

해양화학생물산업의 현황과 전망

이선복* · 조선자 · 이신엽 · 백광현 · 김정아 · 장진화

포항공과대학교 화학공학과

Present Status and Prospects of Marine Chemical Bioindustries

Sun Bok Lee*, Sun Ja Cho, Shin Youb Lee, Kwang Hyun Paek, Jeong A Kim, and Jin Hwa Chang

Department of Chemical Engineering, Pohang University of Science and Technology,
San 31, Hyoja Dong, Pohang 790-784, Korea

Abstract As we move into the 21st century, the importance of marine resources is certain to increase due to the accelerated exhaustion of land resources. For the sustainable development of the world, therefore, we need to develop marine chemical bioindustries which enable us to produce industrial chemicals, advanced materials, fuels, and minerals from marine resources such as seaweeds and seawater. In this review, we selected five marine chemical bioindustries which include 1) seaweed polysaccharide industry, 2) marine advanced materials industry, 3) marine biofuel industry, 4) marine sea salt industry, and 5) deep-sea water industry, and discussed the current status and future prospects of each industry sector. It has been assessed that the future of marine chemical bioindustry looks very promising although there are many needs for more intensive research investments on marine bioprocess development through close cooperation between marine biologists and biochemical engineers.

Keywords: marine chemical bioindustry, seaweed polysaccharides, marine advanced materials, marine biofuels, marine sea salts, marine deep-sea water

서 론

지구에 왜 바다가 육지보다 많아야 되는지를 이해하기 시작한 것은 비교적 최근의 일이다. 기후변화와 이산화탄소 저감 문제로 해양에 대한 연구가 본격화 되면서 해양의 역할을 점차 이해하게 된 것이다. 특히 해양 미생물을 비롯한 해양생물들이 지구의 이산화탄소 등 물질 순환에 매우 중요한 역할을 하고 있다는 사실이 상세히 밝혀지고 있다. 그동안 해양미생물의 1% 만이 현재의 기술로 배양이 가능하여 99%를 이해하지 못하였는데, 최근 해양미생물유전체기술의 급속한 발전으로 해양생물의 이해와 이들의 산업적 이용이 가능해지고 있다.

금년 6월 9일 미국 상원에서는 “The Blue Economy: The Role of the Ocean in Our Nation's Economic Future”

라는 주제의 청문회가 열렸다 [1]. 이제는 해양의 과학적 이해를 넘어 산업화를 통한 경제체제의 구축이 시작되고 있는 것이다. 흔히 ‘21세기는 바이오시대’라고 말하고 있다. 바이옴을 기반으로 하는 생명공학 기술의 응용 분야는 매우 넓어서 의약, 재료, 환경, 에너지 등 인류의 생존에 필요한 대부분의 역할이 포함하고 있다. 이러한 생명공학의 응용 영역에 해당하는 모든 분야에서 해양생물들의 역할이 점차 중요해 지고 있어 이제는 ‘21세기는 해양바이오시대’라고 불리게 될 것으로 예견되고 있다. 이러한 변화의 가장 큰 요인은 그동안 베일에 싸여있던 해양생물들에 대한 이해가 크게 확대되어 가고 있고 산업바이오기술이 급속히 발전되고 있기 때문이다.

점차 심각해지고 있는 우리나라의 자원 및 에너지 고갈문제 해법의 하나도 해양에 있다. 최근 선진각국에서는 생물자원을 이용한 화학, 소재, 에너지 제품 생산에 막대한 투자를 하고 있다. 그러나 우리나라에서는 생물자원의 부족으로 이 분야의 연구개발 및 산업화가 이루어지지 못하고 있는 실정이다. 그러나 우리에게는 바다가 있다.

*Corresponding author

Tel: +82-54-279-5970, Fax: +82-54-279-3839

e-mail: sblee@postech.ac.kr

육지면적 보다 훨씬 더 넓은 바다에서 막대한 양의 해양 생물자원을 얻을 수 있으며, 이러한 해양생물자원의 효율적 이용기술의 개발은 해양바이오시대를 여는 중요한 전기가 될 것이다. 지구의 총면적에서 70%에 달하는 면적을 차지하는 해양에는 약 30만종의 생명체가 서식하고 있으며 이는 지구 전체 생물의 80%에 해당한다. 해양이 가지는 생태학적 가치는 실로 엄청나다 할 수 있는데, 그 규모가 매년 21조 달러에 달한다는 연구 결과가 발표된 사례가 있다 [2].

한편, 여러 해양생물자원 중 우리가 특히 주목을 해야 할 것이 있다면 이는 단연 해조류라고 할 수 있다. 우리나라를 비롯하여 일본, 중국 등 아시아 국가들이 주로 양식에 의해 생산하고 있는 해조류 자원의 개발과 활용은 육상식물자원의 부족으로 인해 침체되어 있는 우리나라 산업바이오분야를 세계적인 수준으로 끌어 올릴 수 있을 것으로 생각된다. 미국, 유럽 주도의 기존 바이오기술에 크게 뒤쳐져있는 우리로서는 해조류기반 해양바이오기술의 개발을 통해 세계를 주도해 나가는 새로운 전략을 수립할 필요가 있다.

해양바이오시대가 본격화 될 것으로 전망되는 가장 큰 이유 중의 하나는 해양자원을 이용한 새로운 기술이 앞으로 기존의 화학공업을 대체하거나 새롭게 변모시킬 수 있을 것으로 전망되기 때문이다. 현재의 화학공업은 석유를 기반으로 하여 수많은 종류의 화학제품과 수송용 연료들을 생산해 내고 있다. 그러나 석유자원의 고갈과 이산화탄소 배출 규제 등 여러 가지 여건의 변화로 인해 기존 화학산업의 혁신적인 변화가 요구되어지고 있다. 세계적 기반을 가지고 있는 화학산업과 우리나라의 독자적 기반으로 빠르게 성장하고 있는 해양바이오기술을 접목하면 세계적 경쟁력을 가진 해양화학생물산업을 일구어 낼 수 있다고 판단된다.

본 글에서는 풍부한 해양자원을 기반으로 발전하고 있는 해양화학생물산업 분야 중 세계적으로 각광 받고 있으며 우리나라에서도 발전 가능성이 큰 분야로 해조다당류산업, 해양신소재산업, 해양바이오연료산업, 해양제염산업, 해양심층수산업 등 다섯 분야를 선정하고 이들 분야의 현황과 전망을 소개하고자 한다.

본 론

해조다당류산업

해조류는 역사적으로 오래 전부터 인류가 식용이나 산업용으로 다양하게 이용하여 왔다. 아시아에서는 오랫동안 음식으로만 사용 하였으며 서양에서는 귀중한 화학재료를 제조하기 위해 해조류를 사용하여 왔으며 이에 대한 연구도 많이 진행되었다. 해조류를 구성하고 있는 주요 성분은 다당류이며, 이들 다당류는 음식, 화장품, 의학 및 해조공업의 원료 등으로 이용하여 왔으며 최근에는 생체조절기능을 갖는 다기능성 올리고당의 소재로 각광받고 있다. 바다에는 육상생물과는 조금 다른 생리활성 물질을 함유한 해조류가 대단히 많기 때문에 새로운 다당류를 포함한 생리활성 물질의 보고라고 할 수 있다. 이와 같은 이유로 많은 연구자들이 새로운 생리활성 물질들을 얻고자 해조류 연구에 힘을 쏟고 있다 [3].

해조류의 생산량은 전 세계적으로 2006년 기준 약 1,500만 톤에 달하는 것으로 알려져 있으며, 이 중 우리나라의 해조류 생산량은 77만 톤에 달한다 (Table 1, Table 2 참조) [4]. 이러한 생산량은 전체 양식 생산량의 약 23%에 해당하는 수치이며 이 중 90% 이상이 미역, 다시마 등의 갈조류와 김, 우뚝가사리, 꼬시래기 등의 홍조류로 이루어지고 있다. 이 중 김과 미역은 대부분 식용으로 사용되고, 다시마는 다당류 알긴산 추출에 기타 홍조류는 카라기난과 한천 생산에 이용되는데, 다당류는 5억 6천만 달러의 시장을 형성하고 있다. 이처럼 해조류의 다당류 산업은 해양화학산업의 한 축을 담당하고 있는데, 해조류 다당류의 종류별 특성과 산업 전망은 다음과 같다 [5,6].

알긴산 (alginic acid)

알긴산은 다시마, 미역, 감태, 모자반 등과 같은 갈조류에 보편적으로 함유되어 있는 산성 점질 다당류로서 알긴산을 함유하는 갈조류의 대부분은 20°C 이하의 저수온 해역에 서식하며 일반적으로 15~35% 정도의 알긴산을 함유하고 있다 [7].

알긴산의 구조는 β -D-mannuronic acid (M)와 α -L-guluronic

Table 1. World cultivation production of seaweed

unit : ton

	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006
China	7,863,540	8,159,450	8,809,090	9,801,830	10,714,610	10,855,295	10,867,410
Philippines	707,039	785,795	894,857	988,889	1,204,808	1,338,597	1,468,905
Indonesia	205,227	212,473	223,080	231,900	410,570	910,636	910,636
Korea	374,463	373,538	497,557	452,054	547,108	621,154	765,595
Japan	528,881	511,448	557,951	477,705	484,389	507,742	490,062
World Total	10,182,342	10,627,916	11,575,854	12,526,482	13,930,570	14,789,972	15,075,612

source: FAO, Yearbook of Fishery Statistics - Aquaculture Production, 2006.

Table 2. Seaweed production in Korea

unit : ton

	1996	1998	2000	2002	2004	2006
Total	561,900	482,363	387,479	507,984	545,808	778,667
Subtotal of natural algae	22,910	12,594	13,023	10,427	9,060	13,754
<i>Porphyra tenera</i>	189	635	1	29	3	2
<i>Laminaria japonica</i>	1,795	500	350	88	-	12
<i>Pachymeniopsis</i>	120	15	15	2	48	473
<i>Corallina</i>	68	19	29	-	-	1
<i>Undaria pinnatifida</i>	6,642	784	1,717	1,089	719	3,569
<i>Gelidium amansii</i>	3,551	3,136	2,872	2,150	1,791	3,012
other <i>Gelidium</i>	57	116	66	117	11	328
<i>Codium fragile</i>	381	280	220	558	616	2,875
<i>Hizikia fusiforme</i>	8,086	3,856	6,062	5,081	5,284	2,933
<i>Enteromorpha</i>	373	61	64	412	71	164
Other species	1,594	3,191	1,627	901	517	374
Subtotal of cultivated algae	538,990	469,769	374,456	497,557	536,748	764,913
<i>Porphyra tenera</i>	166,199	191,578	130,488	209,995	228,554	217,559
<i>Laminaria japonica</i>	35,640	7,931	14,160	24,873	22,510	201,919
<i>Undaria pinnatifida</i>	305,813	239,742	212,429	242,135	261,574	322,371
<i>Codium fragile</i>	8	-	164	72	142	165
<i>Hizikia fusiforme</i>	23,054	24,993	11,654	11,016	22,814	21,125
<i>Enteromorpha</i>	8,272	5,298	5,288	9,291	1,154	682
Other species	4	227	273	171	-	173

source : Korean Ministry for Food, Agriculture, Forestry and Fisheries

acid (G)의 2종류의 uronic acid가 각종 비율로 1, 4 glycoside 결합을 한 polyuronide이다. 알긴산의 M과 G의 비율은 해조류의 종류, 계절, 조체부위 등에 따라 다르다. 알긴산 제조용 원료로는 알긴산이 많이 함유 되어 있어야 하고 색소나 탄닌이 적어야 하며, 대량생산이 용이하고 채집이 용이 하여야 한다. 각국에서 사용되는 주요 원조를 보면 미국에서는 *Macrocystis periferia*, *Ascophyllum nodosum* 등이 영국에서는 *Laminaria hyperborea*, *A. nodosum* 등이 일본에서는 대황, 팽생이모자반, 다시마류 등이 사용되고 있다. 우리나라에서는 감태, 모자반류, 미역 등이 이용되고 있다 [8,9].

알긴산은 갈조류에 Na_2CO_3 또는 NaOH 를 이용하여 추출한다. 알긴산은 물에 녹지 않으나 칼륨, 나트륨, 칼슘과 결합하면 물에 잘 녹아 점액성의 물질이 된다. 알긴산은 물성이 다양하여 산업적으로 다양하게 이용 되어 왔지만 상온에서 용해되는 시간이 길고 알코올이 포함된 용매에는 잘 녹지 않으며 농도가 증가함에 따라 점성이 높아져 식품 고유의 생리적 기능성을 유지시키면서 단점을 보완하기 위한 저분자화 연구가 진행되고 있다.

알긴산의 산업적 용도는 크게 식품가공용과 의약품으로 구분된다. 알긴산은 식품가공시 안정제, 농후제, 유화제와 같은 식품첨가제로 이용된다. 알긴산은 소화·흡수되지 않으므로 알긴산으로 만든 젤리가 다이어트식품으로 이용되기도 한다. 알긴산의 의약품 이용으로는 인체 실험에서 장의 담즙산과 결합하여 콜레스테롤을 체외로 배출시키므로 혈중 콜레스테롤을 낮추어 주는 효과가 있으며, 동물실험에서는 유해 중금속을 흡착하여 체외로 배출시키고, 또 나트륨을 배설시켜 혈압을 낮추어 주는 것으로 알려져 있다.

그 밖에 연고지제, 정제부형제 등으로도 이용된다 [10].

알긴산 산업은 2차 대전 이후 빠른 속도로 발전한 산업이며, 현재 전 세계의 알긴산 수요는 연간 3만 5천 톤에 이르고 있다. 세계의 알긴산 총 수요의 60%는 섬유, 용접봉, 제지 등의 공업적인 것이며, 미국과 유럽을 중심으로 한 전세계 식품이나 의약품 분야의 수요는 연간 15,000 톤이다 [11]. 최근에는 알긴산이 신선한 소재로 인식되어 앞으로 식품이나 의약품 분야의 이용이 더욱 활성화 될 것으로 기대된다.

카라기난 (carrageenan)과 한천 (agar)

홍조류를 구성하는 세포벽 다당류는 셀룰로오스, 자일란, 만난, 한천 그리고 카라기난이 대표적인데 셀룰로오스는 그다지 많지 않다. 홍조다당류인 카라기난은 Irish moss라고 하는 홍조류인 진두발속 (*Chondrus*), 돌가사리속 (*Gigartina*)의 해초를 뜨거운 물 또는 뜨거운 알칼리성 수용액으로 추출한 다음 정제하여 추출한 점질성 다당류이다. 카라기난은 냉수에서는 잘 녹지 않으나 30~60℃의 물에서는 녹으며 에탄올에는 녹지 않는다. 또 다른 홍조다당류인 한천은 세포벽과 세포질 사이의 세포간 다당으로 분포하고 있으며, 우뚝가사리속 (*Gelidium*), 꼬시래기속 (*Gracilaria*) 등의 홍조류에 포함되어 있다.

카라기난의 구성성분은 D-galactose와 3,6-anhydro-D-galactose로 이루어진 고분자 다당류에 황산기가 일부 결합한 산성 다당류이다. 구성당이 한천과 비슷하나, 한천과 다른 점은 한천은 3,6-anhydro-L-galactose인데 비하여 카라기난은 3,6-anhydro-D-galactose이고, 황산기의 함량이 한천은

3~6% 정도로 적는데 비하여 카라기난은 20~25%로 극히 많이 존재한다. 또한 한천은 응고력이 강한데 비하여 카라기난은 응고력이 약하고 점성이 강한 점이라고 할 수 있다. 한천은 단일당으로 형성된 다당류가 아니고 agarose (60~80%)와 agaropectin (20~40%)의 혼합물이다. 우뚝가 사리과의 한천 함량은 계절에 따라 변동하지만, 건물로는 33~35% 정도이다. 카라기난과 한천은 점성, 젤 형성능, 유화 안정성, 결착성 등을 이용하여 아이스크림의 안정제, 초콜릿 우유의 방지제, 식빵 및 과자류의 조직 개량 및 보수제, 화장품의 점도 증강제 등에 이용된다 [9,12,13].

카라기난이 본격적으로 생산되기 시작한 것은 1937년 미국에서 진두발을 원료로 처음 시작되었다. 이전까지 일본은 세계 각국에 한천을 수출해 왔으나, 제 2차 세계대전으로 여러 나라들이 일본에서 한천을 수입할 수 없게 되자 그 대응으로 카라기난이 사용되어 왔으며 점차 이용분야를 넓혀가면서 오늘날에 이르게 되었다. 현재 카라기난과 한천은 식품공업분야에서 용도가 다양하여짐에 따라 많은 나라에서 생산하고 있는데, 현재 세계의 연간 생산량은 카라기난 약 20,000톤이고, 한천의 경우 2007년 세계 연간 생산량은 약 6,000톤 정도라고 추정되고 있으며, 우리나라의 연간 생산량은 약 600~800톤 정도이다 [14]. 카라기난 시장은 1950년대부터 생산을 시작한 미국의 FMC와 덴마크의 CP 케코, 독일의 Degussa 등이 주도하고 있으며, 한천은 우리나라를 비롯하여 일본, 덴마크, 미국, 중국 등 20개국에 달하고 있다. 이처럼 해조류 다당류 산업은 식품, 의약, 공업분야 등 많은 분야에서 사용되어 지고 있으며, 그 시장성이 점차 커져가고 있어 앞으로 발전 가능성이 크다고 볼 수 있다.

푸코이단 (fucoidan)

푸코이단은 알긴산과 같이 갈조류에 함유되어 있는 미끌미끌한 점질 다당류이다. 그러나, 알긴산은 약 알칼리에서 추출되지만, 푸코이단은 물이나 묽은 염산에 의하여 추출되는 점조성 물질이다. 푸코이단은 Fucus속, 다시마속 (*Laminaria*), 미역속 (*Undaria*)에 들어있으나 그 함량은 종류, 시기, 수심에 따라 크게 달라지며 가을에서 초겨울에 걸쳐서 건물당 20%까지 함유하고 있으나, 봄에는 5%에 지나지 않는다. 푸코이단의 주요 구성성분은 L-fucose와 sulfate이고, 종류에 따라서는 galactose, xylose와 소량의 glucuronic acid도 들어 있다. 예를 들어 Fucus속의 fucoidan은 fucose 57%, sulfate 38%, galactose 4%, xylose 1.5%, uronic acid로 되어 있다. 해조류를 주식으로 하는 전복과 같은 연체동물은 장내에 알긴산을 분해하는 효소와 함께 fucoidan을 분해하는 효소도 가지고 있어 갈조류에 많이 함유된 다당류를 즐겨먹는 것으로 보인다 [15,16].

푸코이단의 산업적 이용에서 가장 크게 차지하는 분야는 건강식품산업이다. 푸코이단의 효능은 항종양효과, 항알레르기, 항산화, 항바이러스, 혈액응고방지, 혈당상승 억제 효과 및 면역력 증강 효과가 있어서 암환자뿐만 아니라 당뇨 고지혈증 환자에게 도움이 되고 있으며 이러한 푸코이단

의 효능에 대하여 다방면에 걸쳐 그 효과들이 계속 밝혀지고 있다 [17]. 1991년 러시아 예방의학센터를 비롯한 5개 기관에서는 5년 이상 실시한 각종 실험연구를 통해 세계 최초로 푸코이단을 인정하고, 유용한 건강식품으로 추천하였다. 일본에서도 1996년 제55회 일본암학회 총회에서 발표된 논문으로 세계 학계의 특별한 관심을 받았으며, 지금도 푸코이단에 대한 다양한 연구가 활발하게 전개되고 있다. 해조류로부터 푸코이단을 대량으로 추출해 내는 기술은 그동안 일본이 독점하고 있었다. 그러나 2000년 초반 국내 해조전문회사에서 대량 추출에 성공하여, 일본이나 미국 등 푸코이단 제품이 다양하게 나와 있는 나라로 수출하였으며, 최근 정부기관에서도 푸코이단의 대량생산을 위한 자금이 지원되고 있다 [18]. 2008년 현재 일본의 기능식품소재 시장에서 푸코이단 산업은 약 1,500억원 규모를 형성하고 있으며, 전 세계 시장 규모는 2015년을 기점으로 약 2조원 이상이 될 것으로 예상된다. 그러나 현재 우리나라의 푸코이단 산업은 기능성을 인정받아 건강식품으로 가기 위한 준비단계에 머물러 있다 [19].

해조다당류산업의 전망

해조류로부터 유래되는 한천, 알긴산, 카라기난, 푸코이단 등 여러 다당류는 오래 전부터 인류 생활에 이용되어 왔다. 이러한 바이오폴리머의 부가가치는 다양한데 식품용 agar는 15달러/kg 이나 시약용의 전기영동용 고품질 agarose는 100~200달러/kg 수준이다. 알긴산의 경우 매년 상업적으로 3만여 톤이 생산되는데 염료고정제, 제제첨가제, 응집제 등 일반 상용화 제품의 판매가격은 5~20달러/kg이지만 면역촉진제나 세포고정화용 등의 의약품용 고순도 알긴산일 경우는 40,000달러/kg이 되는 고부가가치를 지니고 있다 [20,21]. 이상에서와 같이 해조류로부터 고부가가치 고분자 물질의 생산과 인간생활의 질적 향상을 위한 자원의 하나로서 해조 다당류에 관심이 집중되고 있다. 현재 전 세계적으로 해조 다당류를 활용한 연구 및 신기술은 지속적으로 발전해 왔으며 그에 따른 산업 시장은 확대될 전망이다. 국내에서는 해조 다당류를 기반으로 하는 산업개발이 부족한 상황이며 선진국 수준의 연구기반 조성 및 산업 인프라 구축을 위한 정부의 전폭적인 지원이 필요하다 [22].

해양신소재산업

현재 산업발전을 위한 자원은 육상자원에서 해양자원으로 관심이 변화하고 있는 추세이며 에너지 관련 산업뿐만 아니라 신소재 산업 분야에서도 해양자원에 대한 연구와 개발이 활발하게 진행되고 있다. 기존의 신소재 (기존의 화학적 소재를 대체하거나 종래에 없던 새로운 성능·용도를 갖고 있는 소재)는 육상자원 유래가 거의 대부분이었으나 현재는 해양유래 신물질과 이를 이용한 신소재를 찾기 위한 연구뿐 아니라 해양자원에 대한 선점을 위한 전

쟁이 시작되었다고 해도 과언이 아니다. 해양신소재는 건강식품부터 고부가가치 의료소재에 이르기까지 다양한 분야에서 사용되고 있으며 해양이라는 극한환경에서 적응하고 있는 생물들로부터 얻어지는 물질이기 때문에 육지에서 보다 더 다양한 자원을 얻을 가능성이 높고 이에 따른 활용도도 높다고 할 수 있다. 해양신소재의 여러 분야 중에서 해양바이오기반 폴리머, 해조자동차소재, 해조섬유소재, 나노복합소재에 대해 소개하고자 한다.

해양바이오기반 폴리머

현재 세계 시장의 바이오기반 폴리머 수요는 빠른 속도로 증가하는 추세인데, 2015년 기준으로 40조원에 달하는 시장이 형성될 것으로 보고되고 있다 [23-28]. 우리나라의 바이오기반 폴리머 시장 규모 역시 2007년 현재에는 약 5,000톤으로 규모가 크지 않지만 2010년 1만~1만 5천톤, 2020년 20~50만톤으로 빠르게 증가할 것으로 예상되고 있다 [29,30]. 바이오기반 폴리머는 생분해성 플라스틱, 셀룰로오스, 한천, 알긴산, 카라기난, 키토산 등의 천연고분자와 PLA (polylactic acid) 및 PGA (poly-D-glucaramide) 등과 같은 합성고분자는 체내 흡수형 봉합사, 골 고정판 등과 같은 의료용고분자산업에 사용되고 있다 [31-33]. 원유가격의 상승으로 인해 더 큰 폭으로 바이오기반 폴리머 시장은 계속 성장할 것이라 예상된다.

지금까지의 바이오기반 폴리머의 제조에는 곡물 유래 전분 및 목질계 유래 섬유소 유래의 단량체를 주로 이용하고 있는 한편, 해양유래 물질의 대부분은 전통적인 식품산업 및 제제첨가제, 응집제 등 소재의 물성을 활용하여 단순가공만으로 활용되어 신소재 및 의료용 소재 등과 같은 고부가가치 소재개발은 미흡한 실정이다. 국외의 바이오기반 폴리머 관련 연구는 DuPont과 Cargill-Dow가 세계 바이오폴리머 시장을 주도하고 있다 [34-36]. 미국의 Cargill-Dow는 현재 미생물 발효를 통한 PLA를 14만톤 생산하고 있으며 DuPont은 다양한 PGA 생산 공정 개발과 관련한 특허와 함께 폴리에스테르 소재인 PPT (polypropylene terephthalate) 1만톤 생산기술을 보유하고 있다 [37]. 세계 선진 기업들을 통하여 바이오기반 폴리머 연구가 활발히 진행되고 있지만 해양생물자원 유래 바이오기반 폴리머 생산에 대한 구체적인 사례는 아직까지 보고된 바 없다.

국내에서는 SK, 웅진케미칼, 대상, 도레이새한 등이 생분해성 플라스틱을 생산하고 있으나 해양자원 유래 고분자 원료는 아직 국내에서 생산하지 못하고 있다 [38]. 최근 국내에서도 PLA에 관심이 모아져 몇몇 기업이 옥수수 전분 유래 L-lactic acid에 대한 연구가 수행되고 있으나 바이오플라스틱을 생산하는 대부분의 기업이 Natureworks 사로부터 PLA 원료를 공급받아 이를 가공해 다양한 용도의 제품으로 만들고 있는 것이 국내의 실정이다. PLA의 경우, 세계최대 유통기업인 월마트에서 PLA 제품을 도입하면서 올해 약 1억 4천 4백만 개의 PLA 제품을 사용하는 계획을 발표하였고 중국의 경우는 2001년 5천만톤 공장

을 착공해 2008년 가동을 시작하였다 [39]. 이처럼 PLA의 생산은 지속적으로 증가되는 추세이며 이에 따른 PLA의 원료인 L-lactic acid 제조에 대한 연구가 국내에서 진행되는 반면 세계적인 PLA 소모와 함께 많은 외화를 획득할 수 있을 것으로 예상된다. 현재 포항공과대학교의 연구진에 의해서 해조류 유래 바이오기반 폴리머 생산을 위한 연구가 진행 중인데, 바이오기반 폴리머의 원료공급 문제를 천연 해양자원을 활용하여 해결함으로써 바이오기반 폴리머 생산 시장의 어려운 현황을 극복할 수 있으리라 기대된다.

해조자동차소재

도요타, 혼다, 포드 등의 자동차 회사들은 좌석 및 외부 바디 패널 등 다양한 분야에서 옥수수, 콩 등 바이오소재들을 사용하여 자동차를 생산하고 있다 [31]. 기업들이 재생 불가능한 석유 화학 소재에서 재생 가능한 천연 소재로 옮겨가고 있는 큰 이유 중 하나는 기업의 환경에 대한 책임과 소비자들에게 친환경적 기업 이미지를 심어주기 위한 것으로 앞으로 친환경 소재를 이용한 자동차 생산은 크게 증가할 것으로 예상된다. 현재는 육상식물 자원을 이용해서 생산되는 자동차 소재가 주를 이루고 있지만 육상식물 자원을 이용하여 생산된 자동차 역시 자원고갈이나 식량문제 등을 피해갈 수 없기 때문에 다른 대체 자원을 찾고 있는 실정이다. 한편, 일본의 도요타는 2009년 2월에 2015년까지 해조자동차 생산을 목표로 연구를 수행중이라고 발표하였다 [32]. 해조자동차는 해조류의 성분을 이용하는 것으로서 기존모시와 열대식물인 케나프에서 추출한 바이오플라스틱을 근해에서 쉽게 구할 수 있는 해조류에서 추출한 바이오 플라스틱으로 대체한 친환경 자동차를 생산한다는 것이다 [40]. 이와 같은 해조자동차는 친환경적일 뿐만 아니라 육상식물 자원을 활용했을 때 발생하는 식량 감소 문제도 동시에 해결할 수 있게 된다.

해조섬유소재

해조류는 자동차소재 이외에도 섬유소재로도 사용되고 있다. 해조섬유로는 갈조류 중 다시마의 알긴산을 이용해서 만든 알긴산 섬유가 있다. 알긴산은 물에 약하므로 외과수술용 용해성 봉합사 및 붕대에 사용되고 있으며 Johnson & Johnson 등에서 판매되고 있다 [41,42].

그밖에 독일의 Zimmer에서 만든 SeaCell은 목재 펄프에서 추출한 셀룰로오스로 만든 친환경 청정섬유 Iyocell에 해조추출물을 결합시킨 제품이다 [43]. SeaCell은 Iyocell 생산 공법을 기초로 하여 기존의 셀룰로오스 원료 외에 해조류 성분을 첨가해 생산된 것으로서, 해조류 성분에서 나타나는 칼슘 마그네슘 등의 각종 미네랄 및 아미노산 그리고 비타민 등 건강 성분을 그대로 유지하고 있는 소재로 피부에 직접 닿는 속옷 및 기타 의류에 사용했을 때 해조류 유래 성분들에 의해서 면역체계 강화 및 스트레스 해소등과 같은 작용으로 건강이 증진되는 효과가 있다고 한다 [43,44]. 최근에는 독일의 Triumph International에서 SeaCell 속옷

을 선보였다. 이런 제품의 경우 기존 섬유제품보다 단가가 높으나 기능적인 측면에서 우수하기 때문에 고부가가치 상품이 될 수 있을 것으로 전망된다.

나노복합소재

나노복합소재는 고분자 재료에 나노 사이즈의 입자를 결합시켜 강도, 내열성, 흡착성, 내마모성 등과 같은 물성이 향상된 신소재로써 화학, 생물 및 의학 등 모든 분야에서 그 응용이 넓기 때문에 많은 연구가 진행되고 있다.

프랑스의 Olmix는 해조류의 고분자물질성분인 ulvan을 추출하여 nanocomposite 물질인 Amadeite[®]를 판매하고 있다 [45]. Amadeite는 진흙에 ulvan 성분을 첨가 시켜 흡착능을 향상 시킨 것으로 곰팡이독증을 해결하기 위한 신소재로 사용되고 있다. 또한 ulvan과 PLA를 결합시켜 열안정성 등의 물성을 변화시킨 나노복합소재가 개발되고 있다 [46,47].

해수에 존재하는 규조류는 단세포 유기체로 자연계에서 뛰어난 나노기술자로서 규조류가 복잡한 세포벽을 형성하는 방법을 모방한 나노구조체를 제작하기 위한 연구가 많은 연구자에 의해 진행되고 있다 [48,49]. 2004년 오레곤 주립대학과 포틀랜드 주립대학의 연구진들은 해수에 존재하는 실리콘을 섭취해 이를 복잡한 나노구조로 가공하며, 작고 단단한 실리카 나노 세포벽을 만드는 규조류의 특성을 이용해서 전자재료로 사용하기 위한 게르마늄이 혼입된 차세대 첨단 나노소재 개발 연구를 수행하고 있다 [50,51].

해면동물은 무척추 동물로서 척추대신에 골편이라는 나노 사이즈 바늘 형태의 기관을 가진다. 이들 골편은 실리카 폴리머의 형태로 이루어져 있으며 생체 내에서 이를 생산하는 실리카 단백질이 존재한다. 이 실리카 단백질을 이용하여 *in vitro*에서 실리콘 나노복합소재를 생산하는 연구가 진행되고 있다. 해양생명공학을 이용한 나노 실리콘 복합소재 생산에 관한 이러한 연구는 유리, 광학, 반도체 등 여러 산업에 필요한 나노소재 생산에 도움 줄 것으로 예상된다. 그러나 아직까지 해양 유래 나노복합소재의 연구개발은 초기 단계이며 연구개발이 시급한 실정이다.

해양신소재산업의 전망

현재의 해양신소재 관련 산업의 추세 및 연구 동향을 바탕으로 유추해보면 해양신소재산업은 지속적으로 시장을 넓혀 갈 것이다. 위에서 살펴 본 해양 바이오기반 폴리머, 해조자동차소재, 해조섬유소재, 나노복합소재 이외에도 해양 유래 신소재로 사용하여 개척할 수 있는 분야는 무궁무진하다. 하지만 국내외의 연구동향을 조사한 결과, 아직까지 해양바이오킬을 기반으로 하는 신소재개발에 대한 연구는 많이 부족한 상태이다. 해양신소재의 시장 확대에 대응하기 위해서는 기본적으로 새로운 해양신소재의 보유 및 기술개발이 절실하게 필요하다. 체계적이고 과학적으로 해양신소재 원료를 발굴하고 이들의 활용을 위한 원천기술을 확보하여 해양신소재산업을 위한 원료 보급률을 증대시킴으로써 기존의

신소재 화학산업 분야에 활기를 불어 넣는 동시에 신가치 창출을 기대할 수 있을 것으로 전망된다.

해양바이오연료산업

최근 전 세계적으로 석유 및 석탄에너지의 고갈로 인하여 신재생 에너지의 개발과 연구가 활발히 진행되고 있는 가운데 2007년도 기준 신재생에너지 중 바이오에너지가 차지하는 비중은 6.6% 이다. 이산화탄소의 발생 저감과 친환경적인 에너지원으로 이용할 수 있는 바이오에너지는 보통 옥상자원으로부터 얻는 연구가 먼저 진행되었는데, 옥상자원의 한계점이 드러나기 시작하면서 해양산업과 접목시켜 해양자원으로부터 연료를 얻고자 하는 정책과 연구들이 전 세계적으로 시작되고 있다 [5].

최근 전세계적으로 해조류 및 미세조류를 이용한 바이오연료 생산에 많은 투자를 하고 있다. 지난 7월에 세계 굴지의 석유업체인 ExxonMobil이 algae를 이용한 바이오연료 연구에 5년간 6억 달러를 투입할 계획을 밝혔다. ExxonMobil은 Synthetic Genomics Incorporated (SGI)와 손을 잡고 algae에서 연료를 생산하는 연구를 진행할 예정이다 [52]. 또 다른 국가적 프로젝트로는 일본의 “The Ocean Sunrise Project”와 스코틀랜드와 아일랜드의 “BioMara Project”를 들 수 있는데, 둘 다 해조류로부터 바이오에탄올 등 바이오연료 생산을 위한 연구 프로젝트이다 [53,54].

바이오연료는 바이오매스로부터 얻는 연료를 일컫으며, 보통 수송용 연료를 대체하는 에너지를 말한다. 이러한 바이오연료에는 대표적으로 바이오에탄올과 바이오디젤, 바이오부탄올이 포함된다. 그 밖에 많은 연료들이 있지만 여기서는 바이오에탄올과 바이오디젤, 바이오부탄올에 대해 소개해보고자 한다.

해양바이오에탄올

바이오에탄올이란 바이오매스로부터 원료를 얻어 이를 발효시켜 얻는 것으로 자동차 연료로 사용될 수 있고 현재 브라질과 미국에서는 생산되어 사용되고 있으며 우리나라에서도 최근 크게 관심을 받고 있는 연료이다. 바이오에탄올의 생산은 사탕수수나 옥수수의 당전분질계를 이용하여 생산하는 1세대에서 출발하여 셀룰로오스를 이용하는 2세대를 거쳐 해조류로부터 바이오에탄올을 생산하는 제 3세대로 전환되고 있다. 현재 바이오에탄올을 생산하고 있는 대표적인 국가로는 브라질, 미국, 유럽, 중국, 일본 등이 있다. 브라질의 경우에는 사탕수수를 이용하여 바이오에탄올을 생산하는 반면 미국의 경우 넓은 국토를 이용한 옥수수 재배를 통하여 바이오에탄올을 생산한다 [55]. 대표적인 회사로는 Cargill-Dow, Shell 등이 있다. 그러나 전분계를 이용한 연료생산은 식량문제에 직면해 있으며, 목질계는 리그닌 제거의 문제를 가지고 있다.

이러한 문제에 대한 대안으로 나온 것이 해조류를 원료로 사용하는 것인 3세대 해양바이오에탄올이다. 해조류의 대부

분은 육상식물에 비해 성장이 빠르고 단위 면적당 생산량이 높으며 물, 햇빛 그리고 이산화탄소만 있어도 성장이 가능한 특징을 갖고 있기 때문에 육상식물을 원료로 한 바이오에탄올 생산에 비해 원료비 부분이 상당량 절감되어 가격 경쟁력을 가지게 된다. 그러나 해조류를 이용한 바이오에탄올 생산은 전세계적으로 아직 연구단계에 이르고 있다 [55,56]. 국내의 연료용 바이오에탄올의 시장규모는 현재까지 전무하다. 이와 반대로 현재 세계 시장의 규모는 약 30조원 규모로 매년 10% 이상의 성장률을 보일 것으로 추정된다 [57].

해양바이오부탄올

바이오부탄올도 사탕수수, 벼짚, 목질계 같은 바이오매스로부터 미생물의 대사과정을 거쳐 생산되는 연료이다. 바이오부탄올의 생산은 석유화학 기반 부탄올에 비하여 경제성이 현저히 낮아 그 생산이 중단되었으나 최근 고유가와 환경 문제가 대두되면서 석유를 대체할 수 있는 바이오연료의 하나로 재인식되고 있다 [58]. 세계적인 화학회사인 DuPont사와 정유회사인 BP사가 바이오부탄올에 대한 공동연구를 주로 하고 있으며, Gevo, Green Biologies, Cobalt와 같은 벤처회사들에서도 바이오부탄올 생산을 위한 미생물 개발 연구가 진행 중이다 [59,60]. 국내의 경우 정부차원에서 2007년부터 바이오 연료개발에 대한 사업으로 2010년까지 200억원을 투자해 청정 바이오연료 기술 개발을 목표로 연구가 진행 중인데 현재는 목질계 바이오매스로부터 바이오부탄올을 생산하는 기술이 연구 중이다 [61]. 이 사업의 주관은 지식경제부에서 맡고 있으며 2010년까지 연간 30 kl의 바이오부탄올을 생산할 수 있는 시설을 개발할 예정으로 있다. 그러나 목질계 바이오매스는 앞에서 언급한 것과 같이 리그닌 등의 문제점이 있기 때문에 바이오부탄올도 해조류로부터 생산하려는 연구가 시작되려고 하는데, 대표적인 예로 SK에너지에서 2010년까지 5대 중점투자 분야 중 하나로 해조류를 이용한 바이오부탄올 연구를 선정한 것을 들 수 있으며 포항공대에서도 연구개발에 참여하고 있다 [60]. 해양바이오부탄올은 해양바이오에탄올보다도 아직 연구가 많이 이루어지지 않았지만 투자, 연구를 더 강화한다면 발전 가능한 연료임에는 틀림없다.

해양바이오디젤

바이오연료 중에서 식물성기름인 콩, 옥수수, 유채, 해바라기, 팜, 카놀라, 코코넛, 올리브, 폐식용유등과 동물성기름인 우지, 돼지기름, 닭기름 등과 알코올을 반응시켜 만든 지방산에스테르 (fatty acid methyl ester)로서 순도가 95% 이상인 것을 바이오디젤이라 부른다. 바이오디젤은 경유와 특성이 유사하여 경유용 자동차의 엔진변경 없이 경유와 혼합하여 사용이 가능하다. 또한 바이오디젤을 생산할 수 있는 원료작물의 재배 과정에서 광합성 작용에 의해 이산화탄소의 배출이 저감되고, 연소시 배출가스 감소 효과가 우수하여 독일, 프랑스 등 유럽에서는 이미 경유 대체

연료로 널리 활용이 되고 있다 [62].

해조류 중에서도 미세조류가 바이오디젤을 생산하는 연료로 사용되는데, 2007년 10월 미국에너지성 산하 NREL 연구소와 세계적 정유회사인 Chevron은 해조류를 이용한 바이오디젤 생산 기술을 공동으로 개발하는 협약을 맺고 본격적인 기술개발에 들어갔다 [63]. 2007년 12월에는 세계적 정유회사인 Shell사와 HR Biopetroleum이 공동으로 바이오디젤 생산을 목적으로 미세조류 배양을 위한 시험생산 시설을 하와이에 설치한다고 발표하였다 [64]. 여기서 양식된 미세조류를 이용해 차세대 바이오 연료가 생산될 것이다. 한편 2008년 1월에는 미국의 Solazyme사가 Soladiesel이라고 하는 시제품을 Mercedes-Benz 디젤자동차에 제공하여 성능 시험을 하기로 하였다고 발표하였다 [65]. 또한 Chevron사는 Solazyme사와 협약을 맺고 공동 기술 개발을 하기로 한 것으로 보도되었다. 그밖에 미국의 Solix Biofuels사와 Lifefuels사는 유전자 조작된 미세조류로부터 유지를 추출하는 연구와 실험을 하고 있다 [66,67]. 프랑스에서는 3년 동안 280만 유로의 예산을 Shamash 프로그램에 배정하여 해조류 활용에 대한 활발한 연구를 추진 중이다. Shamash 프로그램은 국립연구청이 실현 가능한 생산모델의 개발을 위해서 프랑스 대학의 7개 연구팀으로 구성한 것으로 미세조류에서 나온 지방산의 생산과 이를 바이오연료로 변형하는 연구를 수행한다 [68]. 국내에서는 대표적인 회사로 에너텍이 있는데 바이오디젤 생산 공정 기술 개발, 바이오디젤 연료의 발굴 등의 연구를 하고 있으며 현재 해조류를 이용한 바이오디젤 생산 연구도 진행 중이다 [69]. 해양유래 광합성미생물을 대상으로 하는 바이오디젤 연구는 최근 들어 국내에서도 큰 관심을 갖고 기초연구를 많이 하고는 있으나 아직 기업의 참여도는 낮은 실정이다.

해양바이오연료산업의 전망

해양산업분야 중 가장 시장규모가 커질 수 있는 분야가 바로 해양바이오연료산업으로 판단된다. 현재의 석유기반 경제체제에서 가장 큰 화두는 에너지 문제인데 최근 급격히 발전하고 있는 바이오기술을 기반으로 육상자원을 이용한 대체에너지개발이 세계적으로 활발히 진행되고 있다. 그러나 육상자원의 한계점이 서서히 드러남에 따라 해양자원의 중요성이 커지고 있다. 특히 최근 해조류를 통한 해양바이오연료개발의 경우 국내외적으로 기업체들이 서둘러 경쟁체제에 돌입하여 그 개발은 가속화되고 있는 실정이다. 그러나 세계적으로나 국내적으로 아직 초기 연구단계에 이르러 있는데, 해양환경이 풍부한 국내에서 해조류를 이용한 해양바이오연료산업에 중점 투자, 연구할 경우 세계적인 해양바이오 강국이 될 수 있을 것이라 생각된다.

해양제염산업

소금의 종류 및 시장 규모

인류는 수천년 전부터 제염을 통해 소금을 얻어 왔으며,

음식물의 보존을 위한 방부제 및 조미료로써 소금을 요긴하게 사용해 왔다. 고대 로마시대를 비롯한 과거에는 소금이 매우 귀하게 여겨져 화폐의 기능을 하기도 했지만, 근대적인 방법의 소금 생산이 가능해진 오늘날에는 어디서나 쉽고 저렴하게 구할 수 있기 때문에 거의 모든 음식에 사용되는 필수 조미료가 되었다. 현대에 들어서는 농사용, 도로용, 공업용 등 다양한 소금의 활용으로 비식용 소금 소비가 월등히 많아진 양상을 보인다.

소금의 원천은 해수 외에도 암염, 염호, 지하함수 등 다양하다. 암염은 고대 해수가 증발하여 소금이 퇴적된 것으로 볼리비아 등지의 소금 광산에서 채취하여 사용하고 있다. 또한 사해, 그레이트솔트 호와 같은 염호의 수분이 증발하며 생성된 소금을 호수염이라 하며, 소금기 있는 지하함수를 증발 시켜 만든 소금을 정염이라 한다. 우리에게 가장 친숙한 소금 원천인 해수를 원료로 하여 만들어진 소금을 해염이라고 하는데 그 중에서도 바닷물을 자연증발시키는 천일염전방식으로 얻어낸 소금을 천일염이라 한다. 그 외에 천연 소금이나 바닷물을 공업적으로 정제하여 생산한 인공 소금을 정제염 혹은 기계염이라 한다 [70].

전 세계 소금 생산량은 2006년 기준 연간 2억 5,600만 톤이며 연간 3% 정도로 성장해 2012년에는 3억 톤 이상의 규모에 달할 것으로 예측된다 [71]. 이는 90억 달러 (약 11조 원) 이상의 시장 규모를 의미한다. 이들 소금 시장의 약 60%를 암염이 차지하고 있으며 전 세계 총 소금 생산량의 30% 이상을 미국과 중국이 생산하고 있다. 우리나라의 경우는 연간 약 50만 톤의 소금을 생산하고 있으며 그 중 30여만 톤이 천일염, 나머지를 정제염이 차지하고 있다. 하지만 공업 소금을 포함한 연간 수요는 350만 톤 정도이기 때문에 소비량의 대부분을 수입하고 있는 실정이다 [71].

재조명 받고 있는 국산 천일염

1950년대 이후 꾸준히 성장해 오던 국산 천일염 산업은 1990년대에 들어 염전의 과잉 개발과 함께 세계 시장개방이 본격화 되면서 점차 그 입지가 약화되어 정부가 지원금을 주며 폐전을 유도하기에 이르렀다. 그러나 2000년대에 들어 천일염의 뛰어난 품질이 알려지고 다양한 활용분야가 개척됨에 따라 새롭게 성장이 가능한 산업분야로 각광받기 시작했다 [72].

가장 두드러진 변화가 나타난 분야는 역시 식품 산업이다. 과거엔 염관리법에 의해 광물로 분류 되어온 천일염이 2008년 3월부터 식품으로 인정받게 됨에 따라 식품업체들이 다양한 식품을 만드는 원료로 천일염을 사용할 수 있게 되었다. 또한, 천일염 성분 분석 결과 국산 천일염의 품질이 세계 최고 품질의 프랑스 게랑드산 소금보다 뛰어나다는 연구결과가 발표됨에 따라 정부를 중심으로 한 염산업 육성이 계획되고 있다 [73]. 금년 3월 농림수산식품부는 2009년 총 소금 사업 예산 330억 중 33억을 천일염 생산 인프라에 투자하고 2010년에는 천일염 사업 예산을 2~3배 확대하겠다고 밝혔다 [74]. 정부는 이러한 투자를

통해 국산 천일염 산업을 2015년까지 1조원 이상 규모의 산업으로 육성하는 것을 목표로 하고 있으며 천일염의 생산체계 개선은 물론, 인력 양성과 제품 홍보 및 관광 산업을 아우르는 전반적인 산업육성을 목표로 한다 [75].

그러한 움직임의 결과가 이미 나타나기 시작했는데, 전남산 천일염이 2009년 1분기에만 120만 달러 규모로 수출계약 된 것이 그것이다. 이는 작년 한해 전체 수출 실적의 2배에 달하는 규모이다. 이 뿐만 아니라 천일염을 이용한 기능성 식품 개발 및 미용 소금도 개발되고 있으며 일부는 이미 판매되고 있다. 뛰어난 품질을 바탕으로 한 다양한 가공 상품의 개발은 국산 천일염이 국제적인 고급 브랜드로 도약 하는 데 도움을 줄 수 있을 것으로 기대되고 있다 [76].

천일염과 미생물

국산 천일염의 품질이 높기 평가되는 이유는 정제염이나 해외산 천일염에 비해 미네랄 함유량이 뛰어나기 때문이다. Mg^{+} , K^{+} , Ca^{+} 등의 다양한 미네랄을 풍부하게 함유한 천일염은 NaCl로만 이루어진 정제염 섭취 시의 문제점으로 지적됐던 고혈압 문제를 방지해 줌은 물론 현대인이 결핍되기 쉬운 다양한 미네랄을 보충해 준다는 점에서 웰빙 제품으로 인식되고 있다 [73]. 그 뿐만 아니라 풍부한 미네랄이 김치나 젓갈 발효 시 유산균 성장을 촉진시킴으로써 발효 식품의 품질을 향상시킨다는 연구도 보고되고 있다 [77].

국산 천일염이 상대적으로 높은 미네랄 함유량을 갖고 있는 가장 큰 이유는 갯벌 및 염전에서 서식하는 미생물이라 할 수 있다. 이들은 대부분 호염성 미생물 (halophile)로서, 고염도의 환경에서 서식하면서 유기물을 분해하여 갯벌이 정화작용을 하는데 큰 도움을 준다 [78]. 국산 천일염의 주생산지 (총 생산량의 80%)인 전라남도의 갯벌 속에는 이러한 미생물들이 풍부하게 서식하고 있는데 천일염 생산 시 이 들로부터 나온 다양한 미네랄들이 소금 결정 사이에 끼어 들어 천일염의 미네랄을 풍부하게 하는 것으로 알려져 있다.

고부가 소금의 개발

제염산업의 새로운 흐름 중 하나로 소금이 기존의 저렴하고 흔한 이미지에서 벗어나 고급화 전략을 취하기 시작했다. 명품 소금으로 유명한 프랑스 게랑드 소금은 풍부한 미네랄 성분과 독특한 향을 적극 홍보하여 고급화에 성공한 예이다 (1 kg당 8만원선에 판매) [79]. 또한 미국, 일본 등 선진국을 중심으로 해양 심층수라는 새로운 소금 원천을 개발하여 고급 소금을 생산하고 있다. 해양 심층수는 미네랄이 풍부하면서도 각종 유기 오염 물질이나 병원균이 거의 없기 때문에 건강에 좋고 청정한 소금이라는 점이 강조되고 있다. 우리나라도 최근 울릉도 해양심층수로부터 얻어진 소금이 판매되고 있다 (CJ, 파나블루 등) [80]. 그 외에도 키토산 소금, 허브 솔트 등 바이오 추출물을 첨가하는 새로운 제품들도 생산되고 있다. 이러한 고부가 소금 개발에 있어서 그 화학 및 생물학적 기능에 대한 연구가 중요한 역할을 하고 있으며 앞으로도 이러한 연구가 더욱

활발히 이루어 질 것으로 예상된다.

해양제염산업의 전망

과거에는 소금 산업이 주로 식용, 농사용, 공업 및 도로 용 등의 저가 대량 생산에 초점이 맞춰져 있었다면, 최근에는 다양한 고품질 소금 및 가공품 생산으로 그 초점이 옮겨져 가고 있다. 미네랄 보충 등의 건강 식품 분야는 물론, 피부 질환 예방 및 미용을 위한 기능성 제품들도 상품화되어 판매되고 있다. 식품 분야에 있어서는 천일염이 새로운 분야로 떠오름에 따라 국산 천일염을 브랜드화한 명품 소금이 고가에 판매되고 있다. 이렇듯 과거엔 단순한 조미료나 공업용 광물 생산으로 여겨지던 소금 산업이 점차적으로 인간의 건강과 미용이라는 고부가 가치 산업으로 그 영역을 넓혀감에 따라 그 시장 규모는 점진적으로 확대될 수 밖에 없으며 이와 관련한 화학 및 생명공학 기술 개발에 대한요구가 높아질 것으로 예상된다.

해양심층수산업

해양심층수의 정의 및 활용분야

해양심층수는 너무 깊이 있어서 태양 빛이 도달할 수 없는 바닷물을 말한다. 현재까지 이에 대한 명확한 정의는 없지만 일반적으로 수심 200-300미터 이상의 깊이에 있는 물을 해양심층수라 한다 [81,82]. 해양심층수에는 유기물이나 병원균 등이 거의 없을 뿐 아니라 연중 안정된 저온을 유지하고 있으며, 해양식물의 성장에 필수적인 질소, 규소, 인과 같은 영양염류가 풍부한 것이 특징이다 [83].

최근 해양심층수 개발이 국내외에서 많은 관심을 받고 있다. 해양심층수가 먹는 물뿐만 아니라 수산, 농업, 식품, 의료, 미용, 건강, 에너지와 같은 각종 산업에 두루 이용될 수 있어 경제적 파급효과가 적지 않기 때문이다 [84-87]. 수산 분야에서는 미세조류, 해조, 다시마, 대구 및 대서양 연어 등의 냉수성 생물, 보석산호 등의 심해성 생물의 양식 및 병에 약한 닭새우 등의 유생양육, 여름철 고수온에 약한 광어 등의 월하사육(越冬飼育)에 활용된다. 농업분야에서는 작물의 성장을 조절하거나 고부가가치 농작물을 생산하는데 사용될 수 있다. 예를 들면, 작물을 재배할 때 차가운 해양심층수로 토양의 온도를 조절하여 성장을 촉진시키거나, 수확직전인 농작물에 해양심층수를 살포하여 미네랄 성분을 함유한 고부가가치 제품을 생산하는 경우가 그것이다. 또한 이 외에도 농작물의 신선도의 유지, 과수 및 야채류의 당도 증대에도 효과가 있는 것으로 나타나고 있다.

식품분야에서는 해양심층수에 용존된 다양한 미네랄, 해양효모 등을 분리 정제하여 음료제품, 염제품, 양조제품, 발효식품 및 건강식품의 제조에 활용되고 있다. 발효식품의 경우 해양심층수가 효모의 활성화를 촉진한다는 사실이 입증되면서 젓갈, 생선, 간장 등의 제품 개발이 활발히 진행되고 있다. 또한 해양심층수를 이용한 식품은 맛과 품질 면에서 소비자의 호평을 받으면서, 관련시장의 규모가 커지

고 있으며 활용분야도 확대되고 있는 실정이다. 의료, 미용, 건강분야에서는 해양심층수에 용존된 미량원소 등의 유용 물질을 분리 정제하여 화장품, 식염수, 샴푸 등의 제조 원료로서 사용되고 있다. 또한 아토피성 피부염 치료 및 해양 요법 등에도 활용되고 있다. 에너지분야에서는 해양심층수와 표층수의 온도차를 이용해 전기를 생산하는 해양온도차 발전에 활용될 수 있다 [88]. 그러나 화석연료를 이용한 발전에 비해 비용이 높은 점이 사업화에 걸림돌이 되고 있다.

해양심층수와 관련된 바이오산업은 위에서 소개된 분야 중, 에너지 분야를 제외한 전 분야와 연관되어 있어 향후, 해양바이오산업의 성장에 기여할 것으로 기대된다.

해외 해양심층수 개발 동향

미국은 1974년 세계 최초로 해양심층수를 개발한 해양심층수 원조국가로서, 당시 해양온도차발전을 개발하는 과정에서 해양심층수를 개발하게 되었다. 하와이 대학의 주립 자연에너지연구소(NELHA)는 해양심층수를 산업자원으로 활용하기 위해 1981년부터 해조류, 패류, 갑각류, 어류를 대상으로 육성실험을 진행하고 있다. NELHA에는 26개 벤처기업이 입주하여 연간 200명의 고용효과를 창출하고 3천만 달러 이상의 재정 기여를 하고 있다. 하와이에서 해양심층수 생수 수출은 이미 초콜릿, 커피 등을 앞질러 하와이의 최대 수출 식품으로 자리 잡고 있다 [89].

일본은 1976년부터 일본해양과학기술센터(JAMSTEC)의 주도로 해양심층수 연구가 추진되었으며, 1986년부터 1991년까지 아쿠아마린 계획에 따라 과학기술청과 지방자치단체가 공동으로 연구개발을 수행하였다. 일본의 해양심층수 이용은 지역 경제 활성화를 위한 산업적 개발에 중점을 두고 있다. 지방자치단체가 주체가 되어 개발이 이르고 있으며 일부 민간사업자가 참여하고 있다. 현재 지방자치단체를 중심으로 16곳에서 해양심층수가 취수되고 있으며, 식품, 미용 및 의약품, 수산가공, 음용수, 주류 등의 다양한 분야에서 수백 개 업체들이 관련 제품을 내놓아 약 3조 6천억원(2007년)의 해양심층수 시장을 형성하고 있는 것으로 추정된다 [89].

대만은 2005년부터 화이렌(花蓮)지역을 시작으로 중앙정부, 지방정부와 민간이 함께 참여하는 공영개발방식으로 해양심층수 개발을 시작하였다. 먹는 심층수 제품 위주의 개발이 이루어져 13종의 해양심층수 음료제품이 유통되고 있으며, 시장 규모는 5,400억원으로 급성장하였다. 이렇게 대만에서 조기에 해양심층수 개발이 성공하고 시장이 크게 성장할 수 있었던 주된 이유는 대만의 경제부를 중심으로 국가 차원에서 해양심층수 개발사업을 일사불란하게 추진하고 있기 때문이다 [89-91].

국내 해양심층수 개발 동향

우리나라가 해양심층수 개발에 관심을 갖게 된 것은 1990년대 중반이었다. 이때부터 개발을 위한 연구조사가 시작되어 그 이후 약 10년간 상업생산을 위한 타당성 조사,

시험개발 단계를 거치고 2007년 8월 ‘해양심층수 개발과 관리에 관한 법률’이 제정되면서 해양심층수의 본격적인 산업화가 이루어지고 있다 [89]. 2007년 8월 제정된 해양심층수법이 2008년 2월에 시행된 이후, 올해 4월 말까지 국토해양부가 지정한 해양심층수 취수해역은 강릉 정동진, 울릉 태하, 울릉 현포, 울릉 저동, 동해 추암, 양양 원포, 속초 외옹치, 고성 오호, 강원 삼척 총 9곳이다. 그리고 올해 4월 30일까지 해양심층수 개발업체로 면허를 허가받은 곳은 총 7곳으로 5개 사업자 (파나블루 (구 울릉미네랄), 워터비스, 강원심층수, 글로벌심층수, 해봉)와 1개 지방자치단체 (경북 울릉군), 그리고 1개 연구기관 (한국해양연구원)으로 구성되어 있다 [92].

현재 국내에서 해양심층수 관련 제품은 19개 이상이 생산되고 있으며, 파나블루 (구 울릉미네랄)와 워터비스, 그리고 강원심층수에서 먹는 해양심층수를 생산하고 있다. 현재 판매되고 있는 해양심층수 관련 국내 제품은 워터비스에서 생산하는 해양심층수를 이용하고 있으며, 건강식품 및 두부와 같은 식품과 관련된 상품이 8개로 가장 많이 활용되고 있다. 이 외에도 주류, 혼합음료, 제과류, 화장품에서도 해양심층수가 사용된 제품이 판매되고 있다 [93,94].

해양심층수산업의 전망

우리나라가 해양심층수 개발에 있어서 산업화의 초기단계에 있지만 세계 해양심층수 시장을 보아도 성장 초기 단계에 있다고 할 수 있다. 또한 해양심층수 시장과 가장 관련이 깊은 먹는 물 시장도 유럽과 북미 일부를 제외하고는 성장 단계에 있다. 현재 세계 생수 시장의 규모는 200조원으로 추정되고 있는데 이것의 10%만 차지하더라도 20조원 시장이라고 할 수 있다 [89]. 전 세계적으로 친환경, 건강을 추구하는 분위기를 감안하면 해양심층수로 만든 생수의 대한 수요는 지속적으로 증가할 것으로 예상된다. 또한 해양심층수에 존재하는 미생물에 대한 연구와 해양심층수가 의약적 효능에 미치는 영향에 관한 연구가 진척된다면 활용 분야가 점차 다양해져서 해양심층수 시장의 전망은 더욱 밝아질 것이다.

결 론

해양선진국을 중심으로 해양에 대한 인식은 하루가 다르게 변모하고 있다. 특히 에너지를 포함한 대부분의 석유기반의 산업분야에 이용되고 있는 육상자원의 고갈이 가속화되면서 기존에는 이용하지 않던 자원과 해양자원의 중요성은 점차 커져만 가고 있다. 2009년 현재 세계 인구는 약 68억 명으로 2050년에는 94억 명까지 증가할 것으로 예측되고 있으며, 개발도상국들의 빠른 경제 성장은 앞으로 인류가 필요로 할 자원과 에너지가 기하급수적으로 늘어날 것을 시사하고 있다. 이미 2000년대 이후 원유를 비롯

한 육상자원가격이 가파르게 상승하고 있어 그러한 예상들은 점차 현실이 되어가고 있다. 이러한 상황에서 대체 자원 개발에 대한 사회적, 산업적 요구가 매우 커지고 있으며 이를 충족시키기 위해 그동안 미개척 분야였던 해양에서 그 해결책을 찾으려는 노력이 계속되고 있다.

해양산업분야는 최근의 바이오산업과 더불어 미래의 지속개발 가능한 산업으로 가장 영향력이 높을 것으로 판단되는데 산업화하기 위해서는 새로운 기술개발이 우선시되어야 한다. 해양생물자원들의 생물학적 특수성은 육상생물자원 활용에 사용되던 기술과는 다른 새로운 기술들을 요구하고 있는데 반해, 해양바이오자원에 대한 연구개발은 상대적으로 미비한 수준이기 때문에 과학 및 공학자들의 역할이 매우 중요한 시점이라 할 수 있다. 또한, 그동안 산업적으로 유용한 자원으로서 평가 받지 못했던 미개척 해양자원들에 대한 연구도 진행되어야 할 것이다. 특히 해양선진국에 비해 턱없이 자원이 부족한 우리의 경우, 정부와 민간 차원의 집중적인 관심과 지원이 필요하다. 최근 해양 화학 및 바이오 연구에 국내 기업들도 투자를 하기로 한 것은 매우 다행한 일이나 아직 다국적 기업의 투자 규모와는 비교가 되지 않는 실정이다.

이제는 해양의 시대이다. 인류가 지속적으로 발전하기 위해 필요한 엄청난 자원의 수요를 충족시키기 위해서는 해양산업 발전 외에는 근본적인 대책이 없기 때문이다. 본 글의 전반부에 소개된 해조다당류산업, 해양신소재산업, 그리고 해양바이오연료산업의 발전은 기존에 잘 사용되지 않았던 해양 생물자원을 본격적으로 산업에 활용하는 데 중요한 역할을 할 것으로 기대되고 있다. 또한 후반부에 소개된 해양제염산업과 해양심층수산업은 기존의 해양산업이 화학 및 바이오 기술과 융합될 때 고부가가치 산업으로 새롭게 발전할 수 있음을 보여주는 예라 할 수 있다. 소개된 다섯 분야 이외에도 첨단 화학 및 바이오 기술을 응용한다면 해양자원을 이용하여 발전할 수 있는 산업은 많이 있을 것으로 예상된다. 세계적으로 해양산업 개발에 박차를 가하기 시작한 이 시점에 우리나라의 과학기술자들이 적극적으로 동참하여 이 분야의 유리한 고지를 선점할 수 있기를 바라며, 가까운 미래에 세계 해양산업을 선도할 해양강국 대한민국을 기대해 본다.

요 약

21세기에 들어서면서 해양에 대한 인식은 해양선진국들을 중심으로 하루가 다르게 변모하고 있으며, 석유 및 육상자원의 고갈의 가속화로 인하여 해양의 중요성은 점차 커져가고 있다. 지속가능한 발전을 위해서는 해조류, 해수 등과 같은 해양자원으로부터 산업용 화학품, 신소재, 연료, 희귀 금속 등의 생산을 가능하게 하는 해양화학생물산업의 개발이 절실히 필요해지고 있다. 본 글에서는 해양화학생물산업 분야 중 세계적으로 각광 받고 있으며 우리나라에서도 발전

가능성이 큰 분야인 해조다당류산업, 해양신소재산업, 해양 바이오연료산업, 해양제염산업, 해양심층수산업 등 다섯 분야를 선정하고 이들 분야의 현황과 전망을 소개하였다. 각 분야별 소개는 산업발전 역사, 기술개발 수준, 산업화 정도를 포함하고 있으며, 국내외 산업경향과 앞으로의 발전 가능성을 조사하였다. 분석결과, 해양화학생물산업기술의 발전을 위해서는 해양생물공정 개발에 대한 적극적인 연구 개발 투자와 해양생물과학자들과 생물화학공학자들간의 협력 연구가 앞으로 더 많이 필요하기는 하지만 해양화학생물 산업의 미래전망은 매우 밝은 것으로 나타났다.

감 사

본 연구는 국토해양부의 해양생명공학기술개발사업과 해양한국발전프로그램 (경북씨그랜트사업단)의 지원에 의해 이루어졌으며 이에 감사드립니다.

접수 : 2009년 12월 4일, 게재승인 : 2009년 12월 20일

REFERENCES

1. US Senate (2009) The Blue Economy: The Role of the Oceans in our Nation's Economic Future. US Senate Committee on Commerce, Science, and Transportation, June 9, 2009.
2. Costanza, R., R. Arge, R. Groot, S. Farberk, M. Grasso, B. Hannon, K. Limburg, S. Naeem, R. V. O'Neill, J. Paruelo, R. G. Raskin, P. Suttonkk, and M. Belt (1997) The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature* 387: 253-260.
3. Chapman, V. J. and D. J. Chapman (1980) *Seaweeds and Their Uses*, 3rd edition, Chapman and Hall, London.
4. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Yearbook of Fishery Statistics-Aquaculture Production. <http://www.fao.org>.(2006).
5. Park, J. I., C. H. Woo, and J. H. Lee (2008) Production of bio-energy from marine algae: Status and Perspectives. *Korean Chem. Eng. Res.* 46: 833-844.
6. Park, C. S. (2006) Future of algae cultivation industry. The Newsletter of The Korean Society of Phycology.
7. Michael Guiry's Seaweed Site, Alginate of uses and utilization. <http://www.seaweed.ie>.(2009).
8. Jung, J. Y., S. S. Hur, and Y. H. Choi (1999) Studies on the efficient extraction process of alginic acid in sea tangle. *Food Eng. Pro.* 3: 90-97.
9. Rinaudo, M. (2008) Main properties and current applications of some polysaccharides as biomaterials. *Polym. Int.* 57: 397-430.
10. Rioux, L. E., S. L. Turgeon, and M. Beaulieu (2007) Rheological characterisation of polysaccharides extracted from brown seaweeds. *J. Sci. Food Agric.* 87: 1630-1638.
11. Lee, J. S. (2008) *Chemistry and Utilization of Algae*. pp. 236-237. Hyoil, Seoul, Korea.
12. Renn, D. (1997) Biotechnology and the red seaweed polysaccharide industry: status, needs and prospects. *Trends Biotechnol.* 15: 9-14.
13. Campo, V. L., D. F. Kawano, D. B. da Silva Jr, and I. Carvalho (2009) Carrageenans: Biological properties, chemical modifications and structural analysis-A review. *Carbohydr. Polym.* 77: 167-180.
14. MSC Corporation. http://www.msckorea.com/bbs/zboard.php?id=mscnew&page=1&sn1=&divpage=1&sn=off&ss=on&sc=on&select_arrange=headnum&desc=asc&no=67.(2006).
15. Fei Lu, B. L., X. Wei, and R. Zhao (2008) Fucoidan: structure and bioactivity. *Mol.* 13: 1671-1695.
16. Kusaykin, M., I. Bakunina, V. Sova, S. Ermakova, T. Kuznetsova, N. Besednova, T. Zaporozhets, and T. Zvyagintseva (2008) Structure, biological activity, and enzymatic transformation of fucoidans from the brown seaweeds. *Biotechnol. J.* 3: 904-915.
17. Sea Herb, Fucoidan of extraction material story. http://www.seaherb.com/do_story01.htm.(2009).
18. Korea Fucoidan, Korea fucoidan community. http://www.koreafucoidan.com/sub2_01.asp.(2009).
19. The Ilyojournal, New technology news. <http://www.ilyojournal.co.kr/news/quickViewArticleView.html?id=xno=958>.(2009).
20. Uzuhashi, Y. and K. Nishinari (2003) Physicochemical properties of agar and its utilization in food and related industry. *Foods Food Ingredients J. Jpn.* 208: 791-800.
21. Im, B. S. (2004) Marine Bioindustry. *Food Technol.* (Korea) 17: 3-7.
22. Delattre, C., P. Michaud, B. Courtois, and J. Courtois (2005) Oligosaccharides engineering from plants and algae applications in biotechnology and therapeutics. *Minerva Biotech.* 17: 107-117.
23. Platt, K. D. (2006) Biodegradable polymers market report. RAPRA market report.
24. Frost and Sullivan (2007) European markets for bioplastics. Frost and Sullivan report.
25. McKinsey (2009) The chemical industry-Turning crisis into opportunity. McKinsey report.
26. Wolf, O., M. Crank, M. Patel, F. M. Weidemann, J. Schleich, B. Husing, and G. Angerer (2005) Techno-economic feasibility of large scale production of bio-based polymers in Europe, Technical Report EUR 22103EN, pp. 23-30.
27. The Freedonia Group (2004) Degradable plastics to 2008. The Freedonia Group report.

28. Lee, S. Y. (2006) Deciphering bioplastic production, *Nat. Biotechnol.* 24: 1227-1229.
29. The Korea Economic Daily (2007) Biopolymer, press release.
30. Technical Insights (2007) Biopolymers, press release.
31. Hubbell, A. J. (1995) Biomaterials in tissue engineering. *Nat. Biotechnol.* 13: 565-576.
32. Saito, N., T. Okada, H. Horiuchi, N. Murakami, J. Takahashi, M. Nawata, H. Ota, K. Nozaki, and K. Takaoka (2001) A biodegradable polymer as a cytokine delivery system for inducing bone formation. *Nat. Biotechnol.* 19: 332-328.
33. Freed, L. E., G. V. Novakovic, R. J. Biron, D. B. Eagles, D. C. Lesnoy, S. K. Barlow, and R. Langer (1994) Biodegradable polymer scaffolds for tissue engineering. *Nat. Biotechnol.* 12: 689-693.
34. Natureworks LLC. <http://www.natureworkslc.com/product-and-applications.aspx>.(2009).
35. Recycling Today (2004) Cargill Dow presents PLA research data, press release.
36. Cargill Dow Fiber News (2003) Cargill Dow and Toray team up on Ingeo, press release.
37. Nature works LLC (2007) Improving biodegradable plastics manufactured from corn, press release.
38. SK Networks. <http://www.sknetworks.co.kr/cyberpr/press/view.jsp?Num=1021&page=11&>.(2006).
39. PLA Korea. <http://www.plakorea.com>.(2006).
40. PSFK. <http://www.psfk.com/2009/02/bioplastics-toyota-aiming-to-make-cars-out-of-seaweed.html>.(2009).
41. Johnson and Johnson. <http://www.jnj.com>.(2009).
42. Dressingsonline. <http://dressingsonline.com/silvercel-dressings.htm>.(2009).
43. Yimin, Q. (2007) Production method of seacell fibers, *J. Text. Res.* 28: 120-123.
44. Medical Textiles (2004) SeaCell Active shows antifungal and antibacterial properties.
45. Laza, A. L., M. Jaber, J. M. Brendle, H. Demais, H. L. Deit, L. Delmotte, and L. Vidal (2007) Green nanocomposites: synthesis and characterization. *J. Nanosci. Nanotechnol.* 9: 3207-13.
46. Fordiani, F., S. Pimbert, and Y. Grohens (2006) Nanocomposite materials based on polylactide and green seaweed extracted polysaccharide-modified montmorillonites: thermal and morphological study. *Journées d'Etudes des Polymères* 34: 1.
47. Feedstuffs (2007) Nanoclay development. press release.
48. Noll, F., M. Sumper, and N. Hampp (2002) Nanostructure of diatom silica surfaces and of biomimetic analogues. *Nano Lett.* 2: 91-95.
49. Sumper, M. and E. Brunner (2006) Learning from diatoms: Nature's tools for the production of nanostructured silica. *Adv. Funct. Mater.* 16: 17-26.
50. Woehrle, G. H., M. G. Warner, and J. E. Hutchison (2004) Molecular-level control of feature separation in one-dimensional nanostructure assemblies formed by biomolecular nanolithography. *Langmuir* 20: 5982-5988.
51. Korea Institute of Science and Technology (2007) Nano Weekly No. 219, press release.
52. Synthetic Genomics. <http://www.syntheticgenomics.com/media/press/71409.html>.(2009).
53. The Scottish Association for Marine Science. <http://www.sams.ac.uk/research/research-themes/marine-renewable-energy-research/biofuel-from-marine-plants>.(2009).
54. Oilgae, Algae product basket. <http://www.oilgae.com/algae/pro/eth/eth.html>.(2009).
55. Blottnitz, H. and M. A. Curran (2007) A review of assessments conducted on bio-ethanol as a transportation fuel from a net energy, greenhouse gas, and environmental life cycle perspective. *J. Cleaner Prod.* 15: 607-619.
56. Gao, K. and K. McKinley (1993) Use of macroalgae for marine biomass production and CO₂ remediation: a review. *J. Appl. Phycol.* 6: 45-60.
57. 2009 Ethanol Industry Outlook. http://www.ethanolrfa.org/objects/pdf/outlook/RFA_Outlook_2009.pdf.(2009).
58. Thaddeus, C. E., N. Qureshi, and H. Blaschek (2007) Bioproduction of butanol from biomass: from genes to bioreactors. *Curr. Opin. Biotechnol.* 18: 220-227.
59. Green Car Congress. Energy, technologies, issues and policies for sustainable mobility. <http://www.greencarcongress.com/2008/02/dupont-and-bp-p.html#more>.(2008).
60. Korea Institute of Energy Technology Evaluation and Planning (2009) Green energy strategy road map, clean fuel.
61. The Korea Energy News (2007) Nov. 19, 2007, press release.
62. Chisti, Y. (2007) Biodiesel from microalgae. *Biotechnol. Adv.* 25: 294-306.
63. National Renewable Energy Laboratory, Innovation for Our Energy Future. <http://www.nrel.gov/news/press/2007/535.html>.(2007).
64. Shell. http://www.shell.com/home/content/media/news_and_library/press_releases/2007/biofuels_cellana_11122007.html.(2007).
65. Solazyme. <http://www.solazyme.com/market/fuels>.(2009).
66. Solix. <http://www.solixbiofuels.com/content/technology/about-microalgae-biofuels>.(2009).
67. Ara, K. and B. K. Peter (2009) *Recent Advances in Plant Biotechnology* pp. 163-203. Springer, USA.
68. Institut National de Recherche en Informatique et en Automatique, Shamash. <http://www-sop.inria.fr/comore/shamash/wwweng/index.html>.(2006).
69. Chemical Market Research (2008) Analysis and prospect of bioenergy market.
70. Roskill Information Services (2007) The Economics of Salt, 12th Edition. Roskill Information Services

- market research report.
71. Kil, W. S. (1999) Salt production and its application of Korea. *Proceedings of The EASDL (East Asian Society of Dietary Life) Conferences*. May 15. Seoul, Korea.
 72. Kim, J. (2001) Globalization and Korean Rural Society: Opened Market and the Transformation of Structure of Natural Salt Farm Industry in South-West Coast. *Korean Rural Sociol. Soc.* 11: 97-134.
 73. Ham, K. S. (2008) *Salt*, The Dong-A Ilbo, Seoul, Korea.
 74. Ministry for Food, Agriculture, Forestry and Fisheries (2008) *Budget 2009*. Ministry for Food, Agriculture, Forestry and Fisheries.
 75. Policy Portal News of Kyeonggi (2009) Oct. 20, 2009, press release.
 76. The Korea Economic Daily (2009) Mar. 30, 2009, press release.
 77. Han, Y. S. (2001) Effects of kinds and concentration of salts on the growth of yeasts isolated from Kimchi. *J. East Asian Soc. Dietary Life*. 11: 393-399.
 78. Hyun, J. H. (2004) Community analysis of Korean coastal marine bacteria. National Research Foundation of Korea, press release.
 79. Kobayashi, K. (2008) *Brief History of Guerande Salt*, Sigma Press, Seoul, Korea.
 80. The Korea Economic Daily (2009) Oct. 29, 2009, press release.
 81. Watanabe, M., J. Ohtsu, and A. Otsuki (2000) Daily variations in nutrient concentrations of seawater at 321m depth in Toyama Bay, Japan sea. *J. Oceanogr.* 56: 553-558.
 82. Parsons, T. R. and M. Takahashi (1973) *Biological Oceanographic Processes*. 1st ed., p. 186. Pergamon Press, New York.
 83. Takahashi, M. M. (2000) *DOW: deep ocean water as our next resources*. Terra Scientific Publishing Company, Tokyo.
 84. Im, K. H. (2003) Peculiarity of deep sea water and Japan's development trend. *Mon. Marit. Fish.* 222: 51-64.
 85. Nakasone, T. and S. Akeda (1999) The application of deep sea water in Japan. *UJNR Technical Report* 28: 69-75.
 86. Kim, H. J. and S. J. Choi (2005) Patent and future direction of deep sea water. *Korea Water Res. Assoc.* 38: 120-124.
 87. Kimio, K., T. Nishijima, and Y. Hata (1992) Availability of deep seawater and effects of bacteria isolated from deep seawater on the mass culture of food microalga *Chaetoceros ceratosporum*. *Nippon Suisan Gakk.* 58: 931-936.
 88. Pelc, R. and R. M. Fujita (2002) Renewable energy from the ocean. *Mar. Policy* 26: 471-479.
 89. Chang, H. B. (2008) Industrialization of deep sea water. *Mariti. Fish. Trend* 1285: 1-7.
 90. Hsieh, P. F. and Y. R. Li (2009) A cluster perspective of the development of the deep ocean water industry. *Ocean Coast. Manag.* 52: 287-293.
 91. Liua, T. K., H. H. Hwung, J. L. Yu, and R. C. Kao (2008) Managing deep ocean water development in Taiwan: experiences and future challenges. *Ocean Coast. Manag.* 51: 126-140.
 92. Minister of Land, Transport, and Maritime Affairs (2009) Additional designation of deep sea water intakes, press release.
 93. Minister of Land, Transport, and Maritime Affairs (2008) Deep sea water intakes, press release.
 94. Yoo, S. H., H. J. Kim, and D. S. Moon (2007) Demand analysis on the deep sea water products. *Ocean Policy Res.* 22: 35-65.