

해양 바이오산업

임 번 삼

한국과학기술정보연구원 전문위원

I. 개요

해양 바이오산업은 해양생물의 시스템, 구성성분, 과정, 기능 등을 규명하여 유용한 물질과 서비스를 제공하는 산업을 총칭한다. 이는 해양학, 수산학, 생물학, 유전체학, 단백질체학, 생물정보학을 이용하여 기반기술인 해양생물의 보전, 이용과 해양생물 기능의 조절은 물론 식량과 에너지 획득, 유용물질의 생산 등에 대하여 탐구하는 산업이다. 매년 지구상에서 생산되는 2,000억 톤의 광합성량의 90%가 해양에서 이루어지므로, 바다의 중요성은 매우 크다 할 수 있다. Costana(1997) 등은 생물 중의 80%가 서식하는 해양 생태계의 총 가치는 26조\$이며, 식량과 에너지를 포함한 해양자원의 가치는 1조\$를 상회할 것으로 추정하고 있다. 해양 바이오산업의 세계시장은 연간 30억\$ 수준이지만, 매년 수배씩 증가하고 있다. 해양소재에서 제품화 성공률은 1/6,000로, 육상생물소재의 1/3,000보다 두 배나 높으므로 연구의 효율성이 높음을 알 수 있다. 기능성 고분자물질, 수술

용 접착제, 바이오 색소, 오존 방지제, 심층수, 건강음료(아르긴산, 후코이단) 등이 이미 상품화되어 있고, 신 기능성 미생물과 효소에 대한 탐색도 활발히 추진되고 있다. 신규물질로는 항생제(istamycin, aplasmomycin), 소염제(manoalide), 제조제(cytokinin) 등이 상용화되었고, 항암물질(KRN 7000, dolastatin 10, LU-103793, bryostatin, didemnin B, ectainascidin, squalamine), 염증 및 피부치료제(IPL-567, methopterosin), 진통제(CNX-111) 등이 임상 I-III단계에 와 있다.

II. 조류 산업(Algae Industry)

해양 바이오산업 중 가장 규모가 큰 분야가 조류 산업이다. 조류는 대형(macroalgae)인 녹조류, 홍조류, 갈조류, 미세조류(microalgae)인 클로렐라, 스피루리나 등으로 구성되어 있다. 양적으로는 식물성 플랑크톤이라는 별칭이 붙은 미세조류가 조류의 대부분을 차지한다. 조류는 단백질자원일 뿐

아니라 다양한 무기물, 비타민, 식이섬유, 클로로필, 생리활성물질 등이 풍부한 영양의 보고이다. 대형조류의 전 세계적인 산업규모는 연간 10조 \$에 이른다. 미세조류는 건강식품의 소재로 큰 각광을 받고 있다. 뿐만 아니라 미세조류를 이용하여 다당류, 올리고당, 레반, 후고이단 등을 포함한 다양한 생리활성물질들이 생산되고 있다.

- 1) 다시마(500만 톤), 미역(75만 톤), 김(55만 톤) 등은 매년 700여만 톤이 생산되며, 다시마는 아르긴산 추출용으로, 미역, 김, 파래는 식용으로 이용된다.
- 2) 흡수성이 커서 현탁제, 유화제, 점증제, 코팅제 등으로 이용하는 아르긴산의 생산량은 연간 35,000톤으로, 섬유(50%)·식품(30%)·제지(6%)·의약(5%) 산업에 이용된다.
- 3) 홍조류인 우뚝가사리(Gelidium amansil)에서 추출하는 한천(agar)은 미생물용 배지와 전기영동용 시약 및 샴푸, 크림, 화장수 등에 주로 사용된다. 한편 한천의 수출가격은 300 \$/kg이며, 아가로스는 40,000 \$/kg이므로, 한천 정제공정의 중요성을 알 수 있다.
- 4) 다른 홍조류에서 추출하는 카라기난은 유화제, 팽윤제, 증점제, 결착제, 식이섬유, 소취제, 결정 방지제 등으로 이용한다. 그리고 규조류에서 만든 규조토는 정수기용 필터, 음향기 스피커, 살충제, 방부제, 에나멜 광택제 등으로 사용한다. 이 밖에도, 해조류는 항균제, 항암제, 보디 클렌저, 킬레이트제 등으로 용도가 매우 넓다.

III. 연구 동향

각국은 자원의 보고인 해양을 개발하여 고갈에 직면한 에너지, 식량, 기능성 물질을 얻고자 막대한 자금을 투자하고 있다(표 1).

표 1. 주요 나라별 해양 바이오 산업 개발 동향

국명	개발 동향
미국	<ul style="list-style-type: none"> * 케네디 정부부터 해양 10개년 계획 추진 (1966) * 4대 BT과제(해양, 생명공학, 농업, 환경, 생산공정)로 선정하여 지원 * NOAA Program 수행(National Sea Grant College Program) * NSF, 하와이대학에 MarBEC을 설립하여 유용물질 생산 추진 * 현재, 100여 개 해양 바이오벤처가 활동 중 * 실적 : 해양에서 200여 건의 신약물질 특허화 * 국가예산 1억3천만\$(1999) 투자 : NIH 1억\$, NSF 1천2백만\$, NOAA 1천만\$, ONR 560만\$, DOI 2백만\$ 등
일본	<ul style="list-style-type: none"> * 海洋生命工學研究所(Marine Biotech Inc : MBI) : 연구 주도(연간 15.8억 엔) * 海洋科學技術센터(JAMSTEC) : 심해 프런티어연구(10년간 500억 엔 투자)
유럽	<ul style="list-style-type: none"> * EU : 유럽 해양 바이오 산업 활성화 계획 작성 * 프랑스 : 해양연구소(FREMER) 주도로 심해 생태계 조사 및 심해 열수 미생물의 분리와 유용물질 발효, 생산(효소류, 다당류, 생리활성물질 등) * 네덜란드 : 산학연 협력연구기관인 STT에서 OFSEMO Project (2001-2003) 추진 북해 델타지역에 Aqua-Production Park 조성(식사료, 에너지, 고부가물질의 생산 및 이산화탄소 재이용 연구)
호주	<ul style="list-style-type: none"> * 동남아 국가들과 연합으로 다양한 기능성 물질 연구 생산 * CSIRO, AIMS, New South Wales Univ. 등이 연구 주도
중국	<ul style="list-style-type: none"> * 8.9차 5個年計劃(1991~2001) : 해양생물에서 신물질 개발, 양식기술, 해양 생태계 보호기술, 적조방지 연구 * 海洋發展 863프로그램 및 海洋生物工學 819프로그램 : 해양생물의 양식과 육종, 내연성 식물 개발, 의약품 생리활성물질 개발 중

가장 앞선 미국의 경우 National Sea Grant College Law(1996)를 제정하여 해양대기청(National Oceanic & Atmospheric Administration: NOAA)의 주도로 300개 연구기관이 참여한 30개 프로그램을 운영하고 있는데, 7년간(1995~2002) 8,600만 \$를 투자하였다. NOAA의 중점 투자 분야는 수산과 양식(3,000만 \$), 천연물질 개발(2,600만 \$), 수질오염 방지대책(1150만 \$) 등이다. 최근에는 해양환경공학에 연구를 집중하고 있다.

동아시아에서는 전통적으로 대형조류를 양식하여 다시마, 김, 미역, 툇 등을 식용으로 이용해 왔다. 그러나 최근 다시마는 아르긴산원료로 홍조류는 카라기난원료로 추출하는 방향으로 나가고 있다.

- 1) 일본에서는 녹조류를 이용하여 2010년까지 화력발전소에서 배출하는 이산화탄소를 에너지로 이용하는 방안과 갈조류(Macrocyctis)가 방출하는 메탄가스를 에너지화하는 연구가 진행되고 있다. 미세조류를 이용한 산업용 폐수나 축산 폐수의 정화실험도 성공적으로 진행 중이다.
- 2) 갈조류에서 추출한 아르긴산 및 유황 함유 후코이단(fucoidan) 음료가 이미 상품화되어 있다. 후코이단의 제조법은 다음과 같다(그림 1).

갈조류 분말
*Washing(80% Et-OH)
*열수추출+Alginate Lyase
상징액
*원심분리+한외여과→고분자분획 채취
*Acid Treatment(5℃)
상징액
*중화후 한외여과
고분자 분획
*동결건조
FUCOIDAN

그림 1. 후코이단의 제조과정

- 3) 매년 이상기온으로 발생하는 적조(赤潮 red tide)를 같은 해역에 기생하는 바이러스나 미생물을 이용하여 살조(殺藻)하는 연구가 성공리에 진행 중이다. 이미 *Vibrio alginifestus*, *Cytophaga*, *Sprospira*, *Flavobacterium*, *Pseudomonas*, *Alcaligens*, *Acinetobacter* 등의 세균과 HaV 바이러스가 효과적임을 확인했고, 살조의 기작도 해명되었으며, 지금은 환경평가단계에 와 있다.
- 4) 중국에서는 해양개발 863 프로그램과 해양생물공학 819 프로그램으로 해양 바이오연구에 박차를 가하고 있다. 다시마양식이 매우 활발하며, 적조에 대한 연구도 괄목할 만하다.
- 5) 우리나라는 삼면이 바다임에도 불구하고, 아직 초보단계에 머물고 있다. 정부정책은 해운항만과 수산 분야에 치우친 취약 구조를 가지고 있다. 매년 생산하는 수산물의 10%를 점유하는 해조류는 대부분 생체로 이용하고 있다. 따라서 유효성분을 가공, 추출하여 고부가물질을 생산하는 체계로 전환할 필요가 있다.

유럽에서는 115속 395종의 조류를 식용(43%), 공업용(42.8%), 의약품(7.7%) 및 사료용(6.5%)으로 이용한다. 주요 품목은 콜로이드 분야는 agar, alginate, carrageenan 등이, 생물활성물질 분야는 카로티노이드, 화장품, 액체비료 등이, 식·사료 분야는 식용 및 사료가 생산되고 있다(그림 2, 그림 3, 그림 4).

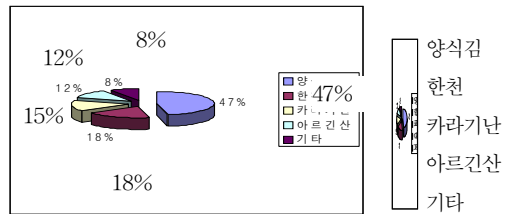


그림 2. 유럽의 조류 산업 구성(콜로이드 분야)

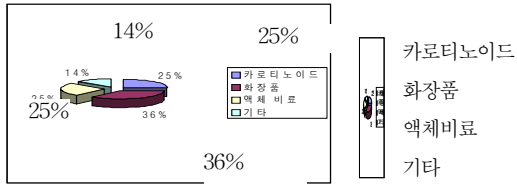


그림 3. 유럽의 조류 산업 구성 (생물활성물질 분야)

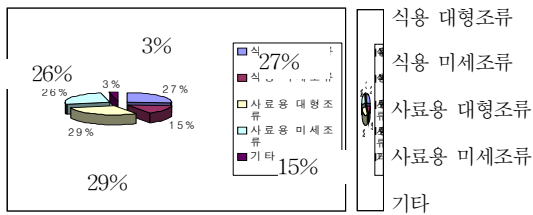


그림 4. 유럽의 조류 산업 구조(식·사료 분야)

북유럽(노르웨이, 프랑스, 덴마크, 독일)에서는 해조류를 오래 전부터 가축용 분말사료로, 미세조류 분말은 새우를 포함한 수산물의 양식에, 석회성 조류와 남조류는 비료원료로 사용해 왔다. 네덜란드에서는 산업체, 연구기관, 학계의 협력체인 Netherlands Study Group Trend(STT)에서 “Ocean Farming-Sustainable Exploitation of Marine Organisms”(OFSEMO 2001-2003) 프로그램을 선정하여 Innovation Network Rural Areas & Agricultural System(INRAAS)과 협력 프로젝트로 추진 중이다. 연구내용은 북해의 델타지역에 Aqua-Production Park를 만들어 식량, 사료, 에너지, 고부가물질 등의 개발과 이산화탄소를 재이용하려는 국가적 프로젝트이다.

IV. 맺는말

바다는 무한한 생물자원의 보고이다. 21세기는 해양 바이오 산업의 시대이다. 구미 제국은 물론 일본과 중국, 호주는 해양 바이오 산업에 많은 투

자를 하고 있다. 취약한 국내 산업을 발전시키기 위해서는 낮은 감은 있으나, 해양수산부, 과학기술부, 산업자원부 등의 관련 부처가 협력체를 구성하여 종합 육성계획을 수립해야 할 시점에 와 있다.

우선 연구과제는 해양환경 보전기술, 해양생물 다양성 확보, 해양생물의 이용기술이라 할 수 있다. 이를 위해서는 과학기술부의 생물 다양성 프로그램에 해양생물 분야를 강화하고, 해양생물 유전자은행을 구축할 필요가 있다.

아울러 매년 발생하는 적조문제와 식량과 에너지의 개발 및 다당류를 포함한 신규 바이오물질의 개발에 관심을 기울여야 한다. 특히 식량자원과 유용물질의 생산수단으로 각광받는 microalgae는 오염물질의 정화능력(bioremediation)을 가지고 있어 환경보호 측면에서도 중요하다. 수요가 급증하는 한천과 카라기난의 공급 부족에 대비한 유전공학적인 균주 개량도 산업 측면에서 관심을 기울일만한 우선 연구과제이다. 또한 전문인력의 양성과 국제 공동연구를 통한 기술장벽의 극복도 해결해야 할 국가적 과제이다. 이를 위해서는 과감한 정책자금의 지원과 해양 바이오벤처의 창업을 적극 유도할 필요가 있다.

V. 참고문헌

1. 김상진 : 해양 바이오 산업 발전에 대한 소고, 생물산업, 15(2), 16-18, 2002.
2. 이유경, 이홍금 : 조류의 산업적 이용, *ibid*, 19-31, 2002.
3. 김상진 : 미국 해양생명공학 연구동향, 미생물과 산업, 28(2), 2002.
4. 酒井 武, 加藤郁之進 : 海藻由來フコイダンとそのオリゴ糖の構造と生物活性, *バイオサイエンスとバイオインダストリー*, 60(6), 377-380, 2002.

5. 加藤純一 外：微生物による赤潮藻類の殺藻,
BIO INDUSTRY, 19(1), 36-43, 2002.
6. E. Luiten et al : Realizing the promises of
marine biotechnology, Biomolecular Engin-
eering, 20(4-6), 429-439, 2003.
7. R. Costanza et al : The value of world
ecosystem services and natural capital,
Nature, 387, 253-260, 1997.

