해양포유류의 생리/생태(먹이습성과 영양단계) 규명을 위한 생화학적 추적자 개발 연구

2010. 8

한 국 해 양 연 구 원

제 출 문

한국해양연구원장 귀하

본 보고서를 “한국해양연구원 개인창의과제 사업(09년도)”의 최종보고서로 제출합니다.

2010. 8

연구기관명: 한국해양연구원
연구책임자: 주세종
참여연구원: 고아라, 김혜선, 이창래,
김미진, 김연경

차

Chapter Ⅰ. 기획연구 (해양포유류의 생리/생태(먹이습성과 영양단계) 규명을 위한 생화학적 추적자 개발 연구)

1. 추진필요성 및 목적 5

1.1 추진필요성 5
1.2 목적 7

2. 국내외 연구개발 동향 및 분석 8

2.1 관련 연구/기술의 국내외 동향 8
2.2 관련기술의 시장규모 및 적용가능 분야 11
2.3 국내 연구개발 현황 및 능력분석 12
2.4 선진국 수준과의 비교 12

3. 연구개발 목표 12

3.1 최종 목표 13
3.2 단계별 연구 목표 13

4. 연구내용 및 범위 14

4.1 단계별 수행 연구 개발 과제 14
4.2 연구대상기술의 개발 가능성 27
4.3 기술개발 및 시장점유 가능성 27

5. 연구개발 추진전략 및 체계 28

5.1 기본방안 28
5.2 추진전략 28

5.3 연구개발 추진일정 31

6. 기대성과 및 활용방안 31

6.1 기대성과 31
6.2 활용방안 32

7. 결론 및 정책적 시사점 33

7.1 결론 33
7.2 정책적 시사점 33

8. 소요예산 33

연구과제제안서(RFP) 34

Chapter Ⅱ. 연구 성과

1. 연구 결과 발표 36

2. 연구 논문 성과 36

참 고 문 헌

Chapter Ⅰ. 기획연구

해양포유류의 생리/생태(먹이습성과 영양단계)
규명을 위한 생화학적 추적자 개발 연구

1. 추진 필요성 및 목적

1.1. 추진 필요성

추진필요성

우리나라 연안에 서식/출현하는 해양포유류의 생태적 위치와 역할 및 식성 생태 규명을 위한 생화학적 연구의 중요성

□ 해양생태계의 최상위 포식자인 고래가 수산자원에 미치는 영향 파악이 시급

□ 혼획되는 고래의 증가로부터 고래 자원의 보호 및 관리 필요

□ 고래 개체수 증가에 따른 고래류의 다양한 경제, 산업적 활용 방안 모색 필요

○ 1980년대 고래의 상업적 포경이 금지된 이후, 우리나라 근해에서 혼획(by-catch)되거나 선박에 좌초되는 고래 개체수가 뚜렷하게 증가하는 동시에 수산자원이 줄어들면서, 최상위 포식자인 고래가 해양생태계에 어떠한 영향을 미치는지 관심이 증대함 (그림 1).

○ 우리나라 근해에 서식하는 고래 중, 밍크고래는 1년 동안 약 80~100톤의 먹이를 섭취하기 때문에 인간이 이용하고 있는 수산자원에 미치는 영향이 큼.

그림 1. 1996년부터 2007년까지 한국 연안에서 혼획 · 좌초된 고래 개체수 현황.

○ 해양환경 및 생태계에서 최상위 포식자인 해양포유류(고래; 그림 2 참조)의 먹이에 대한 연구는 해양생태계에서 해양포유류의 역할과 기능 파악을 위하여 매우 중요하지만, 시료채집과 접근방법이 어려워 극히 제한된 정보만이 제공되고

있음.

○ 과거에는 식성생태를 파악하기 위해서 위 내용물 분석, 섭식 실험 등의 방법을 사용하였음. 이러한 방법들은 섭취한 먹이의 종류와 먹이의 크기, 섭식률을 알 수 있다는 장점이 있지만, 쉽게 소화되거나 이미 소화된 먹이에 대해서는 파악이 어렵고 개체의 크기가 큰 포유류는 이러한 정보획득을 위해 희생을 감수해야 함. 또한 해양포유류를 대상으로 하는 섭식 실험은 적합한 실험 조건을 갖추기에 공간이 부족함. 따라서 최근 해양포유류의 먹이 정보와 생태적 위치 파악을 위해 지방 추적자(Lipid biomarker), 안정 동위원소, 지방산 구성의 정량화 기법(QFASA; Quantitative Fatty Acid Signature Analysis) 등이 활용되면서 연구가 좀 더 용이해졌으나, 이러한 생화학적 연구방법에 대한 체계적이고 과학적인 평가는 아직 미흡함.

○ 매년 희생되거나 살아남은 고래의 수가 얼마인지 정확한 통계는 없지만, 1931년 43,000마리, 1961년에는 66,000마리가 포획됨. 국제포경위원회(IWC; International Whaling Commission)는 약 1,600마리/년가 포획되는 것으로 보고함. 따라서 고래의 보호와 이용에 관한 정책 수립이 필요함.

○ 고래자원의 이용과 관리 방안을 마련하기 위하여 우리나라 근해에서 나타나는 고래 군집 및 분포 변화, 개체수 증가 등의 파악이 시급함.

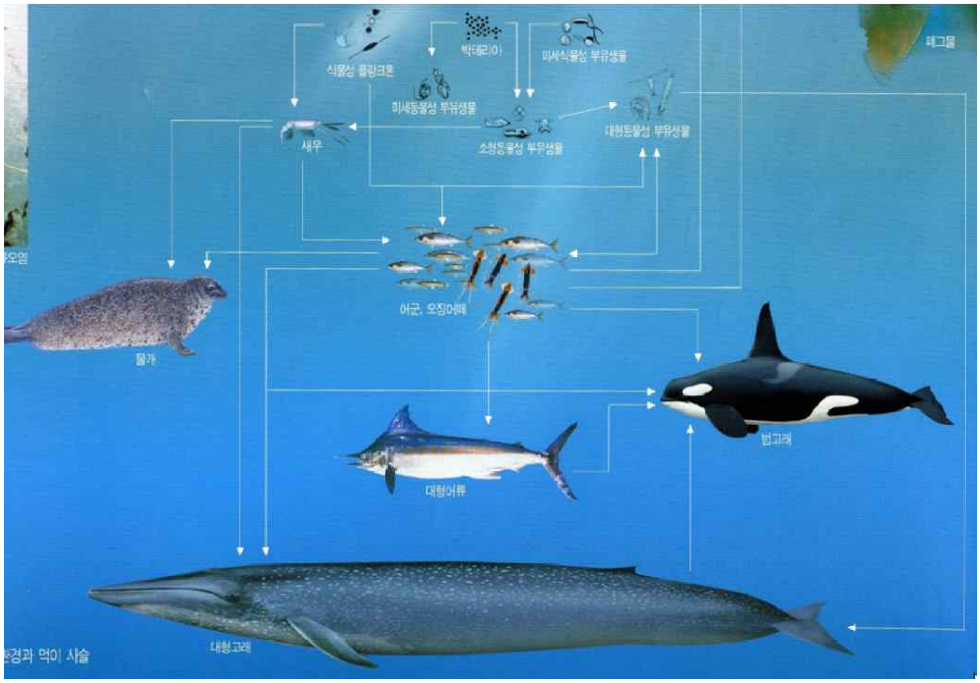

그림 2. 해양생태계 먹이망.

○ 2005년 IWC 총회가 울산에서 개최되어 고래에 대한 국민적 관심이 높아진 가운데, 고래 특구로 지정된 울산 남구 장생포 지역의 고래 관련 산업 및 고래 테마 관광단지의 육성에 기여.

○ 독도 등 국민 관심 지역에 서식/출현하는 고유 해양포유류에 대한 활발한 연구와 성과 홍보를 통하여 국가 해양 영토 확립.

○ 연구결과의 국제 저명 학술지 투고 및 학회 발표를 통해 우리나라 근해의 해양포유류 중요성 및 생태계에서의 역할과 기능에 대한 국제적 관심 확대.

1.2. 목적

목적

해양생태계 먹이망에서 최상위 포식자인 해양포유류의 식성 생태를 파악하기 위한 새로운 생화학적 기법의 개발

□ 해양포유류 피하지방 내에서 일어나는 지방 대사 과정에 관한 이론 정립

□ 개발한 생화학적 기법을 통하여 한국 근해 서식/출현하는 해양포유류의 먹이 및 생태학적 위치 규명

2. 연구개발 동향□분석

2.1. 관련 연구/기술의 국내외 동향

국외 동향

해양포유류 먹이 습성 연구 방법의 변화
: 고전적인 방법(위 내용물 분석, 섭식 실험) → 생화학적(지방산 바이오마커, 동위원소) 및 통계학적(QFASA) 방법

◇ 해양포유류 피하지방의 지방산 분석과 고래수염으로 식생 연구

◇ 1980년대 후반부터 고래 자원의 보호/관리를 목적으로 과학적 포경 (표 1)
- 일본 : '06년-1320마리, '08 ~ '09년 - 1330마리

○ 해양포유류의 먹이 생태를 파악하기 위하여 과거에는 먹이 섭취를 직접 관찰하거나 위 내용물을 분석하였음. 이러한 연구는 제한적인 먹이 정보만을 제공하므로, 장기 섭식 생태를 비롯하여 다양한 정보를 제공하는 생화학적 접근 방법을 적용함(Tollit et al. 1997).

○ 해양생태계에서 포식자들의 먹이를 추정하기 위해 회색바다표범(Grey seal)과 하프물범(Harp seal)의 지방산을 이용하여 통계적 모델인 지방산 구성의 정량화 기법(QFASA)을 개발(Iverson et al. 2004).

○ 바다표범의 섭식 생태를 이해하기 위하여 지방산 구성(fatty acid signature)과 분류도(classification tree)를 접목하여 새로운 기법 개발(Smith et al. 1997).

○ 북태평양해양과학기구(North Pacific Marine Science Organization; PICES)는 북태평양의 아한대에서 바다새와 해양포유류의 먹이에 관한 연구(Hunt et al. 2000) 수행.

○ IWC에서는 SOWER(Southern Ocean Whale and Ecosystem Research)라는 연구의 주요 항목으로 남극에서 고래류의 생태학적 지위와 역할에 관하여 연구(Kato 1999) 수행.

표 1. 최근 세계 주요 국가에서 포획한 총 고래의 수.

Recent Total Whale Catches by Country

	Norway Commercial	Iceland Commercial & scientific	Japan Scientific	Russian Federation Subsistence	U.S. Subsistence	Denmark (Greenland) Subsistence
2001	552	—	598	113	75	158
2002	634	—	684	134	50	164
2003	647	37	704	131	41	209
2004	544	25	755	112	43	204
2005	639	39	1243	126	68	193
2006 *	546	37	1320	140	39	197
Total *	**3562**	**138**	**5304**	**756**	**316**	**1125**

* 2006 data incomplete.

해양포유류 피하지방을 이용한 식생 연구 결과

- 피하지방의 각 지방산 구성 성분 차이 : 각 층의 생리적 요구에 따른 지방산 성분 변형 (외층-체온 조절, 내층-부유, 에너지 저장) 또는 섭식 생태의 변화 (Best et al. 2003)
- 생활사 단계에 따른 피하지방의 지방산 구성 차이 : 식성 지역 및 서식지의 변동 (Ruiz-Cooley et al. 2004)
- 동시에 두 가지 이상의 생화학적 추적자를 활용한 고래 생태 연구 : 지방산, 동위원소와 PCBs (Herman et al. 2005)

○ 그린랜드와 노르웨이의 포경 조업지에서 포획한 범고래의 수염(baleen)을 이용하여 수염 내 존재하는 화학적 기록을 평가하고, 이를 통해 범고래의 먹이 섭취와 수은 노출의 생물학적 지표(bioindicator)로써 고래수염의 활용성 발견.

○ 2005년, 고래 기름에서 MeO-PBDE라는 유해 화학물질이 발견되었으며, 이는 독성 살충제인 DDT를 포함한 할로겐화 유기 화합물로, 이 화합물의 기원을 밝히기 위해 MeO-PBDE의 안정 동위원소비를 측정하여 고래 인체내 MeO-PBDE의 기원을 추적함.

○ 일본의 연구진은 남극 일부 고래의 피하지방이 과거에 비해 점차 얇아지고 있다고 보고함. 이의 정확한 원인은 밝혀지지 않았지만, 포경이 금지된 이후 고래 개체수 증가와 기후변화로 인한 남극의 환경변화가 고래의 주먹이원인 크릴새우의 감소와 관련 있을 것으로 추정함 (Kenji et al. 2008).

일본에서는 밍크고래에 관한 풍도와 분포(Wada 1989), 계군 분석(Goto and Pastene 1997), 먹이 습성(Tamura and Fufise 2002), 혼획 특성 등의 많은 연구를 수행함.

- 북서태평양의 밍크고래는 멸치(*Engraulis japonica*), 꽁치(*Cololabis saira*), 명태(*Theragra chalcogramma*), 고등어(*Scomber japonica*), 살오징어(*Todarodes pacificus*)와 같은 주요 수산생물을 먹이원으로 이용함 (Tamura and Fujise 2002).

국내 동향

◇ 우리나라 근해에는 8과 35종의 고래(수염고래 3과 8종, 이빨고래 5과 27종)가 서식 또는 출현

◇ 국립수산과학원 산하 기관인 고래 연구소에서 고래류에 대한 연구가 수행되고 있으며, 주로 목시조사를 통한 고래의 풍도, 분포, 분류, 개체수 추정 등의 연구만 수행될 뿐, 계군분석이나 영양단계, 식성생태 등의 연구는 전무

○ 우리나라 주변해에는 8과 35종의 고래가 서식 및 출현하고 있음에도 불구하고(그림 3), 밍크고래를 포함한 고래류의 연구가 매우 부족한 실정임. 1980년대 상업포경 금지를 전후하여 목시조사를 통한 고래의 풍도, 분포, 개체수 추정 등에 관한 연구(Gong, 1981, 1982, 1987, 1988; Gong and Hwang, 1983, Park et al. 2009)와 혼획 또는 좌초된 고래의 유전자 분석(Park et al. 2010), 유기오염물질의 축적(Moon et al. 2010, Park et al. 2010) 등을 수행하였을 뿐, 계군분석이나 영양단계, 식성생태 등에 대한 연구는 전무함.

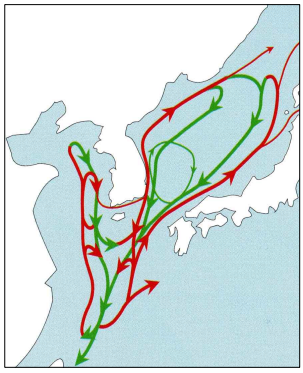

그림 3. 우리나라 근해의 밍크고래 이동 경로.

○ 국립수산과학원 산하 고래연구소에서 수행된 고래 관련 연구

- 1982년 동해 남부에서 포획된 밍크고래 28개체의 DNA 시료를 IWC 과학위원회에 제출하였으며, 이는 북서태평양 밍크고래 자원 계통군 정의를 위한 연구에 사용됨.
- 1998년부터 혼획 또는 좌초한 밍크고래에서 DNA 시료를 수집 및 분석하여 개정관리방식(RMP; Revised management procedure) 적용을 위한 기초자료로 축적하고 있음.
- 2000년부터 우리나라 연안에서 혼획, 좌초한 밍크고래의 mtDNA 조절 영역

의 염기서열을 비교 분석(박 등, 2004).

- 우리나라 연안의 고래류 보존과 관리 및 효율적 활용을 위한 다양하고 체계적인 과학적 연구 수행을 위해 2004년에 고래연구센터를 신설하고 2006년에는 이를 연구소로 승격하였으나, 아직 전문 연구 인력과 예산 부족으로 연구 성과나 규모가 매우 제한적임.

2.2. 관련기술의 시장규모 및 적용가능 분야

. 관련기술의 시장규모

본 연구는 제품 생산과 직접적인 관련이 없기 때문에 관련기술 시장규모를 파악하기는 어려우나, 연구 결과가 해양 정책 수립과 해양환경 및 생태계 등에 영향을 미쳐 이에 따른 효과가 클 것으로 예상됨.

◇ 울산 장생포 고래 특구 지정과 더불어, 본 연구를 통한 고래 연구의 활성화는 고래에 대한 국민의 관심 증대와 연구 분야의 다양성에 기여하기 때문에 시장에서 고래에 대한 입지가 확대될 것으로 예측됨.

◇ 우리나라 근해에 서식 또는 출현하는 고래의 개체수 증가와 먹이 생물의 개체수 변동 사이의 상관성을 통해 미래의 수산자원량을 예측할 수 있어 잠재적 시장규모는 매우 클 것으로 기대됨.

나. 관련기술의 적용가능 분야

	적용 가능 분야
	◦ 해양포유류 생화학적 먹이 추적자 기술 ◦ 해양포유류와 수산자원의 이용 및 보호/관리 방안 기술

2.3. 국내 연구개발 현황 및 능력분석

국립수산과학원 산하 고래 연구소에 의해 개체군 풍도 및 분포 파악을 위한 목시 조사 등 매우 제한적이고 기초적인 연구만이 수행 중임.

◇ 우리나라 근해에는 8과 35종의 고래(수염고래 3과 8종, 이빨고래 5과 27종)가 서식 또는 출현함에도 불구하고 이들의 계군분석이나 생리/생태와 해양생태계에서의 역할 (영양단계, 식성생태) 등에 대한 연구는 전무함.

◇ 고래 연구소에 보관되어 있는 고래 시료의 적극적인 이용과 생시료 획득을 위하여 화살 모양의 생시료 채집 도구 활용을 통한 연구 진행이 가능.

2.4. 선진국 수준과의 비교

◇ 다양한 기법을 활용하여 해양포유류의 개체군, 풍도, 분포 생리/생태 등에 대한 연구가 수행되었지만, 최근 IWC의 해양포유류 보호정책에 따라 일본을 제외한 국가에서는 매우 제한적인 연구만이 수행되고 있음.

◇ 보호정책에도 불구하고 지속적으로 해양포유류를 연구하기 위해 최근에는 새로운 연구기법(귀지층 두께, 피부껍질의 유전자, 음파)이 개발되고 있음.

◇ 생화학적 기법 중 각 지방산 안정 동위원소비(fatty acid-compound specific isotope) 기법은 해양포유류의 섭식 생태 연구에 적용된 적이 없음.

3. 목표

◇ 해양포유류의 섭식 생태 규명을 위한 생화학적 먹이 추적자 개발 및 표준화

◇ 고래 피하지방의 지방 성분 분해 및 합성과 축적 과정 규명

◇ 과거 한국 근해 고래류의 생리/생태 파악을 통한 미래 해양 생태계 구조 변화 예측과 기후변화와의 상관성 파악

3.1. 최종목표

생화학적 기법 개발을 통해 해양포유류 생리/생태를 추적하여 해양 생태계 구조 변화 예측 및 기후변화와의 상관성 파악

3.2. 연구 목표

제1단계 : 해양포유류의 섭식 생태 규명을 위한 생화학적 기법 개발 및 표준화

○ 피하지방에서 추출된 지방의 class(인지질, 트리아실글리세롤, 왁스에스테르, 스테롤) 분리 및 구성과 안정 동위원소 분석 방법 정립

○ 해양포유류 피하지방에서 추출된 지방 및 지방산의 정성, 정량 분석 방법 정립

○ GC-IRMS를 활용한 각 지방산 성분의 안정 동위원소비 분석/측정 기법 확립

□ **제2단계** : 고래 피하지방에서의 지방 성분 분해 및 합성과 축적 과정 규명

○ 피하지방의 층별 지방 class 분리/분석 및 지방산 구성 성분 분석

○ 층별 각 지방산 성분의 탄소 안정 동위원소비 비교를 통하여 층별 지방 분해 및 합성과 축적 과정 차이 규명

○ 먹이 시료의 지방과 지방산 정성, 정량 분석 및 각 지방산 탄소 안정 동위원소비 분석을 통한 먹이추적자 지방산 마커 파악

□ **제3단계** : 과거 한국 근해의 고래 식성 생태 추적을 통한 해양 생태계 구조 변화 예측과 기후변화와의 상관성 파악

○ 과거 한국 근해의 고래 시료와 타 자료(위 내용물 DNA, 풍도, 계군 분포 등) 확보

○ 정립된 생화학적 기법(지방 구성 및 각 지방산 탄소 안정 동위원소비)과 통계학적 방법인 QFASA를 적용하여 과거 고래 시료의 섭식 생태 파악

○ 해역별 서식 고래의 생화학□통계학적 분석과 타 자료와의 비교를 통해 한국 근해 해양 생태계 구조 변화를 예측하고 과거 고래 식성 변화와 기후변화와의 상관성 파악

4. 연구내용 및 범위

4.1. 단계별 수행 연구 개발 과제

단 계	연구 개발 과제
1단계 (완료)	▶ 피하지방에서 추출된 지방의 class(인지질, 트리아실글리세롤, 왁스에스테르, 스테롤) 분리 및 구성과 안정 동위원소 분석 방법의 정립/표준화 ▶ 생화학적 분석 기법을 적용하여 해양포유류의 피하지방에서 추출된 지방 및 지방산의 정성/정량화 방법 정립 ▶ GC-IRMS를 활용한 피하지방의 각 지방산의 탄소 안정 동위원소비 분석 및 측정 기법 확립
2단계 (완료)	▶ 생화학적 기법을 통한 고래 피하지방의 층별 지방 class 분리/분석 및 지방산 구성 분석 ▶ 각 지방산 탄소 안정 동위원소비 비교를 통하여 층별 지방 분해 및 합성과 축적 과정 규명 ▶ 추정 먹이원의 지방과 지방산 정성, 정량 분석 및 탄소, 질소 안정 동위원소비를 통한 고래와 먹이원의 생태학적 위치 파악
3단계 (계획)	▶ 과거 한국 근해의 고래 시료와 타 자료(위 내용물 DNA, 풍도, 계군 분포 등) 확보 ▶ 정립된 생화학적 기법(지방 구성 및 각 지방산 탄소 안정 동위원소비)과 통계학적 방법인 QFASA를 적용하여 과거 고래 시료의 섭식 생태 파악 ▶ 해역별 서식 고래의 생화학□통계학적 분석과 타 자료와의 비교를 통해 한국 근해 해양생태계 구조 변화를 예측하고 과거 고래 식성 변화와 기후 변화와의 상관성 파악

□ 1단계 연구 결과

연구 목표 : 해양포유류의 섭식 생태 규명을 위한 생화학적 기법 개발 및 표준화

○ 피하지방에서 추출된 지방의 class(인지질, 트리아실글리세롤, 왁스에스테르, 스테롤) 분리 및 구성과 안정 동위원소 분석 방법의 정립

– 고래의 피하지방에서 추출된 지방 class를 인지질, 왁스에스테르, 트리아실글리세롤, 콜레스테롤의 순서로 NH2 Solid Phase Extraction (SPE) cartridge를 사용하여 분리한 후, 각 지방 class의 지방산과 안정 동위원소 구성을 GC-FID와 GC-IRMS로 분리/분석함 (그림 4).

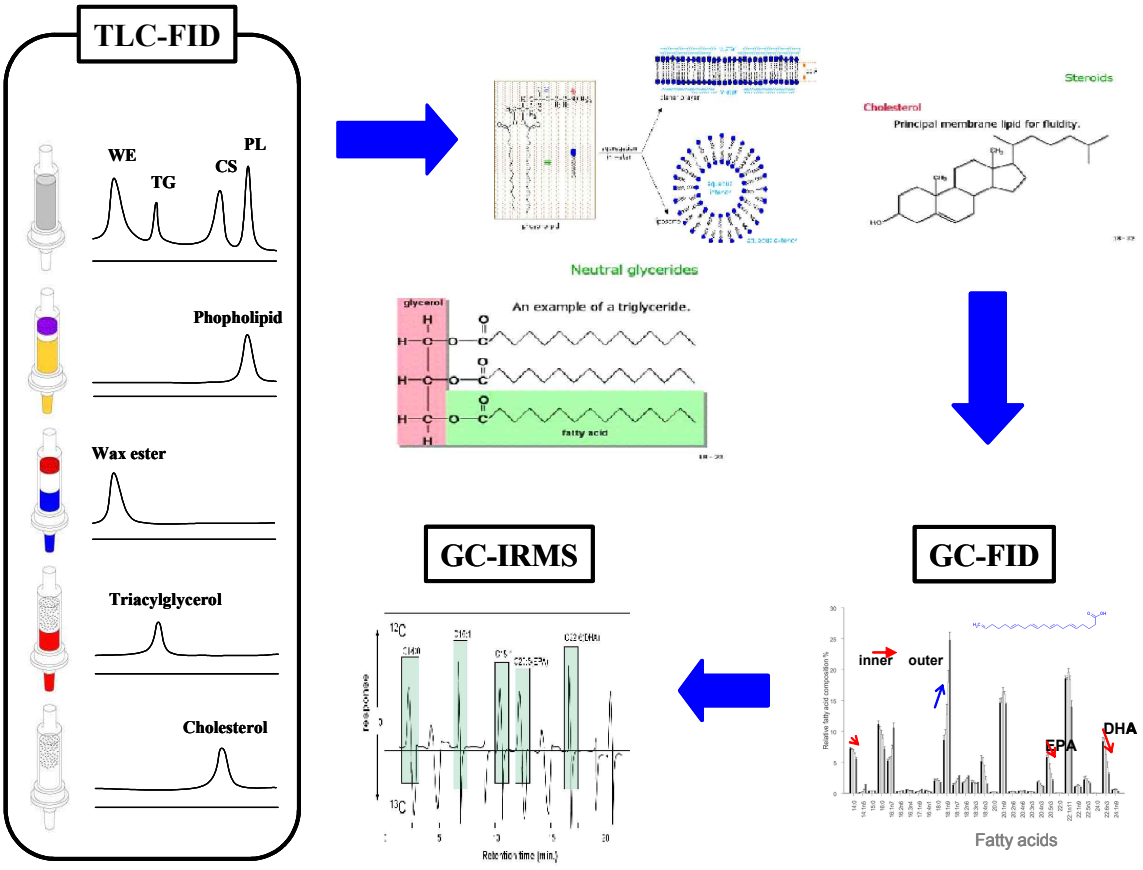

그림 4. 1단계 연구개발 내용 중 생화학적 기법 과정 모식도.

○ 생화학적 분석 기법을 적용하여 분석한 밍크고래 피하지방의 지방 구성

– 부산과 구룡포 지역에서 2009년 1월에 혼획된 밍크고래의 피하지방을 바깥쪽(피부와 가까운 부분)과 안쪽(근육과 가까운 부분)으로 분리하여 각 층의 지방 구성을 분석한 결과, 바깥쪽과 안쪽 사이에 지방 함량의 차이가 나타나지

않음. 그러나 각 지방 class 구성은 안쪽이 바깥쪽에 비해 인지질의 함량이 높았으며, 총 지방 중 저장지방인 트리아실글리세롤이 약 96~98%로 나타남 (표 2).

표 2. 부산과 구룡포에서 2009년 1월에 혼획된 밍크고래의 지방 class 함량.

Lipid class	부산		구룡포	
	바깥쪽	안쪽	바깥쪽	안쪽
Phospholipid	1.94	3.87	1.07	1.73
Cholesterol	1.46	ND	0.44	1.15
Free fatty acid	ND	ND	ND	ND
Triacylglycerol	96.60	96.13	98.49	97.11
Wax ester	ND	ND	ND	ND
Total (㎍/㎎ wet-weight.)	631.25	738.10	843.80	787.62

ND: not detected

- 밍크고래 피하지방의 층별(바깥쪽과 안쪽) 지방산 분석 결과, 안쪽과 바깥쪽 모두 단일 불포화지방산(MUFA; monounsaturated fatty acid)이 총 지방산의 약 53-56%로 가장 높았으며, 긴사슬 불포화지방산(PUFA; polyunsaturated fatty acid)과 포화지방산(SAFA; saturated fatty acid)은 약 18-25%를 차지함. 피하지방의 바깥쪽과 안쪽을 비교해보면, 바깥쪽에서 안쪽으로 갈수록 16:1(n-7), 18:1(n-9), 20:5(n-3), 20:1(n-11), 22:6(n-3)이 뚜렷하게 감소하는 것을 볼 수 있음. 특히 규조류 기원인 20:5(n-3)(EPA; eicosapentaenoic acid)(Nichols *et al.* 1993)와 와편모조류 기원인 22:6(n-3)(DHA; docosahexaenoid acid)(Graeve *et al.* 1994, Falk-Petersen *et al.* 2000)은 피하지방의 안쪽보다 바깥쪽에서 더 높은 구성비를 보였음 (그림 5, 6, 7).

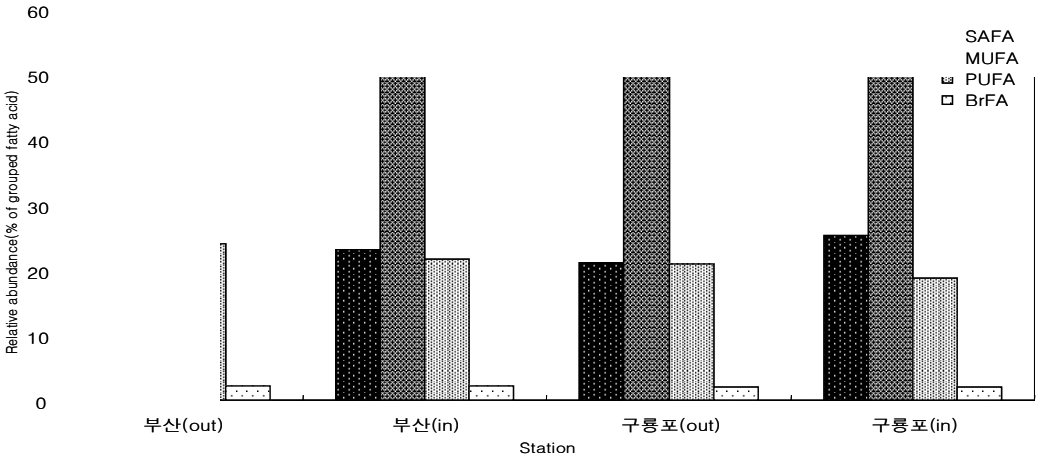

그림 5. 부산과 구룡포에서 혼획된 밍크고래 피하지방의 그룹화된 지방산 구성 및 함량.

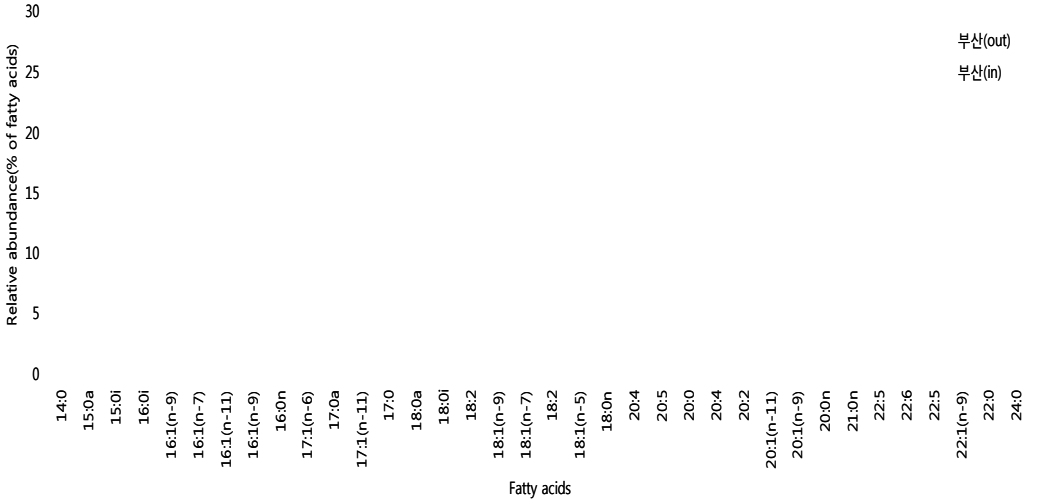

그림 6. 부산에서 혼획된 밍크고래 피하지방의 지방산 구성 및 함량.

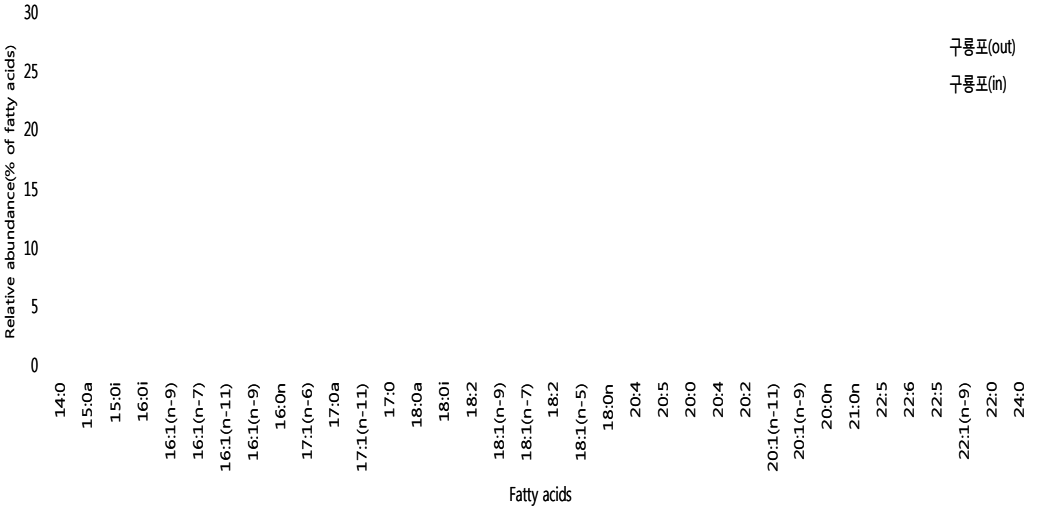

그림 7. 구룡포에서 혼획된 밍크고래 피하지방의 지방산 구성 및 함량.

○ GC-IRMS를 활용한 피하지방의 각 지방산 탄소 안정 동위원소비 분석 및 측정 기법 확립

- 해양생태계 먹이망에서 질소 안정 동위원소비는 영양단계가 높아질수록 증가함(DeNiro and Epstein. 1978, 1981, Hobson and Welch. 1992). 이러한 안정 동위원소비의 차이를 통해 생태학적 위치를 파악할 뿐만 아니라, 주 먹이원에 대한 정보도 획득할 수 있기 때문에 섭식 생태 연구에 유용하게 적용될 수 있음. 특히 고래 피하지방에서 각 지방산 탄소 안정 동위원소비를 분석하여 주요 먹이원과 각 지방산 성분의 분해 및 합성 과정 – 먹이로부터 흡수된 지방산의 탄소 안정 동위원소비가 체내에서 변형 또는 합성된 지방산보다 탄소 안정 동위원소비가 낮음 – 도 확인할 수 있어 해양생태계 구조 변화(먹이생물 변화)에 따른 장기 섭식 생태 변동 추이를 이해하는데에도 활용될 수 있음 (그림 8).

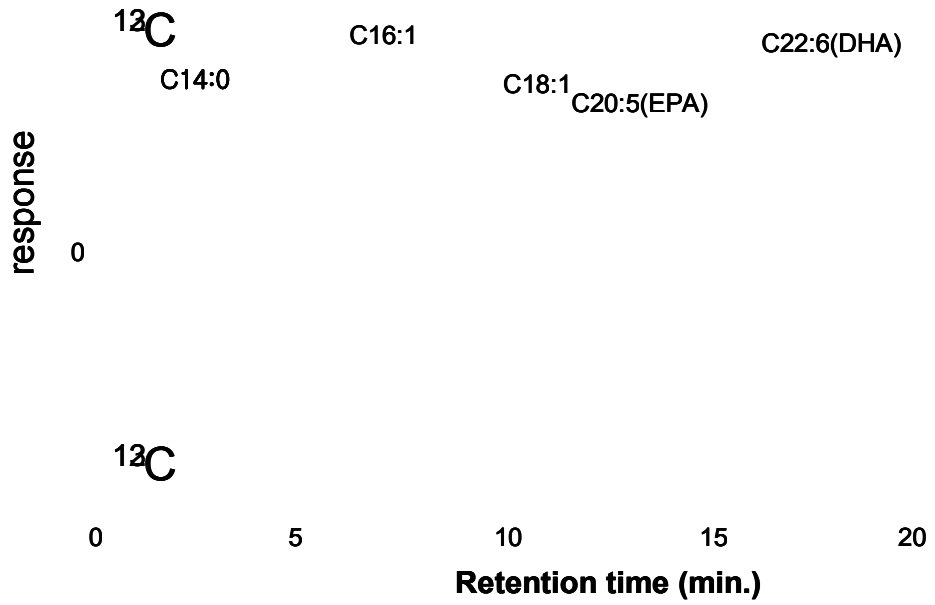

그림 8. GC-IRMS로 분리/분석된 각 지방산 탄소 안정 동위원소비(예제).

□ 2단계 연구 결과

연구 목표 : 고래 피하지방에서 추출된 지방 성분의 분해 및 합성과 축적 과정 규명

○ 생화학적 기법을 통한 고래 피하지방의 층별 지방 class 분리/분석 및 지방산

구성

– 한국 근해 서식하는 밍크고래, 참돌고래, 낫돌고래 피하지방에서 추출된 지방의 함량 및 class 구성을 살펴본 결과, 지방 함량은 습중량의 54.8~95.8%로 나타났으며, 다른 연구 결과와 유사하게 밍크고래와 참돌고래 피하지방에서는 내층에서 외층으로 갈수록 그 함량이 점차 증가하였음. 이와 달리 낫돌고래 피하지방은 내층에서 외층으로 갈수록 감소하는 반대 경향을 보임. 이러한 차이는 낫돌고래 피하지방의 특징이거나, 시료 처리 과정 중 근육과 가까운 내층을 분리할 때 근육의 일부가 내층에 포함되었을 가능성이 있기 때문인 것으로 추측됨. 지방 class 중 트리아실글리세롤(TG; triacylglycerol)이 가장 우점하였으며, 밍크고래의 피하지방에서는 미량의 인지질(PL; phospholipid)과 콜레스테롤(CS; cholesterol)이 나타남 (그림 9).

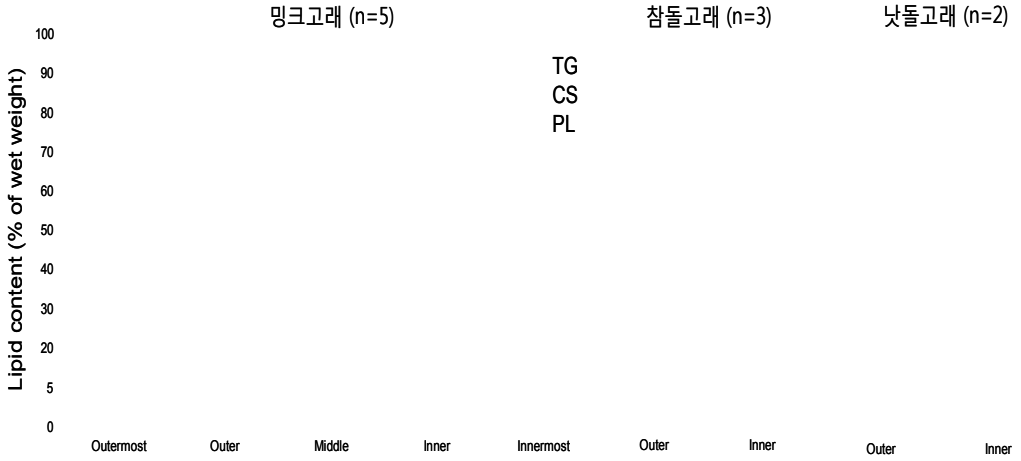

그림 9. 밍크고래, 참돌고래, 낫돌고래 피하지방에서 추출된 지방 함량 및 class 구성.

– 밍크고래, 참돌고래, 낫돌고래 피하지방의 층별 지방산은 그림 10과 같이 피하지방 내층과 외층이 차이를 보임. 세 종 모두 지방산 중 18:1(n-9)와 16:1(n-7)를 포함한 단일 불포화지방산(MUFA; Monounsaturated fatty acid)의 상대적 구성비가 가장 높았으며, 피하지방 내층에서 외층으로 갈수록 점차 증가함. 반면에 참돌고래를 제외한 밍크고래와 낫돌고래 피하지방에서는 단일 불포화지방산과 달리 포화지방산(SAFA; Saturated fatty acid)과 긴 사슬 불포화지방산(PUFA; Polyunsaturated fatty acid)의 상대적 구성비가 피하지방 내층에서 외층으로 갈수록 점차 감소함. 이는 단일 불포화지방산이 포화지방산과 긴 사슬 불포화지방산에 비하여 열 손실을 줄이는데 효율적이기 때문인 것으로 판단됨. 피하지방의 층별 차이는 두 층으로 나눈 참돌고래와 낫돌고래 피하지방보다 더 세분화하여 분석한 밍크고래(다섯 층) 피하지방에서 더 뚜렷하게 확인되었음(그림 10, 11).

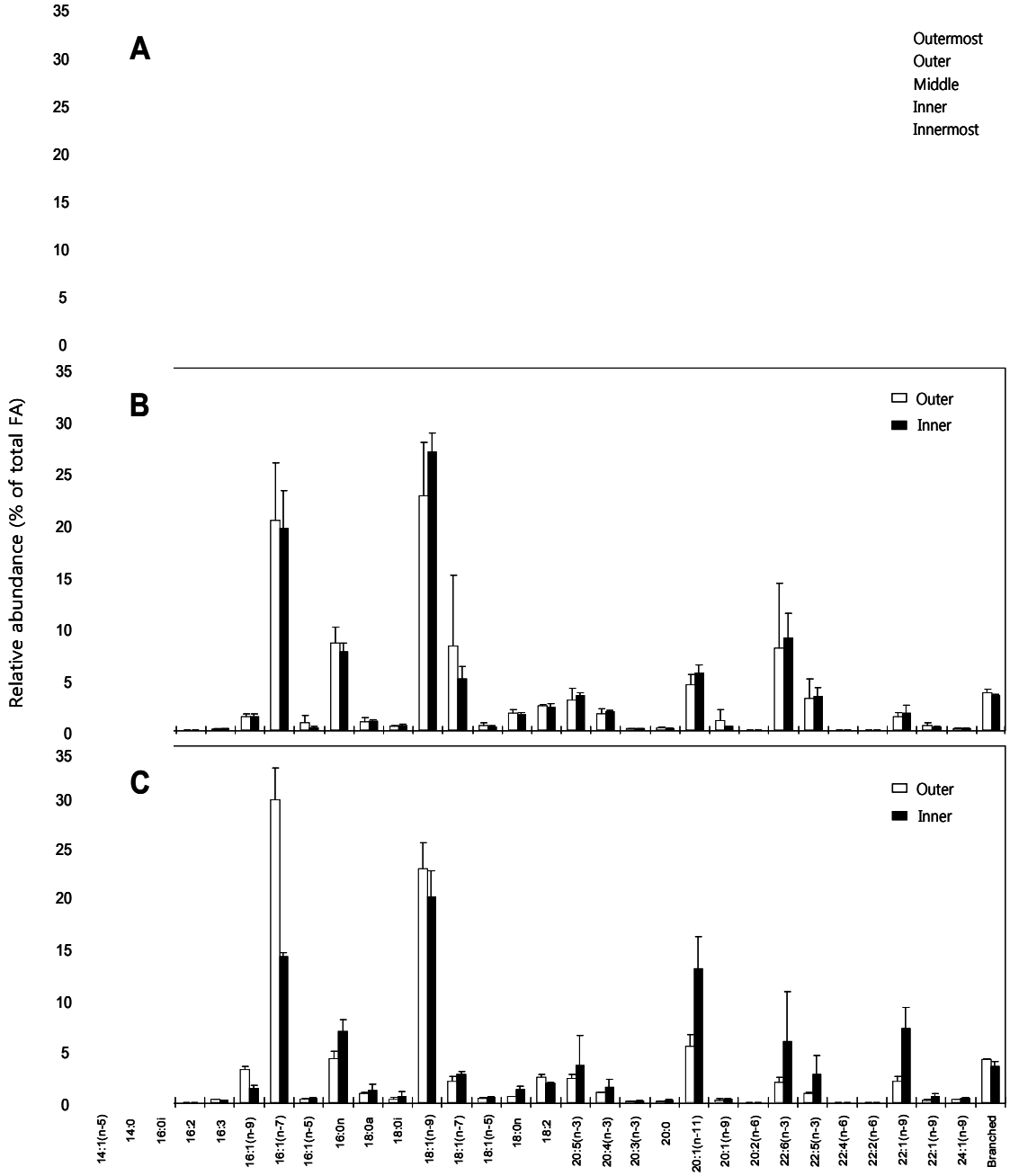

그림 10. 한국 근해에서 혼획된 밍크고래(A), 참돌고래(B), 낫돌고래(C) 피하지방의 층별 지방산 구성 및 함량.

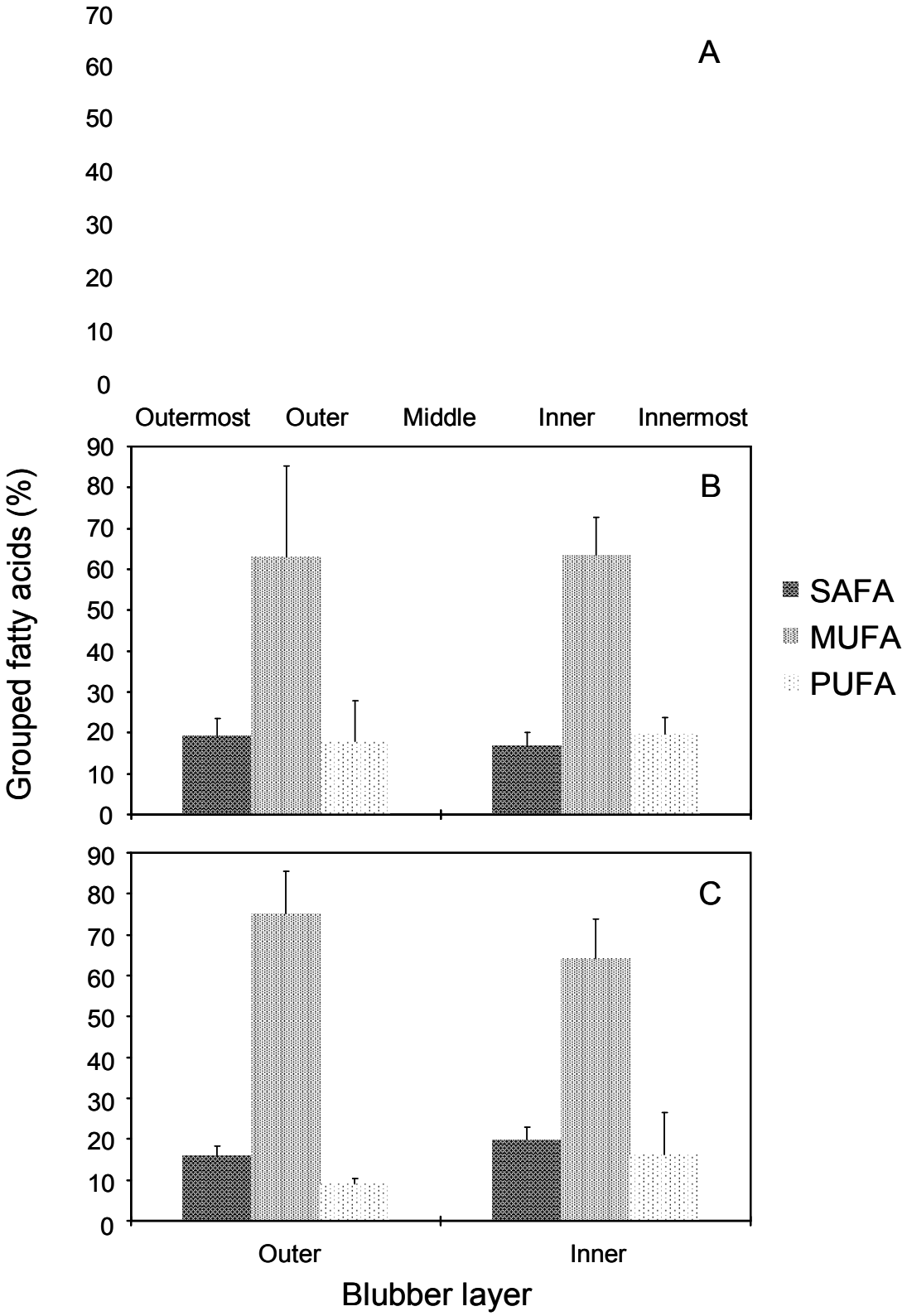

그림 11. 밍크고래(A), 참돌고래(B), 낫돌고래(C) 피하지방의 그룹화된 지방산 구성 및 함량.

○ 피하지방에서 추출된 각 지방산 성분의 탄소 안정 동위원소비 비교를 통하여 층별 지방 분해/합성과 축적 과정 규명

- 2002년에 혼획된 밍크고래 피하지방에서 추출된 지방산 시료를 이용하여, 피하지방 층별 각 지방산 탄소 안정 동위원소비를 분석한 결과, 각 지방산에 따라 탄소 사슬의 연장(elongation)과 탈포화(desaturation) 과정이 다르게 진행되는 것으로 나타남. 18:1(n-7)과 18:1(n-9) 지방산을 비교하였을 때, 18:1(n-7)은 내층에서 외층으로 갈수록 $\delta^{13}C$가 감소하였으며 이는 탄소 18개 이하의 지방산에서 탄소를 연장하여 생성된 것으로 추측됨. 반면 내층에서 외층으로 갈수록 $\delta^{13}C$가 증가하는 18:1(n-9)는 긴 사슬에서 짧은 사슬로 탈포화 과정이 진행되는 것으로 사료됨 (그림 12).

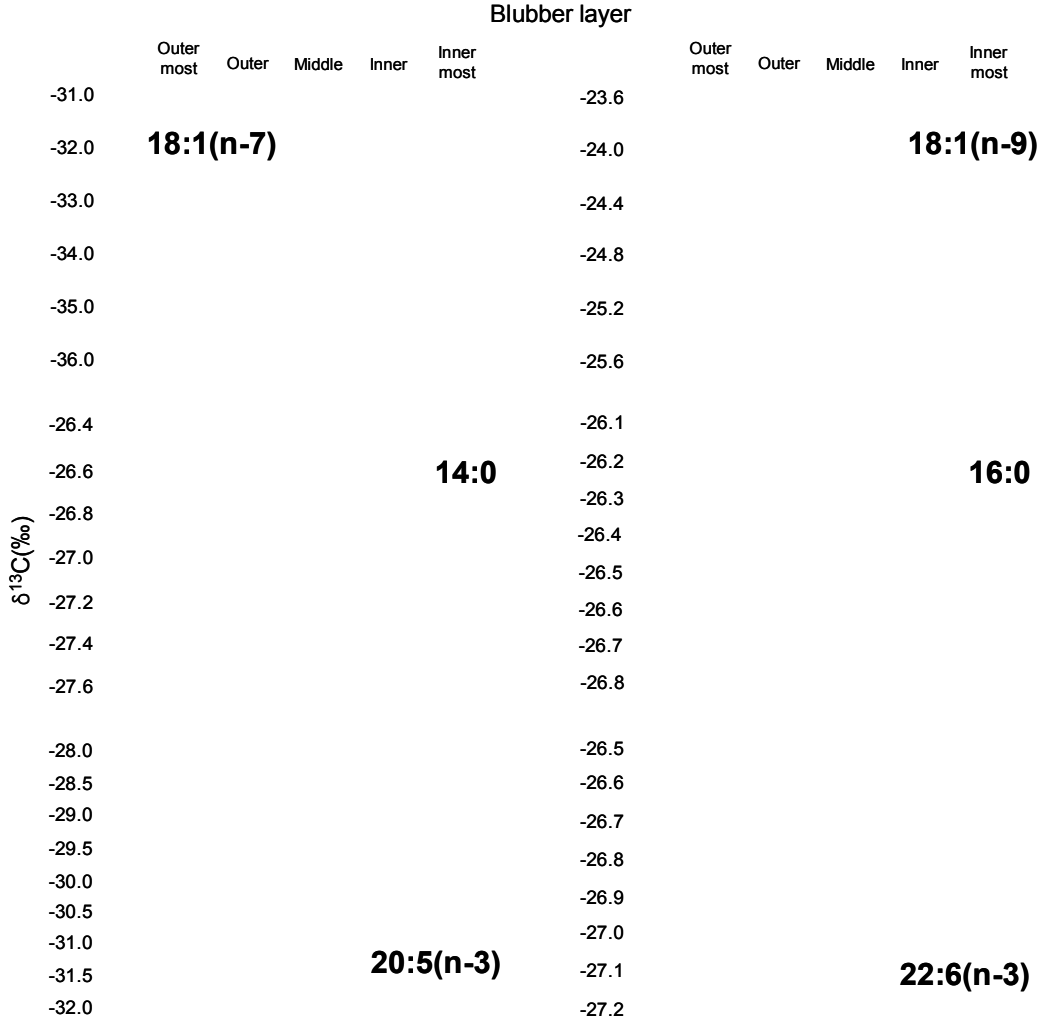

그림 12. 밍크고래 피하지방에서 추출된 주요 지방산 탄소 안정 동위원소비의 피하지방 층별 변화.

○ 추정 먹이원의 지방과 지방산 정성, 정량 분석 및 탄소, 질소 안정 동위원소비를 통한 고래와 먹이 생물의 생태학적 위치 파악

- Tamura and Fujise (2002)에 의하면 북서태평양의 밍크고래가 멸치(*Engraulis japonica*), 꽁치(*Cololabis saira*), 명태(*Theragra chalcogramma*), 고등어(*Scomber japonica*), 살오징어(*Todarodes pacificus*)와 같은 주요 수산생물을 먹이로 이용하는 것으로 보고됨 (그림 13). 따라서 본 연구에서는 한국 근해에 서식하는 밍크고래의 피하지방 분석과 동시에 먹이원으로 고려되는 생물시료를 확보하여 안정 동위원소와 지방산 분석함.

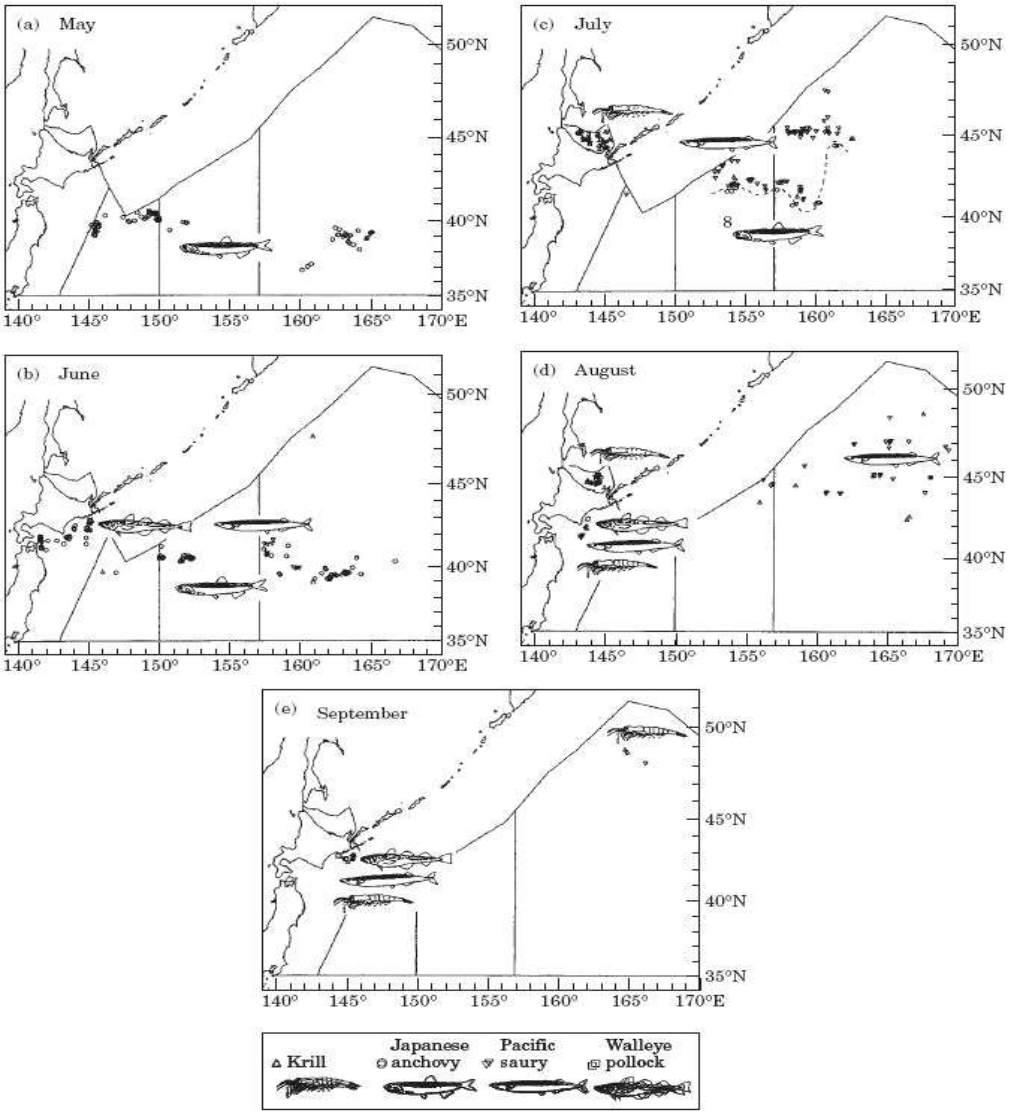

그림 13. 북서태평양에서의 밍크고래 분포와 주요 먹이원(Tamura and Fujise 2002).

- 밍크고래의 주요 먹이원으로 추정되는 크릴과 멸치의 지방 함량은 각각 습중량의 38.9%와 10.8%로 나타났으며, 지방의 대부분은 인지질(크릴)과 트리아실글리세롤(멸치)로 구성되어 있음 (그림 14).

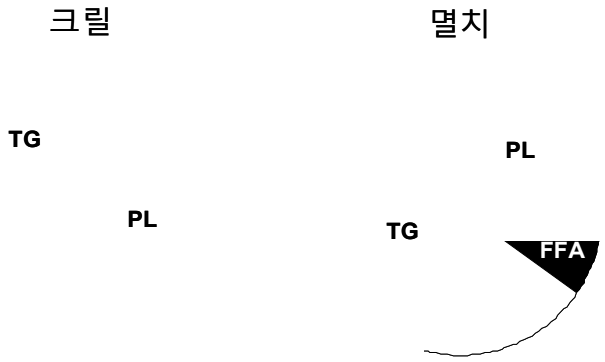

그림 14. 동해에서 밍크고래 주요 먹이원으로 추정되는 크릴과 멸치의 지방 함량 및 class 구성 (PL; Phospholipid, CS; Cholesterol, FFA; Free fatty acid, TG; Triacylglycerol).

- 크릴과 멸치에서 추출된 지방산 중 16:0(총 지방산의 17.8~18.2%)를 비롯하여 규조류 기원인 20:5(n-3)(총 지방산의 20~22%, EPA)와 와편모조류 기원인 22:6(n-3)(총 지방산의 17~19%, DHA)이 가장 우점하여 나타났음 (그림 15). 이러한 결과를 밍크고래 피하지방의 지방산 구성(그림 10, A 참조)과 비교하면, 지방산 구성은 유사하나 각 지방산 성분의 상대적 구성비에서는 차이가 있음을 확인할 수 있음.

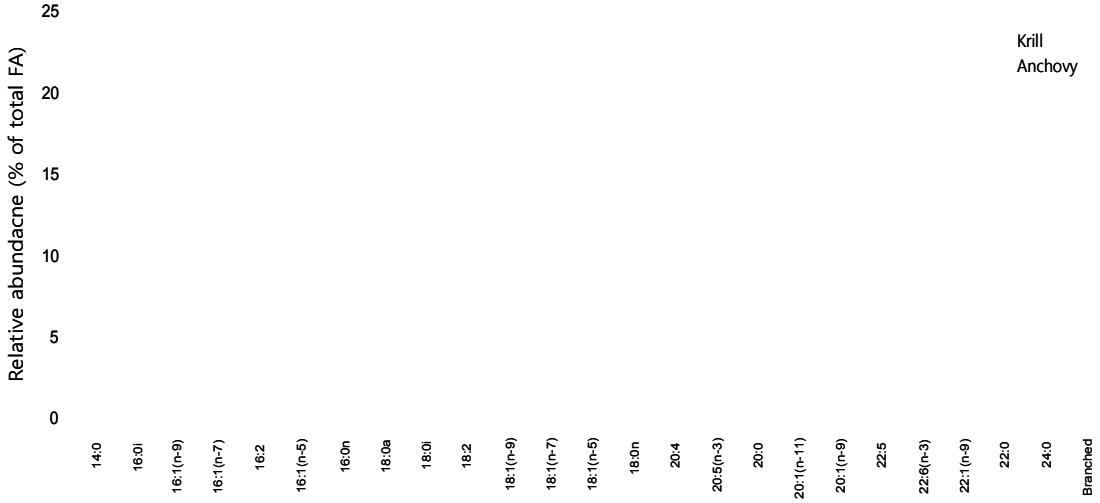

그림 15. 동해에서 밍크고래의 주 먹이원으로 추정되는 크릴과 멸치의 지방산 함량 및 구성.

- 밍크고래, 참돌고래, 낫돌고래와 먹이생물(청어, 오징어, 멸치, 크릴)의 탄소, 질소 안정 동위원소비 분석 결과, $\delta^{13}C$와 $\delta^{15}N$를 고려하였을 때, 크릴이 밍크고래의 주 먹이원으로 추정됨. 참돌고래와 낫돌고래의 $\delta^{15}N$ 값은 같았지만, 밍크고래와는 차이를 보임. 그러나 3종 모두 유사한 영양학적 위치에 있는 것으로 판단됨 (그림 16). 이러한 결과를 토대로 밍크고래의 주 먹이원의 추정은 가능하나, 참돌고래와 낫돌고래의 정확한 먹이원을 파악하기 위해서는 다양한 먹이생물의 안정 동위원소 분석이 추가적으로 필요함.

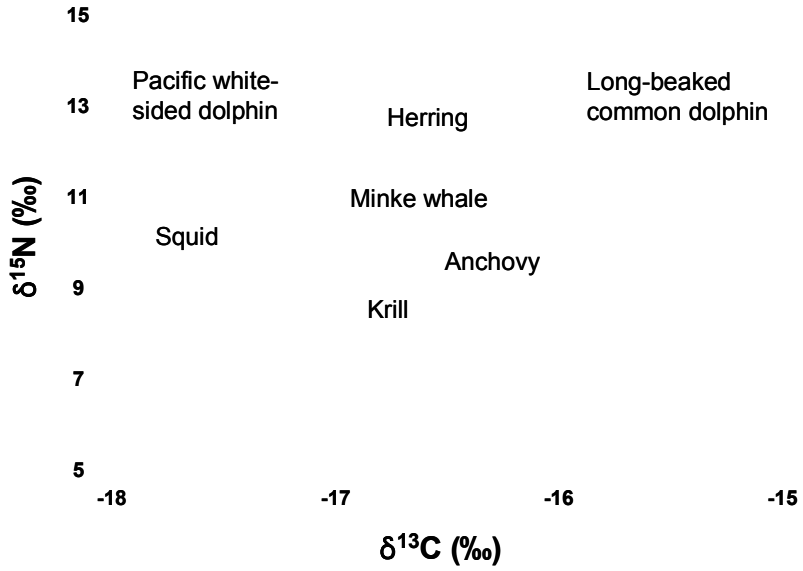

그림 16. 밍크고래, 참돌고래, 낫돌고래와 먹이생물의 탄소, 질소 안정 동위원소비.

□ 3단계 연구 계획

연구 목표 : 과거 한국 근해의 고래 식성 생태 추적을 통한 해양 생태계 구조 변화 예측과 기후 변화와의 상관성 파악

○ 과거 한국 근해의 고래 시료와 타 자료(위 내용물 DNA, 풍도, 계군 분포 등) 확보

- 국립수산과학원 산하 기관인 고래연구소에는 과거 수년간 혼획 또는 좌초된 고래류의 시료가 보관되어 있으며, 목시조사와 해부를 통한 연구 자료를 보유하고 있음. 따라서 고래연구소로부터 고래 피하지방(그림 17)과 위 내용물 DNA, 풍도, 계군 분포 등의 자료를 확보.

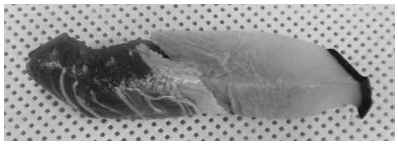

그림 17. 밍크고래 (*Balaenoptera acutorostrata*)의 피하지방 사진.

○ 정립된 생화학적 기법(지방 구성 및 각 지방산 탄소 안정 동위원소비)과 통계학적 방법인 QFASA를 적용하여 과거 고래의 섭식 생태 파악

- 고래연구소로부터 확보된 과거 수년간의 고래 피하지방을 생화학적 기법으로 지방 구성 및 각 지방산 탄소 안정 동위원소비를 분석하고 다른 연구를 통해 개발된 기법(QFASA)을 적용하여 분석.
- Iverson et al. 2004에 의해 개발된 QFASA(Quantitative Fatty Acid Signature Anaysis)는 포식자의 먹이원을 파악하는 기존 방법(위 내용물, 섭식 실험 등)의 한계점을 극복하기 위하여 포식자와 먹이생물의 지방산 분석을 통계적으로 응용하는 방법임. 포식자와 다양한 생물들의 지방산을 분석한 후, 총 지방산에서 각 지방산의 비를 단계별로 방정식(통계적 모델)에 대입하면 포식자와 먹이생물 간의 상관성 확인 가능함(그림 18).

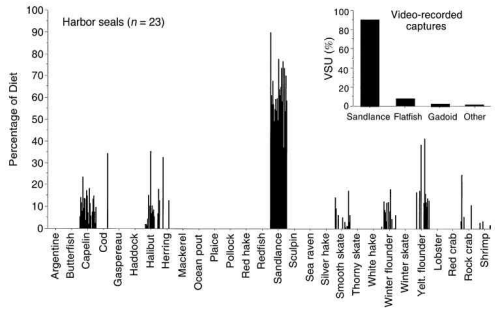

그림 18. QFASA 기법을 적용하여 harbor seals의 먹이원 추정(예제).

○ 해역별 서식 고래의 생화학□통계학적 분석과 타 자료와의 비교를 통해 한국 근해 해양생태계 구조 변화를 예측하고 과거 고래 식성 변화와 기후변화와의 상관성 파악

- 고래 피하지방의 지방 구성과 각 지방산 탄소 안정 동위원소비를 분석하고, QFASA를 본 연구에 적용. 고래연구소로부터 받은 위 내용물 DNA, 풍도, 계군 등의 자료와 생화학□통계학적 분석 결과를 비교하여 한국 근해 해양생태계의 구조 변화(주요어장 및 고래의 주먹이원의 변화; 그림 19)를 예측하고, 기후변화와 과거 고래 식성 변화와의 상관성 파악.

그림 19. 과거 30년간 동해 어종의 변화.

4.2. 연구대상기술의 개발 가능성

본원에서 보유하고 있는 분석 기기의 활용과 고래 시료의 각 지방산 성분 탄소 안정 동위원소 분석을 위한 산학연의 협력이 활발하게 이루어진다면 본 연구 목표 달성에 매우 효과적임.

◇ 고래연구소로부터 고래 피하지방 시료와 고래 위 내용물 DNA 분석 결과를 포함한 타 자료를 제공받고, 본 연구와 관련된 연구 및 자문 인력과 국가 관련 기관의 연구 네트워크가 이루어진다면, 충분히 개발 가능.

4.3. 및 시장점유 가능성

– 본 연구에서 개발한 기술은 상용화를 위한 기술개발이 아님

5. 연구개발 추진전략 및 체계

5.1. 기본방안

고래 시료 확보 및 분석 기기 활용을 위한 산학연의 연구 협력 추진 ◇ 고래 피하지방과 고래 먹이 시료에서 지방산 먹이 추적자 분석 ◇ 국내□외 학회 참여를 통해 연구결과 발표 및 연구동향 파악

5.2. 추진전략

○ 기존 연구 자료 및 관련 정보 획득
- 본 연구 참고 문헌과 국내□외 관련 기관 및 전문가의 세미나 등을 통해 연구 자료 및 정보들을 획득

○ 관련 연구기관 협조 체계 구축 및 고래 시료 확보
- 국립수산과학원 산하 고래연구소로부터 고래 시료 제공 및 위 내용물 DNA를 포함한 타 분석 결과 공유 요청
- 1980년 IWC의 포경 금지 이후 혼획□좌초된 고래 시료에만 의존하고 있으나, 좀 더 향상된 연구 결과를 위해 고래연구소에서 보유하고 있는 화살 모양의 Biopsy 채집 장비를 활용한 고래 생체 시료 확보 (그림 19)

그림 20. 현장에서 화살을 이용한 생체 (biopsy) 시료 채집 모습.

○ 본원 보유 분석기기 활용 및 산학연 연구 협력 추진
- 고래 시료의 지방 분석을 위해 본원이 보유하고 있는 분석기기 (Iatroscan

TLC-FID, GC-FID, GC-MS)의 적극적인 활용
- 남해연구소의 GC-IRMS와 한양대의 EA-MS 분석기기의 활용 및 분석기술 공동 개발
- 관련 분야의 세미나(Dr. Yoshito) 참여를 통한 동위원소와 지방 바이오 마커 분리/분석 방법의 표준화 추진
- 현재 진행 중인 국제공동연구의 미국측 연구책임자인 Harvey 박사 (미국 체사픽 생물 연구소, 바이오마커 분야 국제 전문가)의 분석 방법 자문 및 협력

○ 고래 피부와 피하지방의 먹이 지방 추적자 분석
- 우리나라 근해에 서식/출현하는 고래류 중 가장 우점하는 고래종 선정 : 밍크고래, 참돌고래, 낫돌고래
- 동일개체에서 위 내용물 DNA 분석과 생체 시료(피부를 포함한 피하지방)를 이용하여 섭식 관찰 : 다양한 방법의 비교
- 피하지방을 분리한 피부의 탄소, 질소 안정 동위원소 구성비 측정 : 서식지 및 영양단계 파악
- 피하지방의 각 층에서 추출한 지방 class 및 지방산을 정성, 정량 분석 (Iatroscan, GC-FID, GC-MS) : 식성생태 및 먹이 추적자 분석 수행
- 피하지방에서 추출한 각 지방산의 탄소 동위원소 구성비 분석(GC-IRMS) : 피하지방 내 지방 합성/분해 과정 해석을 통해 long-term 식성 생태 추적
- QFASA를 비롯하여 다양한 통계 방법으로 밍크고래의 섭식 생태 및 영양단계 규명 기술 개발

○ 국내□외 학회 참여를 통하여 연구동향 파악 및 연구 결과 발표
- 2009, 2010 PICES Annual Meeting, 2009, 2010 한국해양학회
- OPR 및 SCI 논문 게재 예정

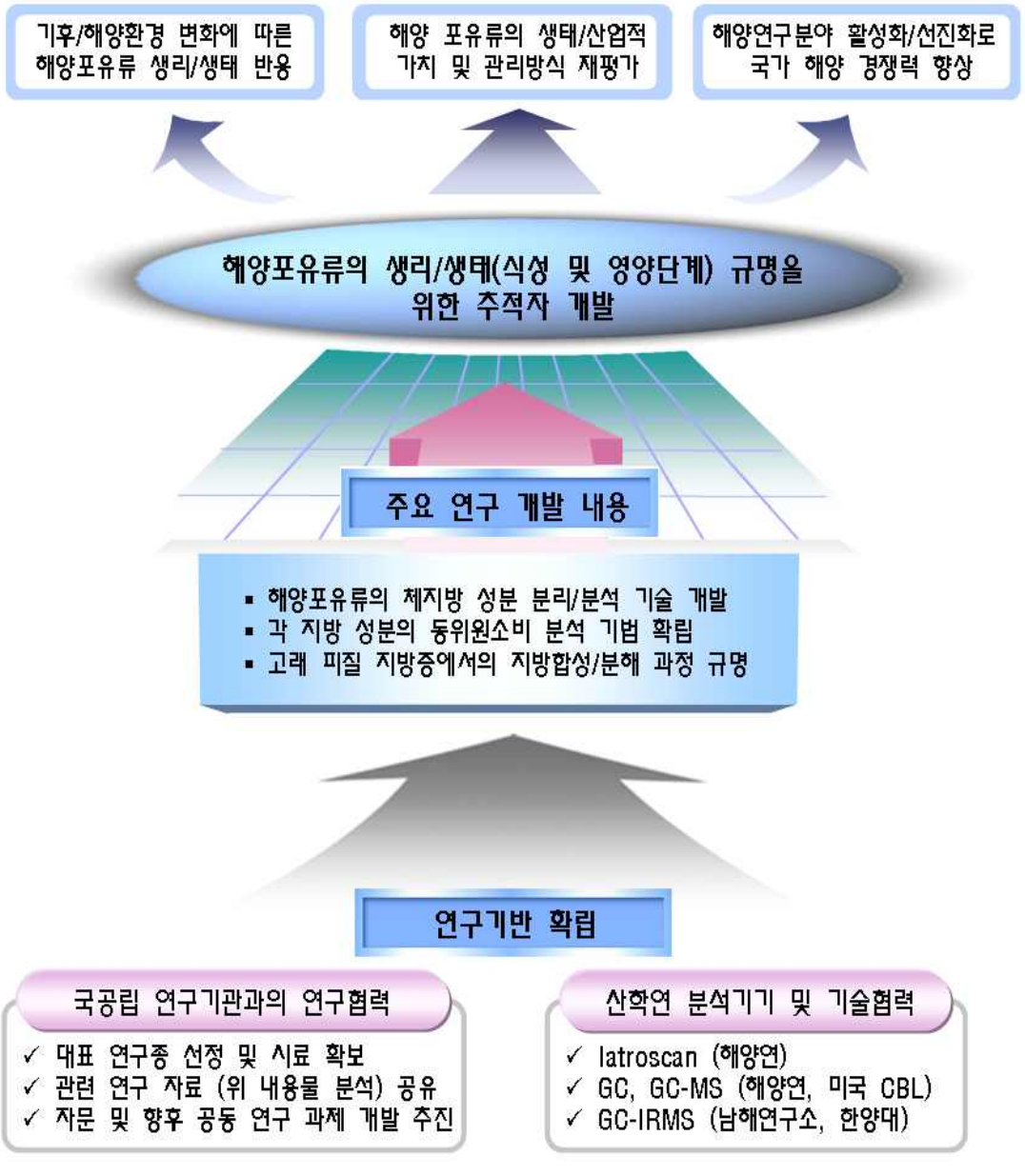

그림 21. 도식화한 추진 전략.

5.3. 연구개발 추진일정

분류	핵심기술 연구내용	1단계 (‘09)	2단계 (‘10)	3단계 (‘11)	비고
	섭식 생태 규명을 위한 생화학적 기법 개발 및 표준화	■			완료
	고래 피하지방에서의 지방 성분 분해 및 합성과 축적 과정 규명		■		완료
	과거 한국 근해의 고래 식성 생태 추적을 통한 해양생태계 구조 변화 예측과 기후변화와의 상관성 파악			■	계획

6. 및 활용방안

6.1.

대 성 과

▶ 해양포유류에 대한 연구 활성화 및 선진화에 기여
▶ 해양포유류의 생리/생태적 변화를 감지하여, 기후/해양 환경 변화 연구에 적극 활용
▶ 해양생태계 구조에 미치는 고래의 영향을 파악하여, 수산자원량 변동과의 상관성을 이해하고 미래의 수산자원 보호/관리에 적용
▶ 미래 식량, 산업적 자원으로써 고래의 가치 재평가 및 한국 근해에서의 고래 자원관리방식 재고시 활용

○ 기술적 측면
- 국내 연구 취약분야인 해양포유류 관련 연구의 활성화 및 선진화
- 고래류를 포함한 해양포유류의 먹이 및 영양단계 규명을 위한 접근 방법 개발 및 표준화
- 우리나라 해양포유류에 대한 연구 범위 및 역량 향상을 통한 해양 연구 분야

의 다양화 및 선진화
- 해양포유류의 생리/생태 변동을 파악하여 기후변화 연구에 적극 활용

○ 경제□산업적 측면
- 1980년대 고래의 상업적 포경 금지 이후, 우리나라 근해에서는 고래류의 출현이 꾸준히 증가하고 있음. 이에 따라 해양생태계 구조에 미치는 고래의 영향을 파악하여 수산자원량 변동과의 상관성을 이해하고 미래의 수산자원 관리 정책 수립에 지표로 활용
- 한국 근해에서 미래 식량, 산업적 자원 확보를 위한 고래 양식의 타당성과 실용화를 위한 기초 자료 및 고래 가치 재평가를 위한 자료로 활용

6.2.

용 방 안

▶ 해양포유류를 비롯한 다양한 해양 생물의 섭식 생태 및 영양단계 규명을 위해 본 연구에서 개발된 생화학적 추적자 기법을 활용/응용하고, 과거 우리나라 해양생태계 구조의 이해와 미래 기후변화 및 해양환경 변화에 따른 생태계 변동을 예측하는 데에 적극 활용

○ 한국 근해 고래류의 분석을 통해 본 연구에서 개발된 생화학 추적자 기법을 세계 전 해역에 서식하는 해양포유류를 포함한 해양 생물 연구 분야에 활용
- 우리나라 근해에 서식/출현하는 8과 35종의 고래류, 독도에 서식하는 바다표범, 백령도에 서식하는 점박이물범 등의 연구에 활용

○ 과거 수년간 혼획□좌초된 고래 시료가 고래연구소에 보관되어 있음
- 과거 고래 시료의 생화학적 분석과 해양생태계의 기초 자료를 토대로 과거 우리나라 근해의 기후/해양 환경 변화와 고래를 포함한 해양포유류의 생리/생태(에너지 저장, 식성 생태 등) 변화 연구 추진

7. 결론 및 정책적 시사점

7.1. 결론

론

▶ 근해에 서식/출현하는 해양포유류의 생태학적 위치와 역할 및 식성 생태 규명에 기여

▶ 기후/환경 변화가 해양포유류에 미치는 영향 파악을 통해 향후 해양생태계변동 예측

▶ 고래류를 포함한 해양포유류 자원의 다양한 경제, 산업적 활용 방안 제시

7.2. 정책적 시사점

정책적 시사점

▶ 1980년대 IWC의 포경금지로 우리나라는 고래 포획을 금지하고 있으며, 그 후 혼획□좌초되는 고래 개체수가 증가함에 따라 연간 60~150마리 정도의 죽은 고래에 대해 판매를 허용. 따라서 본 연구를 통하여 해양포유류의 식성 및 먹이관계를 규명하고 해양포유류가 해양생태계에 미치는 영향이 파악된다면, 고래의 관리 및 보호 등에 대한 정책 수립 가능

8. 소요예산

□ 총 연구비 : 1억원 (3년간)

(단위 : 천원)

분 야	1단계	2단계	3단계	합 계
	30,000 (완료)	30,000 (완료)	40,000 (계획)	100,000

연구과제제안요구서(RFP)

과 제 명	근해 고래류의 섭식 생태 추적을 통한 기후변화 영향과 해양 생태계 구조 변동 파악
연구의 필요성	○ IWC의 포경 금지 이후, 한국 근해 서식하는 고래 개체수 증가가 수산자원량에 미치는 영향을 파악하기 위해 고래의 생리/생태적 특성 규명이 시급함 ○ 해양생태계 먹이망의 최상위 포식자인 해양포유류를 효과적으로 보호/보존하기 위해 생태학적 위치와 섭식 생태에 대한 전반적인 이해를 통하여 적절한 관리 방안의 마련이 필수적임 ○ 국내 연구 취약 분야인 해양포유류와 관련 연구의 활성화 및 선진화에 기여
연구의 목적	○ 해양포유류의 섭식 생태 및 영양단계 규명을 위한 새로운 기법 개발을 활용하여 해양생태계 구조 변동과 기후변화와의 상관성 파악
연구 내용 및 범위	○ 해양포유류의 섭식 생태 규명을 위한 생화학적 기법 개발 및 표준화 – 피하지방에서 추출된 지방 class 분리/분석 및 안정 동위원소 분석 방법의 재정립 – 해양포유류 피하지방에서 추출된 지방 및 지방산의 정성, 정량 분석 방법 정립 – GC-IRMS를 활용한 각 지방산 성분의 안정 동위원소비 분석/측정 기법 확립 ○ 고래 피하지방에서의 지방 성분 분해 및 합성과 축적 과정 규명 – 피하지방의 층별 지방 class 분리/분석 및 지방산 구성 성분 분석 – 층별 각 지방산 성분의 탄소 안정 동위원소비 비교를 통하여 층별 지방 분해 및 합성과 축적 과정 차이 규명 – 먹이 시료의 지방과 지방산 정성, 정량 분석 및 각 지방산 탄소 안정 동위원소비 분석을 통한 먹이추적자 지방산 마커 파악 ○ 과거 한국 근해의 고래 식성 생태 추적을 통한 해양 생태계 구조 변화 예측과 기후변화와의 상관성 파악 – 과거 한국 근해의 고래 시료과 타 자료(위 내용물 DNA, 풍도, 계군 분포 등) 확보 – 정립된 생화학적 기법(지방 구성 및 각 지방산 탄소 안정 동위원소비)과 통계학적 방법인 QFASA를 적용하여 과거 고래 시료의 섭식 생태 파악 – 해역별 서식 고래의 생화학□통계학적 분석과 타 자료와의 비료를 통해 한국 근해 해양생태계 구조 변화를 예측하고 과거 고래 식성 변화와 기후변화와의 상관성 파악
추진방법	○ 기존 연구 자료와 관련 정보 획득 ○ 관련 연구기관 협조 협조를 통한 시료 확보 및 분석 기기의 활용 및 체계 구축 및 고래시료 확보 ○ 고래 시료와 먹이 생물의 먹이 지방 추적자 분석 ○ 국내□외 학회 참여를 통하여 연구동향 파악 및 연구 결과 발표
연구비/년	○ 1년차 (3천만/1년) ○ 2년차 (3천만/1년) ○ 3년차 (4천만/1년)
연구 성과물	○ 고래류의 지방 대사 및 생태학적 위치를 이해하기 위한 생화학적 기법 개발 ○ 해양포유류의 식성/영양단계 변동 추적을 통한 해양생태계와 기후변화와의 상관성 연구 결과 보고 (국내외 논문 발표 및 게제)

Chapter Ⅱ.

연구 성과

1. 연구 결과 발표

발표일자	제 목	학술지/세미나명
2009.10.28	Understanding the feeding ecology of minke whales, *Balaenoptera acutorostrata*, in Korean Seas using trophic lipid markers	2009 PICES Annual Meeting
2009.11.05	생화학적 접근을 통한 해양포유류의 먹이 생태 이해	한국해양학회 추계학술발표대회
2010.06.03	한국 근해 해양포유류(고래)의 섭식 생태 이해를 위한 생화학적 접근	한국해양과학기술협의회 공동학술대회
2010.10.28	Lipid metabolism of minke whale and pacific white-sided dolphin in Korean waters and implications for feeding ecology	2010 PICES Annual Meeting
2010.11.04	한국 근해 밍크고래, 참돌고래, 낫돌고래의 지방 대사 및 생태학적 위치 이해	한국해양학회 추계학술발표대회

2. 연구 논문 성과

	제 목	비 고
국내	한국 근해에 서식하는 고래 피하지방의 층별 지방 함량 및 구성의 차이 특성	in review
국외	Understanding lipid metabolism and feeding ecology of cetacean using lipid composition and fatty acid-stable isotope in the blubber	prepare

참 고 문 헌

박중연, 손호선, 김장근, 김우진, 박두원, 안용락. 2004. 미토콘드리아 DNA에 의한 혼획 밍크고래의 유전자 다양성 분석. J Korean Soc Fish Res 6, 183-191.

Best NJ, Bradshaw CJA, Hindell MA, Nichols PD. 2003. Vertical stratification of fatty acids in the blubber of southern elephant seals (Mirounga leonina): implications for diet analysis. Comparative Biochemistry and Physiology Part B 134, 253-263.

DeNiro MJ, Epstein S. 1978. Influence of diet on the distribution of carbon isotopes in animals. Geochim Cosmochim Acta 42, 495-506.

DeNiro MJ, Epstein S. 1981. Influence of diet on the distribution of nitrogen isotopes in animals. Geochim Cosmochim Acta 45, 341-351.

Falk-Petersen S, Hagen W, Kattner G, Clarke A, Sargent J. 2000. Lipids, trophic relationships, and biodiversity in Arctic and Antarctic krill. Canadian J Fish Aqua Sci 57, 178-191.

Gong Y. 1981. Minke whales in the waters off Korea. Rep IWC 31, 241-244.

Gong Y. 1982. A note on the distribution of minke whales in Korean waters. Rep IWC 32, 279-282.

Gong Y. 1987. A note on the distribution and abundance of minke whales in Korean waters. Rep IWC 37, 281-284.

Gong Y. 1988. Distribution and abundance of the Sea of Japan-Yellow Sea-East China Sea stock of minke whales. Bull Natl Fish Res Dev Agency 41, 35-54(in Korean).

Gong Y, Hwang BN. 1983. Abundance of minke whales in Korean waters. Rep IWC 33, 413-418.

Goto M, Pastene LA. 1997. Population structure in the western North Pacific minke whale based on and RFLP analysis of the mtDNA control region. Rep IWE 47, 531-538.

Graeve M, Kattner G, Hagen W. 1994. Diet-induced changes in the fatty acid composition of Arctic herbivorous copepods: experimental evidence of trophic markers. J Exp Mar Biol Ecol 182, 97-110.

Herman DP, Burrows DG, Wade PR, Durban JW, Matkin CO, LeDuc RG, Barrett-Lennard LG, Krahn MM. 2005. Feeding ecology of eastern North Pacific killer whales Orcinus orca from fatty acid, stable isotope, and organochlorine analyses of blubber biopsies. Mar Ecol Prog Ser 302, 275-291.

Hobson KA, Welch HE. 1992. Determination of trophic relationships within a high Arctic marine food web using $\delta^{13}C$ and $\delta^{15}N$ analysis. Mar Ecol Prog Ser 84, 9-18.

Hunt GL Jr, Kato H, McKinnell SM. 2000. Predation by marine birds and mammals in the subarctic North Pacific Ocean. PICES Scientific report.

Iverson SJ, Field C, Bowen WD, Blanchard W. 2004. Quantitative fatty acid signature analysis: a new method of estimating predator diets. Ecological Monographs 74, 211-235.

Kato H. 1999. An outline and brief history of Antarctic cetacean survey under IWC/IDCR and SOWER program. Paper SC/M99/SOWER21 presented to the SOWER 2000 workshop. Edinburgh Mar. 1999. 1.

Kenji K, Tamura T, Zenitani R, Bando T, Kato H, Walloe L. 2008. Decline in energy storage in the Antarctic minke whale (*Balaenoptera bonaerensis*) in the Southern Ocean. Polar Biol 31, 1509-1520.

Moon HB, Choi HG, An YR, Park KJ, Choi SG, Moon DY, Kannan K. 2010. Contamination status and accumulation features of PCDDs, PCDFs and dioxin-like PCBs in finless porpoises (Neophocaena phocaenoides) from Korean coastal waters. Journal of Hazardous Materials 183, 799-805.

Nichols DS, Nichols PD, Sullivan CW. 1993. Fatty acid, sterol and hydrocarbon composition of Antarctic Sea ice diatom communities during spring bloom in McMurdo Sound. Antarctic Sci 5, 271-278.

Park BK, Park GJ, An YR, Choi HG, Kim GB, Moon HB. 2010. Organohalogen contaminants in finless porpoises (*Neophocaena phocaenoides*) from Korean coastal waters: Contamination status, maternal transfer and ecotoxicological implications. Marine Pollution Bulletin 60, 768-774.

Park JY, Kim JH, An YR, Kim MJ, Lee WS, An CM, Jung JW, Kang JH, Moon HB, Hwang SY. 2010. A DNA microarray for species identification of cetacean animals in Korean water. BioChip J 4, 197-203.

Park KJ, An YR, Kim ZG, Choi SG, Moon DY, Park JE. 2009. Abundance estimates of the minke whale, *Balaenoptera acutorostrata*, in the East Sea, Korea. Kor J Fish Aquat Sci 42, 642-649.

Smith SJ, Iverson SJ, Bowen WD. 1997. Fatty acid signatures and classification trees: new tools for investigating the foraging ecology of seals. Can J Fish Aquat Sci 54, 1377-1386.

Tamura T, Fujise Y. 2002. Geographical and seasonal changes of the prey species of minke whale in the Northwestern Pacific. ICES J of Mar Sci 59, 516-528.

Tollit DJ, Greenstreet SPR, Thompson PM. 1997. Prey selection by

harbour selas, *Phoca vitulina*, in relation to variations in prey abundance. Can J Zool 75, 1508-1518.
Wada S. 1989. Latitudinal segregation of the Okhotsk Sea-West Pacific stock of minke whales. Rep IWC 39, 229-233.

주 의

1. 이 보고서는 한국해양연구원에서 수행한 기본연구사업의 연구결과보고서입니다.

2. 이 보고서 내용을 발표할 때에는 반드시 한국해양연구원에서 수행한 기본연구사업의 연구결과임을 밝혀야 합니다.

3. 국가과학기술 기밀유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 안됩니다.