

해양바이오 산업의 동향 및 전망

변희국¹ · 김세권^{2*}

¹부경대학교 해양바이오프로세스연구단

²부경대학교 화학과

Trend and Prospect of Marine Bioindustry

Hee-Guk Byun¹ and Se-Kwon Kim^{2*}

Marine Bioprocess Research Center, Pukyong National University, Busan 608-737, Korea

Dept. of Chemistry, Pukyong National University, Busan 608-737, Korea

서 론

최근 들어 국가경제의 침체기임에도 불구하고 생활수준의 향상 및 의료기술의 발전과 국민건강증진 및 웰빙산업의 확산으로 건강과 관련된 바이오소재 산업은 국내외적으로 식품, 건강기능성 식품, 화장품, 의약품 등 다양한 분야에서 활발한 연구가 이루어지고 있다. 우리나라의 경우, 오는 2019년에 고령화 사회에 진입하고, 2026년에는 노령인구가 전체 인구의 20%를 넘어서면서 본격적인 초고령 사회에 진입하게 될 것으로 전망하고 있어 노령인구에 대한 사회적 의료비용은 국가차원에서 해결해야 할 중대한 과제로 대두되었다. 따라서 바이오소재 산업은 건강기능성 식품 및 의약품 분야에서 성인병 질환의 예방 및 치료를 위한 소재연구가 이루어지고 있어 많은 발전이 예상되고 있다.

바이오소재 산업에서 건강기능성 식품은 식품의 영양적 기능, 기호적 기능과 더불어 생체조절 기능을 갖는 식품을 말하며, 일상적으로 섭취 가능한 식품으로서 신체방어, 신체리듬 조절 등의 기능이 생체에서 충분히 발현될 수 있도록 설계된 식품이다. 식품이 나타낼 수 있는 생체조절 기능에는 항암, 혈압강하, 콜레스테롤 저하, 혈전저해, 당뇨예방, 노화억제, 알츠하이머성 치매예방 등 다양한 기능이 있어 건강기능성 식품으로서 뿐만 아니라 의학적으로도 주목받고 있으며, 이들 기능을 활용하여 국민의 건강한 삶을 유지할 수 있는 예방의학의 바탕이 되고 있다.

지금까지 천연물로부터 생체에 대한 안전성이 높고 부작용이 적은 건강기능성 소재 또는 의약품들이 다수 개발되어 왔으나 대부분 육상의 동·식물체, 곰팡이와 박테리

아 등의 미생물을 대상으로 이루어져 왔으며, 그 결과 육상생물자원에서의 다양한 신소재/신물질 개발은 그 대상이 점차 줄어들어 한계에 도달하였다. 따라서 최근 선진국을 비롯하여 바다와 인접한 해양 국가들은 바이오소재 개발의 대상을 육상생물자원에서 해양생물자원으로 점차 이전하는 추세에 있다.

해양생물은 육상생물에 비해 서식환경이 전혀 다름에 따라 생리적 대사과정과 성분이 육상생물과는 상이한 점이 많고, 그 구성성분 및 이들이 생산하는 대사산물에는 전혀 새로운 물질이 많을 것으로 기대되고 있다. 특히, 해양생물은 그 종류도 풍부하여 지구상의 전체 동물 중의 약 80%(30만종)가 바다에 서식하고 있는 것으로 알려져 육상생물자원의 대체자원으로 해양생물자원이 주목받고 있다. 이러한 해양생물이 보유한 대사산물은 그 양이 매우 적어 그들의 생리활성 및 구조를 밝히기가 매우 어려웠지만 이들 물질을 인체에 투여하면 강력한 생리활성을 나타내는 물질들이 상당히 많이 존재한다(1-14). 따라서 해양생물은 이제 단순한 식량자원으로써 이용되는 차원을 넘어 막대한 고부가가치의 해양바이오산업으로 선진국들은 오래전부터 많은 투자와 연구를 하고 있으며(15-21), 우리나라에서도 해양바이오산업을 국가 주도의 21세기 첨단 산업으로 육성하기 위하여 해양수산부에서 「마린바이오 21사업」이 2004년부터 10년 동안의 연구개발에 들어갔다.

해양바이오 산업은 고부가가치 산업으로 국민건강 증진 및 국가경제발전에 기여할 것으로 기대되며, 본 고에서는 해양바이오 산업의 개요 및 특성, 국내외 연구개발 동향, 해양바이오산업의 필요성, 해양생물자원 유래의 건강기능성 소재 개발 및 향후의 전망에 대하여 기술하고자 한다.

*Corresponding author. E-mail: sknkim@pknu.ac.kr
Phone: 051-620-6375, Fax: 051-628-8147

해양바이오 산업

해양바이오 산업의 개요

바이오 산업(Bioindustry)은 바이오 기술(Biotechnology)을 바탕으로 생물체의 기능 및 정보를 활용하여 인류가 필요로 하는 유용물질을 생산하는 산업을 총칭하여 말한다. 해양바이오 산업이란 해양생물자원으로부터 그들의 구성성분 및 기능성 물질 등을 연구하여 궁극적으로 인간복지를 위한 상품과 서비스를 제공하는 산업 혹은 학문을 말한다. 이러한 연구를 위해서는 전통적인 학문을 바탕으로 해서 첨단분야인 분자생물학, 면역학, 생화학, 생물공학 등의 다양한 전공분야의 공동 연구를 통해 첨단 지식을 탐구하여야 한다(22). 해양바이오산업을 발전시킬 수 있는 해양바이오 기술은 해양생물자원 탐사기술, 생태계 모니터링 기술 등 해양생물자원 확보 및 해양환경 재현을 위한 해양과학기술과 첨단 생명과학기술 및 정보기술 등이 총 망라되는 종합기술이 요구되고 있다. 해양바이오 기술은 해양천연물이나 해양생물에서 유래된 건강기능성 식품소재, 의약재 혹은 고분자 물질, 화학소재 등의 생산을 위한 원천기술 확보가 용이하여 독점적 물질특허권 확보가 가능하다는 특성이 있다. 따라서 신물질 발견확률과 제품화 비율이 높으며, 신제품의 개발기간 단축이 가능하다(23).

해양바이오 산업의 발전을 통해 우리는 국지적인 오염 혹은 지구규모의 환경문제 해결, 해양생물자원의 생산증대를 통한 식량문제 해결, 해양 신물질을 이용한 질병치료, 해양생체에너지 발굴 등을 통하여 삶의 질을 높일 수 있다. 해양바이오 산업은 이제 성장 초기단계로 진입하고 있는 실정으로 현재까지 많은 기술이 상용화되고 있지는 않다. 그러나 일부 실제적인 개발 예로서 선행 투자국인 선진국은 60, 70년대부터 연구를 시작하여 최근 상품화된 대표적인 의약품으로는 유방암, 난소암에 효과가 있는 Didemnin B, 백혈병에 효과가 있는 Ara-C와 같은 항암제가 8종, 항생제로는 istamycin, aplasmomycin 등과 같은 6종이 알려져 있다. 그 외에 manoalide와 같은 소염제 등이 있으며, 농약으로 cytokinins와 같은 제초제 외 2종의 살충제가 해양미생물, 동식물로부터 개발되어 있다. 신기능 소재로는 수술용 접착제, 기능성 고분자물질, 색소, 오손방지제 등이 상품화되어 있으며(24-35), 심해미생물로부터 찾은 고열, 고압과 같은 극한조건에서도 작용하는 신기능 효소, 고분자물질 등이 산업화되어 우리 생활에 유용한 기능성 소재로 사용되고 있다.

해양바이오 산업의 육성 필요성

우리나라는 삼면이 바다로 둘러싸여 천혜의 조건을 갖추고 있음에도 해양생물자원에 대해서는 인식부족과 해

양오염 등으로 육상생물자원에 비해 관심이 부족하였다. 따라서 종류와 양에서 육상생물자원에 뒤지지 않는 해양생물자원에 대한 지속적 관심과 효율적인 활용을 위한 연구개발이 필요하다.

지금까지 육상 생물자원을 대상으로한 신소재의 창출은 상당한 업적을 이루었으나, 연구 대상이 한계에 다다름에 따라 해양생물자원이 새롭게 주목받고 있으며, 신소재의 잠재력이 풍부하여 미개발 기능성 소재에 대한 집중연구가 필요하다. 또한 농업용지 감소와 육상 식량자원 개발이 한계에 도달함에 따라 미래 식량자원으로서 해양생물자원 개발의 중요성이 부각되고 있다. 해양생물은 풍부한 자원량과 함께 유용 소재의 잠재력이 무궁무진하여 미래 식량자원으로서의 가치가 충분하다. 또한, 해양생물자원의 탐색, 구조 및 기능성 구명 등 신 기능성 물질의 발굴과 기능성 물질을 이용한 건강기능성 식품의 산업화로 활용도를 제고하여야 한다. 해양생물자원유래 유용소재의 개발과 이를 이용한 상품화 등 관련 기술개발이 이루어져야 할 것이다.

해양생물자원은 서식환경과 생태적 특이성 등 생리 기능성 물질의 잠재력이 무궁무진하며, 이를 이용한 건강기능성 식품개발 가능성이 매우 높다. 세계적으로 건강기능성 식품 시장의 급속한 확대와 지속적 성장이 기대되므로 신기능성 물질의 잠재력이 풍부한 해양생물유래 기능성 소재개발이 시급하다. 국내의 연구 및 기술개발 수준이 아직 기술 선진국들에 비해 취약한 면이 많아 관련 분야에의 집중 투자와 연구 및 기술개발 활성화가 요구되고 있다. 국내 기술수준을 선진국 수준으로 끌어올리기 위한 지속적이고 효과적인 정책지원이 필요하며, 입지조건과 연구능력 등에서 충분한 조건을 보유하고 있어 국가적 지원이 있다면 해양기술강국으로 진입할 수 있는 원동력이 될 수 있을 것이다.

국내외 개발동향

국외동향 : 주요 국가별 해양바이오산업의 개발동향에 대한 세부사항은 표 1에 나타난 바와 같다.

미국은 해양바이오산업을 21세기 4대 생명공학분야 중 중요한 한 분야로 선정하여 정부에서 적극적으로 지원하고 있다. 미국국가과학재단(National Science Foundation, NSF)에서 1999년 한해 동안 1,200만달러의 연구비를 해양생명공학에 투자했으며, 미국해양대기관리처(National Oceanic and Atmospheric Administration, NOAA)는 1,000만달러, 미국해군연구소(Office of Naval Research, ONR)는 560만 달러를 해양관련 연구에 투자했다. 이들 기관은 2002~2007년 예산을 매년 1,000만 달러의 증액을 요구한 바 있다(36). NOAA에서는 70년대 초반 이후 Sea Grant College Program 및 Marine Biotechnology Program

표 1. 주요 국가별 해양바이오산업 개발동향(37)

국가	주요 동향
미국	<ul style="list-style-type: none"> ■ 케네디 정부(1966년)부터 해양개발 10개년 계획 등을 통하여 추진 ■ 해양생명공학을 국가 주요 4대 BT 과제(농업, 환경, 생산공정, 해양생명공학)중 하나로 선정하여 집중 지원 ■ NOAA에서 Sea Grant College Program 및 Marine Biotechnology Program 등에 투자 ■ 1998년 NSF에서 1,200만불을 투자하여 설립한 하와이대학 내 MarBEC은 해양미생물로부터 유용물질을 상용화 추진 ■ Venture Business Co., California Biotech.(수산업), Sea Pham. Inc.(신의약품), Hawaii Biotech. Group Inc.(항암, 항바이러스성 물질) 등 100여개의 해양바이오 벤처기업이 활동 ■ 해양생물유래 물질로부터 200여건의 신약특허 보유
일본	<ul style="list-style-type: none"> ■ 해양생명공학연구소(MBI, Marine Biotechnology Institute): 복합생물계 등 활발한 해양생물 자원이용 기술개발 (연구비 15.8억엔) ■ 일본해양과학기술센터(JAMSTEC): 심해미생물 프론티어 연구 (500억엔/10년간 이미 투자)
중국	<ul style="list-style-type: none"> ■ 제 8, 9차 5개년계획 기간(1991~2001): 해양생물에서의 신물질 개발, 양식기술 개발, 해양생태환경 보호기술, 유해 적조 발생 방지, 연근해 해양생태계 역학 및 생물자원의 지속적 이용 ■ 해양발전 863프로그램 및 해양생명공학 819계획: 해양동식물의 양식·육종기술, 내염성 식물개발, 의료용 생체물질 및 생물과정 상품화 등 기술개발
유럽	<ul style="list-style-type: none"> ■ EC: 유럽 해양바이오산업 활성화 계획에 대한 보고서 작성 ■ 프랑스: 특히 프랑스해양연구소(IFREMER)를 중심으로 심해저서생태계의 구조와 기능 및 심해 열수 생태계 미생물의 분리 배양을 통한 다양류, 효소, 생리활성 물질 등의 탐색과 이용에 투자 집중
호주	<ul style="list-style-type: none"> ■ CSIRO, AIMS, New South Wales Univ. 등 연구기관: 자국 및 아세안국가 연안의 해양생물로부터 항암제 등 신의약품과 신기능성 유용소재 생산

등에 50억불 이상을 투자하여 왔으며, NSF에서는 1998년도에 하와이대학, UC-버클리 및 몬산토, 카길, 아쿠아서치 등의 기업체가 공동으로 설립한 MarBEC(Marine Bio-product Engineering Center)에 2,500만 달러, 2000년도에는 LExEN(Life in Extreme Environment) Program에 1,200만 달러 투자하여 해양바이오 산업화와 극한 해양환경 생물연구를 지원하였다.

일본은 전통적으로 해양바이오산업 분야의 선진국가로 최근 전통적인 해양바이오산업 기반에 첨단기술이 접목된 해양바이오기술개발을 꾸준히 추진하고 있으며, 특히 일본해양 과학기술센터(JAMSTEC), 해양생명공학연구소(MBI) 중심으로 단기간의 집중적 연구개발 투자로 현재 해양바이오의 선도국가로 급부상하고 있다. 해양생명공학연구소는 연간 30억엔 규모의 해양생물 자원이용 기술개발 연구를 수행하고 있으며, 일본해양과학기술센터에서는 심해미생물 프론티어사업을 수행 중이며 투자실적은 10년간 500억엔을 상회하고 있다.

1998년 현재 일본의 해양바이오산업 관련 총 연구개발비는 10억불 규모로 연간 16% 이상 증가추세이며, 특히 일본해양과학기술센터를 중심으로 심해생명공학에 집중적인 투자를 통해 이 분야에서 세계 최고의 위치를 차지하고 있다.

중국의 국가 해양바이오산업 중 대표적인 것으로 해양생명공학 863프로그램을 들 수 있다(38). 이 프로그램은 1996년부터 2005년까지 수행하며 예산은 1단계 기간인

1996~2000년 동안 97,500,000RMB(중국화폐단위)를 투자하였고, 2단계 기간인 2001~2005년 동안은 200,000,000RMB를 투자하고 있다. 세계 최다의 인구 국가인 중국은 자국민을 위한 안정적인 먹거리를 확보하는데 프로그램의 목적을 두고 있는데, 주요 연구분야는 육종공학, 질병제어, 생산 및 배양시설 개발, 해양의약품 및 생물제품, 유전체학 및 기능 유전체학, 내염성식물 개발이다. 그 중 의약품 및 생물제품 개발 결과로 현재 310종의 해양 동식물, 6,000종의 해양미생물을 확보하였고, 480종의 유용물질을 분리하여 이로부터 145종의 신규화합물 및 24종의 새로운 구조물질을 보고하고 있다. 이 중 100종 이상이 유용한 항생, 항암작용 생리활성물질이며, 이 중 11건에 대한 특허출원이 진행되고 있으며, 7건이 전임상단계, 4건이 임상 II상 중이다. 해양 동식물, 미생물로부터 항암제, 심혈관계 질환 치료제, 항바이러스제, 면역결핍증 치료제, 신경계질환 치료제 등이다. 상용화 목적으로 진행하는 것 중 팔목할 만한 것은 phakellistatin 13, stellettin A, B를 들 수 있고 그 외에도 해양 조류로부터 발견한 에이즈치료제에 대한 기대가 큰 것으로 알려져 있다. 한편 이와 같은 의약품 및 신소재 개발을 위하여 극한미생물의 DNA 라이브러리 구축 및 유전자 클로닝, 해양생물로부터 의약품 물질과 관련된 cDNA 라이브러리 구축을 진행하고 있다. 해양생물로부터 건강보조식품, 농업용, 산업용, 인체 건강용 생화학제품으로 200여종을 상용화하여 동양의학 종주국으로서의 저력을 과시하고 있다.

유럽연합(EU)의 여러 국가들이 각각 다양한 해양바이오기술 개발을 추진하면서도 EU는 많은 국가들이 참여하는 「Extremophile as Cell Factories Program」 등의 사업을 통해 극한 해양자원 확보 및 이용을 위한 프로그램을 공동으로 추진하고 있다. 또한 기타 국가들 중 호주의 경우에는 해양바이오기술 개발은 AIMS, CSIRO와 같은 국가연구기관 주도로 진행되고 있으며, 천연의 풍부한 해양 생물자원을 바탕으로 지속적인 수행을 추진하고 있다.

국내 현황 : 국내의 해양바이오분야를 지원하는 사업은 해양수산부의 해양생물활용 유용신물질 개발사업과 마린바이오21사업으로 2004년도에는 약 46억원이 집행되었다. 기타 타 부처 혹은 기관에서도 산발적으로 해양바이오연구가 일부 진행되고 있다. 각 부처 및 기관별 해양바이오 주요 연구개발 동향은 표 2와 같다. 표 2에서와 같이 해양바이오 분야 투자비용은 연 평균 약 100억원에 이르고 있으나 산발적으로 진행되어 기술개발에 대한 전체 시나리오가 부재한 형편이다. 또한 해양바이오기술개발을 위한 장기적이고 전문적인 프로그램이 없이 각 부처 및 기관별 연구는 매우 다양한 주제로 응용화 기술에 편중되어 있어 핵심기술 개발 및 기반구축에 많은 취약점이 노출되고 있는 것이 특징으로 볼 수 있다. 이런 문제점은 국가 해양바이오기술 개발의 총체적 발전에 비효율성을 나타낼 우려가 있다. 이와 같은 문제점으로부터 야기되는 가장 현실적인 문제로는 해양바이오분야의 인프라 구축의 취약점을 들 수 있다.

따라서 해양수산부에서는 2000년도부터 해양생명공학 산업 발전전략 10개년 계획의 청사진으로 해양생명공학 산업 발전전략 기획을 수행한 이래 2004년도부터 독립적이고 장기적인 대형 「마린바이오 21사업」을 시작하게 되었다.

해양바이오산업 관련 건강기능성 소재

건강기능성 소재의 개발 및 시장현황

건강기능성 식품은 2003년 건강기능성식품에관한법률(건강기능식품법)이 제정됨으로써 기능성에 대한 규제가 강화되어 제품에 대한 소비자들의 신뢰성이 높아졌을 뿐만 아니라 대기업 및 제약업체의 신규참여로 인한 유통구조의 개선 및 저가 공급에 의해 수요가 급격하게 증가하고 있다.

우리나라 건강기능성 식품산업은 짧은 역사에도 불구하고 제조업체 및 품목 수와 매출규모에서 괄목할 만한 외적성장을 이루어 1990년 72개 제조업체의 405개 품목에서 1998년 200여개 제조업체의 2,000여개의 품목으로, 2004년에는 266개업체의 2800여개의 품목으로 증가하였으며, 총 시장규모도 1990년대 초 2천억원에서 2000년대에는 3~4조원의 시장으로 급성장하여 매년 20~40% 이상의 성장을 이루었다. 이렇게 건강기능성 식품산업이 급성장한 것은 국민소득 증대와 건강에 대한 관심이 크게 높아지고 있는데 따른 결과로 나타나고 있다.

표 2. 각 부처 및 기관별 해양바이오 주요 연구동향

주관부처 및 기관	사업/연구내용	비 고
해양수산부	<ul style="list-style-type: none"> - 마린바이오21사업 · 해양극한생물분자유전체 연구개발(해양연구원) · 해양바이오프로세스 연구개발(부경대학교) · 해양천연물신약 연구개발(서울대학교) - 유용신물질 개발사업 · 심해생물자원 확보 및 이용기술 개발 · 해양생물소재(조류, 동물, 미생물)로부터 다양한 의약품 도(항암물질, 노화억제제, 항통증성 펩타이드) 효소, 색소, 다당류, 생물접착제, 건강보조식품 개발 	46억원/2004년
과학기술부	<ul style="list-style-type: none"> - 미생물유전체 프론티어사업 · 해양미생물 유전자원 및 극한미생물 배양기술 등 - NRL 사업 · 적조생물 유전자, 해양미생물 다양성 등 - 기타사업 · 수산식품 RRC 강릉대(과학재단), 중점사업 등 	총 20억원/년
산업자원부	<ul style="list-style-type: none"> - 산업기반지원센터 · 마린바이오 산업화 지원센터(신라대): 지역 벤처지원 	150억원/5년
연구기관	<ul style="list-style-type: none"> - 한국해양연구원 · 극한환경 유전자원 및 바이오신소재 개발 등 - 국립수산과학원(생명공학연구원) · 양식생물의 유전체 및 분자육종, 유전자발현 및 기능, 유전자원 탐색 및 보존이용, 유전자변형생물의 환경위해성 심사, 해양생물의 신기능성 물질탐색 및 이용에 관한 연구 등 	20억원/년 10억원/년

식품의약품안전청은 건강기능식품법이 시행되면서 32개 품목을 건강기능식품으로 고시했으며, 최근 녹차추출물 제품, 대두단백 함유제품, 식물스테롤 함유 제품, 프락토올리고당 함유제품, 홍국제품 등 5개 품목이 추가됨에 따라 고시형 건강기능식품 품목은 37개로 늘어나게 되었다. 그리고 원료성분에 대한 개별인정형 건강기능식품 품목은 20개로 늘어난 상태이며, 또한 10개 품목 이상이 식품의약품안전청에서 안전성과 기능성에 대한 평가가 진행 중에 있어 앞으로 개별인정형 품목이 고시형 품목을 추월할 것으로 예상되고 있다. 건강기능식품 품목의 추가로 일반 소비자들은 필요한 제품을 선택할 수 있는 폭이 넓어졌고, 관련업체에서는 투자 및 생산의욕이 증대됨으로 해서 건강기능식품 시장의 활성화가 기대되고 있다.

건강기능식품의 원료가 해양생물자원과 밀접한 관련이 있는 품목군의 비중은 소비자를 기준으로 전체의 약 10~20%를 점유하는 것으로 추측된다. 현재 관련 연구의 증가와 더불어 전체 건강기능성식품의 시장규모가 지속적인 성장세를 유지하고 있는 추세에서 향후, 해양생물자원 유래의 건강기능성 식품이 본격적으로 개발될 경우, 이들 건강기능성 식품의 전체 시장에 대한 규모와 점유율도 계속 증가할 것으로 기대된다.

해양생물자원 유래의 건강기능성 소재

지금까지 연구 개발된 대표적인 해양생물자원 유래 건강기능성 식품소재를 살펴보면, 다당류로서의 키틴 및 키토산, 콘드로이틴 황산, 글루코사민, 알긴산 및 후코이단 등 다당류, 펩티드 등 단백질 소재, 고도불포화 지방산(DHA, EPA), 간유, 스쿠알렌 등 지질 소재, 클로렐라, 스피루리나 등 미세조류를 들 수 있다(23).

다당류 소재로서 키틴은 게, 새우 등 갑각류의 외골격을 형성하는 조직다당으로 아세틸글루코사민이 β -1,4결합을 다당류이며, 키토산은 키틴이 탈아세틸화된 화합물이다. 키틴과 키토산은 항균, 항종양, 감염방어, 콜레스테롤과 중성지방의 저하, 등의 기능성이 있으며, 기능성 식품 및 화장품의 원료로 이용되고 있다. 콘드로이틴 황산은 글루쿠로닉산, 아세틸갈락토사민과 황산기로 결합되어 있는 점질성 뮤코다당이다. 해산동물 중 상어, 고래, 오징어 및 투구게의 연골과 해삼의 세포벽에서도 발견되고 있다. 이것은 세포외액의 대사조절, 뼈형성, 관절염 예방 및 치료, 항종양, 항동맥경화, 감염방지, 유효작용, 혈액응고 억제 등의 기능성이 알려져 있으며, 의약품, 기능성 식품 및 화장품의 원료로 이용되고 있다. 글루코사민은 게, 새우 등의 갑각류의 외피를 형성하는 키틴질에 다량 함유돼 있는 탄소수 6개의 핵소사민으로 천연 아미노 다당류의 일종이다. 동물의 결합조직, 피부조직, 연골 및 관절액 등에 프로테오글리칸으로 존재한다. 생체내에서 포도당과 글루타

민으로부터 합성되며, 무색의 침상결정이다. 이것은 변형성 관절염증 예방과 치료, 피부보습 및 미백효과 등의 기능이 있으며, 의약품 및 기능성 식품 등의 원료로 이용되고 있다. 다당류 중 키토산 가공품은 국내에서 대표적인 건강보조식품으로 자리매김되었으며, 최근 글루코사민의 매출이 급성장하고 있는 추세에 있다. 또한 콘드로이틴 황산도 바이오벤처 기업과 다수의 건강기능성식품 업체 및 제약회사에서 건강기능성식품 및 의약품의 용도로 생산 혹은 수입하여 판매하고 있다. 알긴산과 후코이단 등은 아이스크림·잼·마요네즈 등의 점도를 증진시키기 위해 사용되고 있으나, 아직 기능성식품 소재로의 본격적인 적용은 이루어지지 못하고 있다.

단백질 소재로서의 펩티드 소재는 혈압강하, 항암, 혈중 콜레스테롤 감소, 면역증강, 칼슘흡수촉진 등의 기능효과가 알려져 있다. 일본에서는 수산 펩티드로 어육단백질 가수분해물을 생산하였으며, 가수분해물의 쓴맛이 없고 소화관내에서 안정성이 높은 저분자 펩티드 소재를 개발하여 항피로 효과 및 항고혈압 펩티드 제품을 시판 중에 있다. 또한, 국내에서도 항고혈압과 관련된 건강기능성 소재로 정어리펩티드가 식품의약품안전청에 개별인정형으로 등재되어 제품으로 판매되고 있다. 이를 계기로 앞으로 해양생물자원유래 기능성 펩티드 소재를 이용한 기능성 식품의 실용화를 위한 체계적이고 지속적인 연구가 이루어져야 할 것이다.

지질소재로서 EPA 및 DHA는 n-3 계열의 고도불포화 지방산으로 사람의 뇌회백질부, 망막, 정자에 다량 함유되어 있는 성분으로 어류, 갑각류 및 해조류에도 풍부하게 함유되어 있다. 기능성으로는 고혈압증, 고지혈증, 동맥경화증, 혈전증, 심근경색증, 뇌경색증 등의 질환예방과 콜레스테롤 저하, 혈소판응집 억제, 학습기능 향상, 시력향상, 항염증 작용 등이 있다. 간유는 식용 수산동물의 신선한 간에서 얻은 지방으로 지용성 비타민 A의 함량이 높아 비타민 A 함유 정제어유라고도 한다. 대구과 어류를 중심으로 명태, 상어, 고래, 참치 등의 장기에서 주로 생산되며, 구루병 예방, 야맹증 치료, 자양강장 등의 기능이 있다. 스쿠알렌은 심해산 상어의 간유에 함유되어 있는 불포화 탄화수소유로서 이소프로노이드 구조의 화합물이다. 이것은 항궤양, 항종양, 항진균, 간기능 개선, 세포분화 및 증식기능 촉진, 산소수송기능 강화 등의 기능이 알려져 있다.

이와 같이 해양생물자원 유래의 기능성 소재에 대한 연구는 주로 어류 및 해조류에 집중되었고, 소재면에서 펩티드류 및 다당류 등 일부 소재에 집중되어 왔다. 따라서 이들 소재를 이용한 상업화 및 실용화는 물론이고 다양한 소재의 발굴이 요구되고 있다. 생리기능성면에서 항균, 항산화 및 항암활성에 대해서는 비교적 많은 연구가 수행되

었으나 항당뇨, 항치매, 항AIDS 관련 연구 등 해양생물의 효율적인 활용을 위한 연구가 앞으로도 활발하게 많이 이루어져야 할 것이다.

해양바이오 산업의 가능성 및 전망

국외

바이오산업 분야의 최근 동향은 미국이나 일본을 비롯하여 유럽 국가들도 국가 전략산업으로 육성하고 있는 가운데, 개발도상국 또는 저개발 국가까지도 국가차원에서 육성을 추진하고 있으며 국가간 경쟁이 더욱 치열해질 전망이다.

산업연구원에서는 세계 바이오시장규모가 2000년 540억 달러에서 2008년 1,250억 달러, 2013년 2,100억 달러로 증가될 것으로 예측하였다(표 3). 해양바이오시장은 앞으로 급속히 확대될 것으로 전망되는데 세계 해양바이오 시장규모는 2000년 30억 달러에서 2010년 120억 달러에 이를 것으로 예상하고 있어 전체 바이오 시장의 5~10%를 차지할 것으로 내다보고 있다.

또한, 계속해서 바이오산업 분야에 참여하는 국가 또는 기업들이 증가할 것으로 예상되는 가운데, 미국이 절반을 차지하고 있는 시장규모가 점차 미국, 일본, 유럽으로 분할될 것으로도 전망된다. 세계적으로 생물공학기술의 발전은 새로운 제품의 상품화 확대에 인하여 신규 수요도 계속해서 창출될 것이며, 제한된 육상생물자원의 한계를 극복하기 위한 방안으로 해양생물자원에 대한 중요성이 높아지면서 앞으로 해양바이오산업의 무한한 발전 가능성을 전문가들은 내다보고 있다.

국내

최근 산업 형성기에 있는 국내 바이오산업 시장규모는 2002년 14,232억원, 2003년 16,000억원 수준으로 규모는 아직 매우 미미한 편이나 지속적으로 성장하고 있는 상황이다.

바이오산업은 IT혁명이후 세계경제를 선도할 대표적인 핵심전략산업으로 급속히 부상하고 있고 특히, 인간유전체연구의 조기 완성이후 산업화를 통한 시장선점 경쟁이 본격화되어 급속한 기술발전과 IT·NT·ET 등과의 기술융합으로 바이오산업의 영역이 확대되고 시장발전이 가속화되고 있는 실정이다.

우리나라의 경우도 시장규모 등 외형적 지표는 빠르게

성장하고 있으며, 바이오산업 분야에 대한 정부지원도 2000년부터 큰 폭으로 증가하여 2002년에는 4,500억원, 2003년에는 약 5,600억원이 지원되었다. 그러나 이와 같은 단기간의 빠른 성장에도 불구하고 아직 발전기반은 취약한 실정이다. 우리나라의 전반적인 바이오산업기술 경쟁력은 선진국의 60~70%에 불과하며, 특히 핵심원천기술이 부족하고, 관련기업들이 영세하며 우량기업이 없는 등 가시적 성과가 적어 산업으로서의 위상은 미약한 상황이다.

그러나, 바이오산업은 지적능력이 높은 우리나라의 여건에 적합하고, 선진국과의 격차도 아직 적은 편이며, 세계적 수준의 IT기반을 보유하고 있어, 이러한 우리의 특성과 강점을 최대한 활용하여 차세대 성장동력으로 육성하는 것이 당면과제라고 할 수 있다.

해양바이오산업은 기술의 선진화 및 신성장 동력산업으로 육성을 위한 바이오산업의 중요한 한 분야로서 현재 해양바이오 기술수준 및 산업을 국내 생명공학 수준으로 발전시켜야 하며, 또한 세계 5위권의 해양바이오 기술강국 진입과 세계 해양바이오 산업시장 5%를 점유할 수 있는 기술기반 확보가 요구되고 있다.

이를 위해 해양수산부는 대형 국책 과제로 「마린바이오 21사업」을 수립하여 2004년부터 10년간 해양바이오산업을 육성하게 되었으며, 산업자원부는 「바이오산업의 비전과 발전전략」 및 「바이오신약·장기·바이오칩 발전전략」을 토대로 바이오산업에 지원하고 있기 때문에 장기적으로 해양바이오산업이 국가경제 발전의 원동력이 될 것으로 전망된다.

결 론

해양은 지구 생명탄생의 원천이며, 다양한 생물의 서식처로서 인류에게 마지막 남은 식량자원으로 뿐만 아니라 21세기 바이오 산업시대에 자원의 보고로서 주목받고 있다. 우리나라는 해양 생물자원의 확보와 접근성에 있어 유리한 여건을 갖추고 있으며, 또한 매우 제한된 육상생물자원을 극복할 수 있는 방법은 해양생물자원의 개발에 있다. 최근 국제적으로 해양바이오 산업분야의 연구개발 및 기술발전은 매우 빠르게 진행되고 있어 국내에서도 새로운 분야의 학문으로서 해양바이오 연구의 활성화 및 투자가 병행되어야 할 것이다.

우리나라도 이미 노령화 사회에 접어들었으며 2029년에 초고령사회가 될 것으로 예상되고 있다. 이에 따라, 국민들의 건강에 대한 관심과 건강을 유지하기 위한 노력이 증가하였으며, 더불어 건강기능성식품 및 의약품 시장도 향후 지속적으로 성장할 것으로 예상되고 있다. 그러므로

표 3. 바이오산업의 세계시장 전망(39) (단위: 억 달러)

연 도	1997	2000	2003	2008	2013
시장규모	313	540	740	1,250	2,100

해양바이오산업분야에서 해양생물자원 개발과 유효이용을 위한 연구를 통하여 유용한 기능성 소재 및 산업화를 위한 제반기술들이 확보될 경우, 해양바이오산업은 21세기 해양 기술강국으로 발돋움 하는데 초석이 될 뿐만 아니라 국가경제발전의 핵심산업으로 자리매김 될 것이다.

참 고 문 헌

- Faulkner DJ. 2002. Marine natural products. *Nat Prod Rep* 19: 1-48.
- McIntosh JM, Jones RM. 2001. Cone venom - from accidental stings to deliberate injection. *Toxicon* 39: 1447-1451.
- Meijer L, Thunnissen A-MWH, White AW, Garnieri M, Nikolic M, Tsai LH, Walter J, Cleverley KE, Salinas PC, Wu YZ, Biernat J, Mandelkow EM, Kim SH, Pettit GR. 2000. Inhibition of cyclin-dependent kinases, GSK-3 β and CK1 by hymenialdisine, a marine sponge constituent. *Chem Biol* 7: 51-63.
- Tasdemir D, Mallon R, Greenstein M, Feldberg LR, Kim SC, Collins K, Wojciechowicz D, Mangalindan GC, Concepcion GP, Harper MK, Ireland CM. 2002. Aldisine alkaloids from the Philippine sponge *Stylissa massa* are potent inhibitors of mitogen-activated protein kinase kinase-1 (MEK-1). *J Med Chem* 45: 529-532.
- Edler MC, Fernandez AM, Lassota P, Ireland CM, Barrows LR. 2002. Inhibition of tubulin polymerisation by vitilevuamide, a bicyclic marine peptide, at a site distinct from colchicine, the vinca alkaloids, and dolastatin-10. *Biochem Pharmacol* 63: 707-715.
- Byun HG, Zhang H, Mochizuki M, Adachi K, Shizuri Y, Lee WJ, Kim SK. 2003. Novel antifungal diketopiperazine from marine Fungus. *J Antibiotics* 56: 102-106.
- Jung WK, Park PJ, Kim SK. 2003. Purification and characterization of a lectin from the hard roe of skipjack tuna. *Inter J Biochem Cell Biol* 35: 255-265.
- Jung WK, Je JY, Kim HJ, Kim SK. 2002. A novel anticoagulant protein from *Scapharca broughtonii*. *J Biochem Mol Biol* 35: 199-205.
- Choi JH, Park PJ, Kim SK. 2002. Purification and characterization of trypsin inhibitor from egg of skipjack tuna. *Fisheries Sci* 68: 1367-1373.
- Byun HG, Park PJ, Sung NJ, Kim SK. 2002. Purification and characterization of serine proteinase from the tuna pyloric caeca. *J Food Biochemistry* 26: 479-494.
- Byun HG, Kim SK. 2002. Fungicidal activity against *Pyricularia oryzae* of substance purified from marine fungus metabolites. *J Fish Sci Technol* 5: 97-102.
- Byun HG, Jeong SY, Park YT, Lee WJ, Kim SK. 2002. Algicidal activity against *Cochlodinium polykrikoides* of substance purified from marine bacteria metabolites. *J Fish Sci Technol* 5: 150-155.
- Park PJ, Lee SH, Byun HG, Kim SH, Kim SK. 2002. Purification and characterization of a collagenolytic enzyme from mackerel intestines. *J Biochem Mol Biol* 35: 576-582.
- Mayer AMS, Lehmann VKB. 2000. Marine pharmacology. *The Pharmacologist* 42: 62-69.
- Rinehart KL. 1988. Screening to detect biological activity. In *Biomedical importance of marine organism*. Fautin DG, ed. California Academy of Science, San Francisco. p 13-22.
- Chu KC, Cutler HG. 1991. *Natural products as antiviral agents*. Plenum press, New York & London. p 279.
- Proksch P, Edrada RA, Ebel R. 2002. Drugs from the sea - current status and microbiological implications. *Appl Microbiol Biotechnol* 59: 125-134.
- Jones RM, Bulaj G. 2000. Conotoxins - new vistas for peptide therapeutics. *Curr Pharm Des* 6: 1249-1285.
- Jain KK. 2000. An evaluation of intrathecal Ziconotide for the treatment of chronic pain. *Expert Opin Investig Drugs* 9: 2403-2410.
- Hale KJ, Hummersone MG, Manaviazar S, Frigerio M. 2002. The chemistry and biology of the bryostatin anti-tumour macrolides. *Nat Prod Rep* 19: 413-453.
- Clamp A, Jayson GC. 2002. The clinical development of the bryostatins. *Anticancer Drugs* 13: 673-683.
- 과학기술부. 2003. 생명공학백서. 해양생명공학. p 215-224.
- 이홍급, 이유허. 2005. 해양과학총서9. 해양바이오. p 8-97.
- Kim SK, Park PJ, Yang HP, Han SS. 2001. Subacute oral toxicity of chitosan oligosaccharide on spargue-dawley rats. *Arzneimittel-Forschung/Drug Research* 51: 769-774.
- Jeon YJ, Kim SK. 2002. Antitumor activity of chitosan oligosaccharides produced in an ultrafiltration membrane reactor system. *J Microbiol Biotechnol* 12: 503-507.
- Jeon YJ, Park PJ, Kim SK. 2001. Antimicrobial effect of chitooligosaccharides produced by bioreactor. *Carbohydrate Polymers* 44: 71-76.
- Park PJ, Je JY, Kim SK. 2003. Angiotensin I converting enzyme (ACE) inhibitory activity of hetero-chitooligosaccharides prepared from partially different deacetylated chitosans. *J Agric Food Chem* 51: 4930-4934.
- Park PJ, Je JY, Kim SK. 2003. Free radical scavenging activity of chitooligosaccharides by electron spin resonance spectrometry. *J Agric Food Chem* 51: 4624-4627.
- Park PJ, Je JY, Kim SK. Free radical scavenging of differently deacetylated chitosans using an ESR spectrometer. *Carbohydr Poly (in press)*.
- Jeon YJ, Kim SK. 2001. Effect of antimicrobial activity by chitosan oligosaccharide N-conjugated with asparagine. *J Microbiol Biotechnol* 11: 281-286.
- Kim SK, Jeon YJ, Zan HC. 2000. Antibacterial effect of chitooligosaccharides with different molecular weights prepared using membrane bioreactor. *J Chitin Chitosan* 5: 1-8.
- Nam MY, Shon YH, Kim SK, Kim CH, Jeong TR, Nam KS. 2000. Effect of chitosan oligosaccharides on polyamine

- metabolism for chemopreventive activity. *J Chitin Chitosan* 5: 15-18.
33. Jeon YJ, F Shahidi, Kim SK. 2000. Preparation of chitin and chitosan oligomers and their applications in physiological functional foods. *Food Review International* 16: 157-176.
 34. Jeon YJ, Kim SK. 2001. Potential immuno-stimulating effect of antitumoral fraction of chitosan oligosaccharides. *J Chitin Chitosan* 6: 163-167.
 35. Jeon YJ, Kim SK. 1999. Effects of chitooligosaccharides on acute oral toxicity. *J Chitin Chitosan* 4: 115-120.
 36. Targett N, Baier R, Gerwick W, Grimes DJ, Heidelberg J, Pomponi S, Prince R. 2002. *Marine Biotechnology in the 21th Centry*. National Academy Press, Washington, DC.
 37. 김상진. 2001. 해양바이오산업기술 개발. 해양정책 R & 동향 2호.
 38. 해양수산부. 2003. 마린바이오21 사업 기획.
 39. 산업연구원. 1999. 생물산업의 발전전략.