

벵갈만 해역 서식 해양생물 유래의 생리활성 천연물
발굴 및 활용 연구

Discovery and utilization of biologically active natural compounds
from marine organisms of Bengal bay

한국해양과학기술원

한국과학기술연구원

제 출 문

한국과학기술연구원 원장 귀하

본 보고서를 “글로벌 네트워크 강화사업”의 위탁과제 “벵갈만 해역 서식 해양생물 유래의 생리활성 천연물 발굴 및 활용 연구”의 보고서로 제출합니다.

2012. 1. 3

연구기관명 : 한국해양과학기술원

위탁연구책임자 : 이 연 주

연구원 : 이 순 길, 이 종 석,
이 정 우, 유 수 정,
한 샘, 신 준 호

보고서 초록

과제관리번호	2Z03530	해당단계 연구기간	'12.03.01-'12.12.31	단계 구분	1/1
연구과제명	본 과 제	글로벌 네트워크 강화사업			
	위탁과제명	벵갈만 해역 서식 해양생물 유래의 생리활성 천연물 발굴 및 활용 연구			
연구책임자	이연주	해당단계 참여연구원수	총 : 7 명 내부 : 7 명 외부 : 명	해당단계 연구비	정부: 50,000 천원 기업: 천원 계: 50,000 천원
연구기관명 및 소속부서명	한국해양과학기술원 해양생물자원연구센터		참여기업명		
요약(연구결과를 중심으로 개조식 500자 이내)					보고서 면수
<p>- 인도 동쪽 해역 벵갈만의 경우 세계적으로 생물 다양성이 높은 지역으로 평가되고 있어, 해양생물 대사체 연구의 주요 조사지역으로 판단됨</p> <p>- 우리나라 연구진에 의해 인도 및 인접 인도양 서식 해양생물 및 대사산물에 대한 연구가 진행된 바 없고, 생물의 국제적 반출입이 법적으로 제약되어 있는 상황에서 국제 공동연구를 통한 해양생물 연구가 필요한 상황</p> <p>- 이에 본 위탁연구개발사업을 통해 인도 해양생물학자들과 공동연구 체계를 구축하고, 인도 해양생물 연구를 통해 생리활성 천연물질을 발굴하고자 함</p> <p>- 일차년도 사업을 통해 하기의 성과 획득</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 문헌 조사 및 2회의 현장 조사를 통해 인도해역의 해양생물지리학적 특성 파악 2. 인도해역의 해조상 (주요 서식지역 및 분포) 파악 3. 인도해역 해양생물 조사 및 채집 (해조류 31종, 해양무척추동물 16종) 4. 채집생물 추출물 확보 및 화학분석(핵자기공명스펙트럼) 5. 추출물 화학분석을 통해 천연물 발굴 가능성 있는 생물 2종 (<i>Haplosclerida</i> sp. 및 <i>Tropiometridae</i> sp.) 발견 6. University of Madras와 공동연구협의 및 기관간 MOU 추진 <p>- 지속적인 연구개발 사업을 통해 하기의 성과들을 거둘 수 있을 것으로 예상됨</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. University of Madras와 본격적인 공동연구 체계를 구축하여, 공식적인 해양생물 채집 및 반출입 경로확보 예정 2. 채집된 생물 및 추출물 라이브러리 확보 및 생리활성, 화학분석 스크리닝 3. 스크리닝을 통해 선정된 생물(기선정된 2종 포함)의 대사산물 분석 및 분리,정제를 통해 생리활성 천연물 발굴 예정 					
색 인 어 (각 5개 이상)	한 글	인도양, 벵갈만, 해양생물, 대사산물, 생리활성 천연물			
	영 어	Indian ocean, Bengal bay, marine organism. metabolite, bioactive natural product			

요 약 문

I. 제 목

벵갈만 서식 해양생물 유래의 생리활성 천연물 발굴 및 활용 연구

II. 연구개발의 목적 및 필요성

해양생물이 생산하는 이차대사산물은 세포독성, 항암, 항미생물, 신경계 조절등 다양한 생리활성을 나타내며 특히 열대지역에 서식하는 생물의 경우 대사산물의 다양성과 양이 탁월한 것으로 알려져있음. 특히 생물 다양성이 세계적으로 가장 높은 곳 중의 하나로 평가되는 인도 동쪽 벵갈만 해역의 경우 대사산물의 다양성도 높을 것으로 예상되어, 천연물 연구의 주요 대상 지역 중 하나로 판단됨. 생물의 국가간 이동이나 관련 연구를 통해 창출되는 이익분배와 관련한 다양한 규제들이 만들어지고 있는 상황에서 한-인도 공동연구를 통한 해양천연물 개발연구는 양국에게 공히 관련 사업의 발전을 도모한다는 점에서 중요한 의의를 가질 것으로 판단됨.

III. 연구개발의 내용 및 방법

현장 조사 및 채집을 통해 인도 해역의 해양생물지리학적 특성, 해양생물의 분포상을 파악하고 연구소재로서의 해양생물 실물을 확보함. 확보된 모든 생물을 확립된 프로토콜을 통해 추출하고, 획득된 추출물의 일차적인 화학분석 및 생리활성을 통해 연구개발 가능한 생물종 선정. 선정된 생물종에 대한 심층적인 화학분석, 천연물 분리, 정제를 통해 생리활성 천연물 발굴.

지속적인 연구개발 및 안정적인 해양생물시료의 확보를 위해 인도 해양생물학자 (University of Madras)와 공동연구 체계 확립 및 기관간 MOU 추진.

IV. 연구개발결과 및 고찰

2차 (2012년 7월, 11월)에 걸친 현장 조사 및 채집을 통해 인도 해역의 해양생물지리학적 특성 파악, 인도 해역의 해조상 (주요 서식지역 및 분포) 파악, 해양생물 실물 채집 (해조류 31종, 해양무척추동물 16종). 채집 생물 추출물 확보하여 각 추출물에 대한 수소핵자기공명스펙트럼 획득, 스펙트럼 분석을 통한 함유 대사산물 다양성 파악, 천연물 발굴 가

능성 높은 생물 2종 (Haplosclerida sp. 및 Tropometridae sp.) 발견. 1차 현장 조사 기간 중 University of Madras 방문, 해양생물학자 접견 및 공동연구 협의, 기관간 MOU 추진 절차 협의.

V. 연구개발 향후 추진계획

University of Madras와 MOU 체결 완료 및 National Biodiversity Authorization의 허가 획득을 통한 공식적인 생물시료 확보 및 반입체계 확립. 핵자기공명스펙트럼 활용의 채집 생물 추출물 화학분석을 통해 유용화합물 발굴 가능성이 있는 생물/추출물 발굴. 선정된 생물/추출물 활용, 이차대사산물 분리, 정제 및 생물학적 기능 검정을 통한 생리활성 천연물 발굴.

Summary

I. Title

Discovery and utilization of biologically active natural compounds from marine organisms of Bengal bay

II. Objective and Significance of the Study

Secondary metabolites produced by marine organisms have been known to exhibit biological activities such as cytotoxicity, anticancer activity, antimicrobial activity and control of neurological disorder. Indian ocean, especially the sea around the Bengal bay is known to have one of the world's 64 largest marine ecosystem, which suggests high biological and chemical diversity of the sea of this region.

As regulations related to the international transportation of living organism are now being increased, international collaborative research of Korean and Indian scientist will provide new regime for the research and development of Indian ocean marine bioresources.

III. Contents and Scope of the Study

Wholistic study of marine biological geography of Indian waters and the distribution of algae along the coast of Bengal bay of India was investigated by field work and literature search.

For the chemical analysis and biological assay of the extract, marine organisms especially algae and marine invertebrates were collected. Chemical analysis were carried out by the analysis of proton nuclear magnetic resonance spectroscopy (nmr) and analysis of the data provided the decision on the extracts which are worth of investigation could be discovered.

MOU between University of Madras (UOM) and KIOST is being embedded to do the research continuously and to secure the Indian marine organisms after the meeting of KIOST and UOM marine biologists.

IV. Results and Discussions

The sketch knowledge regarding the biological geography of Indian waters were obtained and the distribution of algae along the coast could be figured out.

Fourty seven species of Indian marine organisms were collected including algae and invertebrates. A part of them were extracted and the extracts were analyzed by proton nuclear magentic resonance spectroscopy (NMR). Two extracts (from *Hplosclerida* sp. and *Tropiometridae* sp.) containing various secondary metabolite were discovered by the analysis of proton NMR data and the chemical investigations of them are now in progress.

C O N T E N T S

Abstract	2
Summary (Korean)	3
Summary (English)	5
Contents (English)	7
Content (Korean)	8
Chapter 1. Objective and Significance of the Study	9
Chapter 2. Contents and Scope of the Study	10
Chapter 3. Results & Discussions	12
Chapter 4. Further Research Plan	31
Chapter 5. References	32

목 차

보고서 초록	2
요약문 (국문)	3
요약문 (영문)	5
목차 (영문)	7
목차 (국문)	8
제 1 장 연구의 필요성 및 목적	9
제 2 장 연구 내용 및 방법	10
제 3 장 연구 결과 및 고찰	12
제 4 장 향후 추진계획	31
제 5 장 참고문헌	32

제 1 장. 연구의 필요성 및 목적

1. 연구개발의 필요성

해양생물이 생산하는 이차대사산물은 세포독성, 항암, 항미생물, 신경계 조절 등 다양한 생리 활성을 나타내는 것으로 알려져 있으며, 특히 열대에 서식하는 생물의 경우 생산하는 대사산물의 양이나 다양성이 탁월하여, 천연물화학 및 의약화학 분야에서 많은 연구가 진행되고 있다. 특히 해면이나 연산호 등의 저생성무척추동물이나 해조류 등은 다양한 대사산물을 생산하는 메커니즘 혹은 이를 보유한 공생 미생물을 가지고 있는 것으로 알려져 있다.

인도 동쪽 해역의 벵갈만의 경우, 넓은 산호초가 형성되어있고, 여기에 서식하는 해양생물 종 다양성이 높아 The world's 64 largest marine ecosystem중 하나로 선정되어 있으나, 서식 해양생물의 이차대사산물에 대한 연구는 보고된 결과가 많지 않으며, 특히 우리나라의 경우 제도, 예산의 한계 등으로 인해 인도 해양생물에 대한 연구를 진행해온 바가 없는 것으로 확인된다.

최근 들어 생물자원의 채집, 활용 및 이익분배와 관련한 국제적인 컨센서스가 형성되고 (생물다양성 협약, 유전자원에 대한 접근 및 이익 공유에 관한 나고야 협약 등), 이로 인해 생물자원의 국가간 이동이 제한됨에 따라 인도 연구자들과의 공동연구를 통해 해양생물자원을 개발하고 이를 통해 상호 국가의 이익을 도모하는 것이 필요해지고 있는 상황이다.

이에, 한-인도 공동연구를 통한 해양천연물 개발 연구는 우리나라의 입장에서는 상대적으로 풍부한 인도의 해양생물자원을 활용할 수 있다는 점에서, 인도의 입장에서는 우리나라의 발전된 천연물 분석 및 활용 기술을 도입하여 관련 연구를 활성화한다는 점에서, 또한 양국 공히 해양생명자원을 이용하는 관련 산업의 발전을 통해 지속 가능한 경제발전을 도모한다는 점에서 매우 중요한 의의를 가진다.

2. 연구의 목표 및 범위

우리나라에서 인도 해역 해양생물에 대한 연구를 진행한 바가 없고, 생물의 이동 및 반출입과 관련한 많은 국제/국내법적으로 상당한 제약이 존재하는 바, 현지 연구자와의 공동연구체계를 구축하고 생물 반출입 경로를 확보하는 것이 본 위탁연구개발 사업의 당해 기간의 가장 주요한 목표이다. 인도 해양생물의 이차대사산물에 관한 정보가 학술지 등에 알려져 있는 것들이 많지 않은 상황에서 최대한 다양한 생물을 확보하여 형태학적 분류동정, 화학분석 및 생물학적 기능 검정 등과 관련한 일차적인 스크리닝을 수행하는 것 역시 당해연도 사업의 주요 목표 중 하나이다. 스크리닝 결과에 대한 분석을 통해 연구 가치가 있는 생물을 선정, 이차대사산물 분리 정제 및 분석을 수행하여 생리활성의 이차대사산물을 발굴하는 것이 본 위탁연구개발사업의 최종 목표이다.

제 2 장. 연구 내용 및 방법

1. 현장 조사 및 채집

인도산 해조류의 채집은 Venkataraman and Wafar (2005)의 보고를 기초로 하여 해조류 종 다양성이 가장 높은 것으로 알려진 인도 남동부 Rameshwaram, Tamil Nadu 해역과 벵갈만 외해로 직접 열려 있는 중동부 동중부 Madras 해역을 선정하여 실시하였다 (그림 1).



그림 1. 인도산 해조류 채집 지역도

Madras 해역은 2012년 7월 17일부터 20일까지, 그리고 Tamil Nadu 해역은 11월 23일부터 27일까지 현장조사하고 서식 생물을 채집하였다. 채집은 각 해역의 조간대 중 하부지역을 대상으로 나잠 및 도수 채집하였다. 채집된 해조류 중 생리활성 천연물 탐색을 위한 표본은 냉장하여 한국해양과학기술원 실험실로 운반하였다. 동정을 위한 표본은 현장에서 형태학적 특징을 기록한 후 건조표본을 만들어 운반하였으며, 인도산 해조류의 동정은 Manisseri et al. (2012a, 2012b)를 토대로 속 또는 종 단위까지 동정하였다.

2. 인도산 해조류 분류 동정

인도해역에 분포하는 저서 해조류 목록은 미국 캘리포니아 대학에서 online resources로 출판한 Catalogue of the benthic marine algae of the Indian Ocean (Silva et. al 1996)을 토대로 하여 인도해역에 분포하는 해조류를 1차적으로 검색한 후, CMRI (1987), Krishnamurthy (1999), Oza and Zaisi (2001), Sahoo et. al. (2001), Kaliaperrumal and Kalimuthu (2004),

Venkataraman and Wafar (2005), Wafar (2011), Manisseri et al. (2012) 등의 자료를 추가하였다. 이들 문헌 자료에서 인정한 아종(subspecies)은 이 보고서에서는 인정하지 않았으며, 최종적으로 검색된 인도산 해조류는 우리나라에서 통용되는 해조류의 분류체계(이와 강 1986, 이 2006)에 맞추어 정리하였다.

3. 생리활성 이차대사산물 탐색

확보된 생물 시료는 분류/동정 및 확인을 위한 voucher specimen (냉동보관)을 제외한 양의 전부 혹은 일부를 활용하여 각각의 추출물을 제조하였다. 채집된 생물에서 물질을 추출하기 위해 먼저 생물을 잘게 자른 후 폼 후드 안에서 24시간 상온 건조한다. 건조된 시료에서 Organic-soluble material을 추출하기 위해 시료 부피의 1.2 배 가량의 methanol을 첨가하여 상온에서 24시간 추출하는 과정을 2회 반복한다. Methanol solution은 decant한 후, 부유물 제거를 위해 Whatman NO1 filter paper를 사용하여 filter 하고, rotatory evaporator를 이용하여 농축한다. 농축된 추출물은 -20°C 에 보관하였다. 모든 추출물에 대하여 일부 (약 2 mg)를 활용하여 추출물 함유 화합물 분석을 위한 수소 핵자기공명스펙트럼 (proton nuclear magnetic spectroscopy) 을 획득하였으며, 일부(약 2 mg)는 세포독성 검정에 활용 중이다.

제 3 장. 연구결과 및 고찰

1. 인도해역의 해양생물지리학적 특성

인도양을 해양지리학적으로 구획하면, 서쪽으로는 아프리카 동부해안 - Cape Agulhas에 이르는 선, 북쪽 경계는 아라비아 반도 - 인도반도 - 방글라데시 남부 해안, 동쪽 경계는 말레이 반도 - 인도네시아 제도 - 호주 서부 해안에 이르는 선, 남쪽 경계는 남위 60°에 걸치는 남극해이다 (그림 2).



그림 2. 인도양의 해양학적 구획

인도양의 대양해류 흐름을 보면 적도를 중심으로 시계 반대방향으로 흐르는 적도반류 (Equatorial Counter Current)와 이 적도반류와 상응하여 적도와 평행하여 서진하다가 마다가스카르 동쪽 해안을 따라 남위 50° 부근까지 남진한 후 동북동진하여 호주 서해안 가까이에 이르러 호주 서해안을 따라 북진하는 남인도양해류 (South Indian Current) 두 개의 큰 해류로 나눌수 있다(그림 3).

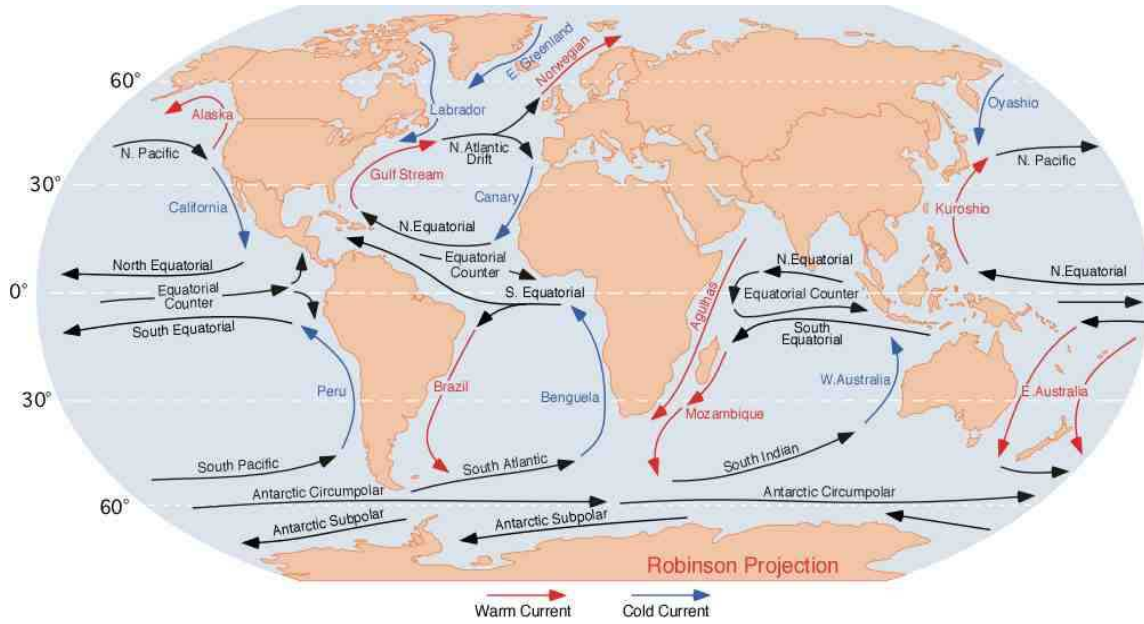


그림 3. 대양해류 흐름도

적도반류와 남인도양해류 중 서진 및 남진하는 부분은 난류계이지만, 동북동진 및 북진하는 해류는 남극해 북부를 지나며 열에너지를 소실하여 한류계로 변한다. 이러한 관점에서 볼 때, 호주 서해안을 제외한 인도양 전체의 육지해역과 도서해역은 난류계가 지배하는 열대해역이라 할 수 있으며, 인도 해역이 그 중심에 있다.

인도는 판구조론(plate tectonic theory)상 인도판(Indian Plate)으로 불리는 독자적인 판으로 형성된 작은 대륙이다. 인도대륙의 해안선은 소만과 섬이 없는 매우 단조로운 형태를 지니고 있다. 따라서 인도 해안은 외해에서 밀려오는 해파(sea wave)와 연안류(longshore current)의 작용으로 대부분의 암반해변은 침식되어 사라지고 사니질이 우세한 해변(beach)으로 변하였다. 인도 동남부 스리랑카와 면해 있는 Tamil Nadu 해안을 비롯한 몇몇 해안을 제외하고는 산호초의 발달도 미미하다.

Schils et al. (2004)는 인도양 중심에 위치한 Mauritius를 중심으로 볼 때, 인도양에서의 대형해조류 생물지리학적 유사성은 50%에 달한다 하였으며, Schils and Coppejans (2003)은 아라비아 반도 남쪽의 Socotra Archipelago의 조하대 해조군락은 인도양의 광범위한 여러 해역의 해조군락과 유사성이 높다고 보고하였다. 또한 Wafar, M., et al. (2011)은 인도 해역에서 844종의 대형해조류를 보고하였는데, 냉수대에 속하는 호주 서부해역에 분포하는 해조류를 제외할 경우 인도양에 서식하는 대형 해조류의 많은 부분이 인도해역에 서식하고 있는 것으로 생각된다. 이러한 연구보고를 종합할 때 인도 해역, 특히 벵갈만에 연한 해역은 인도양 북쪽에 위치한 극히 작은 부분이지만 해양생물지리학적으로는 인도양 전체 (최소한 열대 인도양 해역)의 해양생물학적 특성을 대표할 수 있는 지역으로 생각된다.

2. 인도해역의 해조상

가. 주요 해조류 서식지역

저서 해조류는 일정한 기질에 부착하여 서식하기 때문에 암반이 적고 사니질이 우세한 인도 해안은 저서 해조류의 분포에 제한요인으로 작용한다. 더욱이 해안선에 직접 도달하는 파도 에너지는 저서 해조류의 착생을 어렵게 할 뿐만 아니라 착생한 해조류의 엽상체를 파괴하여 해조류의 식생을 저해하는 제2의 제한요인이 된다. 이러한 복합적 환경요인으로 조간대에 서식하는 녹조류는 피복형 및 세사형 엽상체를 갖는 종들이 우세하다. 조간대 하부에서 조하대에 서식하는 갈조류 특히 *Macrocyst* spp. *Laminaria* spp. 등 대형 갈조류는 전술한 바와 같이 제한요인으로 작용하는 부착기질의 부족과 파도 에너지의 영향으로 매우 빈약한 식생을 보인다. 반면, 조하대에 서식하는 홍조류는 파도의 영향을 직접 받지 않기 때문에 비교적 다양한 식생을 나타낸다.

인도의 동부 해안(벵갈만 서부 해역)은 대부분 사니질 해빈으로 해조류 식생이 빈약하나, 북동부 갠지스강 유역의 Sundarban 해역은 해조류식생이 풍부하다. 또한 남동부 지방인 Mandapam에서 Kanyakumari 사이의 Tamil Nadu 해역은 스리랑카 섬이 외해의 파도 에너지를 막아주어 연안에 많은 암반 지대가 산재해 있으며, 대규모 산호초도 발달해 있어 해조류 식생이 매우 풍부하다 (그림 4).



그림 4. 인도 해안의 주요 해조류 식생 지역(Venkataraman and Wafar 2005)

한편 인도의 서부 해안은 동부 해안에 비하여 해안선이 굴곡이 많으며, 파도의 영향이 적어 북서부의 Surat Bay, Mumbai, Goa 및 Varkala 등 연안에 천해성 해조군락(seaweed bed)이

발달하여 있다.

나. 해조류 분포

인도해역에 분포하는 저서 해조류는 207속 899종으로 보고되고 있지만(Kaliaperrumal and Kalimuthu 2004)는 본 연구사업 중 수집한 문헌자료(CMRI 1987, Silva et. al. 1996, Krishnamurthy 1999, Oza and Zaisi 2001, Sahoo et. al. 2001, Wafar 2011, Manisseri et al. 2012)를 통하여 인도해역에 분포하는 것으로 확인된 저서해조류는 213속 710종이었다. 조사된 문헌자료에 비하여 출현종수가 적었던 것은 Kaliaperrumal and Kalimuthu (2004) 및 Silva et. al. (1996) 등의 선행연구에서 종의 범주로 인정한 아종(subspecies)을 본 연구에서는 인정하지 않았기 때문이며, 출현 속수가 증가한 것은 검색된 해조류의 분류체계를 우리나라에서 통용되는 해조류의 분류체계(이와 강 1986, 이 2006)에 맞추었기 때문이다. 분류군별로는 녹조류 41속 196종, 갈조류 39속 156종, 홍조류 133속 358종이었다 (표 1).

표 1. 인도해역에 분포하는 저서해조류의 분류군별 현황

Taxon	Order	Family	Genus	Species	Korean
Chlorophyta	9	19	41	196	29
Phaeophyta	7	13	39	156	23
Rothophyta	18	38	133	358	73
Total	34	70	213	710	125

녹조류는 41속 196종이 검색되었다. 가장 우세한 분류군은 대마디말과(Cladophoraceae)과로 Cladophora 속 25종 및 Chaetomorpha 속 12종이 출현하였으며, 그 다음은 갈파래과(Ulvaceae) Ulva 속 14종 및 Enteromorpha 속 10종, 옥덩굴과(Caulerpaceae) Caulerpha 속 22종의 순으로 대부분 키가 낮은 세사형 입상체를 가지고 있거나 입상체가 기질에 평행하여 자라는 종들이다.

갈조류는 39종 156종이 검색되었다. 가장 우세한 분류군은 모자반과(Sagassaceae)의 Sargassum 속이 49종으로 전체 갈조류의 31%를 차지하였으며, 그 다음은 디크티오타과(Dictyotaceae)의 Dictyota 속 및 Padina 속이 각각 14종 및 10종 출현하였다. Sargassum 속 해조류는 부착형 및 부유형 생활이 모두 가능한 해조류이며, 티크티오타과 해조류는 엽상체가 낮고 두터우며 부착기(holdfast)가 튼튼한 종류들이다.

홍조류는 133속 358종이 검색되었다. 가장 우세한 분류군은 빨간검둥이과(Rhodomelaceae)로 Laurencia 속 및 Polysiphonia 속이 각각 22종 및 15종이 출현하였다. 그 다음은 꼬시래기과(Gracilariaceae)의 Gracilaria 속 24종, 붉은숨과(Acrochaetiaceae)의 Acrochartium 속 17종 및 비단풀과(Ceramiceae) Ceramium 속 15종의 순이었다.

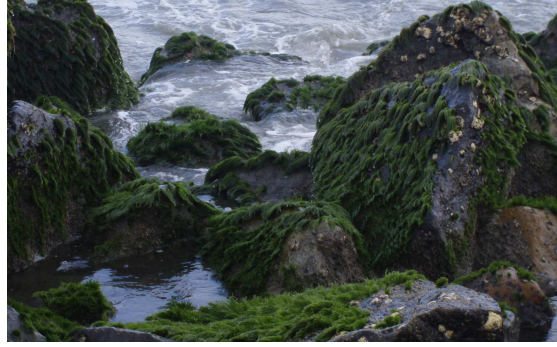
(3) 인도해역의 해양생물 조사 및 채집 결과

가. Maduras 해역

전술한 바와 같이 Maduras 해역은 벵갈만에 열려 있어 외해의 파도가 그대로 해안까지 도달하는 곳이다. 따라서 대부분의 해안은 경사가 급한 해빈으로 구성되어 있으며, 해조류의 식생이 빈약한 지역이다. 그러나 해안가에 드물게 분포하는 소규모 암반과 어항의 방파제 주변에는 세장형 파래류 등 천해성 해조류가 비교적 풍부하게 자라고 있다 (그림 5).



해빈 해안



암반지역의 해조군락

그림 5. 인도 Madras 해역의 특성.

Madras 해역에서는 9속 12종이 채집되었다 (표 2). *Enteromorpha* spp., *Ulva lactuca*, *Cladopora* spp., *Dictyota* sp. 등 세장형 엽상체를 가지거나 체형이 낮고 부착 기질에 엽상체 전체를 부착하여 강한 조류의 흐름에 견딜 수 있는 해조류들이 주로 채집되었다(그림 6). 이 중 *Enteromorpha linza*와 *Ulva lactuca*는 우리나라에도 분포하는 종들이다.

대형 해조류에 속하는 갈조류의 식생은 발견하지 못하였으며 다만, 조간대 하부 또는 조하대에서 서식하다 파도로 인하여 기질에서 탈락한 것으로 생각되는 *Laminaria* 속 1종과 *Sagarssum* 1종의 조각이 채집되었다.

표 2. 인도 Madras 및 Rameshwaram 해역의 해조류 채집현황

Taxa	Madras	Rameshwaram	Korea	Remark
CHLOROPHYTA				
<i>Ulothrix flacca</i>		○		그림 9-4
<i>Enteromorpha linza</i>	○		○	
<i>Enteromorpha</i> sp. 1		○		
<i>Enteromorpha</i> sp. 2		○		
<i>Ulva lactuca</i>	○		○	
<i>Chaetomorpha antennina</i>		○		그림 9-1
<i>Cladopora</i> sp. 1	○			
<i>Cladopora</i> sp. 2	○			
<i>Bryopsis</i> sp.		○		
<i>Caulepa racemosa</i>		○		그림 9-5
<i>Caulepa sertularioides</i>		○		그림 9-6
PHAEOPHYTA				

<i>Ectocarpus sp.</i>	○			
<i>Dictyota divaricata</i>	○	○		그림 10-4
<i>Dictyota sp.</i>	○			
<i>Padina tetrastromatica</i>	○	○		그림 10-1
<i>Spatoglossum asperum</i>		○		그림 10-6
<i>Turbinaria cnooides</i>		○		그림 10-2
<i>Zonaria sp.</i>		○		
<i>Laminaria sp.</i>	○			
<i>Sagassum muticum</i>		○		그림 10-7
<i>Sargassum polycystum</i>		○		
<i>Sargassum sp. 1</i>	○	○		
<i>Sargassum sp. 2</i>		○		
RHODOPHYTA				
<i>Gelidiella acerosa</i>		○		그림 11-3
<i>Amphiroa fragilissima</i>		○		그림 11-1
<i>Kappaphycus alvarezii</i>	○	○		그림 11-2
<i>Acrosorium sp.</i>	○			



Enteromorpha sp.



Ulva lactuca



Cladopora sp.



Dictyota sp.

그림 6. 인도 Madras 해역에서 채집된 세장형 해조류.

해산무척추동물의 경우 *Alcyoniidae*의 16종이 채집되었다 (표 3, 그림 7).

표 3. 인도산 해산무척추동물 표본 세부내역

번호	분류	채집일시	채집 장소	위치	수 심	좌표
IND-1	<i>Alcyoniidae-1</i>	12-7-18	St. 1	102	net	13°08'02.94"N 80°17'54.57"E
IND-2	<i>Melithaeidae-1</i>	12-7-18	St. 1	102	net	13°08'02.94"N 80°17'54.57"E
IND-3	<i>Halichondria-1</i>	12-7-19	St. 2	100	1m	12°46'56.44"N 80°14'59.75"E
IND-4	<i>Callyspongia-?</i>	12-7-19	St. 2	100	1m	12°46'56.44"N 80°14'59.75"E
IND-5	<i>Haplosclerida-1</i>	12-7-19	St. 2	100	1m	12°46'56.44"N 80°14'59.75"E
IND-6	<i>Halichondria-2</i>	12-7-19	St. 2	100	1m	12°46'56.44"N 80°14'59.75"E
IND-7	<i>Halichondriidae-1</i>	12-7-19	St. 2	100	1m	12°46'56.44"N 80°14'59.75"E
IND-8	<i>Halichondria-3</i>	12-7-19	St. 2	100	1m	12°46'56.44"N 80°14'59.75"E

IND-9	<i>Tropiometridae</i>	12-7-19	St. 2	100	1m	12°46'56.44"N 80°14'59.75"E
IND-10	<i>Melithaeidae-2</i>	12-7-18	St. 2	100	net	12°46'56.44"N 80°14'59.75"E
IND-11	Gorgonian /bryozoa	12-7-18	St. 2	100	net	12°46'56.44"N 80°14'59.75"E
IND-12	<i>Melithaeidae-3</i>	12-7-18	St. 2	100	net	12°46'56.44"N 80°14'59.75"E
IND-13	<i>Melithaeidae-4</i>	12-7-18	St. 2	100	net	12°46'56.44"N 80°14'59.75"E
IND-14	<i>Alcyoniidae-2</i>	12-7-18	St. 2	100	net	12°46'56.44"N 80°14'59.75"E
IND-15	<i>Alcyoniidae-3</i>	12-7-18	St. 2	100	net	12°46'56.44"N 80°14'59.75"E
IND-16	<i>Melithaeidae-5</i>	12-7-18	St. 2	100	net	12°46'56.44"N 80°14'59.75"E
IND-17	Gorgonian	12-7-18	St. 2	100	net	12°46'56.44"N 80°14'59.75"E
IND-99	<i>Perna</i> sp.	12-7-19	St. 1	102	1m	13°08'02.94"N 80°17'54.57"E

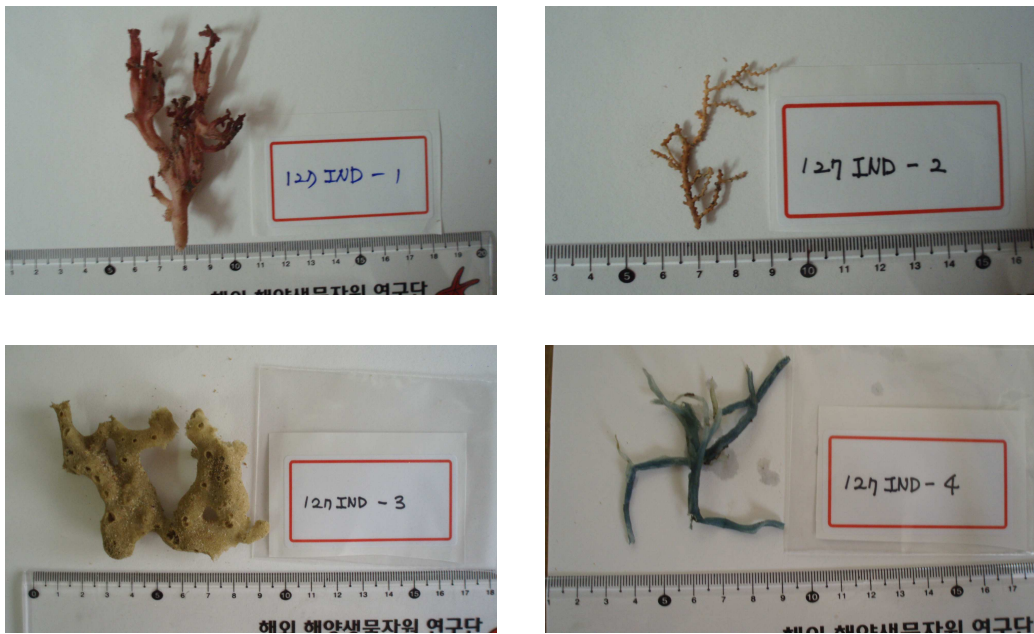


그림 7. 인도산 해산무척추동물 기준 표본

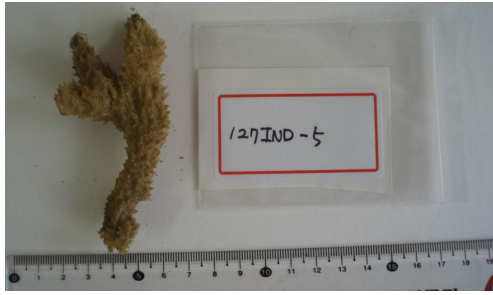


그림 7. 인도산 해산무척추동물 기준 표본 (계속)

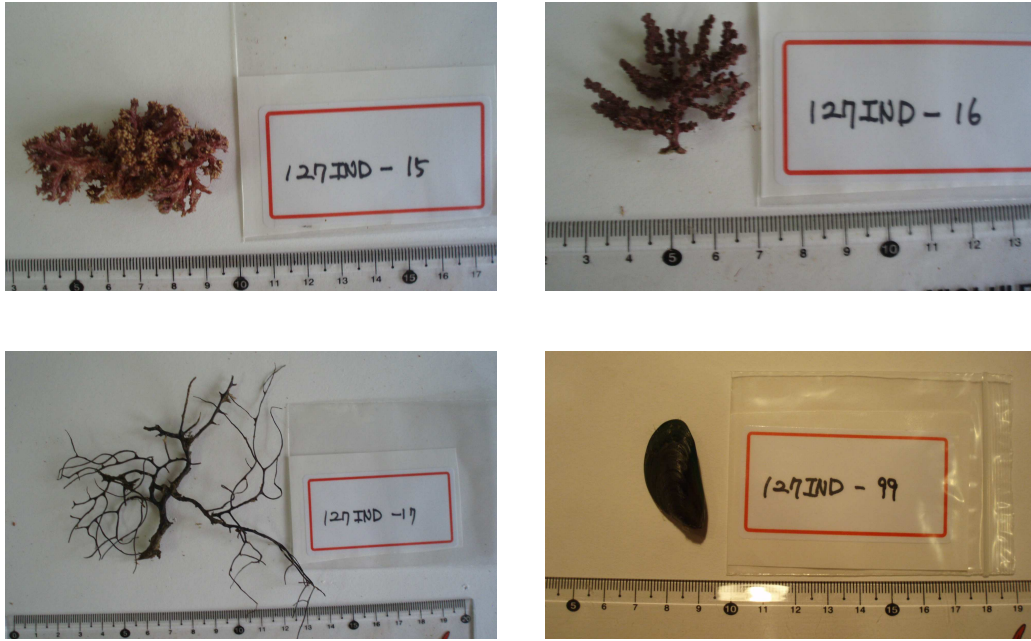


그림 7. 인도산 해산무척추동물 기준 표품 (계속)

나. Rameshwaram 해역

Rameshwaram 지역은 인도대륙에 근접하여 발달한 사구로 이루어진 섬이다. 남쪽에 위치한 스리랑카 섬이 외해에서 밀려오는 파도를 막아주고 있어 해안은 완만한 경사를 이루는 해변으로 구성되어 있으며 조간대의 폭이 넓다. 호를 그리며 돌출된 지역과 스리랑카 쪽으로 길게 뻗은 반도지역의 해안에는 염생식물 군락이 발달해 있다 (그림 8).



해빈 해안

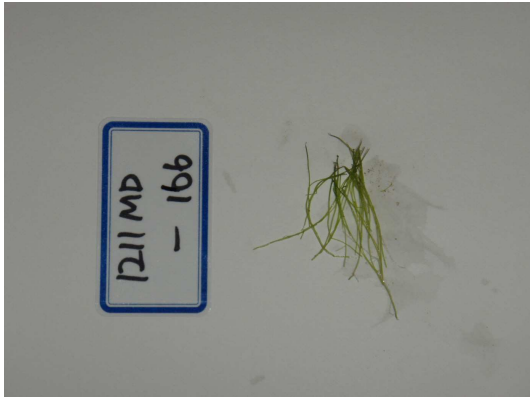


상조대 염생식물 *Suaeda* sp. 군락

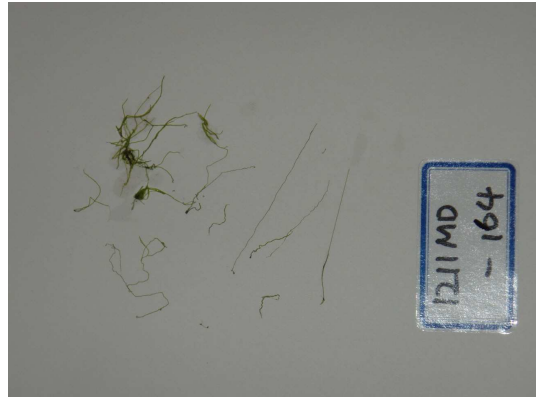
그림 8. 인도 Rameshwaram 해역의 특성

Rameshwaram 해역에서는 15속 19종이 채집되었다 (표 2). Madras 해역에 많이 출현하였던 *Enteromorpha linza*와 *Ulva lactuca* 등은 채집되지 않았으며, 솜털몽치 처럼 아주 가는 세사형 엽상체를 갖는 *Chatomorpha antennina*, *Enteromorpha* spp., *Bryopsis* sp. *Ulothrix flacca* 등

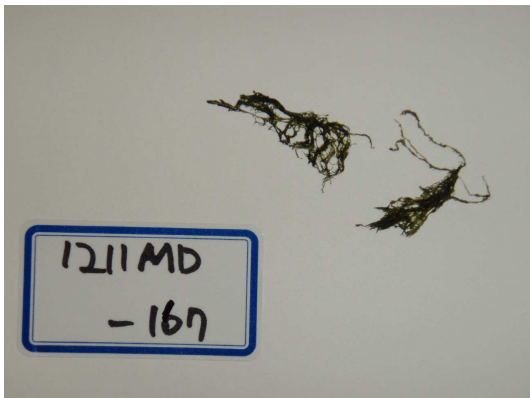
과 부유성인 Caule 의 녹조류가 채집되었다(그림 9). 갈조류로는 *Padina tetrastrumatica*, *Turbinaria cnoides*, *Zonaria* sp. *Dictyota divaricata*, *Spatoglossum asperum* 및 *Sargassum muticum*을 비롯한 모자반류가 4종 채집되었다 (그림 10). 홍조류로는 *Amphiroa fragilissima*, *Kappaphycus alvarezii* 및 *Gelidiella acerosa*가 채집되었다(그림 11-1, 2, 3). 상조대 염생식물 군락에서는 *Halodule uninervis*, *Cymodocea serrulata*, *Syringodium isoetifolium*, 및 *Suaeda* sp. 4종의 현화식물이 채집되었다 (그림 11-4, 5, 6).



1. *Chaetomorpha antennina*.



2. *Enteromorpha* sp.



3. *Bryopsis* sp.



4. *Ulothrix flacca*.



5. *Caulerpa racemosa*.



6. *Caulerpa sertularioides*.

그림 9. 인도 Rameshwaram 해역에서 출현한 녹조류



1. *Padina tetrastromatica*.



2. *Turbinaria cnoides*.



3. *Zonaria* sp.



4. *Dictyota divaricata*.

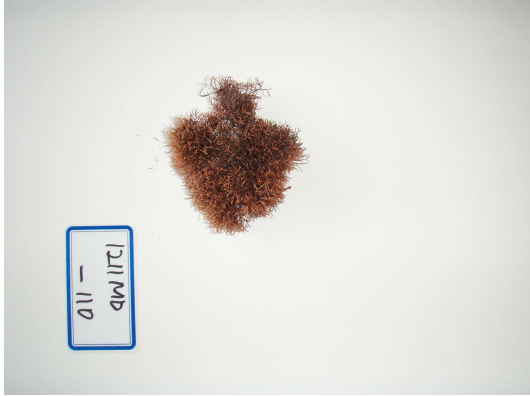


6. *Spatoglossum asperum*.



7. *Sargassum muticum*.

그림 10. 인도 Rameshwaram 해역에서 출현한 갈조류



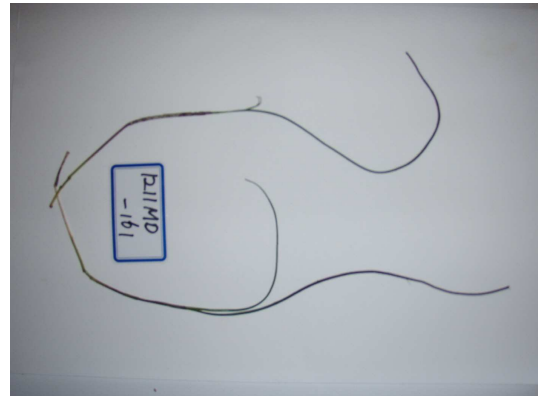
1. *Amphiroa fragilissima*.



2. *Kappaphycus alvarezii*.



3. *Gelidiella acerosa*.



4. *Halodule unirvis*.



5. *Cymodocea serrulata*.



6. *Halodule uninervis*.

그림 11. 인도 Rameshwaram 해역에서 출현한 홍조류 및 염생식물

다. 인도 생물자원의 지속적인 확보 및 공동연구를 위한 University of Madras 방문 및 공동

연구 협의 (1차 현장 조사 및 채집 (2012년 7월, 당시))

- 참석자 : Prof N. Munuswamy (Director, Center for Ocean and Coastal Studies), Prof. N. Godhantaraman (Deputy Director, Depart of Zoology), Prof. V. D. Swaminathan (Director, Center for International Relation), Dr. Soon Kil Yi (KIOST), Dr. V. Maran (KIOST)
- 주요 협의 내용
 - University of Madras (UOM)는 KIOST의 공동 연구제의를 수락, 빠른 시간 내에 공동 연구사업을 시작할 수 있도록 조치할 예정.
 - UOM는 연구사업을 위한 MOU 시안을 KIOST에 제출하고, KIOST는 이를 검토하여 최종안을 수립
 - MOU 체결은 KIOST와 UOM 양기관의 국제협력 조직을 통해 서면 혹은 소정의 체결식을 통하여 서명 후 교환
 - 공동연구사업은 UOM가 해양생물 표본의 국외(KIOST) 반출을 위한 National Biodiversity Authorization (NBA) 허가를 얻는 것을 전제함.
- 현재 UOM에서 MOU 시안 작성 및 내부 결재 중이며, 일정 규모 이상의 생물 채집을 위한 NBA 허가 진행 중 (그림 12)

라. 결론

2012년 7월 및 11월에 걸친 2회의 현지 조사에서 채집된 해조류는 모두 23종이었으며, 염생 식물(현화식물) 4종이 채집되었다. 인도 해역에서 검색된 저서 해조류 중 우리나라에도 분포하는 광온성(eyrythermal) 종은 총 125종으로 녹조류 29종, 갈조류 23종 및 홍조류 73종으로 집계되고 있는데, 이중 이번 조사에서 채집된 해조류는 *Enteromorpha linza*와 *Ulva lactuca* 두 종뿐이었다.

인도의 National Biodiversity Authority (NBA)의 행정법규에 따라 인도 국외로의 해양생물 반출은 인도 과학자가 직접 관여하는 공동연구에 한하여 해양생물 채집 허가를 받은 후에야 가능하다. 비록 연구사업에 인도과학자가 포함되어 있더라도 NBA의 허가가 없을 경우 교재 작성을 위한 건조표본과 냉동 또는 염장된 소량의 해조류 표본만 국외 반출이 가능하다. 따라서 벵갈만이 포함되는 인도양에서의 해양생물자원 확보를 위한 인도산 해양생물 자원의 국내 반입은 많은 제약이 따르고 있다. 따라서 공동연구실 형태의 전진기지를 설치하여 채집된 해양생물자원을 전처리하여 농축추출물을 국내에 반입하는 방법도 강구할 필요가 있다.



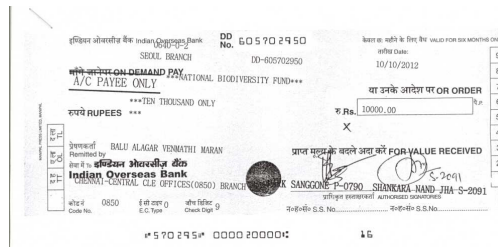
동물학과 부학장 Prof. N. Godhantaraman 면담



국제협력국장실에서 공동연구협의



기념촬영



NBA 허가 추진 관련서류

그림 12. University of Madras와의 MOU 추진

(4) 인도 서식 해양생물 추출물 이차대사산물 분석

확보된 모든 해산무척추동물 및 해조류에 대해 추출물을 제조하였고, 각각의 추출물의 수소 핵자기공명스펙트럼을 분석, 추출물의 화학조성 및 연구개발 가능성에 대한 일차적인 분석을 수행하였다 (그림 13). 해조류의 경우 추출물을 구성하고 있는 이차대사산물의 다양성이 다소 낮은 것이 확인이 되었으며, 저생성무척추동물의 경우 추출물의 화학적 구성이 흥미로운 종이 2종 (*Haplosclerida* sp., *Tropiometridae* sp.) 확인 되었다 (그림 14).

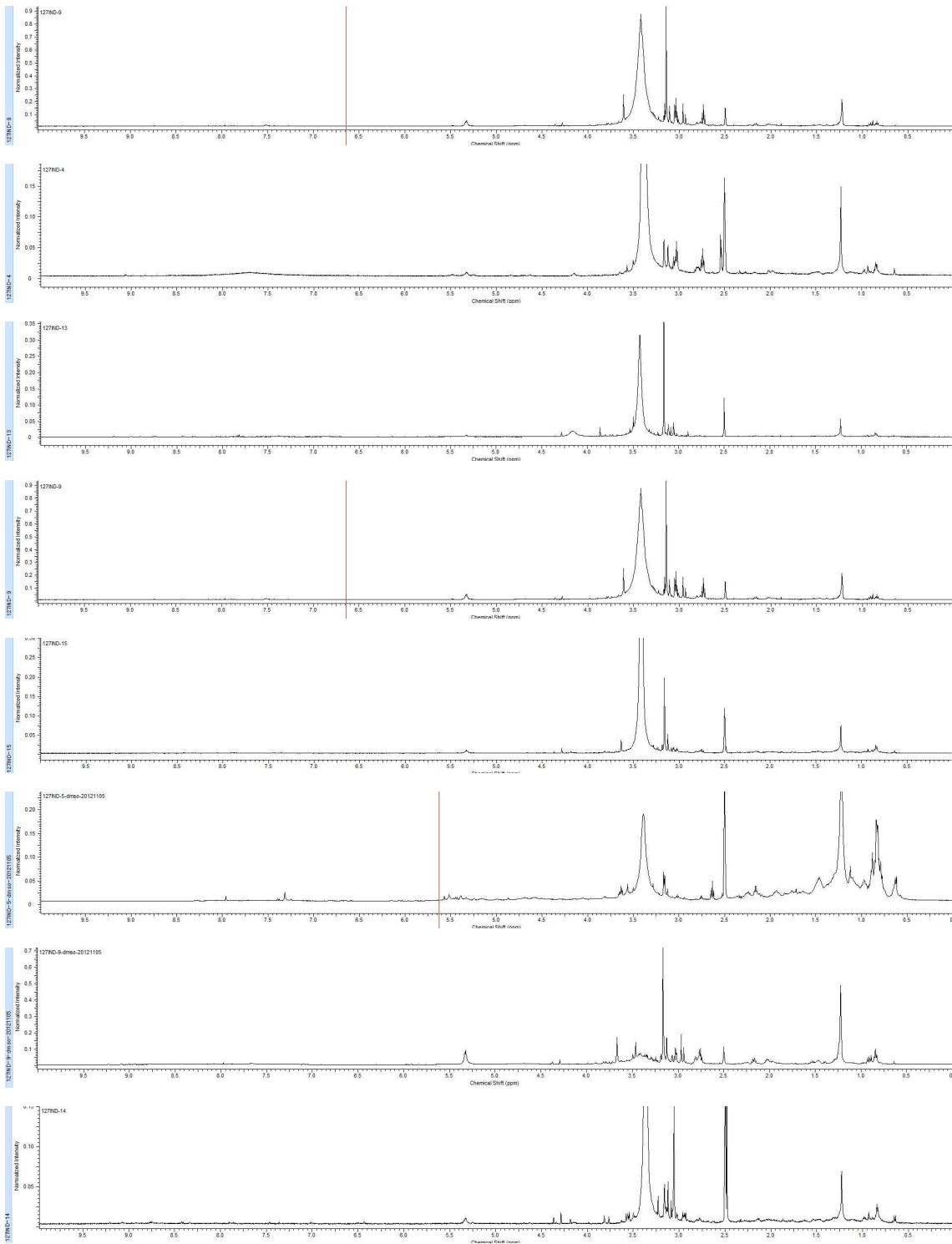


그림 13. 추출물 NMR (핵자기공명) 분석

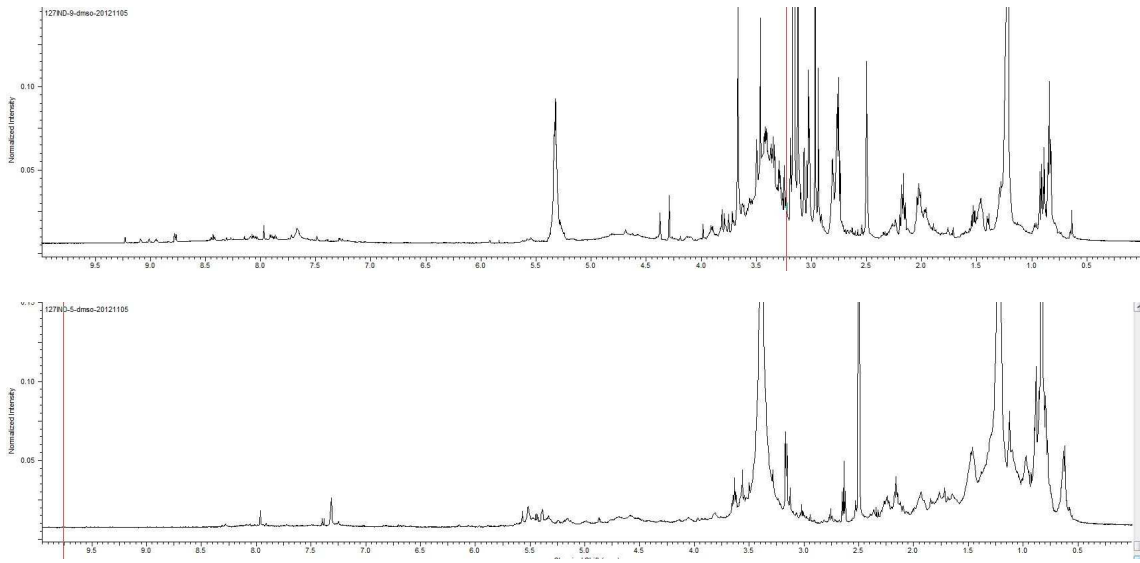


그림 14. Haplosclerida sp.와 Tropiometridae sp. 추출물 NMR

제 4 장. 향후 추진계획

- University of Madras와의 MOU 완료 및 National Biodiversity Authorization의 허가획득을 통한 공식적인 생물시료 확보 및 반입체계 확립
- NMR (핵자기공명) 스펙트럼 활용의 채집생물 추출물 화학분석을 통해 유용화합물 발굴 가능성이 있는 생물/추출물 선정
 - 추출물의 NMR 스펙트럼 분석
 - 추출물의 LC/MS 분석
- 선정된 생물/추출물 (기선정된 *Haplosclerida* sp. 및 *Tropiometridae* sp. 포함) 활용, 이차대사화합물의 분리, 정제 및 생물학적 기능 검정을 통한 생리활성 천연물 발굴
 - 추출물로부터 단일 화합물 분리 정제 및 구조규명
 - 추출물 및 정제 단일 화합물의 생물학적 기능 (항암, 항균 등) 검정

제 5 장. 참고문헌

- 강제원. 1968. 한국동식물도감. 8. 해조류. 문교부.
- 이인규. 2006. 한국의 조류. 아카데미서적. 342pp.
- 이인규, 강제원. 1986. 한국산 해조류의 목록. 한국조류학회지, 1: 311-325.
- 이필용 · 강서영. 2001. 한국산 해조류의 목록. 제주대학교. 제주 662pp.
- Manisseri, M. K., Antony G. and Rao G. S. 2012. Common Seaweeds and Seagrasses of India. Herbarium, Vol. 1. Central Marine Fisheries Research Institute, e-book, ISBN 978-81-923271-4-3. 47pp.
- Manisseri, M. K., Antony G. and Rao G. S. 2012. Common Seaweeds and Seagrasses of India. Herbarium, Vol. II. Central Marine Fisheries Research Institute, e-book, ISBN 978-81-923271-4-3. 47pp.
- Silva P. C., Basson P. W. and Moe R. L. 1996. Catalogue of the benthic marine algae of the Indian Ocean. University of California Publications in Botany. Vol. 79. Berkley. 1259pp. Online resources: available at <http://ucjeps.berkeley.edu>
- CMRI. 1987. Seaweed research and Utilization in India. Central Marine Fisheries Research Institute, Bull. 41. Cochin. 128pp
- Richmond. M. D. 2001. The Marine biodiversity of the western Indian Ocean and its biogeography: How much do we know? In Richmond M. D., J. Francis ed.s Marine Science development in Tanzania and eastern Africa. Proc. 20th Anniv. Conf. Advances in Marine Science in Tanzania (IMS/WIOMSA). 241-261.
- Schils, T., E. Coppejans, H. Verbruggen, O. D. Clerck and F. Leliaert. 2004. The marine flora of Rodrigues (Republic of Mauritius, Indian Ocean): an island with low habitat diversity or one in the process of colonization? J. Matural Histpry, 38: 3059-3079.
- Wafar, M., K. Venkataraman, B. Ingole, S. A. Khan and P. LokaBharathi. 2011. State of knowledge of coastal and marine biodiveristy of Indian Ocean countries. Available at <http://www.plosone.org>
- Schils, T. and E. Coppejans. 2003. Spatial variation in subtidal plant communities around the Socotra Archipelago and their biogeographic affinities within the Indian Ocean. Mar. Ecol. Prog. Ser., 251: 103-114

주 의

1. 이 보고서는 한국과학기술연구원에서 시행한 기관고유사업 위탁 연구보고서입니다.
2. 이 보고서 내용을 발표할 때에는 반드시 한국과학기술연구원의 기관고유사업 위탁 연구 결과임을 밝혀야 합니다.
3. 국가과학기술 기밀유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 아니됩니다.