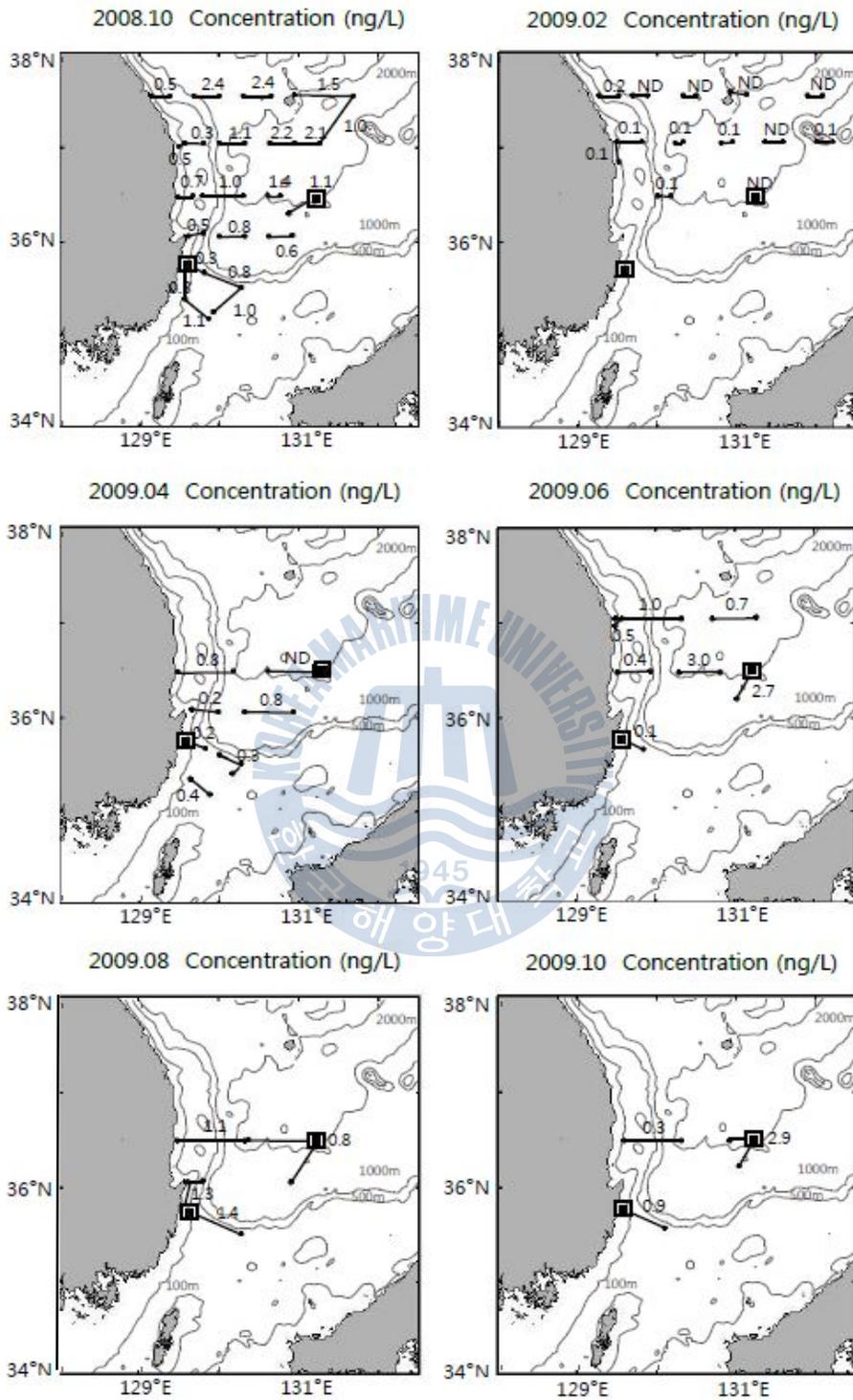


Fig. 13. Spatial distribution of surface alkenone concentration.

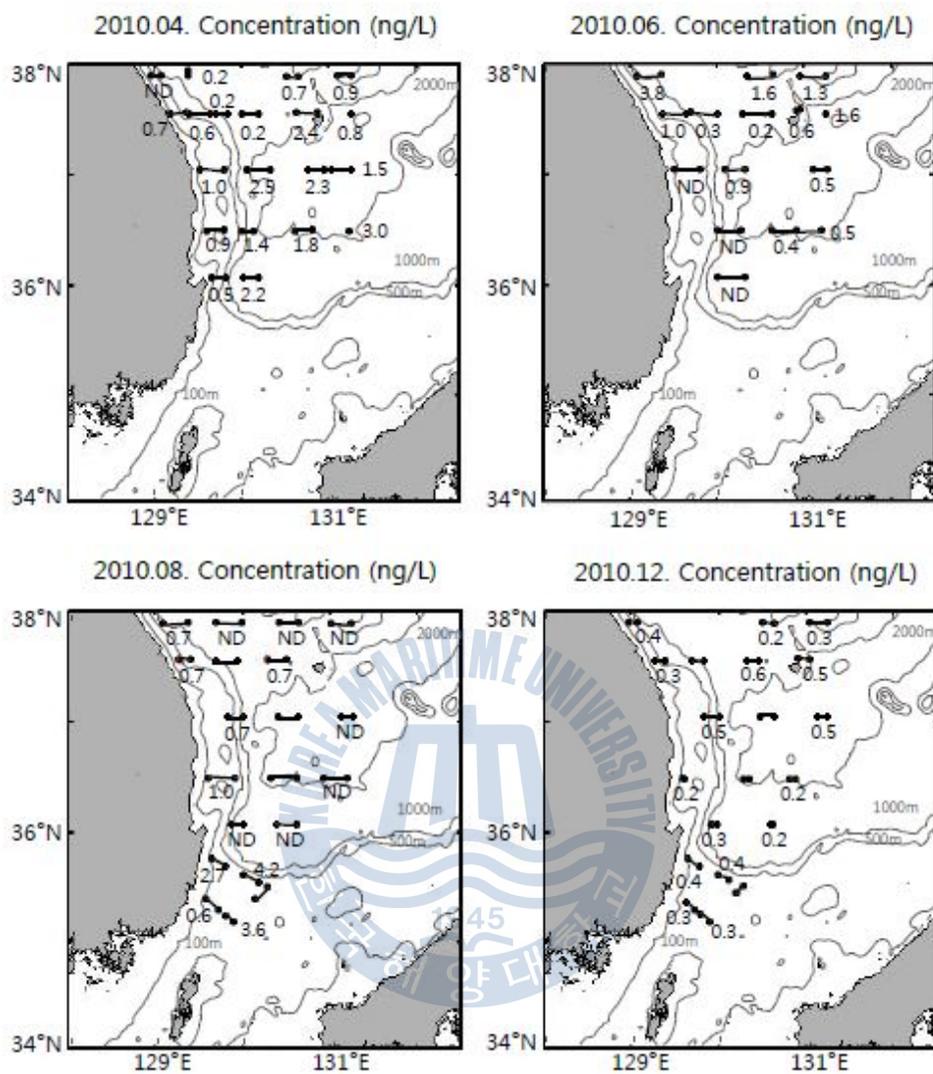
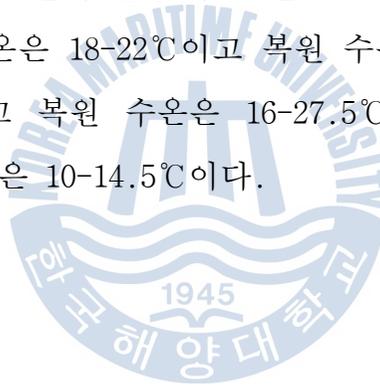


Fig. 13. (Continued)

4.4.2 표층 해수 시료의 $U_{37}^{K'}$ 온도

수집한 표층 해수 시료의 현장 수온과 알케논 복원 수온을 그림 14와 그림 15에 나타냈다. 각 월별 현장 수온과 알케논 복원 수온 분포는 2008년 10월에 현장 수온은 22-24°C이고 알케논 복원 수온은 22-26.5°C이다. 2009년 2월에 현장 수온 분포는 11-15°C이고 복원 수온은 8-9°C, 4월에 현장 수온은 11-15°C이고 복원 수온은 11-13°C, 6월에 현장 수온은 14-19°C이고 복원 수온은 11-17.5°C, 8월에 현장 수온은 24-26°C이고 복원 수온은 26-27°C, 10월에 현장 수온은 19-21°C이고 복원 수온은 17-21.5°C이다. 2010년 4월에 현장 수온 분포는 8-14°C이고 복원 수온은 3-9°C, 6월에 현장 수온은 18-22°C이고 복원 수온은 16-22°C, 8월에 현장 수온은 20-28°C이고 복원 수온은 16-27.5°C, 12월에 현장 수온은 11-16°C이고 복원 수온은 10-14.5°C이다.



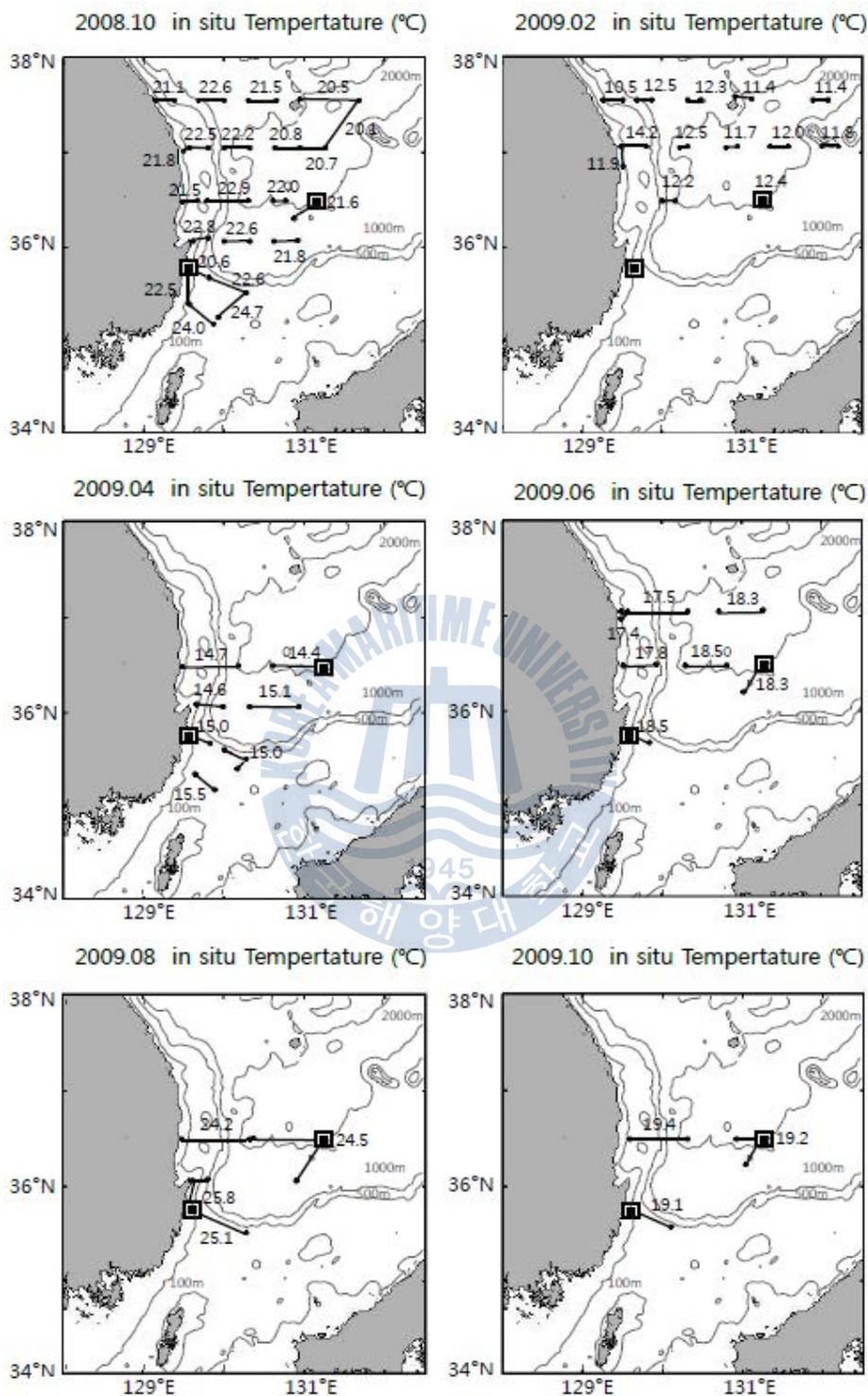


Fig. 14. Seasonal in situ temp. of surface water samples.

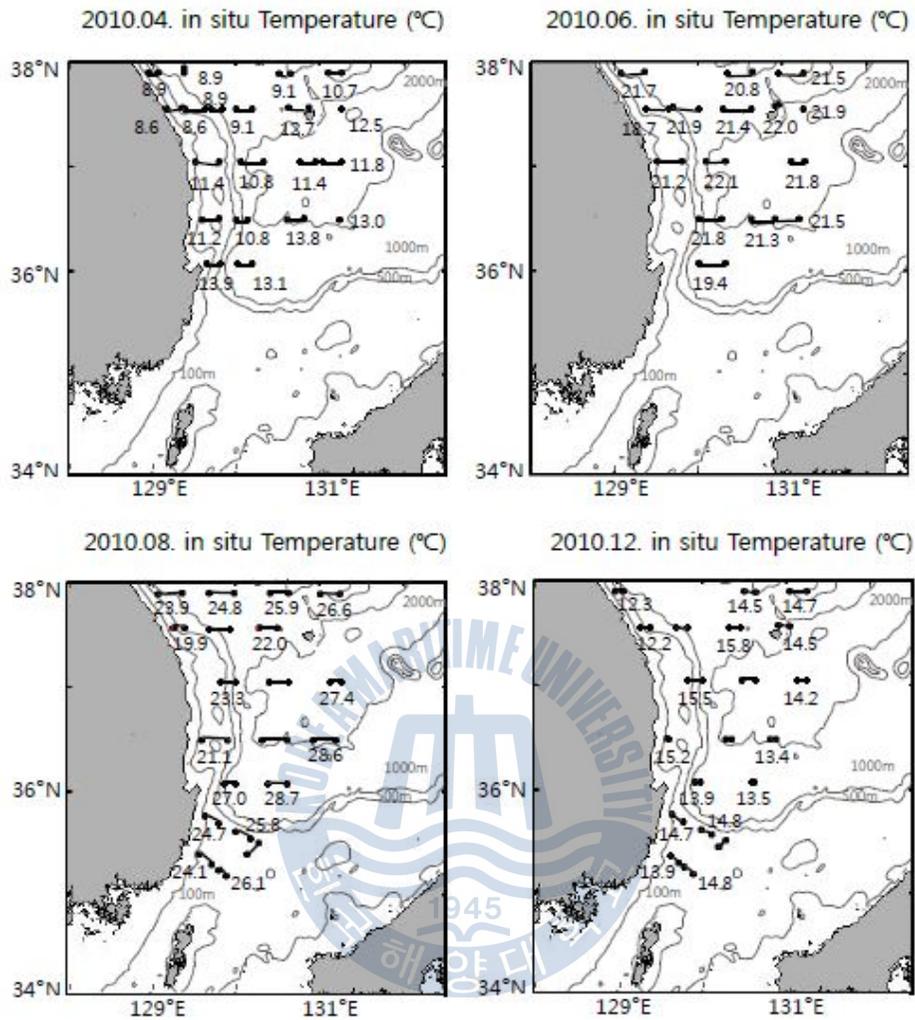


Fig. 14. (Continued)

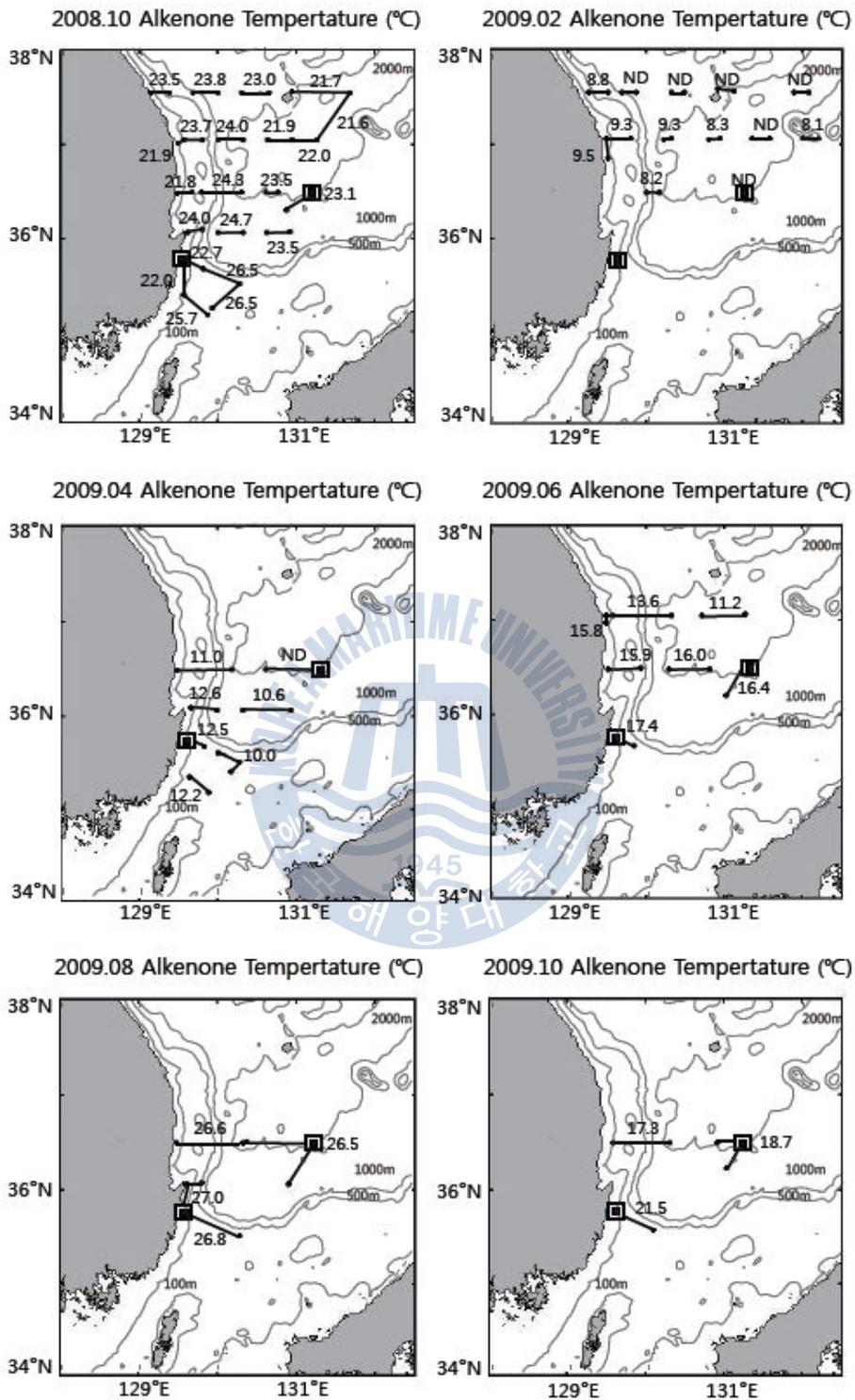


Fig. 15. Seasonal alkenone temp. of surface water samples.

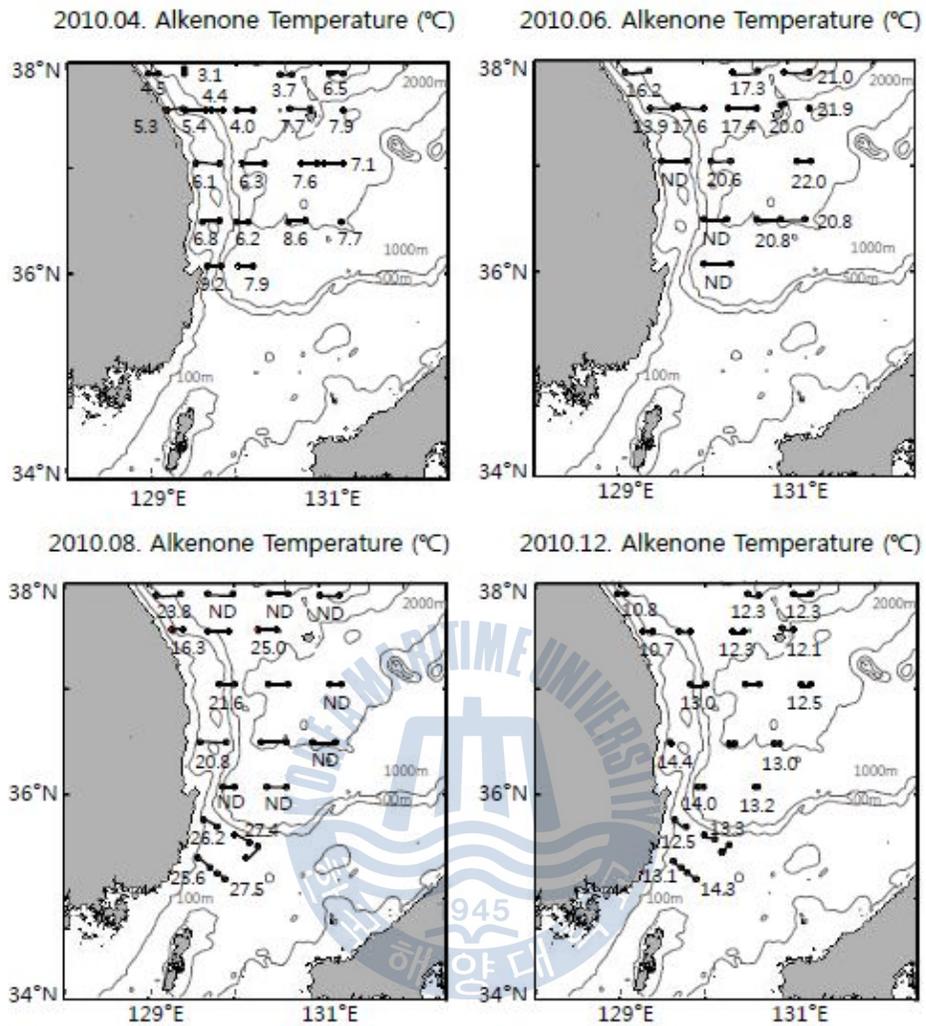


Fig. 15. (Continued)

5. 토의 및 결론

알케논을 합성하는 생물종이 표층해수에서 생존한다는 것을 전제로 하고 퇴적물에서 복원한 알케논 수온이 과거 표층 수온을 대변할 것 이라는게 일반적인 가설이다. 하지만 몇몇 학자들에 의해 지역에 따라 혼합층뿐만 아니라 혼합층 아래 수심이 주요 알케논 합성 수심이 될 수 있다는 의견이 제시되었다.

예를 들어, Prahl *et al.* (2000)은 북동 태평양 외해에서 표층아래 클로로필 최대(subsurface chlorophyll maximum, SCM)가 수온약층 상부에서 관측되었으며 이 지역에서 알케논 합성이 주로 SCM이 우세한 수심 부근에서 일어났다고 제시하였다.

Lee and Schneider (2005)의 해수를 이용한 알케논 합성 수심 연구에서는 태평양의 서안 경계류와 적도 지역에서는 표층에서 최대 클로로필 농도와 최대 알케논 농도가 나타났지만 아열대 지역에서는 표층 아래에서 최대 클로로필 농도와 최대 알케논 농도가 나타났다. 그러므로 지역에 따라 알케논 농도가 최대인 수심이 다를 수 있다고 제시하였다. 이러한 결과들은 해양 퇴적물의 알케논 평가에서 알케논 생합성 수심의 다양성이 어떤 영향을 미칠 수 있는가에 대해 이해하는데 도움을 줄 것이라고 제안하였다.

본 논문 그림 10의 수직적 알케논 농도 분포에서 연안 정점은 20 m이내에서 외해 정점은 50 m이내에서 알케논 농도가 주로 높았다. 표 1에서 각 정점별로 월별 수층 해수의 혼합층 수심범위와 알케논 최대 농도 수심을 비교해 보면 대부분 알케논 농도 최대 수심이 혼합층 수심내에서 나타났다. 그리고 그림 16은 각 정점별로 혼합층에 해당하는 수층 시료

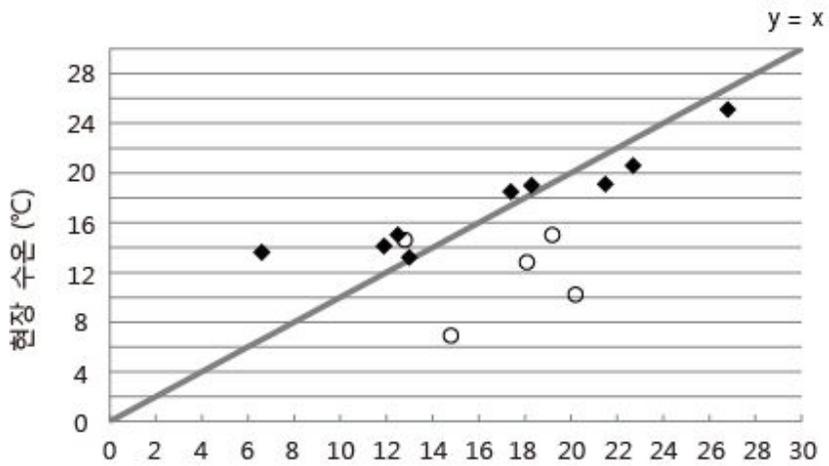
와 혼합층 아래에 해당하는 수층 시료를 두 그룹으로 나누어 각 시료의 현장 온도에 대한 알케논 복원 온도를 나타냈는데 이 그림에서 각 시료 표시점이 검은 선에 가까울수록 현장 온도와 알케논 복원 온도가 잘 일치함을 나타낸다. 두 정점 모두 상대적으로 혼합층에 해당하는 시료가 현장 온도와 알케논 온도가 잘 일치하였다. 그리고 혼합층 아래 시료의 알케논 복원 수온이 현장 수온보다 높은 것을 볼 수 있는데 이는 상대적으로 수온이 더 높은 표층으로부터 침강한 입자가 영향을 미쳤을 가능성이 있다. 이러한 결과들은 동해의 알케논이 합성은 혼합층에서 이루어짐을 의미한다.

동해에서 표층 해수의 계절별 알케논 농도 분포는 겨울철(12-2월)에 $0.1-0.6 \text{ ngL}^{-1}$ 로 일년 중 상대적으로 가장 낮았다. 하지만 나머지 계절에서는 두드러진 경향은 보이지 않고 농도가 비슷하게 나타났다. 그림 17은 각 달마다 표층 해수 알케논 농도를 평균하여 나타낸 것이다. 월별 평균값을 보면 겨울철(12-2월)에는 농도가 0.4 ngL^{-1} 이하로 상대적으로 낮았고 나머지 계절(4-10월)에는 농도가 1.0 ngL^{-1} 이상으로 대체로 비슷하였다. 이것은 동해에서 알케논 합성이 어느 특정 계절에 일어나는 것이 아님을 의미하며, 해양 퇴적물에서 복원한 알케논 온도가 어느 특정한 계절을 지시하는 것이 아니라 연평균 수온임을 의미하는 것이다.

Table 1. Mixed-layer depth range and alkenone maximum concentration depth of seasonal subsurface water.

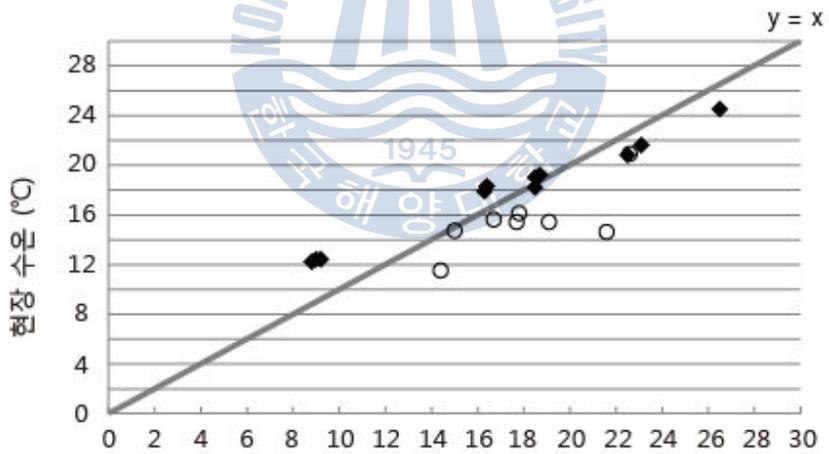
Station	Date	혼합층 수심 범위 (m)	알케논 최대 농도 수심 (m)
연안 정점 (209-04)	2008.10	10	3
	2009.02	50	20
	2009.04	50	20
	2009.06	15	20
	2009.08	10	3
	2009.10	35	50
외해 정점 (103-11)	2008.10	20	20
	2009.02	100	20
	2009.04	100	-
	2009.06	20	50
	2009.08	20	20
	2009.10	50	3

연안 정점(209-04)



알케논 복원 수온 (°C)

외해 정점(103-11)



알케논 복원 수온 (°C)



Fig. 16. Relationship between in situ Temp. and alkenone Temp. for surface and subsurface water samples.

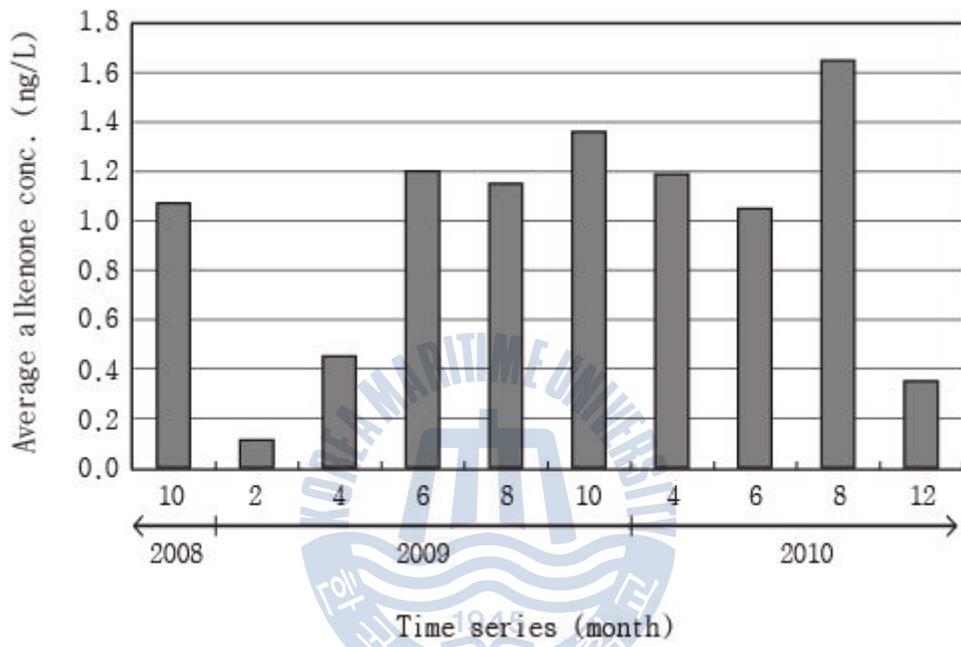


Fig. 17. Seasonal average alkenone concentration. of surface water sample.

6. 참고논문

국립수산과학원, 해양조사연보 제 58권(2009년도 조사결과).

국립수산과학원, 동해해황정보지 2008년 8월 - 2010년 12월.

Brasell, S.C., Eglinton, G., Marlowe, I.T., Pflaumann, U. and Sarnthein, M., Molecular stratigraphy: a new tool for climatic assessment. *Nature*, 320, 129-133 (1986).

Harada, N., Sato, M., Shiraishi, A., Honda, M., Characteristics of alkenone distributions in suspended and sinking particles in the northwestern North Pacific. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 70, 2045-2062 (2006).

Herbert, T.D., Review of alkenone calibrations (culture, water column, and sediments). *Geochemistry Geophysics Geosystems* 2, 2000GC000055 (2001).

Lee, K.E., Bahk, J.J., Choi, J., Alkenone temperature estimates for the East Sea during the last 190,000 years. *Organic Geochemistry* 39, 741-753 (2008).

Lee, K.E., and schneider, R., Alkenone production in the upper 200 m of the Pacific Ocean. *Deep-Sea Research I* 52, 443-456 (2005).

Müller, P.J., Kirst, G., Ruhland, G., Storch, I.V. and Rosell-Mele, A., Calibration of the alkenone paleotemperature index $U_{37}^{K'}$ based on

- core-tops from the eastern South Atlantic and the global ocean (60° N-60° S). *Geochimica et Cosmochimica Acta* 62, 1757-1772 (1998).
- Popp, B. N., Prahl, F.G, Wallsgrove, R.J and Tanimoto, J., Seasonal patterns of alkenone production in the subtropical oligotrophic North Pacific. *Paleoceanography* 21, PA1004, doi:10.1029/2005PA001165 (2006).
- Prahl, F.G. a. Wakeham, S.G. Calibration of unsaturation patterns in long-chain ketone compositions for paleotemperature assessment. *Nature* 30, 367-369 (1987).
- Prahl, F.G., Muehlhausen, L.A. and Zahnle, D.L., Further evaluation of long-chain alkenones as indicators of paleoceanographic conditions. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 52, 2303-2310 (1988).
- Prahl, F.G., Collier, R., Dymond, J., Lyle, M. and Sparrow M.A. A biomarker perspective on prymnesiophyte production in the northeast Pacific Ocean. *Deep-Sea Research* 40, 2061-2076 (1993).
- Prahl, F. G., Herbert, T., Brassell, S.C., Ohkouchi, N., Pagani, M., Repeta D., Rosell-Melé, A., Sikes, E. Status of alkenone paleothermometer calibration: Report from Working Group 3. *Geochemistry Geophysics Geosystems* 1, 2000GC000058 (2000).

Sikes, E. L., Volkman, J.K. Calibration of alkenone unsaturation ratios (UK 37) for paleotemperature estimation in cold polar waters. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 57, 1883-1889 (1993).

Ternois, Y., Sicre, M.-A., Boireau, A., Conte, M.H., Eglinton, G. Evaluation of long-chain alkenones as paleotemperature indicators in the Mediterranean Sea. *Deep Sea Research I* 44, 271-286 (1997).



Appendix 1.

Alkenone analysis data of subsurface water samples.

Station	Date	Depth (m)	C37:3 (ng/L)	C37:2 (ng/L)	Total C37 (ng/L)	U ^{K'} ₃₇ (°C)	in situ Tem. (°C)	
연안 (209-04)	2008.10	20	0.1	0.1	0.2	19.2	15.0	
		50	0.1	0.3	0.5	20.2	10.2	
	2009.02	20	1.6	0.6	2.2	6.6	13.6	
		50	-	0.1	0.1	-	12.3	
	2009.04	20	0.2	0.2	0.4	11.9	14.1	
		50	0.1	0.1	0.2	13.0	13.2	
	2009.06	20	0.3	0.2	0.5	12.8	14.6	
		50	0.1	0.1	0.2	14.8	6.9	
	2009.08	20	-	0.1	0.1	-	18.5	
		50	-	0.1	0.1	-	11.3	
	2009.10	20	0.5	0.9	1.3	18.3	14.0	
		50	1.3	2.5	3.9	18.1	12.8	
	외해 (103-11)	2008.10	20	0.3	1.1	1.4	22.5	20.8
			50	0.1	0.1	0.2	16.7	15.6
70			0.1	0.1	0.2	21.6	14.6	
100			-	-	-	-	12.6	
2009.02		20	0.2	0.1	0.3	8.8	12.2	
		50	0.1	0.1	0.2	9.2	12.4	
		70	0.1	-	0.1	9.0	12.4	
		100	-	-	-	-	12.4	
2009.04		50	-	-	-	-	11.9	
		70	-	-	-	-	11.9	
		100	-	-	-	-	11.7	
2009.06		20	1.9	2.8	4.8	16.3	17.9	
		50	2.3	4.1	6.4	17.8	16.1	
		70	0.2	0.2	0.5	15.0	14.7	
		100	0.2	0.2	0.4	14.4	11.5	
2009.08		20	1.7	7.2	9.0	22.6	20.9	
		50	0.1	0.1	0.2	19.1	15.4	
		70	-	0.1	0.1	-	14.1	
		100	-	0.1	0.1	-	12.0	
2009.10		20	0.2	0.4	0.6	18.5	19.0	
	50	0.1	0.1	0.2	18.5	18.2		
	70	0.3	0.5	0.8	17.7	15.4		
	100	-	0.1	0.1	-	13.2		

Appendix 2.

Alkenone analysis data of surface water samples.

Date	Sites	C37:3 (ng/L)	C37:2 (ng/L)	Total C37 (ng/L)	U ^K ₃₇ (°C)	in situ Tem. (°C)
2008.10	105-P	0.1	0.4	0.5	23.5	21.5
2008.10	105-06	0.4	2.0	2.4	23.8	22.6
2008.10	105-08	0.4	2.0	2.4	23.0	21.5
2008.10	105-10	0.3	1.2	1.5	21.7	20.5
2008.10	105-11	0.2	0.8	1.0	21.6	20.1
2008.10	104-11	0.4	1.6	2.1	22.0	20.7
2008.10	104-10	0.5	1.7	2.2	21.9	20.8
2008.10	104-08	0.2	1.0	1.1	24.0	22.2
2008.10	104-06	0.0	0.3	0.3	23.7	22.5
2008.10	104-05	0.1	0.4	0.5	21.9	21.8
2008.10	103-P	0.1	0.5	0.7	21.8	20.5
2008.10	103-06	0.1	0.9	1.0	24.3	22.9
2008.10	103-09	0.2	1.2	1.4	23.5	22.0
2008.10	103-11	0.2	0.9	1.1	23.1	21.6
2008.10	102-10	0.1	0.5	0.6	23.5	21.8
2008.10	102-08	0.1	0.7	0.8	24.7	22.6
2008.10	102-06	0.1	0.4	0.5	24.0	22.3
2008.10	209-00	0.0	0.2	0.3	22.7	20.6
2008.10	209-06	0.0	0.7	0.8	26.5	22.8
2008.10	209-08	0.1	1.0	1.0	26.5	24.7
2008.10	208-04	0.1	1.0	1.1	25.7	24.0
2008.10	208-02	0.1	0.3	0.3	22.0	22.5
2009.02	103-07	0.1	0.0	0.1	8.2	12.2
2009.02	103-11	-	-	-	-	12.4
2009.02	104-04	0.1	0.0	0.1	9.5	11.9
2009.02	104-06	0.1	0.0	0.1	9.3	14.2
2009.02	104-08	0.1	0.0	0.1	9.3	12.5
2009.02	104-10	0.1	0.0	0.1	8.3	11.7
2009.02	104-12	-	-	-	-	12.0
2009.02	104-14	0.1	0.0	0.1	8.1	11.8
2009.02	105-04	0.1	0.1	0.2	8.8	10.5

Appendix 2. (Continued)

Date	Sites	C37:3 (ng/L)	C37:2 (ng/L)	Total C37 (ng/L)	U ^{K'} ₃₇ (°C)	in situ Tem. (°C)
2009.02	105-08	-	-	-	-	12.3
2009.02	105-10	-	-	-	-	11.4
2009.02	105-13	-	-	-	-	11.4
2009.04	103-09	-	-	-	-	14.4
2009.04	102-10	0.5	0.3	0.8	10.6	15.1
2009.04	102-06	0.1	0.1	0.2	12.6	14.6
2009.04	209-00	0.1	0.1	0.2	12.5	15.0
2009.04	209-07	0.2	0.1	0.3	10.0	15.0
2009.04	208-04	0.2	0.2	0.4	12.2	15.5
2009.04	103-P	0.4	0.3	0.8	11.0	14.7
2009.06	104-11	0.4	0.3	0.7	11.2	18.3
2009.06	104-08	0.5	0.5	1.0	13.6	17.5
2009.06	104-05	0.2	0.3	0.5	15.8	17.4
2009.06	209-04	0.1	0.1	0.1	17.4	18.5
2009.06	103-04	0.2	0.2	0.4	15.9	17.3
2009.06	103-08	1.2	1.7	3.0	16.0	18.5
2009.06	103-11	1.1	1.6	2.7	16.4	18.3
2009.08	103-P	0.1	1.0	1.1	26.6	24.2
2009.08	102-06	0.1	1.3	1.3	27.0	25.8
2009.08	102-10	0.1	0.8	0.8	26.5	24.5
2009.08	209-05	0.1	1.3	1.4	26.8	25.1
2009.10	103-05	0.1	0.2	0.3	17.3	19.4
2009.10	103-10	0.9	2.0	2.9	18.7	19.2
2009.10	209-04	0.2	0.7	0.9	21.5	19.1
2010.04	106-11	0.7	0.2	0.9	6.5	10.6
2010.04	106-09	0.6	0.1	0.7	3.7	9.0
2010.04	106-05	0.2	0.0	0.2	3.1	8.6
2010.04	106-04	-	-	-	-	8.8
2010.04	105-03	0.5	0.2	0.7	5.3	8.6
2010.04	105-05	0.4	0.1	0.6	5.4	8.7
2010.04	105-06	0.1	0.0	0.2	4.4	9.2
2010.04	105-07	0.2	0.0	0.2	4.0	9.1

Appendix 2. (Continued)

Date	Sites	C37:3 (ng/L)	C37:2 (ng/L)	Total C37 (ng/L)	U ^{K'} ₃₇ (°C)	in situ Tem. (°C)
2010.04	105-11	1.2	0.5	1.8	7.9	12.4
2010.04	104-11	1.1	0.4	1.5	7.1	11.8
2010.04	104-10	1.6	0.7	2.3	7.6	11.4
2010.04	104-08	1.9	0.6	2.5	6.3	10.8
2010.04	104-06	0.8	0.3	1.0	6.1	11.4
2010.04	103-05	0.6	0.2	0.9	6.8	11.2
2010.04	103-07	1.0	0.3	1.4	6.2	10.7
2010.04	103-09	1.2	0.6	1.8	8.6	13.7
2010.04	103-11	2.1	0.9	3.0	7.7	12.8
2010.04	102-08	1.5	0.7	2.2	7.9	13.0
2010.04	102-06	0.3	0.2	0.5	9.2	13.8
2010.06	106-11	0.3	1.0	1.3	21.0	22.0
2010.06	106-09	0.6	1.0	1.6	17.3	22.6
2010.06	106-05	1.6	2.2	3.8	16.2	22.3
2010.06	105-05	0.5	0.5	1.0	13.9	18.9
2010.06	105-06	0.1	0.2	0.3	17.6	21.9
2010.06	105-07	0.1	0.1	0.2	17.4	22.3
2010.06	105-09	0.2	0.5	0.6	20.0	21.6
2010.06	105-10	0.4	1.3	1.6	21.9	22.1
2010.06	104-11	0.1	0.4	0.5	22.0	21.7
2010.06	104-08	0.2	0.7	0.9	20.6	21.9
2010.06	104-06	-	-	-	-	21.2
2010.06	103-07	-	-	-	-	21.7
2010.06	103-09	0.1	0.3	0.4	20.8	21.5
2010.06	103-10	0.1	0.4	0.5	20.8	21.4
2010.06	102-08	-	-	-	-	19.3
2010.08	106-11	-	-	-	-	26.5
2010.08	106-09	-	-	-	-	25.8
2010.08	106-07	-	-	-	-	25.2
2010.08	106-05	0.1	0.6	0.7	23.8	24.3
2010.08	105-04	0.3	0.4	0.7	16.3	20.0
2010.08	105-08	0.1	0.6	0.7	25.0	22.8

Appendix 2. (Continued)

Date	Sites	C37:3 (ng/L)	C37:2 (ng/L)	Total C37 (ng/L)	$U_{37}^{K'}$ (°C)	in situ Tem. (°C)
2010.08	104-07	0.2	0.6	0.7	21.6	23.2
2010.08	103-05	0.3	0.7	1.0	20.8	21.3
2010.08	103-10	-	-	-	-	28.5
2010.08	102-09	-	-	-	-	28.5
2010.08	102-07	-	-	-	-	27.0
2010.08	209-05	0.2	2.5	2.7	26.2	24.7
2010.08	209-07	0.1	4.1	4.2	27.4	25.6
2010.08	208-04	0.1	3.5	3.6	27.5	26.0
2010.08	208-03	0.1	0.6	0.6	25.6	24.0
2010.12	106-11	0.2	0.1	0.3	12.3	14.5
2010.12	106-09	0.1	0.1	0.2	12.3	14.4
2010.12	106-04	0.2	0.2	0.4	10.8	12.2
2010.12	105-04	0.2	0.1	0.3	10.7	12.1
2010.12	105-08	0.3	0.3	0.6	12.3	15.9
2010.12	105-10	0.3	0.2	0.5	12.1	14.4
2010.12	104-11	0.3	0.2	0.5	12.5	14.2
2010.12	104-07	0.3	0.3	0.5	13.0	15.4
2010.12	103-05	0.1	0.1	0.2	14.4	15.2
2010.12	103-10	0.1	0.1	0.2	13.0	13.4
2010.12	102-09	0.1	0.1	0.2	13.2	13.5
2010.12	102-07	0.1	0.2	0.3	14.0	13.9
2010.12	209-05	0.2	0.2	0.4	12.5	14.7
2010.12	209-07	0.2	0.2	0.4	13.3	14.8
2010.12	208-04	0.1	0.1	0.3	14.3	14.8
2010.12	208-03	0.1	0.1	0.3	13.1	13.9