

2009. 12
정책연구 2009-13

해양바이오산업화를 위한 전략 및 정책방향

2009. 12



한국해양수산개발원
KOREA MARITIME INSTITUTE

◆ 보고서 집필 내역

● 연구책임자

류 정 곤 : 제1장, 제2장 1절, 제4장 1절~4절, 제5장

● 연구진

조 정 희 : 제3장 1절 및 3절(일부), 제4장 3절(일부) 및 4절(일부)

김 대 영 : 제2장 2절~3절, 제3장 2절 및 3절(일부), 제4장 3절(일부) 및 4절(일부)

◆ 산·학·연·정 연구자문위원

● 신 종 암 : 전남대학교 교수

● 정 봉 민 : 한국해양수산개발원 선임연구위원

● 최 성 애 : 한국해양수산개발원 연구위원

● 차 태 황 : 농림수산식품부 사무관

* 연구자문위원은 산·학·연·정 순임

◆ 연구감리

● 신 영 태 : 한국해양수산개발원 선임연구위원

차 례

Executive Summary	i
제1장 서론	1
1. 연구의 배경 및 필요성	1
2. 연구의 범위 및 방법	9
3. 기존 연구동향 분석 및 차별성	13
제2장 바이오산업 실태 분석	25
1. 해조류 바이오산업화의 필요성	25
2. 에너지 및 펄프 산업 실태	36
3. 바이오산업 실태	42
4. 해조류 활용 및 생산 실태	55
제3장 해조류 바이오에너지 및 펄프 산업화 가능성 검토	72
1. 해조류 바이오에너지 산업	72
2. 해조류 펄프 산업	80
3. 해조류 바이오산업화 가능성 및 한계 분석	87
제4장 해조류 바이오산업화 전략 및 정책 방향	103
1. 국가 및 중앙정부 관련 계획	103
2. 비전 및 목표	107
3. 추진전략	113
4. 정책방향	115

5. 파급효과	122
제5장 결 론	125
1. 요약 및 결론	125
2. 정책 제언	134
참고문헌	138
부록	144
1. 일본 수산 바이오매스 정책	144
2. 저탄소녹색성장기본법	152
3. 인도네시아 해조류(우뭇가사리) 양식 실태조사	222

표 차 례

표 1-1	선행연구와의 차별성 검토	23
표 2-1	바이오에너지 특성	29
표 2-2	주요 국가의 기후변화 방지대책	31
표 2-3	국별 수송 연료용 바이오에탄올 도입현황	39
표 2-4	펄프의 분류 체계	40
표 2-5	세계 펄프 생산 규모	41
표 2-6	국내 펄프의 사용량 추이	41
표 2-7	바이오에너지 연료작물의 종류 및 활용 형태	42
표 2-8	바이오에탄올 국별 지원 및 생산 현황	43
표 2-9	바이오원료 선진국 대비 국내 기술 수준 비교	47
표 2-10	거대조류와 미세조류의 구분	56
표 2-11	해조류 이용 분야	61
표 2-12	해조류 관련 산업의 분류	62
표 2-13	우리나라 해조류 생산 동향	67
표 2-14	해조류 양식면적 추이	68
표 2-15	해조류 양식의 어장시설 기준	70
표 3-1	해조류 바이오매스 관련 연구 현황	75
표 3-2	신재생에너지 관련 선진국 대비 국내 기술 수준	77
표 3-3	우리나라 해조류의 성분 비교	81
표 3-4	홍조류 및 목재 펄프 생산 비교	82
표 3-5	국별 1인당 소비량(2008)	84
표 3-6	국내 종이 소비 추이	85
표 3-7	목재 펄프 및 홍조류 펄프의 가격 비교	86
표 3-8	해조류 바이오매스 추정 생산량 및 생산비용	92
표 3-9	해조류 바이오에탄올 수율 및 가격	93

표 3-10 바이오에너지의 개발 방향	94
표 3-11 우리나라 국토 지표	99
표 3-12 해조류 펄프 산업화 검토	101
표 4-1 해조류 에탄올 생산 목표 추정	110
표 4-2 우리나라 해조류 잠재 생산면적	110
표 4-3 해조류 펄프 생산 목표 추정	111
표 4-4 해조류 바이오 산업화에 따른 정량적 효과	124

그림 차례

그림 1-1	연구의 추진체계	12
그림 2-1	바이오산업 범위	26
그림 2-2	주요 바이오매스와 바이오매스에너지	28
그림 2-3	자연자본·인공자본·성장의 관계	34
그림 2-4	녹색성장의 선순환구조	35
그림 2-5	일본의 수산바이오매스 자원화기술개발사업 개요	52
그림 2-6	산업적으로 중요한 해조류의 세계 분포	57
그림 2-7	우리나라에서 재배되는 해조류 종류	58
그림 2-8	세계 해조류 생산 추이	64
그림 2-9	국별 해조류 생산량(2005)	65
그림 2-10	지역별 해조류 생산 추이(2008년)	68
그림 3-1	해조류 바이오매스 확보 및 활용기술	73
그림 3-2	홍조류 펄프와 목재 펄프의 제조 공정	83
그림 3-4	해조류 바이오산업화 SWOT 분석	88
그림 3-5	목질계와 해조류 바이오매스의 비교	95
그림 4-1	저탄소 녹색성장 국가전략 비전 체계	104
그림 4-2	농림수산식품부 저탄소 녹색성장 추진대책의 비전과 목표	106
그림 4-3	해조류 바이오산업화 추진 단계별 비전	108
그림 4-4	외해 해조류 대량양식 개념도	116
그림 4-5	2D 해조류 양식 시스템	117
그림 4-6	3D 해조류 양식 시스템	117
그림 4-7	해조류 녹색성장 산업화 기술개발 로드맵	118
그림 4-8	해조류 바이오산업의 가치	123
부록 사진-1	인도네시아 롬복 P사 우뭇가사리 양식장	224
부록 사진-2	인도네시아 롬복 P사의 양식중인 우뭇가사리	224

부록 사진-3 인도네시아 롬복 P사 우뭇가사리 양식시설	225
부록 사진-4 인도네시아 롬복 P사 양식산 우뭇가사리	225

Executive Summary

Strategies to Industrialize the Algae Bio-business and Policy Direction

■ The Need for the Study

- The world is eagerly pursuing policies for “low carbon and green growth” in response to global regulations on cutting greenhouse gas emissions.
- Although Korea pledged to boost green businesses and to cut emissions, its development of renewable energy is minimal.
- Amid increasing attention to algal biomass as a new energy source, Korea developed technology to produce an algae pulp for the first time in the world. However, its industrialization has not been active due to the lack of strategies.
- Therefore, policies to industrialize the algal biomass business are desperately needed since algae are a renewable energy source and absorb greenhouse gases.

■ Analysis Method

- Various statistics analyses and literature review were done on greenhouse gas emissions, bio energy and the current status of the pulp industry.
- The study consulted with experts in bio energy and the pulp industry
- The study analyzed the bio industry both on the national and ministerial level.

■ Major Results of the Study

- Korea is in urgent need of exploring alternative sources of energy as a first step towards national green growth.
- Marine algae pose great potential for Korea's bio-industry because, as a source of bio-energy and raw material for pulp, they have little limits for production and are environmental friendly.
- The algal bio-industry is still at early stage world wide. Therefore, special strategies are needed for Korea's leapfrog into industrialization of algae
- The following are a prerequisite for successful industrialization of algae: a large scale of algae aquaculture, production technology for bio products and the designation as a national pilot program
- The government needs to designate the algal bio-industry as one of national green growth businesses. Heavy investment should follow over the next 10 years in 3 steps. (1st: 2010~2013, 2nd: 2014~2016, 3rd: 2017-2020)

■ Expected Achievements

- To cut green house gas emissions and to protect forests for CO₂ consumption
- To contribute to national energy (oil) independence by supplying bio-energy
- To enhance international competitiveness by developing core technology for algae biomass production and their utilization
- To develop the algae aquaculture as a foundation for bio industry
- To solidify Korea's stance as the leading country in the algae bio-industry

■ Utilization of Study Results

- To designate the algae bio-business as national green growth industry by the Ministry for Food, Agriculture, Forestry and Fisheries and the Green Growth Committee
- To foster algae bio businesses through pilot projects
- To utilize the business as a green growth engine and for green technology development
- To cultivate the algae bio-industry as a national green business
- To invigorate the local economy by building a local eco-friendly cluster
- To advance into the algae aquaculture business in foreign countries including Indonesia

제 1 장 서 론

1. 연구의 필요성 및 목적

1) 연구의 필요성

세계는 지금 지구온난화 대응 부심

세계는 지금 지구온난화에 어떻게 대응할 것인가에 부심하고 있다. 지구 온난화를 규제·방지하기 위해 설립된 국제기구인 유엔 기후변화협약(United Nations Framework Convention on Climate Change : UNFCCC)은 강도 높은 지구 온실가스 감축을 추진하고 있기 때문이다. 이미 1997년 체결하고 2005년 발효된 교토의정서에 의하여 선진국들은 2008년부터 2012년까지 1990년 수준보다 평균 5.2% 온실가스를 감축하고 있다.

지난 12월 19일 폐막된 제15차 유엔기후변화협약 당사국 총회(COP 15 : 15th Conference of the Parties)가 비록 미완으로 끝나기는 했어도 2013년 이후 포스트교토 체제를 대비한 국제적인 강력한 온실가스 규제는 강화될 전망이다.

이와 관련하여 세계 각국은 온실가스 감축을 기정사실로 받아들이면서 이를 극복하기 위한 정책개발에 부심하고 있다. 즉 화석연료 사용을 줄여 온실가스를 감축하고 탄소흡수원을 확보하면서도 경제를 발전시킬 수 있는 대안을 모색중이다. 이처럼 지구환경 보전과 경제성장이라는 두 개의 목표를 달성하고자 하는 정책이 바로 저탄소 녹색성장이다.

저탄소 녹색성장 정책 ‘선택’ 아닌 ‘필연’

COP 15가 예상과는 달리 절반의 성공이라는 오명을 얻은 반면, 우리나라는 동 총회에서 이명박 대통령이 기후변화 대응에 관한 강력한 정책의지와 실천방안을 제시함으로써 선진국으로 나아가는 계기가 되었다. 즉 각국의 녹색

성장 계획을 지원하고 저탄소 지구촌을 창조해나가는 싱크탱크 역할을 수행하게 될 “글로벌 녹색성장연구소(GGGI : Global Green Growth Institute)”를 내년 상반기 중 설립과 저탄소 녹색성장을 새로운 국가비전으로 삼아 매년 GDP(국내총생산)의 2%를 녹색기술 개발과 인프라 구축에 투입하며 2012년 제18차 당사국 총회를 유치하겠다는 것이었다.

이에 앞서 이명박 대통령은 작년 8.15 경축사에서 저탄소 녹색성장을 우리나라 60년 핵심정책으로 추진할 것을 천명한 바 있다. 이와 관련하여 우리 정부는 금년부터 저탄소 녹색성장 정책을 새로운 경제 활성화 정책으로 부각시키고 있다. 특히 우리 정부는 금년 12월 1990년 대비 2005년까지 온실가스 배출량을 30%(2005년 대비 4%) 감축한다는 국가목표를 발표한 바 있다.

아울러 우리 정부는 2009년 9월 녹색성장 국가전략 및 5개년 계획을 수립하였는데, 이는 선택이 아닌 필연이라는 것이다. 지구온난화와 에너지 위기가 동시에 진행되면서 선진국 중심으로 탄소배출권 시장, 신재생에너지 등 녹색시장·녹색산업을 국가의 신성장동력으로 활용하려는 움직임이 증가하고 있는 것이다.¹⁾ 만일 선진국들이 녹색선도시장의 창출을 통해 선도자의 이익을 활용할 경우 후발주자들은 이의 규제를 받아야 하고 더 이상의 경제발전은 기대하기 어렵게 되기 때문이다. 따라서 정부는 2020년까지 세계 7대, 2050년까지 세계 5대 녹색강국 진입이라는 비전으로 3대전략, 10대 정책방향을 담은 녹색성장 국가전략을 마련한 것이다.²⁾

1) 녹색성장위원회, 녹색성장 국가전략, 2009. 7, p.19.

2) 상계서, p.53. 3대 비전은 기후변화 적응 및 에너지 자립, 신성장동력 창출, 삶의 질 개선과 국가위상 강화이고, 10대 정책방향은, ① 효율적 온실가스 감축, ② 탈석유, 에너지자립 강화, ③ 기후변화 적응역량 강화(이상은 ‘기후변화 적응 및 에너지 자립’ 정책), ④ 녹색기술 개발 및 성장동력화, ⑤ 산업의 녹색화 및 녹색산업 육성, ⑥ 산업구조의 고도화, ⑦ 녹색경제 기반 조성(이상은 ‘신성장 동력 창출’ 정책), ⑧ 녹색국토, 교통의 조성, ⑨ 생활의 녹색혁명, ⑩ 세계적인 녹색성장 모범국가 구현(이상은 ‘삶의 질 개선과 국가위상 강화’ 정책).

화석에너지 대체, 녹색성장 정책의 핵심

이상과 같이 온실가스 감축과 새로운 성장동력의 창출은 21세기 가장 큰 국가적 사명이 되고 있다. 다만 이러한 국가적 사명을 완수하기 위한 구체적인 실천방안을 어떻게 마련하느냐가 성공의 관건이 되고 있다.

온실가스 감축은 크게 두 가지로 요약할 수 있다. 하나는 생산과정에서 화석연료를 적게 사용함으로써 온실가스 배출량을 줄이는 것이고, 또 하나는 대기중에 있는 온실가스를 흡수하는 것이다.

그러나 뭐니뭐니 해도 녹색성장의 핵심은 화석연료를 대체할 수 있는 대체에너지를 개발하는 것이라 할 수 있다. 신재생에너지의 핵심이라 할 수 있는 태양광, 풍력, 바이오에너지 등 3분야의 향후 10년후 시장규모는 지금의 3배 이상이 될 것이라는 전망이다. 이를 구체적으로 보면 2007년 758억 달러였던 동 분야 시장규모는 2008년 53%가 성장한 1,159억 달러가 되었고, 2018년에는 3,151억 달러로 발전할 수 있다는 것이다.

에너지원별로 보면 바이오에너지가 348억 달러에서 1,054억 달러 3.4배, 풍력이 514억 달러에서 1,391억 달러로 2.7배 마지막으로 태양광이 297억 달러에서 806억 달러로 2.7배이다.³⁾ 이와 같이 세 분야에 대한 시장규모가 커지는 것에 부응하여 투자도 증가추세에 있다.

해조류 바이오매스, 차세대 바이오산업의 핵심 부각

신재생에너지중 풍력과 태양력은 이미 많은 국가에서 시행하고 있고, 우리나라와 같이 국토면적이 좁은 국가에서는 한계가 있다. 따라서 새로운 신재생에너지원으로 각광을 받고 있는 것이 바이오에너지이다. 바이오에너지원로는 곡물, 목질계, 부산물 및 해조류 등이 있다. 그러나 곡물을 이용한 에너지

3) 저탄소녹색성장국민포럼, 신재생에너지 2010 시장전망 및 향후 과제, 제7차 저탄소녹색성장 국민포럼 신재생에너지분과, 2009, 12. 22.

생산은 식량문제와 우리나라의 토지 이용의 한계로 인하여 크게 제약받고 있다. 최근 미국을 비롯한 선진국에서 곡물 바이오에너지 생산을 늘림으로써 2007년 곡물가격 급등이라는 유래 없는 사태를 초래한 바 있다. 이에 대하여 FAO를 비롯한 국제기구에서 곡물 에너지화에 대하여 인류식량차원에서 공식 반대하고 있음을 감안할 때 장기적으로 바람직하지 않은 것 같다. 그 외에 목질계와 부산물의 경우도 원료를 지속적으로 생산할 수 있는 것이 아니기 때문에 발전가능성은 그리 크지 않다.

아직 세계의 이목이 크게 주목되지는 않았지만 미래 차세대 에너지자원으로 부상하고 있는 것이 바로 바다식물인 해조류(海藻類)이다. 해조류는 가장 자연친화적이고 생산력이 뛰어난 바이오매스로 알려져 있다.

즉 해조류는 해양생물자원으로서 바닷물 속에 녹아 있는 탄소를 흡수할 뿐만 아니라 광합성을 통해서도 탄소를 흡수하면서 성장하기 때문에 1차적으로 탄소흡수원의 역할을 하게 된다. 삼림의 탄소흡수력보다 1.5배 내지 2배 이상의 효과가 있다는 연구결과들이 속속 나오고 있다. 이는 구태여 연구결과를 참조하지 않더라도 해양의 특성에서도 알 수 있다. 해양은 지구상에서 가장 큰 자연생태계의 균형자 역할을 하고 있는데, 탄소흡수력도 그중의 하나이다.

또한 해조류는 지구상의 모든 식물과 마찬가지로 바이오에너지화를 할 수 있는 성분을 가지고 있어 해조류 바이오에너지를 생산할 경우 화석연료를 대체하여 온실가스를 감축하는 기능도 한다. 더불어 후술하겠지만 해조류 펄프로 생산할 경우 목재펄프를 대체함으로써 온실가스 흡수원인 삼림을 보호하여 탄소흡수 기능도 수행한다.

최근 모 기업연구소에서는 차세대 한국이 주도해야 할 바이오산업으로 5개를 선정하였는데 그중에 해조류 바이오연료산업을 두 번째로 선정하였다. 즉 신규 진입기회 발생, 역량활용 가능성, 산업화 초기단계로 역량축적 가능성 등을 기준으로 바이오시밀러, 해조류 바이오연료, PC 진단기기, 분자농업(GMO), 바이오 캐미컬사업을 차세대 바이오 유망사업으로 선정하였다. 동 연

구소에서는 해조류 바이오연료 산업은 온실가스 감축 효과가 크고 부지제약이 없으며 화석연료 세계적으로 산업화 초기단계이기 때문에 차세대 대체에너지 산업으로의 발전가능성이 크다고 보았다.⁴⁾

바이오연료 및 온실가스 흡수 미개발 잠재자원 해조류

현재 우리나라 해조류 양식은 김, 미역, 다시마를 중심으로 발전하여 현재 전체 양식어업 생산량의 60%가량을 차지하고 있으나 전복 먹이용 수요를 제외하고는 대부분 식용으로 활용되고 있는 실정이다

해조류를 주로 생산·소비하는 국가는 한국, 중국, 일본임을 감안할 때 식용 해조류 시장이 확대될 여지는 제한적이므로 해조류 양식이 1차 산업으로 높은 부가가치를 창출하는 데에는 한계가 있다.

그러나 우리나라는 세계 3위의 해조류 생산국임과 동시에 양식기술 또한 어느 나라에 못지않은 수준이므로 해조류에 대한 새로운 수요만 발생한다면 그 발전가능성은 매우 크다고 할 수 있다.

그 첫 번째 수요가 해조류 바이오산업 용도이다. 전술한 바와 같이 최근 기후변화, 해양오염, 해양생태계 파괴 등 환경에 대한 우려가 증가하면서 화석연료 대체 소재로서 해조류에 대한 인식이 제고되고 있음은 해조류 양식을 통한 바이오산업화 가능성을 더욱 높여주고 있다. 더불어 해조류를 산업 소재로 활용할 수 있는 신기술이 활발하게 연구 개발되면서 고부가가치를 창출하는 해조류의 새로운 수요가 부상하고 있다.

두 번째는 기후변화 대응 이산화탄소 흡수원으로 해조류에 관한 관심이 급증하고 있다. 즉 해조류가 이산화탄소 흡수원으로 열대우림보다 우월한 효과가 있다는 연구결과가 나오는 등 온실가스 저감 목적의 바다숲 조성 등이

4) 김현한 외, 한국이 주목해야 할 차세대 바이오산업 5選, 삼성경제연구소, CEO Information 제731호, 2009. 11.

가능성을 얻고 있다.

특히 우리나라는 기후변화협약의 교토의정서 체제 이후 온실가스 감축 의무를 부여받을 것으로 예상돼 이에 대비한 흡수원 개발이 필요하나 좁은 국토 면적으로 볼 때 육상의 숲 조성은 한계가 있어 바다 숲 조성이 청정개발사업 (Clean development mechanism; CDM)의 하나로 떠오르고 있다. 해조류 바이오 산업용 대단위 해조류 양식은 바로 바다 숲을 조성하는 효과가 있어 온실가스 흡수기능을 담당하는 것이다.

해조류의 CDM사업은 지금까지는 국내를 비롯한 아시아권에서만 논의가 이뤄졌다. 그러나 최근 국제기구에서 이에 대한 관심을 표명하고 나섰다. 즉 금년 10월 UNEP(국제연합환경계획), FAO(식량농업기구), UNESCO(국제연합 교육과학문화기구) 등은 해조류의 이산화탄소 흡수력을 높이 평가하면서 해조류 등 해양생태계가 흡수한 이산화탄소 의 배출권 거래가 가능한 구조를 만들어 보존조치를 추진해야 한다는 제안을 한 바 있다. 이번 제안의 의미는 해조류의 이산화탄소 흡수력과 및 탄소배출권 거래에 대하여 국제기구가 최초로 인정한 것이다.

해조류 바이오산업 아직은 초기개발 단계

해조류바이오산업화를 이끌 수 있는 분야는 현재 해조류 바이오에너지와 펄프산업을 들 수 있다.

해조류를 이용한 바이오에너지는 국내 A연구소가 우뚝가사리에서 바이오에탄올을 생산하는 데 성공했으며 2008년에 대량생산 기술 축적을 위한 시험 생산시설 가동을 추진하고 있다. 아울러 국내 B연구소도 녹조류를 이용한 바이오에탄올 기술을 개발하여 특허 출원 중에 있다.

미국을 중심으로 한 선진국에서는 이미 1970년대 말 해조류에서 에탄올을 추출할 수 있는 기술을 개발한 바 있으나 아직 세계적으로 산업화를 이룩하지는 못하였다. 최근 미국의 엑손모빌사가 해조류연료를 생산하는 모 기업에 6

억 달러를 투자하는 등 기업이 관심을 보이고 있는 수준이다.

해조류를 이용한 펄프의 경우 국내 (주)P사와 대학연구팀 세계최초로 우뚝가사리에서 펄프를 생산하는 데 성공하여 국내 및 국제특허를 취득한 상태이다. 해조류 펄프는 목재를 이용하는 것보다 오염물질 발생이 크게 줄어 친환경적이며 성장 속도가 빨라 목재보다 경제성이 높은 것으로 평가되고 있다.

해조류 바이오산업화 절실

이상과 같이 해조류에 대한 새로운 수요가 증가하고 있고, 기후변화 대응책으로서 가치가 있음에도 불구하고 아직까지 해조류의 가치 및 기능에 대한 평가는 대단히 절하돼 있고, 해조류를 이용한 산업화에 관한 정책은 부재한 실정이다. 다만 식용 또는 사료로만 이용되던 해조류의 활용 범위가 다양해지면서 국내에서도 연구·개발이 추진되고 있는 점은 다행이다. 하지만 해조류 양식에 관한 중요성이 종합적으로 평가되지 못한 채 전략 및 정책 프로그램의 부족으로 산업화과정에서 산발적인 연구·개발 시도에 머무를 우려가 있다.

이렇게 될 경우 외국과의 경쟁에서도 뒤처질 수 있는데, 예를 들어 일본의 경우 2008년부터 일본 내 가솔린 소비량의 3분의 1에 해당하는 해조류 바이오에너지를 생산하기 위해 동해에 거대 해조류 양식장을 건설하는 일을 본격적으로 추진하고 있음을 주시하지 않을 수 없다.

특히 세계는 지금 녹색성장의 경쟁에 돌입하였다. 다른 나라가 아직 이룩하지 않은 분야에 대한 개발은 세계 선점의 기회를 잡을 수 있는 장점이 있다. 기존의 ‘따라잡기(Catch-up) 전략’으로는 주도권을 잡을 수 없다. 바이오산업에도 ‘뛰어넘기(Lead-frogging 전략)⁵⁾이 필요하다는 지적을 귀담아 들을 필요가 있다.

주지하는 바와 같이 2000년대 들어 우리나라도 바이오산업에 대한 투자를

5) 김현한, 전제서.

증대하여 일부 가시적인 연구개발 성과가 있지만 바이오기술의 산업화는 미흡한 실정이고, 더욱이 바이오산업은 선진국과 큰 차가 있음을 시인하지 않을 수 없다.

해조류 바이오산업은 전술한 바와 같이 여러 방면에서 그 필요성이 인식되고 있지만 아직은 미개발 분야이다. 차세대 기술에 대한 과감한 도전으로 미래 국내 시장 뿐만 아니라 세계 시장을 선점할 수 있는 전략수립이 필요한 때이다.

2) 연구의 목적

본 연구는 국가 저탄소 녹색성장 정책의 일환이라고 할 수 있다. 연구의 필요성에서 언급했듯이 온실가스 감축과 화석에너지 대체는 우리나라의 숙명적 과제로 부상하고 있다. 그러나 아직까지 해조류를 이용한 바이오산업화에 대한 정책은 거의 전무한 상황이다.

따라서 본 연구는 해조류를 이용한 바이오 산업화의 가능성을 검증하고 산업화 전략 및 정책방향을 제시함으로써 우리나라 녹색성장 주요정책인 온실가스 감축, 탈석유·에너지 자립화 및 신성장 동력을 창출하는 데 주 목적이 있다.

즉 최근에 새로운 녹색성장 기술원천으로 주목받고 있는 해조류를 중심으로 바이오 신기술 개발 가능성과 산업화 잠재력을 검증하는 것이다. 또한 양식 해조류를 이용한 새로운 바이오 산업화를 극대화하기 위한 전략과 정책방향을 설정하는 것이다.

이를 통하여 국가 녹색성장 정책을 실현하고, 차세대 유망산업인 바이오산업의 하나로써 해조류 바이오산업을 육성하여 세계를 선도할 수 있도록 하는 것이다

이를 위하여 본 연구에서는 해조류 바이오에너지와 해조류 펄프 산업을

연구대상으로 하였다. 그 이유는 현재 가장 수요가 많고 산업화 가능성이 많은 분야이기 때문이다.

2. 연구의 범위 및 방법

1) 연구의 범위

본 연구의 범위는 크게 해조류 바이오산업 실태분석, 해조류 바이오산업화 가능성 검토, 해조류 바이오산업화 전략 및 정책방향 설정 등 크게 세 개의 분야로 분류하였다.

해조류 바이오산업 실태분석에서는 해조류 바이오산업화 필요성을 도출하고, 국내외 바이오산업의 실태를 분석함과 아울러 해조류의 현 활용 및 생산 실태를 분석하는 것이다.

해조류 바이오 산업화 가능성 검토에서는 해조류 바이오에너지 산업과 해조류 펄프산업의 기술실태분석과 아울러 시장성을 분석하고, 해조류 바이오산업화의 기술적, 경제적 및 정책적 가능성을 분석하고자 한다.

해조류 바이오산업화 전략 및 정책방향 설정분야에서는 해조류 바이오산업화 정책을 기존의 국가 및 중앙부처의 관련계획과의 검토를 비롯하여 해조류 바이오산업화를 위한 비전 및 목표를 설정하고, 추진전략을 제시하였다. 또한 목표 달성을 위한 주요 정책과제를 제시함과 아울러 이를 추진하기 위한 개략적인 투자계획과 추진 로드맵도 제시하였다.

결론에서는 연구결과를 요약하고, 국가 및 중앙정부가 이 사업을 추진하는데 참고가 될 중요 정책에 대하여 제언을 한다.

2) 연구의 방법

본 연구는 문헌조사, 계량분석, 전문가 자문, 현지 출장조사 및 세미나 등을 통하여 수행하였다.

문헌조사는 국내외 국가 및 공공기관, 대학, 연구소, 업계를 직접 방문하거나 인터넷 등을 통하여 수집하였다. 주요 조사자료의 유형은 정부 보고서, 정책자료집, 통계자료, 논문, 연구보고서, 세미나 및 워크숍 발표자료, 업계 보고서, 출장조사 자료 등이다.

문헌조사 자료의 내용은 기후변화 대응, 저탄소 녹색성장, 바이오에너지 및 펄프 산업, 해조류 바이오산업, 각종 산업 및 온실가스 배출 관련 통계, 해조류 양식 등이다.

자료분석은 해조류 바이오 산업화의 필요성 및 시급성 도출, 해조류 바이오산업화의 가능성 검증과 산업화 방안 도출을 위해 활용되었다. 즉 해조류 바이오산업화의 필요성 및 시급성은 기후변화 대응 및 저탄소 녹색성장 관련 자료, 국내외 바이오산업 및 해조류 바이오산업의 동향 그리고 해조류 양식의 실태를 통하여 도출하였다.

해조류 바이오산업화 가능성 검증은 바이오에너지 및 펄프의 생산기술과 시장성을 분석하였는데, 기술분석은 국내외 기술관련 연구자료 및 업계의 자료를 활용하였고, 시장성 분석은 수급 및 가격 동향을 참고로 하였다. 특히 가격 비교는 현재 기술상태에서의 업계가 제시하는 가격과 기존 제품의 최근 연도의 평균가격을 사용하였다.

계량분석은 해조류 에탄올을 에너지화함으로써 얻을 수 있는 온실가스 감축(CO₂ 감축효과)과 해조류 펄프 공급을 통해 삼림훼손을 방지함으로써 얻을 수 있는 온실가스 흡수원 방지 효과에 대하여 실시하였다.

해조류 바이오에탄올에 의한 온실가스 감축은 에너지 사용량을 이용하여 에너지원별 단위당 환경오염비용을 비교분석하였다. 대기오염물질인 CO, SO_x,

NO_x, PM, VOC는 EU에서 추정된 배출 단위당 피해비용을 이용하였으며 CO₂는 현재 거래되고 있는 각국의 온실가스 배출 거래금액을 이용하였다. 바이오연료의 단위당 배출량은 교통환경연구소의 배출량 분석 결과를 사용하였다. CO₂배출량은 연료사용량과 탄소배출계수⁶⁾를 활용하였다. 에너지 사용으로 인한 환경오염비용 추정은 EU안인 (식 1)을 이용하였다.

$$AC = \sum_{k=1}^2 \sum_{l=1}^5 (PC_l \cdot EF_{kl}) \quad (\text{식 1})$$

AC = 에너지 소비로 인한 대기오염물질의 환경오염 비용

PC = 오염물질 *l* 한 단위가 발생시키는 환경오염 비용(원/kg)

EF = 에너지 *k*를 소비할 때 연간 배출되는 특정오염물질 *l*의 양(kg)

k = 경유(1), 휘발유(2)

l = NO_x(1), PM(2), SO_x(3), VOC(4), CO(5)

삼림훼손을 방지함으로써 얻을 수 있는 온실가스 흡수원 방지 효과는 삼림의 탄소원 흡수력을 기준으로 계산하였다.

또한 해조류 바이오에너지 및 펄프 생산추정량은 우리나라 휘발유 및 펄프의 최근 3년간 소비량, 정부의 바이오에너지 대체율을 기준으로 일정 비율(예를들어 1%, 5%, 10% 등)을 해조류 바이오매스로 공급한다는 가정하에 산출하였다.

전문가 자문은 해조류 양식·지구온난화·해조류 바이오에너지 및 펄프 개발 또는 산업화 관련 교수, 연구원, 공무원, 업계 등 전문가를 통해 활용하였다. 활용은 수차에 걸친 전문가 회의, 개별면담, 우선과 인터넷을 통한 자료제공 및 해외 동반 출장조사 방법 등을 통해 이루어졌다.

본 연구의 실효성을 제고하기 위하여 일본과 인도네시아의 현지 해외출장

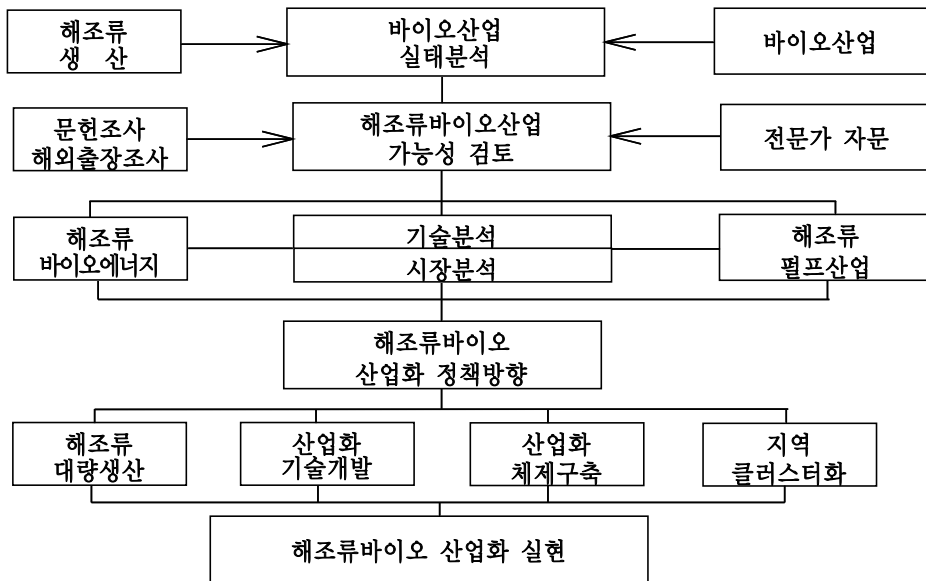
6) 환경부에서 운영하고 있는 기후변화 사이트(www.gihoo.or.kr/index.asp)에 따르면 휘발유 탄소배출계수는 0.64 KgC/ℓ, 경유는 0.72 KgC/ℓ 임.

을 실시하였다. 일본 출장에서는 정부, 연구소 및 업계를 방문하여 일본의 바이오매스 산업 정책, 기술 및 연구개발 실태와 수산바이오매스 관련 정책 및 예산 등을 조사하였다.

인도네시아 출장은 해조류 해외 양식진출의 가능성을 파악하기 위하여 이루어졌다. 중앙정부, 지방정부, 학계와 현재 진출하고 있는 우리나라 업체의 해조류 양식실태를 직접 조사하였다.

기타 연구방법으로는 국내에서 개최된 해조류 바이오산업 및 저탄소 녹색성장 관련 세미나 및 워크숍을 참석하여 자료를 수집하고, 국내외 연구개발 및 정책방향 등을 조사하였다.

본 연구추진은 <그림 1-1>같이 바이오산업 실태분석→해조류 바이오에너지 및 펄프 산업화 가능성 검토→산업화 정책방향 설정 흐름도로 진행하였다.



| 그림 1-1 | 연구의 추진체계

3. 기존 연구동향 분석 및 차별성

1) 기존 연구 동향

2000년대 들어 우리나라에서도 바이오산업에 관한 관심이 급증하면서 이에 관한 연구가 활발하다. 특히 바이오생산기술에 관한 연구자료는 풍부한 편이고, 일반 바이오에너지 산업화에 관한 연구결과도 다수 존재하는 편이다. 특히 최근 들어서는 기후변화 대응관련 연구가 활발하나, 대부분 기후변화에 대응하는 방향 제시 정도에 그치고 있다.

그러나 해조류 바이오에너지 및 펄프 생산기술과 바이오산업화에 관한 연구는 대단히 미약한 실정이다. 본 연구는 해조류 바이오산업 중 바이오에너지와 펄프에 대하여 산업화를 위한 방안을 수립하는 것이 가장 주요한 목적이다. 따라서 해조류 바이오에너지 및 펄프에 관한 기존 연구를 중심으로 자료를 조사하였으나, 생산기술에 관한 연구는 몇 편 있을 뿐 산업화에 관한 연구는 전무하였다.

바이오에너지와 관련해서는 농업분야를 포함하여 바이오에너지 생산 및 산업화 자료를 수집 분석하였다. 해조류 바이오펄프와 관련한 연구는 국내외적으로 본 연구와 가장 유사성이 큰 자료는 단 한편에 불과하여, 그 자료를 분석하였다.

여기에서는 본 연구와 유사성이 있고 도움이 될 만한 기존의 연구자료를 중심으로 그 결과를 간단히 요약하고, 해조류 바이오산업화의 전략 및 정책수립에 참고하고자 한다. 기존 연구동향의 분석은 크게 “기후변화 대응 및 바이오연료 산업 분야”, “농산물 바이오 분야” 및 “해조류 바이오 분야”로 나누어 고찰하였다.

“기후변화 대응 및 바이오연료 산업 분야”에서는 많은 연구가 있었지만 가장 본 연구에서 참고가 될 만한 3편의 연구자료를 분석하였고, “농산물 바

이오 분야”에서는 2편 그리고 “해조류 바이오 분야”에서는 4편으로 총 9편의 연구자료를 분석하였다.

(1) 기후변화 대응 및 바이오연료 산업 분야

이 분야에 관한 연구자료로는 ① 지구온난화 가스 저감대책 동향분석 및 국내 대응방안 연구-수송부문 중심으로,⁷⁾ ② 바이오연료의 환경·경제성 분석 및 보급·확대방안 연구,⁸⁾ ③ 바이오에탄올 혼합연료유 도입을 위한 실증평가 연구를⁹⁾ 선정하여 분석하였다.

물론 전술한 바와 같이 이 분야에 대한 선행연구는 대단히 많이 있고, 본 연구에서도 많은 참고를 하였으며 참고문헌에 수록하였다.

가. 지구온난화 가스 저감대책 동향분석 및 국내 대응방안(1999)

이 연구에서는 수송부문을 중심으로 지구온난화 가스 저감대책에 대한 동향을 분석하고 국내 대응방안을 수립하는 것이 주목적이다. 연구가 1999년로 다소 오래되기는 하였지만 국내 수송부문의 온실가스 저감을 위한 다양한 대책들을 제시한 연구였다고 할 수 있다.

동 연구에서 신재생에너지 및 대체에너지의 사용 등도 언급하고 있으나 해조류 바이오 에너지에 대해서는 언급이 없었다. 그 이유는 당시에는 이러한 분야에 대하여 전혀 정보가 없었기 때문일 것이다. 다만 동 연구결과를 본 연구와 연계해 본다면, 국내 수송부문의 온실가스 감축은 절시하며, 그 대안으로 대체에너지의 활용도가 높아야 한다는 결론이다.

7) 한화진·오소영, 지구온난화 가스 저감대책 동향분석 및 국내 대응방안 연구-수송부문 중심으로-, 환경정책평가연구원, 1999.

8) 강만옥 외, 바이오연료의 환경·경제성 분석 및 보급·확대방안 연구, 환경정책평가연구원, 2007.

9) 정충섭 외, 바이오에탄올 혼합연료유 도입을 위한 실증평가 연구, (재)한국석유품질관리원, 2008.

나. 바이오연료의 환경·경제성 분석 및 보급·확대방안 연구(2007)

이 연구는 바이오연료를 사용할 경우 환경오염저감 및 경제적 측면에서 어떠한 효과가 있는가를 평가한 연구이다. 그리고 이를 통해서 바이오연료의 보급을 확대하는 방안을 제시하는 것이다. 주요 연구내용을 보면 국내 바이오디젤 생산 보급 현황, 바이오연료 기술개발 동향, 해외 바이오연료 보급 사례, 바이오디젤과 경유를 대상으로 한 환경개선 효과분석, 국내 바이오연료 보급 확대방안 등이다.

이 연구의 특징은 바이오디젤 혼합비율별로 환경개선효과 즉 CO₂ 저감 효과를 분석한 것과 바이오연료 확대보급 방안을 상세히 제시하였다는 점이다. 즉 확대보급 방안으로 보급 목표 설정 및 보급 로드맵 작성을 제안하였고, 바이오연료의 수급안정제고, 바이오연료 품질기준 제정 및 표준화, 보급 확대를 위한 인센티브 제도 도입, 관련 법 제도, 바이오에탄올 보급 인프라 구축방안과 이의 보급을 위한 실증시험 및 자동차 제작사의 대응책 등이다.

본 연구와 관련하여 이 연구는 상당히 도움이 되는 연구였다고 평가할 수 있다. 다만 해조류 바이오에너지는 주로 에탄올에 한정되는데, 이 연구에서는 이 부분에 대한 언급이 전혀 없다는 점이 아쉬움이 남는다. 그러나 금번 연구에서 이 연구를 바탕으로 해조류 바이오에너지 부분을 보완 발전시킬 수 있을 것이라 생각한다.

다. 바이오에탄올 혼합연료유 도입을 위한 실증평가 연구(2008)

이 연구는 바이오에탄올 혼합연료의 품질특성과 유통과정을 실증평가하여 최적 유통인프라 보완 및 구축방안을 도출하는 것이 주 목적이다. 연구내용은 바이오에탄올 E3, E5, E10에 대한 품질 특성을 규명하고, 혼합연료유 제조설비 구축 및 유통인프라를 실증 분석하였다.

이 연구의 결론은 첫째, 바이오에탄올 혼합연료유는 미량의 수분흡입에도

상분리가 일어나므로 저농도 보급은 곤란하고 E5이상의 혼합연료유가 적절하다고 판단하였다. 당장 이를 보급하는데 따른 문제점으로 2007년 기준 자동차 휘발유 연간 바이오에탄올 소비는 약 30KL인데 현재 국내에서는 이를 공급할 능력이 없고, 새로운 인프라 구축시에는 부지, 인허가(바이오에탄올 탱크 등), 품질관리 상의 문제점이 있음을 지적하고 있다.

따라서 초기에는 E3-E5로 시범보급하여 검증한 후 점차 확대하는 방안을 제시하고 있으며, 바이오에탄올을 ETBE(ethyl tert-butyl ether:산화물)로 전환하는 것을 신중히 해야 한다고 결론짓고 있다.

이 연구의 가장 큰 장점은 바이오연료의 보급 확대를 위한 상용화의 가능성을 현장에서 품질과 유통측면에서 접근하였다는 것이다. 본 연구에 주는 시사점은 해조류 바이오연료 생산에 있어서 기존 바이오연료보다 품질을 높여야 경쟁력이 있다는 것이고, 당장 상용화하는 데는 많은 유통상의 문제점이 있으므로 이를 감안한 로드맵을 작성하여야 한다는 것이다. 그러나 이 연구 또한 해조류 바이오에탄올에 대한 실증실험을 거치지 않았다는 한계가 있다. 이는 아직까지 해조류 바이오에탄올이 시장에서 유통되고 있지 않은 결과이기 때문에 만일 해조류 바이오에탄올이 상용화 단계까지 발전될 경우에는 이러한 연구가 추가적으로 필요할 것으로 여겨진다.

(2) 농산물 바이오 분야

이 분야의 선행연구로는 “유채의 산업연료화를 위한 바람직한 정책지원체계연구”와¹⁰⁾ “바이오매스타운(가칭) 도입방안 연구”를¹¹⁾ 대표적으로 선정하였다. 물론 이 외에도 농산물 분야의 바이오기술 및 산업에 관한 연구는 다수 존재한다. 그러나 본 연구에서는 연구목적과 가장 기여가 될 만한 선행연구를 대

10) 성진근 외, 유채의 산업연료화를 위한 바람직한 정책지원체계 연구, 농촌진흥청, 충북대학교·서울대학교, 2006.

11) 최은희 외, 바이오매스타운(가칭) 도입방안 연구, 한국농어촌공사농어촌연구원, 2006.

표적으로 선정하여 그 동향을 분석하였음을 밝히고, 이 분야 많은 연구자들에게 이 점 양해를 구한다.

가. 유채의 산업연료화를 위한 바람직한 정책지원체계 연구(2006)

이 연구는 유채를 바이오연료화를 통한 유채산업의 발전과 이를 위한 정책지원체계를 구축방안에 대한 연구이다. 연구내용은 국내외 바이오에너지 현황, 바이오에너지 작물 도입 필요성, 바이오에너지 작물의 경제성 분석 및 바이오에너지 작물 도입을 위한 바람직한 정책지원체계이다.

국내의 바이오에너지 수요가 증가하고 있고 특히 2006년 7월 바이오디젤(BD%)의 전국적 보급확대와 바이오에탄올 혼합연료의 유통시스템에 관한 실증연구를 추진하면서 우리나라가 본격적인 바이오에너지 시대에 돌입하였다고 귀결 짓고 있다. 특히 미국을 비롯한 선진국에서 바이오에너지 공급을 늘리고 있고, 우리나라는 매년 바이오에너지 수입이 증가하고 있으므로 유채를 비롯한 작물을 이용한 바이오연료 생산공급이 필요하다고 결론짓는다. 그리고 유채, 고구마 바이오에너지 공급목표량을 10%, 20%, 30%로 설정하여 경제성을 분석하고 제배면적을 추정하였다. 즉 수입대체효과, 환경개선효과, 농가소득증대 효과, 식량정책 수행을 위한 정부재정 절감효과 등을 분석하였다.

정책지원체계로는 식량작물의 전작(轉作)으로 인한 에너지작물직접지불제, 유류세 감면, 최소혼합비율 설정 및 유통인프라 구축, 연구개발 투자, 재배면적 확보방안 등을 제시하고 있다.

이 연구는 본 연구와 식물을 대상으로 한다는 측면에서 많은 유사점을 가지고 있다. 다만 이미 작물에너지는 상용화가 어느 정도 이뤄지고 있는 상황에서 이를 산업화하는데 필요한 정책지원체계를 구축하는 것이 주가 되고 있고, 그 대상이 해조류가 아닌 작물이라는 점에서 본질적으로 본 연구와 차별화된다. 또한 이 연구에서는 다양한 사회경제적 효과를 분석하고 있는데 이는 평가

를 위한 변수값들이 이미 존재하기 때문에 가능하다. 그러나 이 연구결과는 본 연구와 해조류 관련 추후 연구에 사회경제적 파급효과 및 정책적 지원체계 구축 등에 많은 도움이 될 것으로 기대된다.

나. 바이오매스타운(가칭) 도입방안 연구(2006)

이 연구는 농촌지역 특성에 맞는 바이오매스 에너지화/재이용 설비기술의 타당성을 연구하고, 에너지화/재이용 시스템을 구축하여 농촌형 바이오매스타운 모델을 개발하는 것이 주 목적이다. 이를 위해 선진국의 동 사업 타당성 및 경제성을 분석하여 국내 바이오매스타운의 효율적인 사업추진방안을 제시하였다.

우리나라 농촌의 바이오매스 이용 및 활용기술은 보편화되어 있어 문제가 없지만, 바이오매스 생산기술이 선진국의 60%에 불과하여 이에 대한 기술개발이 필요함을 지적하고 있다.

바이오매스타운 모델로는 가축분뇨 중심모델, 가축분뇨 부산물 혼합모델, 경종농업 중심모델, 과수농업 중심모델 등 4개 모델을 제시하고, 소규모CDM 프로젝트가 진행될 경우 CDM사업화 방안을 제시하고 있다.

이 연구와 본연구의 가장 본질적인 차이는 이미 농업분야에서는 바이오매스를 이용한 산업이 발전단계에 들었지만, 해조류 바이오산업분야는 아직 기술개발 초기단계라는 점이다. 이 연구결과는 본 사업이 어느 정도 궤도에 올랐을 때 다양한 모델을 개발하는 데 유용한 자료가 될 것이다. 다만 본 연구에서도 지역클러스터 방안을 제시하고 있는데, 이 연구의 결과를 참조할 수 있을 것으로 판단된다.

(3) 해조류 바이오 분야

이 분야에서는 총 4편의 선행연구결과를 분석하였고, 본 연구에 많은 활

용을 하였다. 즉 “해조류를 이용한 온실가스 저감 연구”,¹²⁾ “해조류를 이용한 바이오에너지 생산 타당성 연구”,¹³⁾ “해양자원 바이오 신소재 개발 및 산업화”,¹⁴⁾ “바이오매스용 해조류 대량양식 및 바이오에너지 생산기술 개발 로드맵(타당성 조사) 연구”¹⁵⁾ 등이다.

전술한 바와 같이 해조류 바이오 선행연구는 앞서 열거한 연구가 거의 전부라 해도 과언이 아니다. 현재 일부 추진중인 과제가 있는데 이는 해당 분야에서 언급하기로 하고, 여기에서는 이미 연구결과가 도출된 선행연구를 중심으로 분석하고자 한다.

가. 해조류를 이용한 온실가스 저감 연구(2006~2012)

이 연구는 해조류를 온실가스 흡수원으로서의 기능을 규명하고, CDM사업화하는 것이 가장 큰 목적이다. 해조류를 국제적으로 온실가스 흡수원으로 인정받고자 주장한 가장 최초의 연구라는 점에서 높이 평가할 수 있고, 서론에서 언급한 바와 같이 최근 국제기구에서도 온실가스 감축과 관련하여 해조류를 지목한 것은 참으로 다행스런 일이라 하지 않을 수 없다.

이 연구는 2006년 시작하여 지금도 추진중이라 확실한 결론은 도출되었다고 할 수 없다. 즉 해조류 종류별로 기작 특성을 분석하여 온실가스 흡수기능이 있다는 점을 밝혔으나, CDM사업의 아이টে으로 어떻게 국제적으로 공인받을 것인가에 대한 연구는 추진중이다. 다만 본 연구에서는 이 연구를 선행연구로 선택한 이유는 해조류가 강력한 지구온난화 주범이라 일컫는 온실가스 흡수 및 감축원으로서의 기능을 가지고 있다는 점을 부각시키고자 한 것이다.

12) 정익교 외, 해조류를 이용한 온실가스 저감 연구, 부산대학교, 2006~2012.

13) 김경수 외, 해조류를 이용한 바이오에너지 생산 타당성 연구, 산업자원, 한국생산기술연구원, 2007.

14) 서영범 외, 해양자원 바이오 신소재 개발 및 산업화, 충남대학교, 2008.

15) 우희철 외, 바이오매스용 해조류 대량양식 및 바이오에너지 생산기술 개발 로드맵(타당성 조사) 연구, 농림수산식품부, 부경대학교 외, 2009.

나. 해조류를 이용한 바이오에너지 생산 타당성 연구(2007)

이 연구는 해조류 중 우뚝가사리를 대상으로 바이오에너지 생산기술 개발 및 산업화를 목적으로 하고 있다. 우뚝가사리를 연구대상으로 선정하기 위하여 홍조류 4종, 녹조류 1종, 갈조류 2종에 대한 구성성분을 분석하고 최종적으로 우뚝가사리를 선정하였다.

주요 연구내용은 우뚝가사리에서 에탄올을 생산하기 위한 당화실험과 발효실험을 실시하고, 타당성을 평가하였다. 연구결과를 보면 원료 직접당화법에서는 에탄올 생산량이 235l/ton인 반면 원료분리후 당화법으로는 201/ton으로 직접당화법이 유리하였고, 연간 ha 우뚝가사리를 건중량으로 66톤 생산한다면, 에탄올은 15,00l 생산이 가능하다고 추정하였다. 이는 기존의 육상식물인 목질계나 당·전분질계 보다 면적당 에탄올 생산량이 높다고 평가하고 있다.

이 연구의 의의는 해조류가 바이오연료용 바이오매스로서 충분한 가능성이 있음을 확인하였다는 것이다. 즉 지구상의 모든 식물은 에탄올 생산이 가능하다는 이론을 해조류에 적용하여 검증하였다고 볼 수 있다. 따라서 본 연구에서는 해조류의 바이오에너지 산업화의 기본이 되는 바이오에너지 생산가능성을 담보하였다는 데 그 의의를 두고 있다.

다만 이 연구에서는 해조류 면적당 생산량, 기존의 화석연료 및 바이오연료와의 가격 경쟁력 등이 구체적으로 이뤄지지 않았기 때문에 본 연구와 가장 큰 차별이 있다. 또한 전술한 바이오에너지 관련 기존 연구에서 보듯이 단순한 에탄올 생산이 아닌 생산공정의 표준화, 바이오연료 품질 기준 제정시 이에 부합성 여부 및 품질 표준화 등에 관한 내용이 부족하다는 것이다.

다. 해양자원 바이오 신소재 개발 및 산업화(2008)

이 연구는 홍조류(특히 우뚝가사리)를 이용한 펄프화 및 종이제조와 홍조류 추출물 활용기술을 개발하는 것이 주 목적이다. 이 연구에 앞서 이 연구진

과 참여 기업인 (주)P사는 2004년 홍조류에서 근양사를 채취하여 펄프를 제조한 바 있고, 2006년에는 세계 최초로 근양사를 이용하여 종이를 제지공장에서 시험생산한 바 있었다. 그리고 이 연구에서는 이러한 경험을 토대로 펄프와 종이제조 공정을 확립하고자 하는 것이었다.

연구결과를 보면 홍조류 펄프화 및 종이제조 공정화를 구축하였고, 홍조류 배양 및 양식기술을 개발하였다.

본 연구에서는 해조류 펄프산업화를 위한 가장 기본적인 정보를 이 연구 결과에서 도출하였다. 즉 해조류를 이용한 펄프 및 종이생산이 가능하고, 이미 상업화를 위한 초기단계로 접어들고 있음을 확인하였다.

다만 이 연구와 본 연구와는 기술개발과 정책개발이라는 점에서 가장 큰 차이점이 있다 하겠다.

라. 바이오매스용 해조류 대량양식 및 바이오에너지 생산기술 개발 로드맵(타당성 조사) 연구(2009)

이 연구는 해조류 바이오산업의 발전을 위한 해조류 대량양식 및 바이오에너지 생산기술 개발의 로드맵을 작성하는 것이 주 목적이다. 짧은 연구기간에 이뤄졌기 때문에 각 연구분야의 대한 실질적인 연구라기 보다는 기존의 연구 및 기술개발 동향과 실적을 최대한 수집분석하여 로드맵을 작성하였다고 할 수 있다. 동 연구에서는 관련 기술을 바이오매스용 해조류 대량 양식기술, 해조류 전처리 및 당화기술, 바이오연료 생산기술, 발효/전처리 부산물 활용기술로 구분하고 국내외 기술동향 등을 감안하여 2009년부터 2020년까지의 기술 로드맵을 작성하였다.

본 연구에서는 이 연구에서 수집한 각종 정보를 활용하였다. 다만 이 연구가 직접 실험하고 검증한 것이 아니고 수집된 자료를 중심으로 분석하였기 때문에 정보의 신뢰도가 문제가 되는 경우도 있었다. 이럴 경우에는 본 연구진에

별도로 자료를 수집하여 보완하였고, 기술 로드맵을 상당부분 이 연구결과를 활용하였다.

본 연구와의 가장 큰 차별성은 이 연구가 기술로드맵에 한정되어 있고 산업화 및 정책사업으로 추진할 때의 로드맵이라는가 전략이 부재하다는 것이다.

2) 기존 연구와의 차별성

이상과 같이 9편의 선행연구를 분석하고 본 연구와의 차별성을 정리하였다. 그 결과를 <표 1-1>에서 제시하고 있는데, 전술한 바와 같이 본 연구에서는 여기에서 검토한 선행연구 이외의 많은 연구결과를 참조하였다.

결론적으로 기존의 연구들이 본 연구와 정확히 일치한 연구는 존재하지 않았고, 각 부문별로 참고가 되는 연구들이었다. 특히 해조류 이외의 분야의 연구결과들은 해조류 바이오산업화를 위한 전략 및 정책 수립에 벤치마킹 대상이 되었다.

해조류 관련 선행연구는 앞에서 보았듯이 모두가 기술개발 관련 연구들이었다. 따라서 동 연구결과 도출의 당위성을 부여하는 데는 크게 기여하였지만 본 연구와 직접적으로 유사성이 있지는 않았다. 따라서 해조류 바이오산업화에 대한 사회경제적 연구는 본 연구가 국내에서 최초라 할 수 있다.

| 표 1-1 | 선행연구와의 차별성 검토

구 분		선행연구와의 차별성		
		연구목적	연구방법	주요 연구내용
	1	-과제명:지구온난화 가스 저감대책 동향분석 및 국내 대응방안 연구-수송부문 중심으로- -연구자:한화진·오소영(1999, 환경정책평가연구원) 연구목적:수송부문 지구온난화 가스 저감대책 수립	-문헌연구 -계량분석 등	-지구온난화가스 저감을 위한 대책 연구 -수송부문의 온실가스 배출 현황과 저감방안 등 도출
	2	-과제명:바이오연료의 환경·경제성 분석 및 보급확대방안 연구 -연구자:강만옥(2007,환경정책평가연구원) -연구목적:바이오연료의 환경 및 경제성 분석을 통한 보급확대방안 수립	-EU기준 환경저감 비용 계산 -바이오연료 개발 현황 분석	-바이오연료 개발시 환경 및 경제성 분석 및 파급효과 검토 -바이오연료 보급방안 제시
주요 선행 연구	3	-과제명:바이오에탄올 혼합연료 유 도입을 위한 실증평가 연구 -연구자: 정충섭(2008, (재)한국석유품질관리원) -연구목적:바이오에탄올 혼합연료의 품질특성 및 유통과정 실증평가	-실험 -계량분석 등	-바이오에탄올 저농도 보급 곤란 -바이오에탄올 시범보급사업 필요 -바이오ETBE 전환 보급 신중
	4	-과제명:유채의 산업연료화를 위한 바람직한 정책지원체계연구 -연구자:성진근(2006, 충북대학교, 서울대학교) -연구목적: 바이오에너지 작물의 일관재배를 위한 경제성 효과 분석과 정책시스템 개발	-문헌분석 -계량분석(경제성 분석)	-국내외 바이오에너지 현황 -바이오에너지 작물의 경제성 분석 -바이오에너지 작물 도입을 위한 정책지원체계
	5	-과제명:바이오매스타운(가칭) 도입방안 연구 -연구자:최은희(2006, 한국농어촌공사농어촌연구원) -연구목적: 농촌 바이오매스 타운 도입방안 수립	-문헌분석 -사례분석	-일본 바이오매스 타운 사례연구 -바이오매스 이용기술 및 국내 도입여건 분석 -바이오에너지 작물의 경제성 분석 -바이오에너지 작물 도입을 위한 정책지원체계

<표 1-1> 계속

구 분		선행연구와의 차별성		
		연구목적	연구방법	주요 연구내용
주요 선행 연구	6	-과제명:해조류를 이용한 온실가스 저감 연구 -연구자:정익교(2006-12, 부산대학교) -연구목적:해조류 CDM사업화 가능성 검토 및 사업화 방안 수립	-해조류 특성 분석 -해조류 종조성과 이산화탄소제거량 조사	-해조류 이산화탄소 흡수력 분석 -해조류 활용 정정개발체제 구축
	7	-과제명:해조류를 이용한 바이오 에너지 생산 타당성 연구 -연구자:김경수(2007, 한국생산기술연구원) -연구목적:해조류 바이오에너지 추출기술 개발을 통한 산업화	-해조류 구성성분 분석 -당화수율 도출 -발효균주 실험	-해조류 바이오에탄올 추출 -에탄올 TOE당 1.8-1.9t 이산화탄소 저감효과 예상
	8	-과제명:해양자원 바이오 신소재 개발 및 산업화 -연구자:서영범(2008,충남대학교) -연구목적: 홍조류를 원료로 하여 고급 인쇄용지 개발	-홍조류 펄프와 제지 개발	-환경 친화적인 공정방법 개발 -홍조류 섬유로부터 펄프 추출 -원료조달 방법
	9	-과제명:바이오매스용 해조류 대량양식 및 바이오에너지 생산기술 개발 로드맵(타당성 조사) 연구 -연구자:우희철(2009, 부경대학교) 연구목적:해조류 바이오매스 양식 및 에너지 생산기술 로드맵 수립	-기존 연구 및 기술실태 분석 -계량분석 등	-국내외 해양바이오매스 연구동향 -해양바이오매스 기술체계도 -해양바이오매스 개발 파급효과
본 연구		-연구목적:해조류 바이오에너지 및 펄프의 산업화 방안 수립 -차별성:기존 개발기술을 산업화할 수 있는 구체적인 정책 및 전략 수립	-문헌자료 분석 -전문가 자문 -외국사례분석 -정책연계분석 -계량분석 등	-바이오산업 분석 -해조류에너지 및 펄프의 산업화 가능성 분석 -해조류 바이오산업화 정책 수립 -해조류 바이오산업화 로드맵

제 2 장 바이오산업 실태 분석

1. 해조류 바이오산업화의 필요성

1) 바이오산업의 정의

(1) 바이오산업 범위

바이오매스(biomass)는 원래 생물체 총량을 나타내는 생태학적 용어였으나 현재는 모든 생물 즉, 식물과 미생물의 광합성에 의해 생성되는 식물체, 균체와 이를 먹고 살아가는 동물체를 포함하는 생물유기체를 의미하는 포괄적 개념으로 사용된다.¹⁶⁾ 다시 말하면, 바이오매스는 재생 가능한 식물로부터 생성된 유기물을 말하며 이중에는 에너지 작물, 나무와 식품, 사료 등 농산물 및 부산물, 임산 부산물, 수생식물, 동물 분뇨, 도시 및 산업쓰레기 중의 유기성폐기물을 포함한다(Agarwal, A. K., 2007). 최근에는 많은 바이오매스들이 계획적으로 재배된 속성수 혹은 속성으로 재배된 초본식물(갈대 등)이 에너지 작물로 재생산되는 경우가 있으며 이를 바이오에너지 원료로 사용되기도 한다.

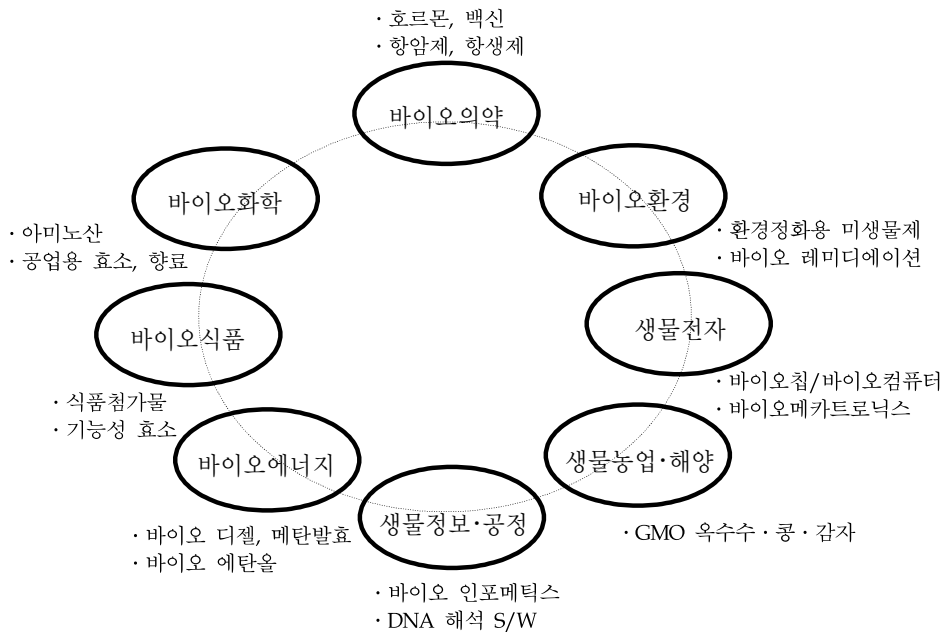
이 경우 이들 작물이 자라면서 대기 중의 이산화탄소를 흡수하고 바이오매스를 연소하여 에너지로 이용하면 이산화탄소는 다시 대기 중에 방출된다. 그러나 바이오매스가 끊임없이 재생산되는 한 바이오에너지 사용으로 인한 대기 중 이산화탄소의 순증가는 없다. 즉, 바이오에너지가 연소될 때 유독 가스가 배출될 수 있고 이산화탄소가 대기로 방출되지만 이 탄소는 당초 대기 중에서 식물에 섭취된 것으로 화석연료가 연소될 때의 경우와 달리 이산화탄소

16) 동서문화사, 파스칼대백과사전.

의 생성이 아니라 순환으로 보아야 하기 때문이다.

한편, 바이오산업은 사전적 의미로 바이오테크놀로지를 기업화하려는 새로운 산업 분야로 생물 자체 또는 그들이 가지는 고유의 기능을 높이거나 개량하여 자연에 극히 소량으로 존재하는 물질을 대상으로 생산하거나 유용한 생물을 만들어 내는 산업을 뜻한다.

바이오산업 분야는 <그림 2-1>과 같이, 바이오에너지를 비롯하여 바이오의약, 바이오화학, 바이오식품, 생물정보·공정, 생물농업·해양, 생물전자, 바이오환경 등으로 다양하며, 최근에는 의료, 식량, 환경, 농업 등과 결합하여 바이오 영역이 확대되는 추세이다.



자료 : 홍현표 외, 2009.

| 그림 2-1 | 바이오산업 범위

최근 국제적으로 CO2 저감을 통한 기후변화 대응이 이슈가 되고 있는 속

에서 우리나라에서도 저탄소 녹색성장이 국정과제로 자리매김하고 있다. 특히 신재생에너지의 개발과 보급이 중요시 되고 있고 여기에 친환경적인 바이오에너지가 주목받고 있다.

(2) 바이오에너지

바이오에너지(bio-energy)는 바이오매스로부터 생성·배출되는 유기물에서 얻어지는 에너지를 말하며, 그 형태는 매우 다양하다. 바이오매스는 유채, 콩, 팥 등의 유지작물과 옥수수 등의 곡물과 감자류를 포함한 전분질계의 자원, 사탕수수, 사탕무와 같은 당질계 자원, 초본 및 벚짚 등 농업 부산물을 포함하는 셀룰로오스계의 자원이 있다. 가축의 분뇨, 미생물의 균체를 포함하는 단백질계 자원, 그리고 해조류까지 포함하면 매우 다양하다.

이러한 바이오매스에서 생산되는 바이오에너지 역시 매우 다양하다. 바이오에너지는 크게 액체연료와 가스연료로 나뉘지는데 액체연료는 다시 당질계, 전분질계, 목질계 원료에서 생산되는 바이오에탄올(bio-ethanol)과 유지작물에서 생산되는 바이오디젤(bio-diesel)로 구분된다. 가스연료에는 섬유소나 기타 유기성폐기물의 발효를 통하여 생산되는 바이오가스(bio-gas) 등이 있다(박재일 외, 2008).

바이오에탄올은 바이오매스를 기질로 이용하여 효모나 박테리아 등의 미생물로 발효시켜 에탄올을 생산하는 경우가 많다. 전분을 원료로 하는 경우에는 산이나 전분분해효소인 아밀라아제를 이용하여 전분을 포도당으로 전환하여 에탄올을 만든다. 바이오매스로 얻어진 에탄올은 휘발유나 혼합연료의 형태, 산화물의 혼합연료 또는 수화에탄올로 기존의 내연기관에 사용될 수 있으며, 공연비를 낮게 유지할 수 있고, 옥탄가가 높으며 화염온도는 낮다는 등의 수송용 대체 연료로서 매우 우수한 특성을 가지고 있다.

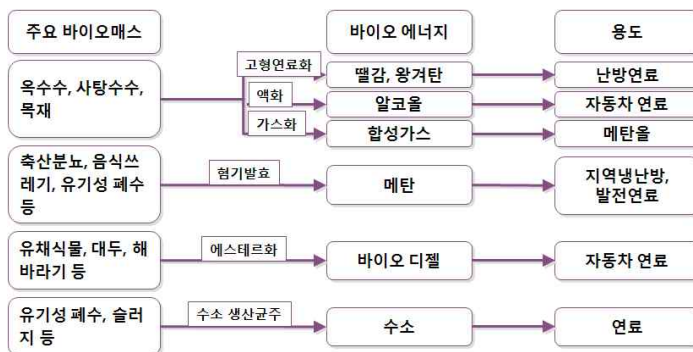
바이오디젤은 기름이 알코올과 화학적으로 반응하여 만들어진 에스테르

(ester)를 의미하며 생산과정에서 화학적 반응을 촉진하기 위해 촉매제로서 수산화나트륨 혹은 수산화칼륨이 이용된다. 이렇게 만들어진 바이오디젤은 원유로 추출되는 디젤에 비해 우수한 것으로 평가받고 있다.

바이오메탄올은 나무와 풀 등의 복합 유기물을 가수분해하여 이를 산생성균으로 분해하여 아세트산, 수소, 이산화탄소를 생성시킨다. 다음으로 아세트산을 분해하여 메탄 및 이산화탄소를 생성하거나 이산화탄소와 수소를 메탄으로 전환하게 한다.

바이오수소는 바이오매스를 활용한 신에너지로서 최근에 관심이 높아지고 있다. 즉 물, 유기성 폐기물 등의 바이오매스로 태양에너지와 미생물을 이용한 수소를 생산하는 기술은 친환경에너지로서 주목받고 있다.

<그림 2-2>는 다양한 바이오매스 종류와 추출 가능한 바이오에너지, 그리고 이들의 활용도를 나타낸 것이다.



자료 : 김기협, 바이오에너지 현황과 미래, 한국생산기술연구원, 서울대학교 발표자료, 2007.

| 그림 2-2 | 주요 바이오매스와 바이오매스에너지

바이오매스를 원료로 해서 생산되는 알코올 및 합성가스 등의 바이오에너지는 원료의 생물자체가 이미 CO₂를 흡수하고 있기 때문에 제조나 연소단계에서 CO₂를 배출하더라도 CO₂의 증감에 영향을 미치지 않는 재생 가능한 대

체 연료로서 그 역할이 주목을 받고 있다. 특히 최근 원유가격의 급등을 배경으로 바이오에너지 생산이 급격히 늘고 있다. <표 2-1>은 바이오에너지 연료별 특성을 정리한 것이다. 옥수수 및 사탕수수, 목질계 등으로 바이오에탄올을 생산하고 있으며, 대두 및 유채 등으로는 바이오디젤을 생산하고 있다.

| 표 2-1 | 바이오에너지 특성

구분	옥수수 에탄올	사탕수수 에탄올	목질계 에탄올	바이오디젤	미세조류 바이오디젤
전세계 생산량 (L)	185억 ('06)	187억 ('06)	0	19억 ('05)	0
단위면적당 생산량(L/ha)	2,500	5,700~7,600	5,500 (스위치그래스)	560 (대두유 기준)	45,000
생산비용 (\$/L) ('07.06)	0.29	0.23	R&D 단계	0.5~0.6	R&D 단계
소매가 (\$/L)	휘발유: 0.80 E85: 0.69 E85: 0.98 ¹⁾	E25: 1.30 E100: 0.77 E100: 1.03	R&D 단계	디젤: 1.62 BD100: 1.80 BD100: 1.78	R&D 단계
에너지 Balance ²⁾	1 : 1.3	1 : 8	1 : 2~36 (생산방식 편차)	1 : 2.5	R&D 단계
온실가스 배출량(g/L)	휘발유: 2437.8	휘발유: 2437.8	휘발유: 2437.8	디젤: 2796	R&D 단계
	E85: 2438 (22% 적음)	E100: 1076 (56% 적음)	E100: 227 (91% 적음)	BD100: 908 (68% 적음)	R&D 단계

주 : 1) 휘발유 1리터에 상응하는 에너지

2) 바이오연료 생산에 투입된 화석연료 투입량 대비 생산된 바이오에너지 산출량

자료 : DOE, EPA, Worldwatch Institute

2) 해조류 바이오산업화의 필요성

(1) 기후변화 대응 및 화석연료 대체

지금 세계는 기후변화로 인한 지구적인 재앙에 대하여 심각한 논의가 이루어지고 있다. 따라서 기후변화 대책의 필요성에 대한 전 세계의 공감대가 형

성되면서 정부간 협의체(Intergovernmental panel on climate change; IPCC)는 지구 온난화에 대한 평가보고서를 통해 지표면 온도 상승으로 생태계가 파괴되고 심각한 물 부족과 함께 해수면 상승으로 침수 위험에 직면할 수 있다는 내용을 발표하였다.¹⁷⁾ 이러한 기후변화는 여러 가지 원인이 있지만 가장 큰 요인으로 꼽히는 것이 현대산업사회 발달에 따른 화석연료 사용과 이로 인한 CO₂ 과다발생이다.

기후변화협약은 여러 차례 회의를 거쳐 1997년에 온실가스 감축을 주요 내용으로 하는 교토의정서가 2005년 2월에 비준되었다. 교토의정서는 기후변화협약에 의한 온실가스 감축이 구속력이 없자 온실가스의 실질적인 감축을 위하여 과거 산업혁명을 통해 온실가스 배출의 역사적 책임이 있는 선진국(38개국)을 대상으로 제1차 공약기간(2008년~2012년)동안 1990년도 배출량 대비 평균 5.2% 감축하도록 규정한 것이다.¹⁸⁾

교토의정서의 발효로 이에 참가한 대상 국가는 이에 근거해 여러 가지 대책을 마련하기 시작하였다. 2002년 교토의정서를 인준한 EU 15개 회원국은 2008년~2012년 동안 이산화탄소 배출 수준을 1990년대의 8% 수준까지 인하시기로 합의하였다. EC 위원회는 유럽 기후변화 프로그램(European Climate Change Programme, ECCP)을 시행하며 광범위한 정책 및 대책을 채택하였다. 일본은 국내외 감축 목표량을 설정하고 기후변화협약 이행을 위해 전 분야를 포함하는 계획을 수립하여 국가적인 캠페인을 계획하는 등 체계적인 대응에 나서고 있다.

17) 미국 시사주간지 타임지는 2008년 3월 기후 변화를 세계적인 현안과제로 주목하면서 관련 대책을 서둘러 마련할 필요가 있다고 주장하였으며, 세계경제포럼(WEF)도 기후 변화로 인해 향후 10년간 최대 2,500억 달러의 경제적 손실이 예상되며, 세계경제가 매년 GDP의 5%를 잃게 될 것이라는 어두운 전망을 내놓았음.

18) 기후변화 홍보포털사이트(<http://www.gihoo.or.kr>) 참조.

| 표 2-2 | 주요 국가의 기후변화 방지대책

국 가	대 책
EU	○ 교토의정서에 의한 1차 공약기간 이전부터 온실가스 감축을 위한 노력 지속 ※ 2005~2007년까지 EU내에서 배출권거래제도 시행 후 2단계 배출권거래제 시행중 ○ EU "Energy and climate package" 발표(2008) ※ 2020년까지 1990년 기준 배출량 20% 감축, 신재생에너지 비율 20% 확대 및 에너지 효율 개선 촉진 ※ EU집행위는 2020년까지 EU의 온실가스 배출량을 1990년 대비 최소 20%, 여타 선진국 동참 시 30%까지 감축하겠다는 정책 기조 설정 ※ 2050년까지는 60~80%감축(전 지구적으로는 50%감축)
영국	○ 2050년까지 1990년 대비 온실가스 배출량 80% 감축 설정(2007.11) ※ UK Climate Change Bill 상원통과(2008.3)
일본	○ 지구 온난화 대책의 추진에 관한 법률 제정(1998) 및 개정(2006) : 내각총리를 본부장으로 하는 「지구 온난화대책 추진본부」 운영 중 ○ 2050년까지 현재수준에서 60~80%의 온실가스 배출량 감축을 설정, 2008년 말까지 국내 배출권거래제 시범사업 도입을 공표(2008.6)
미국	○ 2012년까지 온실가스배출집약도(온실가스배출량/GDP)를 18%까지 낮춘다는 자체 목표 수립, 시행 ○ 동북부(RGGI)와 서부(WCI)의 주를 중심으로 배출권거래제 시행 준비 중 ○ 2025년까지 배출량 증가억제를 목표로 설정 ○ Lieberman-Warner's Act 상원 환경위 통과(2007.12) ※ 2050년까지 2005년 대비 70% 감축, Cap & Trade 도입 등 ○ 2017년까지 휘발유 소비량 20% 감축 위한 대체에너지 비중 확대(3%→15%) 등 대책 발표(2007.1) ※ 캘리포니아주는 온실가스 배출을 2020년까지 25% 감축하는 법안 제정(2006년), 그밖에 버몬트, 뉴욕 등 29개 주에서 온실가스 감축 목표 수립

자료 : 기후변화 홍보포털사이트(<http://www.gihoo.or.kr/>)

현재 우리나라의 이산화탄소 배출량은 세계 9위이고, OECD 국가 중 이산화탄소 배출량 증가율은 1위, 누적배출량은 세계 23위로, 2차 이행 기간 이후에는 온실가스 감축을 위한 국제적 노력에 동참해야 한다는 요구가 높아질 것으로 예상되고 있다.

이상과 같은 기후변화협약의 대응으로서 가장 관심이 되는 부문은 화석연

료 대체에너지를 개발하는 것이다. 세계 각국은 신재생에너지, 대체에너지 등 다양한 에너지 개발에 심혈을 기울이고 있다. 그중에서도 바이오에너지의 개발에 대한 것은 현실적으로 가장 경제적이라는 측면에서 가장 선호하는 대안이 되고 있다.

하지만 바이오에너지의 대명사인 곡물바이오에너지화가 국제적으로 많은 비판을 받게 되었다. 왜냐하면 아직도 지구상에는 많은 인류가 기아에 허덕이고 있는데 곡물로 에너지를 생산하는 것이 바람직하지 않기 때문이다. 따라서 기후변화 및 인류 식량문제에 영향을 미치지 않으면서 화석연료를 대체하고 지속적으로 생산할 수 있는 에너지원으로서 해조류 바이오에너지 산업화는 필요하다고 하겠다.

(2) 저탄소 녹색성장산업화의 원동력

녹색성장(Green growth)¹⁹⁾이 대두된 배경은 자원 고갈과 환경 위기가 도래됨에 따라 기존의 요소투입 위주의 경제성장은 한계에 도달하게 되고, 국제 온실가스 규제로 인해 저탄소 경제로 변화하지 않는다면 국가 경쟁력의 약화를 초래할 가능성이 높다는 위기의식에서 시작되었다. 따라서 녹색성장은 환경과 성장이라는 두 가지 가치를 동시에 포함하는데, 기존의 지속가능발전(Sustainable development) 개념을 발전시켜 더욱 친환경적인 성장패턴으로 전환하는 것을 의미한다. 지속가능발전은 경제발전, 사회통합, 환경보호를 동시

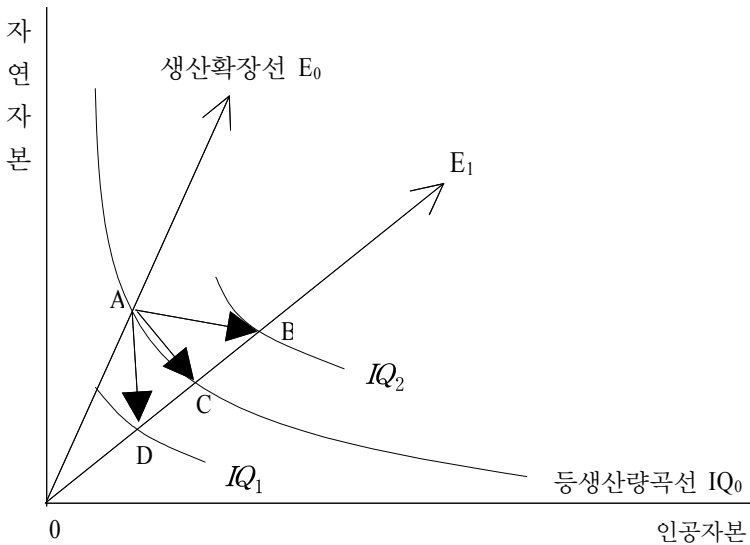
19) 녹색성장의 3대 요소는 첫째, 동일한 성장을 하되 에너지와 자원의 사용량은 최소화하는 것이며, 둘째, 동일한 에너지와 자원을 사용하되 이산화탄소 등 환경부하를 최소화하는 것이고, 마지막으로 녹색성장을 신성장 동력으로 개발하는 것이다. 특히 녹색성장을 위한 녹색기술을 강조하고 있는데, 녹색기술(green technology)이란 제품 생산에서 소비까지 경제활동의 전 과정에 걸쳐 에너지 사용을 줄이고, 오염물질 및 폐기물 배출을 최소화하는 기술을 지칭한다. 녹색성장 10대 추진 방향은 온실가스를 줄이는 정책의 실시, 녹색기술의 새로운 성장동력화, 고도의 융합기술 정책(우리나라의 강점인 IT, BT, NT 기술 등을 활용한 융합녹색기술의 개발을 촉진하고 이를 수출산업화 함), 새로운 일자리 창출, 기업의 경쟁력 강화정책 추진, 국토 공간구조를 저탄소 녹색성장구조로 개편, 소비에서 의식주까지 바꾸는 생활혁명, 녹색 교육문화 정책, 환경친화적 세계 개편, 국가브랜드 제고 등임.

에 추구하는 개념인 반면 녹색성장은 지속가능발전 개념과 유사하긴 하나, 지속가능발전의 한계로 지적되는 추상성과 광범위성을 보완한 개념이라 할 수 있다.

전체적인 개념에서의 환경과 부분적인 의미에서 성장이라는 잘 어울릴 것 같지 않은 두 개념의 결합은 이미 선진국에서는 새로운 성장철학으로 자리 잡아가고 있다. 따라서 녹색성장은 기존의 경제성장 패러다임을 친환경적으로 전환하는 과정에서 신에너지 및 친환경 관련 신기술이 개발되는 동시에 기존 산업과 상호 융합함으로써 새로운 성장 동력을 창출하는 것을 의미한다.

경제적인 의미에서 성장은 국민경제의 능력이 커지는 것 또는 국민 소득, 국민 총생산과 같은 국민경제의 기본적 지표가 높아지는 것을 의미한다. 환언하면, 녹색성장도 어떤 형태로든 자연 에너지의 변환 및 이용을 유인하게 된다. 따라서 재화나 서비스의 생산은 이윤을 극대화하거나 비용을 최소화하는 방식으로 생산요소 혹은 자연 에너지를 결합해야 하기 때문에 생산요소의 새로운 결합방식, 즉 녹색성장은 새로운 친환경 생산기술의 개발 및 이용을 지칭한다고 할 수 있는데, 이는 곧 성장패턴을 변화시키고(예: 고탄소 성장 → 저탄소 성장), 최종적으로 에너지 변환의 차이를 초래하게 된다.

<그림 2-3>은 녹색성장의 개념을 경제학적 관점에서 설명한 것이다. 기존의 생산확장선을 E0라 하고, 새로운 생산확장선을 E1이라 하자. 만일 생산 균형이 A에서 C로 이동할 경우 자연자본의 사용은 감소하였으나 생산이 감소하여 생기게 됨에 따라, 생산이 A점에서 B점에서의 이동은 등생산량곡선이 커지는 방향으로 이동을 의미한다.



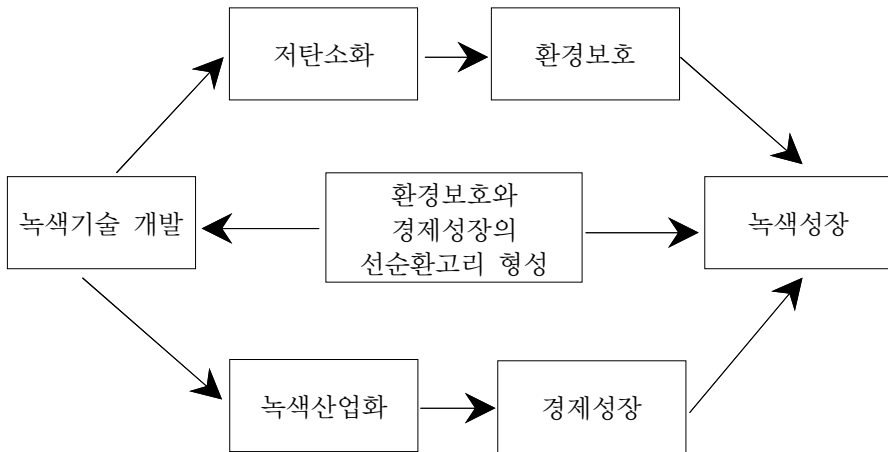
〈그림 2-3〉 자연자본 · 인공자본 · 성장의 관계

아울러 C점은 동일한 등생산량곡선상에서 생산요소의 비율의 변화를 의미하므로 성장이라는 개념은 포함되어 있지 않다. 그러나 A점에서 D점으로 이동될 경우 과거보다 적은 등생산량곡선(IQ1)에 위치함으로 결국 퇴보를 의미한다고 할 수 있다. 여기서 녹색성장은 녹색생산기술을 개발 및 도입함으로써 생산이 A에서 B로 옮겨가는 저탄소녹색성장을 의미한다. 따라서 저탄소녹색성장 정책은 자연자본이 감소됨에 따라 인위적 엔트로피²⁰⁾의 증가 속도를 낮추는 데 기여할 수 있고, 손상된 자연환경 또는 자연의 내재적 질서를 회복 및 유지하는 데 도움을 줄 수 있다.

따라서 녹색성장의 핵심은 경제성장을 추구하되 자원이용과 환경오염 및 파괴를 최소화하고, 이를 다시 경제성장의 동력으로 활용하는 ‘선순환구조’에

20) 엔트로피(entropy)는 에너지가 어느 한 상태에서 다른 상태로 변환될 때 반드시 비용이 발생하는데, 그 비용이란 미래에 어떤 일을 하는데 사용 가능한 잠재적 에너지의 양이 손실됨을 의미함(Rifkin 1980, pp.34-35).

있다. 예컨대, 수산업의 경우 석유를 대체하고 이산화탄소 배출을 줄이기 위해 하이브리드 어선엔진을 개발 및 사용한다고 가정하자. 어업인이 어획활동을 하는데 있어 하이브리드 엔진을 사용함으로써 해양생태계에 미치는 부정적인 영향을 최소화함으로써 해양생물다양성을 제고함과 동시에 어업자원 회복에 기여함으로써 경제성장을 한다면 이는 녹색성장이 구현되었다고 할 수 있다. 따라서 녹색성장은 환경보전과 경제성장이라는 상반되는 두 가지 가치의 시너지효과를 극대화하는 것이라고 할 수 있다.



| 그림 2-4 | 녹색성장의 선순환구조

일반적으로 수산부문의 녹색성장은 해역별 또는 한반도 전 해역의 환경용량과 생물자원 부양능력을 고려하여 잡는어업과 양식어업 방식을 친환경화적으로 전환하는 동시에, 감축(reduction)↔재활용(recycle)↔재사용(reuse)↔재생산(renewal)을 토대로 자원순환형 녹색수산업을 의미한다. 아울러 저탄소·저오염을 지향하는 기술개발, 녹색어촌개발 등을 통한 저탄소녹색성장을 의미한다.

이러한 관점에서 볼 때, 새로운 바이오매스로서 해조류는 녹색성장에 있어 중요한 자연자원이라 할 수 있다. 전술한 바와 같이, 바이오매스란 에너지

원과 자원으로서 생물체량을 의미하는데, 현재까지는 주로 농산바이오매스, 축산바이오매스, 임산바이오매스가 주를 이루었다. 그러나 세계적으로 화석 에너지 지원 사용으로부터 발생하는 온실가스 배출량을 줄이기 위하여 바이오에너지 생산량을 증가시키고 있지만, 식용 가능한 육상작물을 이용한 곡물 바이오에너지를 생산함에 따라 국제 곡물시장에서 옥수수, 콩, 밀의 가격이 상승하는 문제점이 드러났다. 특히 2007년에는 곡물가 급등이라는 유래 없는 사태가 발생함에 따라 FAO를 비롯한 국제기구에서는 인류 식량공급차원에서 곡물 에너지화에 대하여 공식적으로 반대하는 입장을 취하고 있다. 우리나라도 최근에 농업부문에서 유채를 이용한 바이오에너지 사업을 시행하고 있지만 육상의 공간적 제약으로 인해 산업화를 통한 발전에는 한계가 있는 것으로 평가 받고 있다.

그러나 해조류는 육상식물처럼 식량문제를 촉발시키거나, 산림자원의 경우처럼 자원을 고갈시키지 않는 자원으로서 자연 친화적이다. 아울러 해조류는 육상바이오매스 자원에 비해 단위면적 대비 생산수율이 높아 경쟁력이 있다. 더욱이 해조류는 목질계 바이오매스에 비하여 성장속도가 월등히 빠르며 또한 구성성분 면에서도 리그닌이 함유되어 있지 않아서 전처리가 용이하다는 장점도 있다.

2. 에너지 및 펄프 산업 실태

1) 에너지산업

(1) 에너지산업 패러다임 변화 및 전망

2003년 이후 수년간 지속된 고유가 시대 이후, 2008년 말 전 세계가 직면

한 금융위기하에서 경제 성장률의 둔화 및 유가 인하 등 에너지를 둘러싼 상황은 매우 역동적이라 할 수 있다. 따라서 각국들은 ‘에너지 안보’ 차원에서 급변하는 에너지 산업 정세에 대한 적절한 대응책 모색이 필요한 상황에 처해 있다. 더욱이 교토의정서가 발효되면 대부분의 선진국들이 온실가스를 줄여야 하기 때문에 향후 에너지 수요는 온실가스 감축 이행 여부에 상당한 영향을 받을 것이다.

최근 들어 대부분의 에너지 전문가들은 에너지시장의 불안정이 심화되면서 환경과 경제 그리고 에너지를 동시에 고려해야 하는 시대가 도래되었다고 한다. 이런 의미에서 신재생에너지에 대한 관심이 날로 고조되고 있으며 에너지는 절감과 보전의 의미를 넘어 환경친화적인 에너지관리를 함축시킨 ‘환경 에너지’라는 용어가 새로운 화두로 떠오르고 있다. 즉, 환경에너지는 국가정책의 모든 분야에서 검토되고 고려돼야 할 필수 단어로 자리 잡고 있다. 환경에너지는 태양, 풍력 및 해양 등 자연 에너지로부터 얻어질 수 있는데, 환경에너지경제를 동시에 고려해야 한다는 점에서 환경에너지 사업의 개발 및 발전을 위해서는 정책적·기술적·시장적 측면을 종합적으로 고려할 필요가 있다.

주요 에너지원별로 소비를 전망해 보면, 석유의 경우 향후 30년 동안 현재의 에너지 점유율인 39%에서 38% 수준으로 다소 감소할 것으로 보이나 여전히 주력 에너지원의 자리를 지킬 것으로 예상된다. 다만 기후변화협약에 의한 배출규제가 시행되면 수송 에너지의 탈석유화가 불가피해질 것이다. 천연가스는 청정연료이면서 원자력과 같은 안전논쟁을 불러일으키지 않기 때문에 가장 빠른 증가세를 보이고 있다. 총에너지 소비 중 천연가스의 비중은 1971년 18%에서 2000년 23%로 높아졌으며 2030년에는 28%까지 높아질 전망이다. 신재생에너지는 경제성 등의 이유 때문에 현재 총에너지에서 차지하는 비중이 2.5% 내외로 미미하나 환경친화적이며 비고갈성 에너지라는 장점이 있어 유럽 국가를 중심으로 보급이 크게 증가할 전망이다. 국제에너지기구(IEA)에 따르면 전 세계 도로 운송 연료의 총 공급량에서 바이오 연료의 비중은 2006년 1.5%에서

2030년에는 5%로 증가할 것으로 전망하고 있다.²¹⁾

현재와 같은 소비추세가 계속 된다면 세계 에너지시장의 미래는 결코 낙관적이지 않다. 부존량에 한계가 있는 에너지자원으로는 급증하는 세계에너지 수요를 채울 수 없을 것이 분명하기 때문이다. 따라서 세계 에너지시장의 수급 불안 뿐만 아니라 시장상황에 따른 에너지가격의 변동 폭도 더욱 확대될 것이다. 이와 같은 예견되는 상황하에서 우리는 변화하는 에너지 시장상황에 대한 대책 수립이 필요하다. 특히 기후변화협약 등 국제환경규제의 강화와 자원고갈 및 환경오염 등 기존 화석에너지체제의 한계가 대두됨에 따라 이를 극복할 대안으로 새로운 에너지자원의 개발, 환경친화적인 신재생에너지의 개발 및 이용확대의 중요성이 급격히 부각되고 있다. 이에 따라 EU, 미국, 캐나다 등 선진국은 물론이고 브라질, 중국 등 개도국에서도 신재생에너지의 연구 및 개발에 심혈을 기울이고 있는 실정이다.

2) 수송용 바이오 에탄올 이용 실태

고유가와 화석연료 사용에 따른 환경문제가 지속적으로 제기되고 있다. 이에 대한 하나의 해결 방안으로 바이오 에탄올에 대한 관심이 높아지고 있다. 에탄올은 사탕수수나 옥수수 등과 같은 바이오매스로부터 얻어지는 발효에탄올과 석유의 에틸렌을 원료로 얻어지는 합성에탄올로 분류되는데, 현재 시중에는 90%이상이 발효 에탄올이다.

에탄올의 주요 이용부문은 수송연료 부분으로 약 60%이상을 차지하고 있다. 2006년 말 세계 바이오에탄올 생산량은 약 3.2억 배럴 정도인데, 최대 생산국은 미국이고, 그 다음으로 브라질이다. 양국의 생산량이 세계 생산량의 70% 이상을 점유하고 있다. 미국은 주로 옥수수를 원료로 바이오에탄올을 생산하고 있다.

21) IEA, World Energy Outlook 2009.

| 표 2-3 | 국별 수송 연료용 바이오 에탄올 도입현황

국별	바이오에탄올 혼합비율(%)	세부내용
브라질	E20-25	· 2004년부터 FFV 도입으로 휘발유와 바이오에탄올 동시 겸용이 가능함에 따라 FFV 차량 급증 · 전국에서 에탄올 20-25%를 혼합한 휘발유 판매
미국	E10	· 옥수수를 원료로 하는 바이오에탄올 10%를 혼합한 연료 시판 · 전 미국시장의 10% 시장 점유
캐나다	E10	· 옥수수와 밀을 연료로 하는 바이오 10%를 혼합한 연료 시판
프랑스	E15	· 휘발유에 바이오에탄올 15%를 첨가한 연료가 일반 차량으로 대상으로 이용됨
호주	E10	· 사탕수수나 밀의 부산물을 연료로 하는 바이오에탄올을 혼합 한 연료 시판
폴란드	E5	· 밀을 원료로 하는 바이오에탄올을 5% 혼합한 연료 시판
인도	E5	· 2002년부터 E5 휘발유를 시험적으로 시판, E10 도입 검토 중
중국	E10	· 바이오에탄올 10% 휘발유를 시험적으로 시판
EU	E5	· 바이오에탄올 도입 목표를 2005년 2%, 2015년에 5.75%로 하는 방향 검토

자료 : 김정완, 수송용 바이오에탄올 도입의 경제성 분석, 에너지경제연구원, 2007.

2) 펄프산업

펄프는 목재 또는 비목재에서 기계적인 방법, 화학적인 방법 또는 기계와 화학적 방법 등으로 추출한 섬유질의 집합체를 말하며, 주로 종이의 제조나 섬유 소 유도체 제조에 이용된다.

펄프는 <표 2-4>와 같이 원료, 제조방법, 표백유무, 용도 등에 따라 분류된다. 먼저 펄프는 원료에 따라 크게 목재와 비목재로 나뉜다. 목재 원료는 다시 활엽수와 침엽수로 구분되는데 활엽수에는 유칼립투스(Eucalyptus), 포플라, 너도밤나무, 자작나무, 미루나무, 참나무 등이 있고, 침엽수에는 소나무, 전나무, 낙엽송류 등이 있다. 비목재 원료는 짚(Straw), 대나무(Bamboo), 사탕수수

대(Bagasse), 갈대(Reed), 인피섬유(Bast Fiber ; 대마, 아마, 저마, 황마, 삼피, 저피 등) 등의 식물섬유로 제조한 것을 말한다.

| 표 2-4 | 펄프의 분류 체계

원료	목재 펄프	침엽수 펄프, 활엽수 펄프, 침·활엽수 혼합 펄프
	비목재 펄프	짚 펄프, 대나무 펄프, 인피 펄프, 닝마 펄프, 린터 펄프 등
제조방법	기계 펄프(MP)	쇄목 펄프, 열기계 펄프, 화학기계 펄프, 화학 열기계 펄프 등
	반화학 펄프(SCP)	산성 아황산 반화학 펄프, 중성 아황산 반화학 펄프 등
	화학펄프(CP)	아황산 펄프, 소다 펄프, 크라프트 펄프
표백유무		표백 펄프
		반표백 펄프
		미표백 펄프
용도		제지용 펄프
		용해용 펄프

자료 : 한국제지공업연합회 홈페이지(http://www.paper.or.kr/n_paper/paper_05.asp)

다음으로 펄프의 제조방법에 따라 기계 펄프(신문용지, 증질지 등), 반화학 펄프, 화학 펄프(인쇄용지 등 고급지) 등으로 분류되며, 표백 유무에 따라서는 표백 펄프, 반표백 펄프, 미표백 펄프로 구분된다. 그리고 펄프의 용도로는 제지용 펄프, 용해용 펄프로 분류된다. 이처럼 현재까지 종이 등의 원료가 되는 펄프는 대부분 목재 또는 식물에서 추출한 성분으로 제조하기 때문에 산림의 이용과 밀접한 관계를 가진다.

<표 2-5>은 세계 펄프 생산 규모를 나타낸 것이다. 세계 전체의 펄프생산 규모는 2008년 기준으로 약 19,000만 톤을 기록하였다. 2004년과 비교하여 약 1,000만 톤이 증가하였다. 펄프의 종류별로는 화학펄프의 생산이 13,000만 톤으로 가장 많고, 이어서 기계펄프, 기타 펄프, 반화학펄프가 뒤 따르고 있다. 지역별로는 북미의 생산량이 가장 많고 다음으로 유럽과 아시아가 따르고 있고, 이어 남미, 오세아니아, 아프리카, 중동의 순이다. 향후 아시아 및 남미, 아프리카 등의 저개발 국가의 경제발전을 고려한다면 세계 펄프산업 규모는 더욱 확대될 것으로 보인다. 그럴 경우, 펄프의 원료 공급원인 산림의 의존도가

높아져 삼림 파괴의 가속화로 이어질 것으로 가능성이 크다고 사료된다.

| 표 2-5 | 세계 펄프 생산 규모

단위 : 천 톤

구 분	합계		화학펄프		반화학펄프		기계펄프		기 타	
	2007	2008	2007	2008	2007	2008	2007	2008	2007	2008
합 계	195,210	192,418	133,365	132,813	6,227	5,929	37,093	35,562	18,526	18,113
북 미	75,844	71,778	57,227	54,415	3,711	3,482	14,906	13,881	0	0
유 럽	50,543	49,111	33,118	32,481	1,708	1,668	15,346	14,592	370	370
아시아	44,403	45,340	22,906	23,931	168	166	4,067	4,392	17,262	16,851
남 미	18,533	20,394	16,655	18,576	202	178	1,223	1,185	453	455
아프리카	2,526	2,496	1,746	1,717	177	177	272	271	331	331
오세아니아	2,855	2,817	1,526	1,517	176	174	1,150	1,116	3	10
중 동	506	482	186	176	85	85	129	125	107	96

자료 : 한국제지공업연합회 홈페이지(http://www.paper.or.kr/n_indu/indu_02_2.asp)

한편, 우리나라의 펄프 사용량은 <표 2-6>에서 보는 바와 같이, 연간 230~290만 톤으로서 사용량이 꾸준히 증가하고 있는 추세이다. 하지만 국내 펄프생산은 39~50만 톤에 불과하여 펄프 자급률은 14~19%로서 대부분 수입에 의존하고 있는 실정이다.

| 표 2-6 | 국내 펄프의 사용량 추이

단위 : 천 톤

년도	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008
사용량	2,360	2,319	2,971	2,931	2,917	2,943	2,911
국내산	389	443	479	514	500	425	516
수 입	1,971	1,876	2,492	2,417	2,417	2,518	2,395
(자급도)	16.5%	19.1%	16.1%	17.5%	17.1%	14.4%	17.7%

자료 : 한국제지공업연합회 홈페이지(http://www.paper.or.kr/n_indu/indu_02_2.asp)

3. 바이오산업 실태

1) 곡물 바이오산업

(1) 외국 사례

현재 바이오에너지는 옥수수, 사탕수수, 대두, 유채, 해바라기, 고구마 등 곡물에 의존하여 생산하고 있다. 유채, 대두, 해바라기 등 식물성 유지는 에스테르화 공정을 거쳐 바이오디젤을 생산하고 있다. 고구마, 쌀, 옥수수 같은 전분작물과 사탕수수, 사탕무와 같은 설탕작물은 당을 효모로 발효시켜 바이오에탄올을 생산한다.

표 2-7 | 바이오에너지 연료작물의 종류 및 활용 형태

구 분	종 류	이용형태
유지계 작물	유채, 대두, 팜, 해바라기, 자트로파, 홍화, 아주까리, 겨자, 땅콩, 쌀겨	바이오디젤
당질계 작물	옥수수, 맥류(쌀, 쌀보리), 고구마, 감자, 사탕수수, 사탕무, 트리티케일, 카사바	바이오에탄올

자료 : USDE. Energy Efficiency and Renewable Energy 홈페이지에서 다시 재구성하였음.

2007년 현재 세계 바이오에너지 생산은 160억 갤런(약 606억 리터)²²⁾이며 이중에서 수송연료 비율은 3%미만이며, 종류별로는 바이오에탄올이 84%, 바이오디젤이 16%를 각각 차지하고 있다.

이중에서 바이오에탄올은 바이오에너지 중에서 압도적인 생산을 점하고 있고 특히 2001년 이후 연간 생산은 20% 이상 성장세를 보이고 있다. 바이오에탄올의 국가별 추이를 보면, 미국, 브라질, 중국이 선두 그룹에 속하며 옥수

22) 1 갤런은 3.79리터에 해당함.

수 및 사탕수수 바이오에탄올을 실용화하여 이용하고 있다. 또한 이들 국가는 바이오연료 확대를 위해 다양한 지원책을 마련하고 있다.

| 표 2-8 | 바이오에탄올 국별 지원 및 생산 현황

국 가	지원 및 생산 현황
미국	· 세계 1위 (185억 리터), 옥수수 원료 · DOE 주도로 연구 및 생산 활발 · 정부의 세금감면 제도 시행 중 · 2017년까지 수송용 연료의 20% 대체 예정
브라질	· 세계 2위 (178억 리터), 사탕수수 원료 · Proalcohol 프로그램, 정부의 우대정책 · Flexible Fuel Vehicle '05년 현재 50%
중국	· 세계 3위 (38억 리터), 옥수수 원료 · 보조금 및 세금감면 혜택
일본	· 2030년까지 수송용 연료의 10% 대체 예정
EU	· 2030년까지 수송용 연료의 20% 대체 예정

자료 : 김기협, 전게서.

가. 미국

미국은 세계 제1위의 바이오에탄올 생산국으로서 지나친 원유의 의존을 낮추기 위해 바이오연료 개발과 보급에 박차를 가하고 있다.

2006년 1월 부시 대통령은 신년 국정연설에서 미국의 ‘석유 중독’을 치유하기 위한 방안으로서 바이오연료의 중요성을 공언한 바가 있다. 또한 2007년 1월에는 ‘2017년까지 비식량 원료를 포함하여 연간 350억 갤런의 재생에너지·대체에너지의 사용을 목표로 한다’라는 새로운 에너지계획을 발표하였다. 또한 2017년의 가솔린 소비량의 15% 삭감을 목표로 하여 바이오에탄올 7배 증산을 계획하고 있다. 2006년 기준으로 바이오에탄올 85%를 혼합한 E85의 보급을 시도하고 있고, 미국 전역 약 556개소의 주유소에서 판매하고 있다.

미국의 바이오연료는 자국의 풍부한 ‘옥수수’와 ‘대두’를 이용하여 생산하

고 있다. 옥수수과 대두의 최대생산국인 미국은 잉여 농산물 대책 차원에서 바이오연료 개발의 중요성이 부각되었다. 2005년에 옥수수 생산량의 11%가 바이오에탄올 생산에 사용되었고, 대두 생산의 15%를 바이오디젤 생산에 사용된 것으로 알려져 있다.²³⁾

또한 미국은 바이오연료의 상용화를 지원하기 위해 법 규정과 조세 인센티브를 제공하고 있다. 대기 환경 개선을 이유로 MTBE(화석 휘발유 첨가제) 사용을 규제하면서 바이오에탄올의 상용화를 조장하였다. 1992년에 제정된 ‘Energy Policy Act’에서 관용차, 학교차량 등에 바이오연료 사용을 의무화한 바가 있다. 또한 몇몇 주에서는 에너지 작물 생산자에게 직접 보조금을 지원하거나 BE10(에탄올 10% 혼합) 이용 차량에 대해서는 감세혜택을 주고 있다.

나. 브라질

브라질은 1970년대 오일쇼크 이후 ‘에너지 독립’을 위한 바이오에탄올 개발에 착수하였다. 즉 1975년 바이오에탄올 도입·확산을 위해 정부, 농민, 정제업자, 자동차 업계 등이 참여하여 에탄올 생산 및 보급을 위한 중장기 계획을 수립하였고, 전국 주유소의 바이오에탄올 판매 의무화와 생산 보조금 지급 등을 통해 확산을 추진하였다. 그 결과 풍부한 사탕수수 등 곡물 자원을 이용하여 현재 세계 제2위의 바이오에탄올 생산국으로 성장하였다.

브라질에서는 ‘플렉스카(flexible fuel vehicle)’ 도입과 ‘최소 혼합비율 정책’을 통해 바이오에탄올 소비를 증대시키고 있다. 즉 에탄올 혼합비율에 관계없이 운행이 가능한 플렉스카를 적극적으로 보급하여 현재에는 자동차 중에서 80% 이상을 차지하고 있다. 또한 모든 가솔린 차량은 20~25%의 바이오에탄올이 혼합된 연료를 사용하도록 의무화되어 있다.

23) 강희찬, ‘바이오 연료의 합리적 도입 방안’, CEO Information 577호, 삼성경제연구소, 2006, pp. 5~6.

다. EU

EU는 2020년까지 바이오연료 비중을 20%까지 확대할 계획을 가지고 있다. 급증하는 수송부분 연료 수요에 대비하고 온실가스 감축을 위해 바이오연료 보급을 확대할 계획이다.

EU는 풍부한 유지(oil-seed)작물을 이용하여 바이오디젤 보급에 주력하고 있다. 기후와 토양 조건에 적합한 유채를 원료로 한 바이오디젤을 생산하고 있는데, 예를 들어 독일의 바이오디젤 생산에서 사용되는 유지작물 중 유채가 전체의 85%나 차지하고 있다.

또한 EU는 바이오연료 보급 확대를 위해 적극적인 정책 지원을 실시하고 있다. 전체 농지 약 10%에 대한 강제 휴경지를 바이오연료 작물을 재배할 수 있도록 허용하고 있다. 그리고 EU는 세제 혜택 및 보조금 지원, 최소 혼합비율 의무화 등을 통해 바이오 연료 보급을 지원하고 있다.

라. 기타 국가

이외에도 아시아의 중국과 일본은 바이오연료 개발·보급에 관심을 가지고 있다. 중국은 바이오연료의 세계 제3위의 생산국이며, 일본도 2030년까지 수송용 연료의 10% 대체 계획을 수립하고 있다.

이상과 같이 곡물을 이용한 바이오에너지의 성장은 세계 식량시장의 커다란 변화를 일으켰다. 세계 각국의 곡물소비가 증가하고 있는 속에서 수급의 균형을 무너뜨렸으며, 특히 미국의 바이오에너지용 옥수수 수요의 증대는 국제 식량가격의 급상승을 초래하였다.²⁴⁾ 그 결과 2007년부터 2008년 동안 국제 식량가격은 사상 최고를 기록하기도 하였다.

또한 아프리카를 위시한 개발도상국의 식량 문제가 심각한데도 불구하고

24) (社) J A総合研究所 Homepage, 「世界の窓」から食料問題を考えるシリーズ, 「穀物・大豆等の大規模な需給変化と今後の課題」, 第1回: トウモロコシと大豆の市場をにらんだ輸出国側の『調整』2008. 8. 11.

곡물을 에너지로 만드는 것에 대한 비판도 존재한다.²⁵⁾ 2008년 6월 로마에서 개최된 FAO의 세계 식량 정상회의를 전후로 ‘곡물을 바이오연료의 원료로 해서는 안 된다’, ‘미국은 식량을 태우지 마라’라는 비판이 높아졌고 한때 대체연료로서 각광을 받았던 바이오에너지 생산을 억제하려는 논의가 확대되고 있다.

(2) 우리나라 사례

우리나라에서 주로 소비되는 옥수수, 대두, 사탕수수 등은 대부분 수입에 의존하고 있다. 전술한 바와 같이, 최근 국제 유가 상승으로 석유를 대체할 수 있는 바이오에너지에 대한 관심이 늘어나면서 일부 농산물 가격이 상승하는 현상이 나타나고 있다. 국제 곡물가격도 바이오에너지 원료로 이용되는 농산물의 가격이 2~3년간 2배 이상 급상승하였다. 이처럼 과거 식량이나 사료용으로만 이용되던 곡물들은 바이오에너지 원료용으로 주목 받으면서 우리나라에서 농업의 역할은 어느 때보다도 중요해 지고 있다.

우리나라는 선진국에 비해 늦은 2000년대 중반부터 바이오연료 시대를 맞이하였다. 2006년부터 바이오디젤 상용화가 시작되었고 바이오에탄올도 실증평가단계에 진입하였다. 즉 2006년 7월부터 바이오디젤 5%를 혼합한 BD5의 판매를 허용하였으며, 동년 8월부터 ‘바이오에탄올’의 실증평가에 들어갔고 2008년부터 도입을 검토한 바 있다.

국내 바이오에너지 생산기반기술은 분야별로 차별화되어 있다(<표 2-10> 참조). 바이오매스 에너지 작물개발 분야 중에서 유전자 발굴기술은 선진국 대비 90%로 상대적으로 높은 반면, 작물형질 전환기술 및 작물품종 개량기술은 60%로서 미흡하다. 그리고 바이오매스 활용기술 분야에서 효소발효 및 개량, 발효기술 등은 선진국 대비 90% 수준이지만 전처리·당화기술은 미흡한 수준

25) 1갤런(3.79리터)의 바이오에탄올을 생산하기 위해서는 8.5kg의 옥수수가 필요하며, 또한 자동차 1대의 1회분 연료탱크를 채우기 위해서는 한 사람이 1년 동안 섭취할 수 있는 곡물이 필요한 것으로 알려져 있음.

이다.

| 표 2-9 | 바이오원료 선진국 대비 국내 기술 수준 비교

종류		기술수준	비교
바이오매스 작물	유전자 발굴	90%	환경내성 및 생산성 증대 유전자 발굴
	형질전환	60%	벼, 유채, 포플러 형질전환 기술 확보
	품종개량	60%	벼, 고추 등 작물 육종기술 확보
바이오매스 활용	효소 발굴 및 개량	90%	미생물 유전체, 메타게놈 기술 확보
	재조합 생산	80%	다양한 발현시스템의 체계적 통합 및 활용
	당화기술	60%	섬유질계 당화기술 경험 부족
	발효기술	90%	발효기술 확보
	바이오연료 정제	80%	주정 정제 경험 보유

자료 : 한국생명공학연구원, 바이오매스에너지 R&D 사업 기획 연구, 2008.

한편, 정부에서는 곡물 바이오매스를 지원하기 위하여 농림수산식품부 R&D사업 지원으로 바이오매스 증산기술개발 및 활용기술개발에 연구 과제를 수행 중에 있고, 농업진흥청에서는 바이오에너지 원료작물 최대생산 재배기술 시범사업의 추진과 비식량 바이오에너지 작물 특성검정을 추진해 왔다. 특히 바이오디젤 작물로 경쟁력 있는 유채를 대상으로 겨울철 유휴 농경지를 활용한 새로운 에너지원 및 농가 새로운 소득 작물 개발을 위한 바이오디젤용 유채의 국내생산 가능성을 분석해 왔다.

또한 정부는 2009년 7월에 ‘폐자원 및 바이오매스 에너지화 실행계획’을 수립 중이다. 본 계획의 목표는 신재생에너지 확대보급을 통한 에너지 자립률 향상 및 기후변화에 적극 대처하고, 폐자원 및 바이오매스 에너지화 기술개발을 통한 신성장 동력을 확보하는 것이다. 여기에서 곡물 바이오매스와 관련해서 ‘농산 바이오매스 에너지 생산을 위한 기반기술 개발’과 ‘바이오디젤용 유채생산 시범사업 추진’²⁶⁾이 포함되어 있다.

하지만 바이오에너지의 원료가 되는 곡물은 대부분 식용으로 사용되거나 수입에 의존하고 있어 생산단가가 높다는 단점이 있다. 따라서 국산 작물을 이용한 바이오연료를 생산하여 국제 경쟁력을 가지기 위해서는 생산비용을 낮추고 에너지 작물의 생산을 증대시킬 수 있는 농지 확보 등이 필요하다.

2) 해조류 바이오산업

다양한 바이오매스 중에서 해조류는 지구 온난화의 주범인 이산화탄소에 대한 흡수 능력이 매우 뛰어나다. 일부 해조류의 경우 이산화탄소의 흡수 능력이 열대우림 보다 5배 이상 높은 것으로 조사되었다. 우리나라는 세계 3위의 해조류 생산국인데다 3면이 바다로 둘러싸여 재배가능 면적이 넓어 해조류 재배가 온실가스 감축을 위한 새로운 가능성으로 떠오르고 있다. 특히 정부는 국제기후변화협약에 대비해 국내 산업을 유지·보호하기 위해 해조류를 이산화탄소 흡수원으로 국제협약에서 인증 받을 수 있도록 추진하고 있다.

이처럼 지금까지 해조류는 크게 생태계의 환경 유지 및 수산자원 증대, 그리고 식용으로서 이용되어 왔지만, 앞으로는 비식용 분야에서 특히 바이오매스로서 대체 연료 및 첨단 물질 개발의 측면에서 주목받고 있다.

해조류를 이용한 바이오산업이 본격적으로 관심을 받게 된 때는 비교적 최근이며 생물의학, 화학, 환경, 바이오에너지, CDM(Clean Development Mechanism) 등 비식용 분야에서 검토되고 있는 단계이다.

(1) 외국 사례

가. 일본

-
- 26) 유채바이오매스와 관련해서는 이미 2007년부터 3년간 ‘바이오디젤 원료용 유채 생산시범 사업’이 추진 중에 있다. 시범사업 지역은 전북, 전남, 제주로서 농가 소득 작물로 유채를 보급하기 위해 품종개량, 수확방법, 공급망 등 기반시설 구축을 검토하고 있음.

일본은 2002년 2월에 ‘바이오매스·일본종합전략’을 수립하여 지구 온난화 문제와 온실가스 삭감에 대응하고 있다. 이 종합전략의 목표는 크게 3가지로 나눌 수 있다. 첫째, 지구 온난화의 방지를 위해 화석자원으로 만든 에너지 및 제품을 재생 가능한 바이오매스로 대체함으로써 온실효과 가스의 하나인 CO₂의 배출을 감소시킨다. 둘째, 바이오매스를 적극적으로 이용·활용함으로써 순환형 사회²⁷⁾를 만들어 나간다. 셋째, 관련된 경쟁력 있는 새로운 전략적 산업을 육성하고 기반이 되는 농림어업, 농산어촌의 활성화를 모색해 나간다.

2006년 3월에 바이오매스·일본 종합전략이 수정되었다. 주된 내용은 바이오매스타운 구축의 가속화 및 국산 바이오연료의 이용을 촉진하는 것이다. 먼저 바이오매스타운의 구축은 광역(시정촌 단위) 모델의 구축과 바이오매스 전문가 등에 의한 추진활동을 통해 바이오매스타운 구상을 가속화시키고, 환경자금 용자와 CO₂ 절감효과의 평가와 지원책 등을 검토하여 바이오매스타운 유인책을 강화한다. 이와 같은 정책을 통해 2010년까지 300개 지구를 목표로 하고 있다.

다음으로 국산 바이오연료의 이용촉진은 2007년 작성된 국산 바이오연료 대폭적인 생산 확대 공정표에 따르면 현재 바이오원료와 생산 가능량이 30킬로리터에서 2011년까지 5만 킬로리터로, 2030년에는 대폭 늘어난 6백만 킬로리터 생산을 목표로 하고 있다. 단, 바이오연료는 식량공급과 경합하지 않는 바이오매스를 개발하는 것으로 제한되어 있다. 이를 위해 수집·운반비용의 절감, 자원작물의 개발, 에탄올 변환효율 향상 등의 바이오 기술개발을 추진하고 바이오연료 이용촉진을 지원하기 위한 제도를 검토한다.

그리고 일본 정부는 ‘바이오매스·일본 종합전략’에 근거한 국산 바이오연료의 생산 확대를 촉진하기 위해 2008년에 ‘농림어업 유기물 자원의 바이오

27) 순환형 사회라는 것은 지금까지의 대량 생산·대량 소비·대량 폐기라고 하는 일방 통행형 사회시스템과 국민의 라이프스타일과 반대되는 개념으로서 폐기물 발생을 억제하면서 한정된 자원을 유효하게 활용하는 사회를 실현하는 것을 의미함.

연료 원재료로서 이용을 촉진하기 위한 법률(농림어업바이오연료법)을 제정·시행하고 있다.

한편 수산과 관련된 바이오매스는 일본 수산정책의 기본방향을 담고 있는 수산기본계획에 제시되어 있다. 주요 수산정책 과제 중 ‘수산업의 미래를 개척하는 신기술의 개발 및 보급’이 있으며, 세부 시책에 ‘바이오매스 자원의 이용·활용의 촉진’이 포함되어 바이오매스·일본총합전략에 근거하여 순환형 사회의 형성에 기여하기 위해 해양바이오매스를 효율적으로 이용·활용하는 기술의 개발·보급을 추진하는 것으로 되어 있다.

수산 바이오매스는 ‘수산업에 직접적·간접적으로 관련하는 재생 가능한 생물’로서 폐기물 바이오매스에는 수산가공품·유통과정에서 폐기되는 어패류·해조류·패각 등이 있다. 미이용 바이오매스는 어획되더라도 경제적 가치가 낮아 해상에서 투기되는 어패류, 불가사리 등과 어획대상이 되지 않는 유영생물 등이 있다. 자원작물에는 다시마 등 해조류와 미세조류 등이 포함된다.

이들 수산 바이오매스는 저밀도에서 분산하여 존재하고 있고 수분 함유량이 많으며 부패하기 쉬운 특성을 가진 자원으로 발생량의 시공간적 변동도 크다. 또한 자원작물로서 해조류의 주요 성분이 그대로는 에너지나 물질원으로 이용하기 힘든 알긴산 등의 다당류로 이루어진 점도 특징이다.

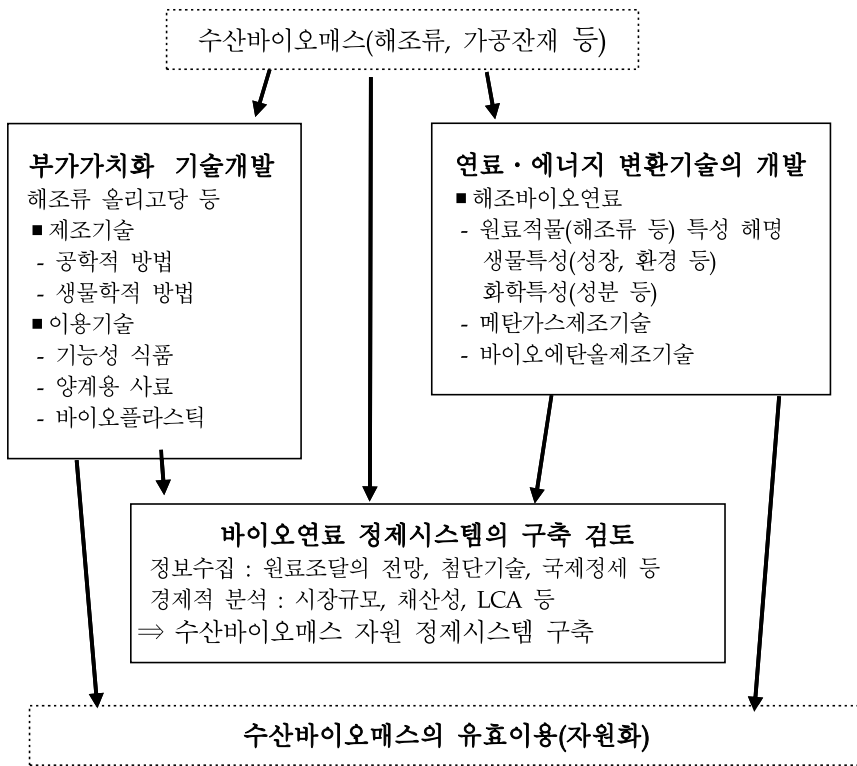
일본의 수산 분야의 폐기물 바이오매스 및 미이용 바이오매스는 어업생산, 양식생산, 수산물 수입, 가공·유통 등 다양한 과정에서 여러 종류가 발생하고 있다. 통계자료 등을 근거로 수산바이오매스 발생상황과 그 이용·활용 현상을 개략적으로 추정하면 다음과 같다.

일본의 최근 연간 어획량은 약 470만 톤(2001년 어업양식업생산통계)이다. 이 중에서 어획 대상이 되지 않는 어종과 치어, 경제적 가치가 낮은 어종 등이 해상에 투기되고 있는데 이들의 연간 투기량은 약 90만 톤(FAO Fisheries Report 547, 1997)으로 추정되고 있다. 이외에 불가사리와 해파리 등 어업생산 저해생물, 미이용 어종 등이 있다. 양식업에서는 해조류, 패류, 어패류 등이 연

간 130만 톤 생산되고 있고 폐각이나 폐기해조류 등이 약 50만 톤 발생하고 있다.

어획량 및 양식생산량에 수산물 수입량 연간 약 380만 톤(무역통계, 2001년)을 합하면 연간 약 880만 톤이 생선·가공용으로 활용되고 있다. 이 중 인간에게 직접적으로 이용되는 것은 490만 톤(식량수급표, 2001년)이며 나머지 약 390만 톤은 가공·유통 과정에서 남겨지는 것으로 추측된다. 이러한 가공·유통 시 남겨지는 것들 중 약 100만 톤은 어분·어유로서 다시 자원으로 이용되지만(일본 어분협회, 2001년), 나머지 290만 톤과 혼획·투기 어개류, 양식 패류의 폐각 등의 잔량 약 400만 톤이 폐기되거나 소각 및 매몰, 그리고 해양투기 등에 의해 처리되는 것으로 추측된다.

현재 일본에서 추진 중인 ‘수산바이오매스 자원화 기술개발 연구’는 (독) 수산종합연구센터에서 담당하고 있다. 동 연구센터에서는 <그림 2-5>와 같이 수산바이오매스를 부가가치화 기술개발, 연료·에너지 변환기술 개발의 2가지 측면에서 바이오연료 정제시스템을 개발하여 수산바이오매스의 자원화를 통한 유효이용을 목표로 하고 있다.



자료 : 일본 수산청 연구지도과, 수산바이오매스 자원화기술개발 발표자료.

| 그림 2-5 | 일본의 수산바이오매스 자원화기술 개발사업 개요

동 연구센터에서는 2003~2007년까지 다시마 등 해조류 미이용 폐기물의 공업원료 등으로 이용할 수 있는 기술 개발을 추진하였다. 일본에서는 다시마 등의 해조류 중에서 식용으로 이용되지 않는 부분은 폐기되어 왔다. 이들 해조류에는 알긴산을 위시한 유용성분이 많이 포함되어 있고 공업원료·가축사료 등으로 이용·활용, 메탄발효에 의한 바이오에너지 활용 등 폭넓은 분야에서 응용할 수 있다. 일본에서는 이들 유용자원의 이용은 아직 연구단계 분야이기 때문에 상기 폐기물 문제를 해결하고 순환형 사회의 구축을 기여하기 위해 기초적인 기술 개발을 추진하였다.

나. 구미

구미에서는 1970년대부터 해조류를 이용한 바이오에너지 연구를 추진 중에 있다. 미국은 대형 갈조류로부터 바이오에탄올의 생산을 연구하였다. 그리고 미국 국립재생에너지연구소와 거대 정유사인 쉘브론사가 협력하여 2007년부터 본격적인 해양바이오연료 공동개발 사업에 착수하는 등 해양생물자원을 이용하여 에너지 연구를 하는 기업이 확산되고 있다. 미국은 특히 해조류 바이오연료 생산에 관한 기술특허를 1970년대 후반부터 1980년대 초에 대부분 확보한 상태이다.

영국은 다시마로부터 바이오에탄올 생산 연구, 노르웨이는 갈조류로부터 바이오에탄올 생산을 연구하고 있다.

이처럼 구미에서 해조류 바이오매스와 관련된 산업화된 사례는 아직 없으나 경제성이 있으면 언제든지 산업화할 수 있는 기초기술을 보유하고 있는 상태이다.

(2) 우리나라 사례²⁸⁾

최근 녹색성장의 신성장 동력원으로 해조류에 대한 관심이 높아지고 있다. 해조류는 비식량계 바이오매스로서 식량 수급 불균형 문제를 초래하지 않고 육상식물에 비해 단일면적 생산 수율이 높은 환경 친화적인 식물 제3세대 바이오매스로 각광을 받고 있다. 특히 우리나라는 해조류 양식기술 및 생산량 측면에서 세계 4위이며 국토 면적의 2.3배의 배타적 경제수역이 있는 등의 인프라를 보유하고 있다.

이처럼 해조류를 이용한 온실가스 저감 및 바이오에너지 생산 가능성에 대한 국내외 관심이 집중되고 있으나 아직 실험실 연구수준으로 실용화 단계

28) 교육과학기술부 외, 저탄소에너지 생산·보급을 위한 폐자원 및 바이오매스 에너지화 실행 계획(안), 2009. 7.을 참조하였음.

에 이르지 못한 상황이다. 국내에서는 해조류 화장품, 해조류 펄프 등이 상용화 초기 단계에 있다. 따라서 이하에서는 해조류 바이오매스 관련 연구 현황과 향후 계획 중심으로 정리한다.

우리나라에서는 해조류 관련 바이오매스 연구가 최근에 본격적으로 이루어졌다. 2008년부터 바이오매스용 해조류 대량 양식 및 바이오에너지 생산기술개발 로드맵 마련 선행연구, 대량양식용 우량 해조류 선발육종 개발, 해조류 대량 생산 및 부산물 통합 활용을 위한 기반 연구, 해조류의 그린에너지화 및 통합적 활용기술 표준화 등의 연구 사업이 추진되어 왔다.

또한 전술한 바와 같이 2009년 7월에 정부에서 수립한 ‘폐자원 및 바이오매스 에너지화 실행계획’에 수산분야와 관련하여 ‘수산 및 해양 바이오매스 에너지화 기술개발’이 수립되어 있다. 구체적으로는 ‘연안지역 바다숲 조성’, ‘해조류 바이오매스 양산 및 통합적 활용기반 구축 기술개발’, ‘해양 바이오매스 에너지화 기술개발’이 포함되어 있다.

먼저 ‘연안지역 바다숲 조성’은 동·서·제주 등에 확산하고 있는 바다 사막화에 따른 해양생태계 파괴 및 수산자원량 감소를 방지하기 위해 산림녹화에 준하는 대규모 바다숲을 조성하는 사업이다. 세부 사업으로는 연안해역 대규모 바다숲 조성, 바다숲을 저탄소 녹색성장의 신성장동력으로 활용 등이 있다.

다음으로 ‘해조류 바이오매스 양산 및 통합적 활용기반 구축 기술개발(대형조류)’은 바다숲 조성 기법을 해조류 대량 양산 체제로 연계하여 바이오매스 공급원을 확보하고 부산물의 통합적 활용기반 구축을 통한 경제성 있는 대체 에너지를 개발하는 것이 목표이다. 이를 달성하기 위한 추진 내용은 해조류 대량 생산 및 회수 자동화시스템 구축, 자원의 통합적 활용을 위한 DB 구축, 해조류 에너지화를 위한 핵심 기반기술 도출, 표준화 공정개발, 해조식물을 이용한 바이오에너지(에탄올, 부탄올, 바이오가스 등) 및 웰빙산업(식품·의약품) 개발, 산업화로 연결 등이 있다.

마지막으로 ‘해양바이오매스 에너지화 기술개발(미세조류)’은 생물자원의 80%에 이르는 해양생물자원을 활용, 화석연료를 대체하기 위한 연구이다. 이는 국내외적으로 초기기술 수준인 것에 대응하여 해양바이오에너지 생산 원천 기술 및 대량 생산 공정 기술개발 조기 확보를 통하여 세계시장을 선점할 수 있는 기반을 마련하는 것이 목표이다. 추진 내용은 먼저 세계시장 선점을 위한 해양바이오에너지 생산과 관련된 원천핵심기술을 조기에 확보하는 것이다. 단계별로는 1단계(2009~11년)에는 기초원천기술개발을 실시하고, 2단계(2012~14년)에서는 응용기술개발, 3단계(2015~18년)에는 실용화 기술개발을 실시하는 것으로 되어 있다. 또한 원료의 대량 생산을 위한 외해양식장 구축 시범사업을 추진한다. 그리고 경제성 있는 바이오에너지 생산을 한 다음에 남는 부산물에 대한 고부가가치화(바이오플라스틱, 세제, 식품첨가제 등) 연구를 추진할 계획이다.

4. 해조류 활용 및 생산 실태

1) 해조류 특성

(1) 해조류의 종류

조류(藻類, algae)는 육상식물을 제외한 모든 광합성 생물을 통칭하는 것으로서, 어떤 특정한 분류군을 지칭하는 분류학적 용어가 아니라 매우 다양한 분류군을 포함하는 광의적인 일반 용어이다. 조류는 <표 2-6>에서 보는 바와 같이, 해수와 담수에서 생육하는지에 따라 해조류(marine algae)와 담수조류(fresh water algae)로 나뉘지며 생태학적으로는 미세조류(micro-algae)와 대형해조류(macro-algae)로 분류된다(Kanetsuna, Y., 2002, pp. 101-113).

전 세계에 분포하고 있는 조류(藻類)는 통상 약 4만 여종이 있는 것으로 파악되고 있으나, 또 다른 자료에 의하면 이보다 4~8배 정도 많은 미기록된 종들이 존재한다고도 알려져 있다(Norton et al. 1996).

| 표 2-10 | 거대조류와 미세조류의 구분

	미세조류(Microalgae)	대형해조류(Macroalgae)
크기	현미경적 크기	육안으로 볼 수 있는 크기
분류군	갈조류를 제외한 모든 분류군에 속함	녹조류, 갈조류, 홍조류로 대별
서식환경	해양 및 담수	대부분 해양
대표종	담수산(<i>Chlorella</i> , <i>Scenedesmus</i> 등) 해수산(<i>Tetraselmis</i> , <i>Nannochloropsis</i> 등)	미역, 다시마, 모자반, 김, 우무가사리, 파래 등
생산방식	실내에서 배양조 이용	현행 해조류 양식방법(건홍식 등)
주 대상성분	지질	탄수화물

자료 : 국립수산물과학원 해조류연구센터 농림수산식품부 양식관리과 회의자료(2009. 4)

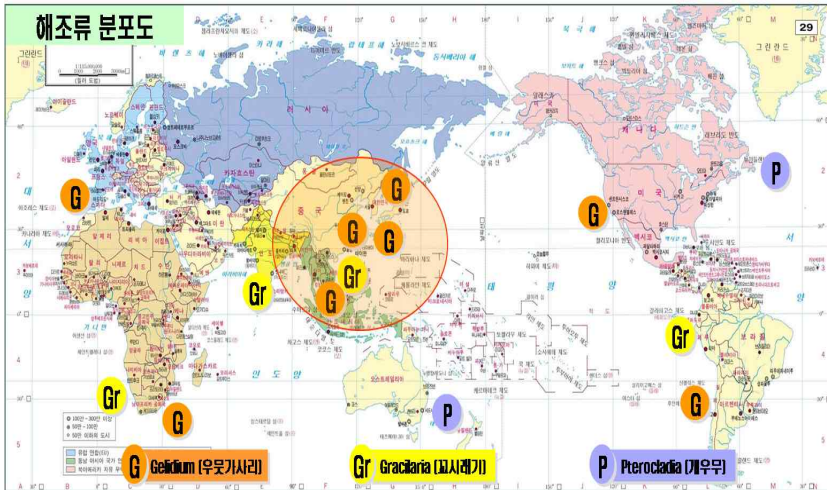
조류의 대부분은 식물플랑크톤이라 불리는 단세포성 미세조류에 속하는데, 이들은 해양생태계의 기초 생산자로서 중요한 역할을 하고 있다. 다세포성 거대조류는 빛깔을 바탕으로 녹조류(green algae), 홍조류(red algae), 갈조류(brown algae)로 나뉘며²⁹⁾, 이들은 통상 해조류(seaweed)라고 부르기도 한다(<그림 2-6> 참조). 미세조류는 육상식물과 비슷한 광합성을 하지만 물과 이산화탄소와 다른 여러 영양분이 있는 해양에 서식하므로 태양에너지를 바이오매스로 전환함에 있어 더욱 효과적이다.

해조류는 해수에 서식하는 광합성 식물로서 미세조류와 거대조류가 있는데, 특히 거대조류는 오랫동안 인간에게 유용한 식용, 사료, 비료, 의약품, 공업용 원료 등으로 이용되어 왔을 뿐만 아니라 수산자원의 먹이, 산란·번식장으

29) M. J. Dring(김영환 역), 해산식물학, 형설출판사, pp. 2-7, 1996.

로 활용되어 왔다.

현재 인간이 이용하고 있는 해조류의 종류는 약 500여 종에 이르며 산업적으로 중요한 해조류는 다시마, 미역, 김, 우뚝가사리, 꼬시래기, 개우무 등이 있다. 이들의 세계적인 분포는 <그림 2-6>과 같다. 해조류 중에서 양식되고 있는 분류군은 5개 속(Genus)에 국한되고 있는데 구체적으로는 홍조류에 속하는 김속(*Porphyra*), 유쿠우마속(*Eucheuma*) 및 꼬시래기속(*Gracilaria*)과 갈조류에 속하는 다시마속(*Laminaria*) 및 미역속(*Undaria*)이다.



자료 : 한국생산기술연구원 발표자료, 2008.

| 그림 2-6 | 산업적으로 중요한 해조류의 세계 분포

한편, 우리나라는 삼면이 바다이면서 난류, 한류가 교류하기 때문에 해조류 자원이 풍부하고 종류도 다양하다는 특성을 가진다. 우리나라의 해조류 생산은 김 양식이 가장 오래되었는데 문헌에 따르면 15세기부터 시작되었고 19세기 중엽에 오늘날 뜬발의 원형인 떼발이 개발되었다고 알려져 있다.³⁰⁾ 우리나라는 2006년 기준으로 세계 제4위의 해조류 생산을 기록하고 있다.

30) 손철현, “한국 해조류 양식 발달에 관한 고찰”, *The Korean Journal of Phycology*, Vol. 11(4): 357-367, 1996.

우리나라에서 재배되고 있거나 시험 재배된 해조류를 정리하면 <그림 2-7>과 같다. 홍조류는 김류와 우뚝가사리 등이 있으며, 갈조류에는 미역류, 곶피, 다시마, 톳 등이 있고, 녹조류에는 매생이, 청각, 파래류가 대표적이다.

이들 해조류의 생활사는 너무나 다양하기 때문에 생산 기술은 해조류의 종류에 따라 달라진다. 생활사 중 세대교번을 하는 해조류인 김, 미역, 다시마 등의 생산 기술과 반복적인 영양재생을 하는 해조류인 유큐우마, 꼬시래기, 진두발, 모자반 등의 생산 기술은 서로 다르다. 우리나라의 경우, 두 가지 그룹에 속하는 모든 해조류의 생산 기술이 세계적인 수준에 있다고 할 수 있다.



| 그림 2-7 | 우리나라에서 재배되는 해조류 종류



자료 : 신종암, 해조류양식 산업의 발전방안 발표자료, 2008. 11.
| 그림 2-7(계속) | 우리나라에서 재배되는 해조류 종류

(2) 해조류 특성

해조류의 기능적인 측면에서 그 특성을 정리하면 다음과 같다.

먼저, 해조류는 부영양화 감소 및 산소의 공급 기능을 가진다는 점이다.

해조류의 생장이나 증식에는 질소나 인은 필수 불가결한 원소이다. 용해성 인이나 질소는 해조류에 있어 매우 유용한 성분으로 부영양화 해수는 해조류의 생장을 촉진하는 능력이 있는 것으로 밝혀졌다. 따라서 해조류는 수중의 유기물을 흡수하고 환경을 정화하는 등의 역할을 하고 있다. 최근 연안의 부영양화 방지와 동시에 빈산소수괴의 형성을 해결하는 방안으로 하나로서 해조류의 재배가 주목받기도 하고 있다.

둘째, 해조류는 지구 온난화 주범인 이산화탄소의 흡수원으로서 각광을 받고 있다. 현재 지구 온난화와 온실가스 배출 감축은 세계적인 이슈가 되고 있으며 우리나라도 저탄소 녹색성장으로 전환을 서두르고 있다. 해조류는 여러 가지 바이오매스 중에서 지구 온난화 주범으로 꼽히고 있는 이산화탄소 흡수 능력이 매우 뛰어난 것으로 조사되었다. 해조류의 이산화탄소 흡수효과를 열대우림과 비교한 결과, 모자반이나 다시마는 약 2배 이상의 이산화탄소 흡수효과를 가지는데, 이 중에서 다시마는 지구상에서 광합성을 하는 생물 중에서 가장 높은 1차 생산력을 가지는 것으로 알려져 있다(박재일 외, p. 838).

셋째, 해조류는 수산자원의 산란 및 성육장을 제공하고 있다. 해조류가 서식하는 장소는 수산자원이 산란하거나 치어 등이 생육하는 중요한 장소이기도 하다. 따라서 성장된 해조류는 산란장이나 치어의 은둔 장소로서 이용되고 있으며 광합성을 통해 발생한 플랑크톤은 훌륭한 먹이가 되어 수산자원의 먹이 사슬을 형성하게 한다.

마지막으로 해조류는 자원으로서 지속적 이용성이 높다는 점을 들 수 있다. 해조류 자원은 육상식물과 같이 식량 문제를 촉발시키거나 산림자원처럼 자원을 고갈시키지 않는 자원으로 유망하다. 특히 해조류는 최근 국제적으로 식량위기 및 탄소 절감 문제에 적극적으로 대응할 수 있는 자원으로서 그 중요성이 새롭게 주목받고 있다.

2) 해조류 활용 실태

해조류는 그 종류가 많은 만큼 활용되는 용도도 다양하다. 전술한 바와 같이 해조류는 크게 녹조류, 홍조류, 갈조류 등으로 나누어진다. 먼저 녹조류는 청각, 파래류와 같이 직접 식용으로 하는 이외에 사료나 비료로 이용하는 경우가 많다. 홍조류는 그 종류가 가장 많은데 김, 돌김 등은 직접 식용으로 이용되고 우뚝가사리, 새발 등은 한천제조 원료로 이용되며 풀가사리 등은 호료 원료로서 식품조리용, 안정제, 유화제 등으로 식품산업에 광범위하게 이용된다. 마지막으로 갈조류는 대형인 것이 많은데 이 중에서 미역, 다시마 등은 주로 식용으로 이용되며 대항, 감태 등은 알긴산, 요오드 및 칼슘의 제조 원료로 이용된다.

<표 2-11>는 해조류의 이용 분야를 정리한 것이다. 해조류는 식품으로서 음료, 식자재, 주류 등 식용으로 활용될 뿐만 아니라, 사료, 미용·화장품, 해수 정화, 공업, 의약, 제지 등에도 다각적으로 이용되고 있다.

| 표 2-11 | 해조류 이용 분야

이 용 분 야	대상 해조류의 예
자연생태계 복원, 수산자원 회복(산란장, 바다목장)	모든 해조류
식품, 식품첨가물, 음료, 주류 등	김, 다시마, 미역 등
사료	미역, 다시마, 톳 등
해조육 요법	갈조류, 홍조류
미용·화장품	김, 갈조류
화학공업, 식품가공, 한천공업, 염료공업, 의약, 제지·섬유공업(종이, 유화안정제, 보호제, 조형제, 겔화제, 가소제, 증점제, 분산제, 인공피부, 비만치료, 중금속 배출 등)	꼬시래기류, 갈조류, 홍조류, 녹조류 등
바이오에너지(바이오디젤, 바이오에탄올 등)	갈조류, 녹조류 등
하이트크(초전도세라믹 섬유)	갈조류
바이오센서(세포선별, 조직화학, 면역학 조사 등)	김 등
이산화탄소 저감	미역, 다시마 등
생리활성 물질(기능성)	다시마, 미역, 김 등
기타	

자료 : 신종암, 해조류양식 산업의 발전방안 발표 자료, 전남대학교, 2008. 11. 28.

최근에는 바이오에너지, 하이테크, 이산화탄소 저감, 생리활성 물질 등 저탄소 녹색성장 동력원으로도 각광을 받고 있다. 또한 해조류가 최첨단 기술과 결합하여 새로운 이용 분야가 개척되고 있으며 향후 해조류 이용 분야는 더욱 확대될 것으로 전망된다.

한편, <표 2-12>는 해조류를 이용한 관련 산업을 정리한 것이다. 해조류는 전술한 바와 같이 크게 식용 분야와 비식용 분야로 나뉜다. 우선 식용 분야는 유용 해조류를 대량 생산하는 양식 산업과 해조류를 원료로 사용하여 건강 기능식품, 발효식품, 식품첨가물 등을 생산하는 식품산업으로 구분할 수 있다.

비식용 분야는 생물의약품산업, 생물화학산업, 생물환경산업, 바이오에너지 산업 등으로 분류할 수 있다. 생물의약품산업은 해조류의 유용 생리기능성을 활용한 각종 의약품 소재 및 제품을 만드는 산업이다. 생물화학산업은 해조류를 특성을 활용하여 고분자재료, 산업용 및 연구용 시약류, 바이오화장품 및 생활 화학품, 생물농약 및 비료 등을 제조하는 것을 말한다. 생물환경산업은 해조류 자원을 이용한 오염 제거 등의 제품을 만드는 산업이다.

표 2-12 | 해조류 관련 산업의 분류

분 야		주요 내용
식용 분야	양식산업	유용 해조류 자원의 생산(김, 미역, 다시마, 우무가사리 등)
	식품산업	해조류 자원을 이용한 건강기능식품, 발효식품, 식품첨가물, 사료첨가제, 기타 바이오식품(다시마환, 다시마국수, 조미김 등)
비식용 분야	생물의약품산업	해조류의 유용 생리기능성을 활용한 각종 의약품 소재 및 제품
	생물화학산업	해조류 자원을 활용한 고분자재료, 산업용 및 연구용 시약류, 바이오화장품 및 생활 화학품, 생물농약 및 비료, 펄프 및 제지 등
	생물환경산업	해조류 자원을 이용한 생물환경 제품
	바이오에너지 산업	해조류 자원을 이용한 바이오연료(바이오디젤, 에탄올), CO2저감 CDM 인증

자료 : 국립제주대학교 제주 해조산업 RIS 사업단 내부자료

마지막으로 바이오에너지산업에는 해조류 바이오연료(바이오에탄올 및 디

젤 등)를 만들거나 온실가스 저감 CDM사업 추진 등이 포함되어 있다.

이상과 같이, 해조류의 관련 산업은 처음에는 해조류를 단순히 식용 또는 사료용으로 직접 이용하는 것에 불과하였고 산업의 분야도 매우 단순하였다. 최근에는 식용, 사료용 이외에 의약, 화학, 환경, 바이오 등 사업의 역이 넓어지고 있고 점차 부가가치가 높은 산업으로 옮겨가고 있어 유망한 미래 산업으로 각광받고 있다.

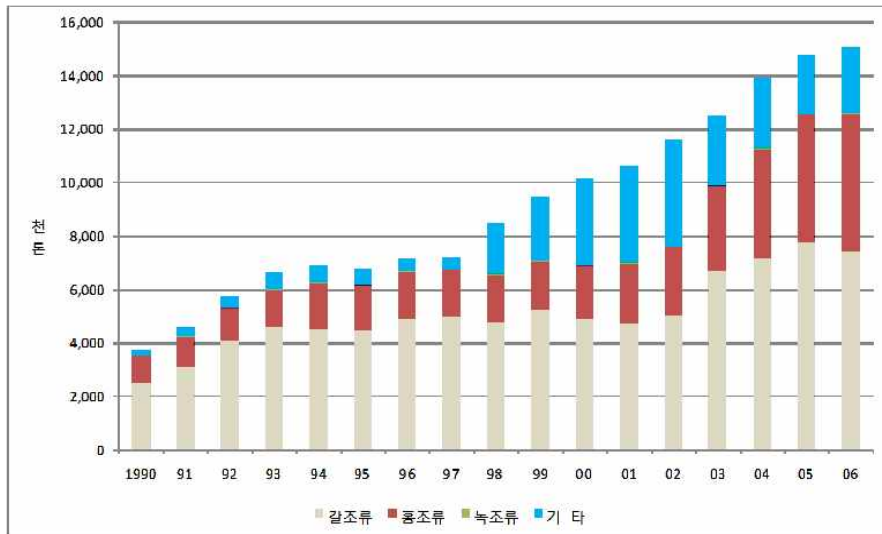
3) 해조류 생산 실태

(1) 세계 해조류 생산 및 소비 실태

현재 세계적으로 약 200종의 해조류가 이용되고 있고 주로 녹조류에 속하는 토포래류, 일파래류와 홍조류에 속하는 김속, 유키우마속, 카파피쿠스속, 꼬시래기속 그리고 갈조류에 속하는 다시마, 미역이 생산되고 있다. 해조류의 생산량은 연간 1,500만 톤이며 그 중에서 다시마, 미역, 김이 가장 많은 비중을 점하고 있다.

세계 해조류 생산량 추이를 보면, 1990년에 370만 톤에서 1995년 670만 톤, 2000년에는 1,000만 톤, 2005년 1,400만 톤, 2006년 1,500만 톤으로 지속적으로 증가하였다(<그림 2-8> 참조).

이들 해조류는 대부분 양식으로 생산되고 있는데 2006년 기준으로 품종별로는 갈조류가 740만 톤, 홍조류가 510만 톤의 수준을 나타내었으며, 남조류 등의 기타 조류는 240만 톤의 수준이다.



자료 : FAO 홈페이지(<http://www.fao.org/>)

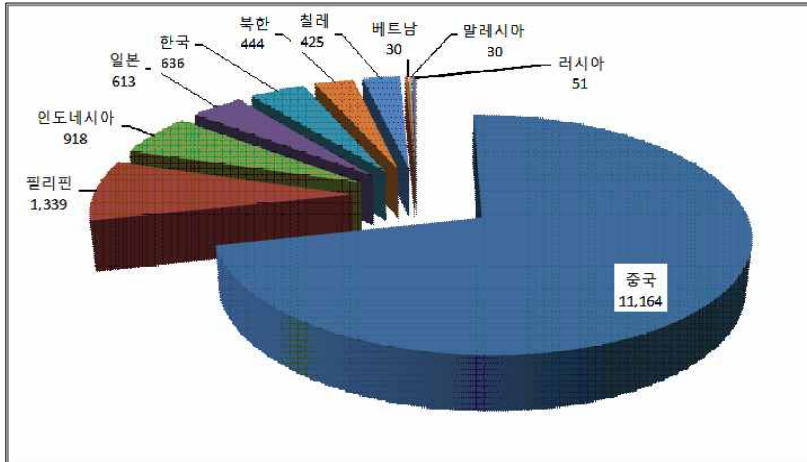
| 그림 2-8 | 세계 해조류 생산 추이

한편, 세계 해조류 생산을 나라별로 정리한 것이 <그림 2-9>이다. 2005년 기준으로 중국이 전 세계 해조류 생산량의 71.2%인 약 1,100만 톤을 생산하고 있다. 주된 생산 품종은 다시마, 미역, 꼬시래기류, 김, 톳, 파래, 우뚝가사리의 순으로 다시마는 전 세계에서 가장 많이 생산하고 있다. 지역별로는 산둥, 복건, 요령이 중심지이며 이들 지역의 해조류 생산량은 전체 90%를 넘고 있다.

제2위인 필리핀은 전 세계 해조류 생산량이 8.5%인 130만 톤을 기록하고 있다. 필리핀에서는 해조류를 식용, 한천 생산용, 카라기난³¹⁾ 생산용, 알긴산 생산용으로 양식된다. 주된 품종을 보면 우선 식용은 *Caulerpa lentillifera*, *C. recemosa*(녹조류 옥덩굴 일종)와 *Gracilaria sp.*(홍조류 꼬시래기 일종)가 있고, 한천은 *Gracilaria*, *Gelidium Pterocladia*와 *Geladiella*, 카라기난은 유큐우마 중

31) 홍조류인 돌가사리과(Gigartinaceae)에 함유된 D-갈락토스가 선형으로 결합된 다당류로서 식품의 점착성 및 점도를 증가시키고 유효안정성을 증진하며 식품의 물성 및 촉감을 향상시키기 위한 식품첨가물로서 증점제, 겔화제, 안정제 등으로 사용된다.

류인 *K. alvarezii*와 *E. denticulatum*, 알긴산은 모자반류로 양식한다. 이들 양식 방법은 얇은 연안에 엽체 조각을 양식장 바닥에 뿌리거나 부상대 혹은 양식 로프에 끼워 재생되는 엽체를 수확한다.



자료 : FAO 홈페이지(<http://www.fao.org/>)

| 그림 2-9 | 국별 해조류 생산량(2005)

인도네시아는 세계 해조류 생산량의 5.9%인 92만 톤을 차지하고 있다. 상업적으로 양식되는 종은 *Eucheuma*, *Gracilaria*, *Gelidium*, *Hypnea*, *Sargassum* 등이 있다. 양식방법은 필리핀과 유사하다. 다음으로 세계 제4위는 한국(4.2%, 64만 톤)이고, 그 뒤를 일본(3.9%인 61만 톤)이 뒤따르고 있다. 일본에서 가장 많이 생산되는 해조류는 김이 가장 많고 그 뒤를 다시마와 미역이 뒤따르고 있다.

생산된 해조류 품종을 나라별로 구분하면 다시마는 중국과 일본에서 가장 많이 생산되고 있으며, 다음으로 미역은 한국, 일본, 중국에서 주로 양식되고 있고, 김은 한국과 일본에서 활발하게 생산되는데 가격이 가장 비싼 해조류이다.

이들 국가에서 생산된 해조류의 소비 형태를 보면, 미역과 김은 대부분 식용으로 사용되고 다시마는 다당류 알긴산 추출에 기타 홍조류는 카라기난과 한천 생산에 이용되고 있다. 조체 조류의 산업의 규모는 약 10조 달러 정도인

것으로 추측되고 있다.³²⁾ 미역, 다시마, 김 외에도 총 115속 395종의 해조류가 식용 43.0%, 공업용 42.8%, 의약용 7.7%, 그리고 사료용 6.5%로 이용되고 있다.³³⁾

(2) 국내 해조류 생산

2008년 현재 해조류 생산량은 93만 톤이며 이는 전체 어업생산량 330만 톤의 27.8%, 양식 생산량 138만 톤의 67.6%에 해당한다. 해조류 생산 추이를 보면, 1990년 44만 톤에서 늘어나기 시작하여 2008년에는 약 2배의 증가를 보였다. 해조류 생산을 일반해면과 천해양식으로 구분하면 일반해면의 생산은 지속적으로 감소한 반면, 천해양식은 증가하여 해조류 생산 대부분을 차지하고 있음을 알 수 있다(<표 2-13> 참고).

해조류 생산품종은 미역, 김, 다시마, 톳, 파래의 순이다. 1990년 대비 2008년의 생산량의 증감 비율을 보면, 미역은 41%, 김은 120%, 다시마는 263% 증가한 반면, 톳은 15%, 파래는 20% 감소하였다. 특히 다시마 생산이 급격히 증가한 이유는 2000년대부터 전복 양식이 성공하면서 사료 수요가 증가하였기 때문이다.

국내 해조류 양식면적 추이를 보면, 2002년 69,209ha에서 2004년 69,348ha, 2006년 74,757ha, 2008년 79,504로서 2002년 대비 14.9%가 늘었다(<표 2-14> 참조). 2008년 기준으로 전체 양식면적 중에서 김 양식면적이 전체의 71.2%를 점하고 있고 미역과 다시마가 각각 6.7%, 10.4%를 차지하여 이들 3품목이 전체 양식면적의 88.3%로 압도적인 비중을 보이고 있다. 품종별로는 미역 양식면적을 제외하고는 김, 다시마, 파래, 톳, 모자반 등의 양식면적이 증가하고 있는데, 특히 파래와 다시마의 증가추세가 현저하다.

32) <http://seaweed.ucg.ie>.

33) <http://bio.sch.ac.kr/~hwshin/STUDYDATA.htm>.

| 표 2-13 | 우리나라 해조류 생산 동향

단위: 톤

년도		1990	1992	1994	1996	1998	2000	2002	2004	2006	2008
합계		442,193	604,201	777,096	561,900	482,363	387,479	507,984	545,808	778,667	934,890
일반 해면	소계	30,324	24,238	26,899	22,910	12,594	13,023	10,427	9,060	13,754	13,866
	김	3,533	69	77	189	635	1	29	3	2	1
	다시마류	7	-	164	1,795	500	350	88		12	2
	도 박 류	756	399	1,190	120	15	15	2	48	473	1,170
	말	201	108	388	68	19	29			1	260
	미 역	5,075	3,459	5,388	6,642	784	1,717	1,089	719	3,569	3,114
	우무가사리	8,339	6,742	7,581	3,551	3,136	2,872	2,150	1,791	3,012	1,093
	기타가사리	325	394	213	57	116	66	117	11	328	63
	청 각	565	1,215	514	381	280	220	558	616	2,875	1,400
	툇	7,222	4,327	5,814	8,086	3,856	6,062	5,081	5,284	2,933	2,721
	파 래	1,425	578	527	373	61	64	412	71	164	295
	기타해조류	2,876	6,941	5,015	1,594	3,191	1,627	901	517	374	3,736
천해 양식	소계	411,869	579,963	750,197	538,990	469,769	374,456	497,557	536,748	764,913	921,024
	김	97,637	163,555	269,581	166,199	191,578	130,488	209,995	228,554	217,559	224,242
	다시마류	8,084	9,560	30,421	35,640	7,931	14,160	24,873	22,510	201,919	285,221
	말									919	1,059
	미 역	269,333	371,432	411,602	305,813	239,742	212,429	242,135	261,574	322,371	381,076
	청 각	427		1	8	-	164	72	142	165	1,186
	툇	23,920	18,163	31,669	23,054	24,993	11,654	11,016	22,814	21,125	17,701
	파 래	12,463	17,248	6,918	8,272	5,298	5,288	9,291	1,154	682	8,003
	기타해조류	5		5	4	227	273	171		173	2,536

자료: 농림수산식품부 홈페이지, 어업생산통계시스템

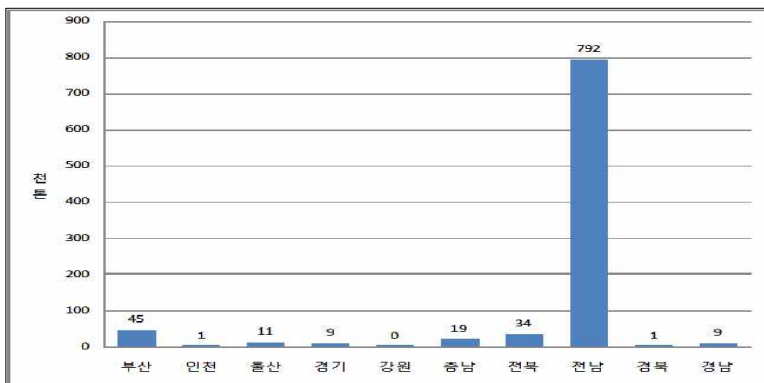
표 2-14 | 해조류 양식면적 추이

단위: ha

년도	2002	2003	2004	2005	2006	2008
합 계	69,209	68,062	69,348	69,503	74,757	79,504
김	54,012	53,136	52,749	51,894	55,101	56,582
미역	11,579	11,421	8,019	5,873	5,740	5,357
다시마	1,487	1,440	3,484	5,283	6,149	8,231
파래	411	393	1,481	2,130	2,371	3,190
우뭇가사리	0	0	0	0	0	0
툇	1,570	1,523	3,446	4,001	4,684	5,080
모자반	153	149	169	228	333	368
기타	0	0	0	94	379	698

자료 : 농림수산식품부 홈페이지, 어업생산통계시스템

지역별 해조류 생산량을 보면, 2008년 현재 전체 92만 톤 중에서 전남의 생산량이 79만 톤으로서 전체의 85.9%를 점하고 있어 타 지역에 비해 압도적인 우위에 있다(<그림 2-10> 참조). 주요 품종은 김, 미역, 다시마 등 파래를 제외한 모든 해조류의 생산 비중이 가장 높다. 다음으로는 부산, 전북, 충남, 경남의 순이다.



자료 : 농림수산식품부 홈페이지, 어업생산통계시스템

그림 2-10 | 지역별 해조류 생산 추이(2008년)

하지만 이들 해조류 생산의 이면에는 다양한 문제가 잠재되어 있다. 김 우리나라의 해조류는 주로 양식에 의해 생산되고 있고 주된 생산 품종은 김, 미역, 다시마, 톳, 파래, 청각, 모자반 등이다. 이들 중 양식 면적과 생산량은 김, 미역, 다시마에 집중해 있다.

은 가공공장의 대형화와 물김판매, 불법시설 등으로 과잉 생산이 되고 있고 이에 더해 양식 김의 품질저하, 국내외 경기 위축으로 소비둔화 및 수출 부진 등의 문제에 직면해 있다. 미역과 다시마에서도 양식어가의 영세성, 과잉 생산, 소비 부진, 가격 정체 등으로 커다란 어려움을 겪고 있다. 또한 양식 어업인의 고령화와 양식어가의 감소도 양식기반을 붕괴하는 요인이 되고 있다.

4) 해조류 양식 기술

(1) 외국

해조류를 생산하는 나라는 주로 중국, 필리핀, 한국, 일본, 그리고 인도네시아 등의 아시아 국가들이다. 이들 국가에서 해조류의 생산은 대부분 노동집약적인 조방적 양식에 의존하고 있다. 그리고 서구에서는 미국, 캐나다, 프랑스, 독일, 네덜란드 등이 대규모 해조류 재배 시설을 통해 생산하고 있다. 특히 미국의 대규모 해조류 재배시스템은 넓은 바다를 활용한 자유부유배양시스템(free-floating cultivation system)을 활용하여 생산하고 있다. 그러나 이러한 방법은 해조류 재배를 위해 사용되는 줄이 영커서 닻과 부표의 유실 같은 문제가 있고 아직까지 상용화되지 않은 기술이라는 단점이 있다.

최근 네덜란드에서는 미국의 해양조류 프로그램, 프랑스와 독일의 연구를 토대로 연근해 풍력발전 기지를 활용한 해조류 생산시스템을 연구하고 있다. 효율적 해조류 재배를 위한 연근해 풍력기지의 이용은 대량 생산이 가능하지

만 수확에 있어서 노동집약적이고 기술 개발이 완전치 않다는 문제가 있다.

(2) 우리나라

우리나라의 해조류 생산은 15세기부터 시작된 오랜 역사를 가지고 있고, 2006년을 기준으로 세계 제4위의 다양한 해조류를 생산하고 있는 나라이다. 해조류는 생활사에 따라 크게 세대교번을 하는 해조류(김, 미역 등)와 반복적 영양재생을 하는 해조류(꼬시래기, 모자반 등)로 구분된다. 또한 해조류의 생활사는 품종마다 다양하기 때문에 해조류 생산기술은 해조류 종류에 따라 다르다. 우리나라는 이들 해조류 생산 기술이 확립되어 있고 세계적인 수준이라고 알려져 있다.

표 2-15 | 해조류 양식의 어장시설 기준

양식 종류	양식 방법	양식 품종	어장 수심	어장구역 한계		어장간 거리
				어촌계 (수협)	개인	
수하식 양식	건홍식·지주망홍·부류망홍	김, 파래·매생이 김, 파래·매생이	7m 이내 40m 이내	1ha 이상 1ha 이상	1~20ha 1~20ha	200m 이상 200m 이상
	연승식	미역, 다시마, 톳, 파래, 갈래곰보, 기타	30m 이내 (부산·울산·강원·경북·제주 40m이내)	1~20ha	1~20ha	100m 이상
바닥식 양식	투석식·천해	돌김, 우뚝가사리, 꼬시래기, 기타	30m 이내	1~30ha	1~20ha	200m 이상

자료 : 어업면허의 관리 등에 관한 규칙

한편, 우리나라의 해조류 생산의 경우 양식 품종에 따라 양식 방법과 시설 기준이 정해져 있다. 해조류 양식은 제도적으로 면허어업에 속하며 양식 종류, 양식 방법, 어장 수심, 어장 구역, 어장간 거리 등이 확립되어 있다(<표 2-15> 참조). 이러한 해조류 양식의 어장시설 기준을 추정한 이유는 양식어장

과밀 이용에 따른 생산성 하락 및 어장 환경 보호, 이를 통한 어업경영의 안정성 확보 등을 고려하였기 때문이다.

제 3 장 해조류 바이오에너지 및 펄프 산업화 가능성 검토

1. 해조류 바이오에너지 산업

1) 바이오에너지 생산 기술실태 분석

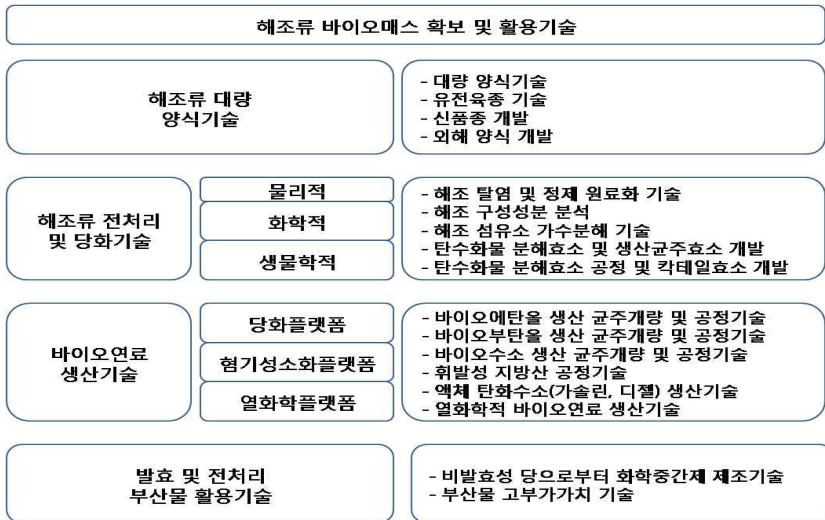
본 절에서는 여러 가지 해조류 바이오산업 중 바이오에너지 산업화에 필요한 제품생산 기술에 국한하여 개괄적인 수준에서 검토하였다. 이는 해조류 바이오에너지 산업화의 발전단계가 아직 낮은 수준임으로 심층 분석을 수행하는데 한계가 있기 때문이다. 특히 일부 생산 요소기술인 경우 현재 특허 출원 중이거나 개발 중에 있어 공개하기가 어려운 것도 한 요인으로 작용하였다.

(1) 개요

해조류를 이용해 바이오 에탄올을 제조하는 기술은 옥수수나 사탕수수 등을 활용하는 것과 비슷한 생산공정을 갖는다. 즉 원료인 바이오매스를 발효 가능한 당으로 분해시키는 전처리 과정을 통해 만들어진 단당류에 발효 미생물을 투입해 에탄올을 추출한다. 따라서 바이오에너지 생산기술은 원료확보에서 정제 공정에 이르기까지 고효율 품종 탐색, 대량배양기술, 육종 및 형질전환 등을 통한 원료공급체제 확보, 발효효소의 탐색/추출/정제/대량배양 기술, 상용 공정설계, 부산물 이용 등 다양한 종류의 요소기술이 필요하다.

<그림 3-1>은 해조류 바이오매스와 관련된 기술을 정리한 것이다. 대분류 차원에서 보면 해조류 바이오에너지 산업화를 위해서는 i) 해조류 대량 양식기술, ii) 해조류 전처리 당화기술, iii) 바이오연료 생산기술 그리고 iv) 발효 및 전처리 부산물 활용 기술 등과 같은 요소기술이 필요하다. 총 네 가지 기술 중

해조류 바이오에너지 산업화를 위해서는 먼저 안정적인 원료공급이 이루어져야 한다. 따라서 해조류 바이오매스를 확보하기 위해서는 원료가 되는 해조류의 대량 양식기술이 필요한데, 여기에는 대량 양식기술, 유전육종 기술, 신품종 및 외해 양식기술 등이 포함된다.



자료 : 우희철 외, 바이오매스용 해조류 대량양식 및 바이오에너지 생산기술개발 로드맵(타당성 조사, 2009, p. 75).

| 그림 3-1 | 해조류 바이오매스 확보 및 활용기술

두 번째 기술은 해조류 전처리 및 당화 기술이다. 이것은 해조류를 바이오에너지로 만들기 위해 우선 해조류를 섬유소, 해조류 다당류, 단백질, 기타 부산물 등으로 분해하는 것을 말한다.

세 번째는 바이오연료 생산기술인데, 이는 바이오매스를 미생물 등으로 발효시키거나 혹은 유기산 혼합물로 분해하여 열분해 등을 통하여 바이오메탄올, 바이오메탄, 바이오부탄을 등을 생산하고, 품질기준에 적합하게 분리, 정제하는 공정을 말한다.

마지막으로 발효 및 전처리 부산물 활용기술은 해조류에 포함된 폴리페놀(polyphenol) 화합물 등의 생리활성 물질을 추출하거나 바이오에너지 부산물을 펄프 등 기능성 제품 및 식품으로 개발함으로써 바이오연료의 생산단가에 대한 이익부분의 부가가치를 높이는 것을 의미한다.

(2) 연구동향

<표 3-1>은 해조류 바이오매스와 관련된 연구 동향을 정리한 것이다. 먼저 해조류 바이오매스 대책사업은 농림수산식품부, 국토해양부, 지식경제부를 중심으로 2008년 이후부터 실시되고 있는데, 주로 대형해조류와 미세조류에 대한 바이오에너지 기술개발에 중점을 두고 있다. 또한 각 대학 및 연구소에서도 해조류 바이오매스와 관련된 연구를 독자적으로 수행하고 있다.

해조류(거대조류) 양식과 관련해서는 국립수산물과학원이 거대조류의 양식 기술 개발 및 연구에 중점을 두고 있으며, 동해특산 다년생 해조류 대량생산 기술개발, 배우체 분리 및 보존기술 개발, 바다숲 조성 기술 및 양식장 설계기술, 다시마 선발육종, 해조류 원형질체 분리 및 융합기술 개발, 홍조류인 김의 선발 육종 및 종보존 기술 개발 등이 진행 중에 있다.

목질계 바이오매스 전처리 연구는 대학 및 국가 연구소를 중심으로 소규모의 기초 연구 및 응용에 대한 가능성을 확인하는 기술적 수준에 머물러 있다. 특히, 에너지기술연구원을 중심으로 일부 전처리 연구를 수행한 바 있지만, 연속공정에 의한 바이오매스 분별 및 당화 공정 개발은 전무한 상태이다.

| 표 3-1 | 해조류 바이오매스 관련 연구 현황

	정부 부서	전담기관	분 야	과 제
국책 사업	농림수산 식품부	국립수산물과학원	해조류	- 바이오매스용 해조류 대량 양식 및 바이오에너지 생산기술 개발 로드맵 연구('08.10~'09.2) - 바다숲 조성사업과 바이오매스 그린에너지화('09~)
	국토 해양부	한국해양수산기 술진흥원	미세조류	- 해양 바이오에너지 기술개발 사업('08.9~'09.2)
	지식 경제부	에너지관리공단& 한국에너지자원 기술기획평가원	해조류 미세조류	- 신성장동력 해양바이오연료 기획('08.9) - 산업원천기술 개발사업 기술수요 조사('08.8) - 신재생에너지 기술개발사업('08~) - 그린오션분야 세부기술개발 실천계획 수립('10)
부경대	바이오에탄올, 바이오디젤, 바이오가스 등 생산기술 개발 중			
한국생산 기술연구원	홍조류(우뭇가사리)를 당화(황산 이용)하여 해조류 바이오에탄올 생산			
한국해양연구원	제주산 녹조류(구멍파래)로부터 전분 추출하여 해조류 바이오에탄올 생산			
인하대	미세조류를 이용한 바이오리액터 개발			
부산대	해조류를 이용한 온실가스 저감 CDM 인증 기술 개발			
국립수산물과학원	해조류바이오연구센터 : 해조류 바이오에너지 대상종 개발 및 탐색			
	자원조성사업단 : 바다숲 조성사업과 바이오매스 그린에너지화			
	생명공학연구소 : 활성소재연구실에서 해조류로부터 에탄올 생산 가능성 연구 중			

자료 : 한국화학공학회, 바이오에너지 기술 심포지엄 자료집, 2009. 4. 23.

(3) 홍조류 바이오 에탄올 기술

바이오에탄올의 경우 해조류(홍조류)인 우뭇가사리 등으로부터 바이오에탄올을 추출할 수 있는 기술이 이미 개발되었다. 우뭇가사리는 발효 가능한 탄수화물의 함량이 목질계 원료에 비해 1.5-2배 정도 높고, 목질계 원료에서 반드시 제거해야 하는 리그닌 성분이 없어 제조공정이 간편하다는 장점을 가진다. 국내 A연구원에서는 직접당화법과 다단계당화법 등을 통해 수율을 높이는 방법으로 총 전환수율이 20~32%인 바이오에탄올을 제조하는데 성공한 바 있

다. 이 수치는 현재 목질계의 에탄올 전환수율은 20~25%인 것과 비교하면 충분한 경제성이 있다고 판단된다.

우뭇가사리 바이오에탄올을 양산하기 위해서는 일정한 생산수율이 유지되어야 한다. 현재 우뭇가사리 1톤에서 235리터 정도의 에탄올이 생산되는데, 최대 299리터 까지도 가능하다고 한다. 그러나 해조류 바이오에너지 산업화를 위해서는 300리터 이상이 안정적으로 생산되어야 한다는 것이 관련 연구계의 의견이다.

(4) 녹조류 바이오 에탄올 기술

홍조류에 비해 상용화 추진 속도는 느리지만 녹조류인 구멍갈파래를 이용한 바이오 에탄올 원천기술도 국내 기술진이 가지고 있다. 국내 B연구원에서는 구멍갈파래에서 에탄올을 추출하는데 필요한 전처리 기술과 발효 균주를 개발해 미국, 일본, 유럽연합 등에 특허출원을 진행하고 있다.

바이오매스를 발효가 가능한 당으로 분해시키는 방법은 셀룰로오스를 산으로 전처리하는 것이다. 하지만 이 과정에서 독성이 발생해 에탄올로 발효되는 과정에서 발효 균주가 죽게 된다. B연구원에서는 전처리과정에서 화학물질을 사용하지 않고 고압액화기술을 적용해 독성 발생을 원천적으로 봉쇄했고, 아울러 단당류에서 에탄올로 전환할 때 사용하는 새로운 발효 균주를 개발하였다. 이 균주로 발효공정을 진행한 결과 최대 160g/L의 에탄올을 생산했는데 이는 기존에 보고된 세계 최대 에탄올 생산량과 비슷한 농도이다.

(5) 미세조류 바이오 디젤 기술

미세조류를 이용한 바이오디젤의 경우, 일부 대학/연구소에서 탄화수소를 생산하는 균주를 이용한 공정개발 연구가 초보적인 수준에서 이루어지고 있다. 그러나 *Dunaliella salina*라는 녹조류를 이용한 연구는 생산성이 낮고 공정연구

도 기본적인 반응연구에 머물러 있는 실정이다.

또한 국내 일부 연구팀에서 *B. braunii*에 대한 균주 선발 작업이 있었으나 탄화수소 생산성이 매우 낮아 지속적인 연구가 이루어지지 않았다.

미세조류를 대량으로 배양하기 위한 폐쇄형 광생물 반응기에 대한 연구도 거의 진행되지 않았다. 또한 미세조류에 의해 생산된 지방질이 국내외 바이오디젤의 제품수준에 적합한지를 실험하여 결과를 제출한 것도 전무한 실정이다.

(6) 소결

우리나라 해조류 바이오에너지 산업과 관련된 기술 및 연구는 선진국 대비 약 50%로 다소 낮은 단계라 할 수 있다(<표 3-2> 참조). 다만, 해조류 양식 생산기술과 관련해서는 우리나라가 다른 나라에 비해 상대적으로 우수한 재배 기술을 가지고 있다. 그러나 현재 양식 생산기술도 식용으로 이용되는 해조류를 생산하는 기술이므로 산업화를 위한 저가 대량 양식이 요구될 경우 현재와 다른 새로운 양식재배 및 채취기술이 필요하다.

| 표 3-2 | 신재생에너지 관련 선진국 대비 국내 기술 수준

구분	목질계 바이오매스				해양 바이오매스			
	연료 생산, 가공	연소 시스템	배출 가스 제어	평균	생물배양, 양식	에너지 전환	대량생산 공정	평균
수준 (%)	38	40	48	41	40	75	50	50
가중치	30	50	20		50	20	30	

자료 : 신재생에너지 R&D 전략 2030, 지식경제부, 2007

전체적으로 해조류 바이오에너지 산업화에 기초가 되는 여러 가지 기술들이 초기 단계임에도 불구하고, 최근 들어 해조류를 이용한 바이오에너지 관련

연구가 주목 받기 시작함에 따라 해조류 바이오매스 관련 요소기술은 점차 축적되고 있는 중이다.

결론적으로 현재까지의 바이오에너지 연구에 따르면, 기존의 작물 및 목재 등의 식물계 셀룰로오스 보다는 해조류를 이용한 바이오에너지 생산 기술이 실효성이 있을 것으로 평가되고 있다³⁴⁾. 아울러 대부분의 해조류 바이오연료 관련 연구자들은 향후 해조류로부터 발효당으로의 전환기술을 개발함으로써 알코올 생산수율이 높아지는 경우 해조류 바이오에너지 산업화가 가능할 것으로 예견하고 있다.

2) 시장성 분석

(1) 해외 시장 사례

선진국은 CO₂ 등 온실가스 감축의무를 준수하고 대기환경 개선 및 에너지 안보 문제 등의 해결을 위해 'climate neutral'³⁵⁾로 정의되는 바이오연료의 개발 및 보급목표를 설정하여 중점적으로 투자하고 있다. 유럽연합의 경우 2005년 12월에 채택된 「생물자원 활용계획」을 바탕으로 2006년 2월에 바이오연료에 관한 일련의 내용을 담은 전략을 도출하였다. 바이오 연료 생산의 추진 목표는 바이오 연료 생산 촉진, 생산을 위한 경쟁력 제고 및 연구 확대, 개발도상국 지원을 골자로 하고 있다. 현재 유럽연합은 자동차 연료로 이용되는 화석연료의 5%를 바이오에너지로 대체하였다.

브라질의 경우, 2012년까지 바이오에탄올 사업에 190억 달러를 투자할 계

34) 셀룰로오스는 성장속도가 느리고, 리그린이 많이 포함되어 있기 때문에 이들을 제거하는 공정이 필요하므로 경제성에서 문제가 될 수 있음.

35) 환경부의 온실가스배출량산정지침(2006) 등에 따르면 사탕수수나 옥수수, 대두유 등의 바이오매스를 원료로 하여 생산된 연료는 식물생장과과정에서 자동차 배기가스 중 CO₂를 흡수하기 때문에 'climate neutral' 관점에서 배출되지 않는 것으로 적용하고 있음.

획이다. 2005년에는 사탕수수 에탄올을 약 150억 리터를 생산하였는데, 소매가로 리터당 US\$ 1.1에 판매되었다. 아울러 사탕수수 에탄올 사용시 온실가스 배출량은 휘발유 보다 약 56% 정도가 낮아진다.

미국의 경우, 2010년에 바이오연료가 기존 화석 에너지 수요의 10%를 대체할 목표를 수립하였다. 2006년 옥수수 에탄올 생산량은 약 184억 리터에 달한다. 더욱이 2009년 7월에는 Exxon사가 해조류로부터 바이오 연료를 생산을 위하여 Synthetic Genomics사에 6억 달러를 투자할 계획이라고 발표하였다. 이와 관련하여 Exxon사의 연구개발 담당 부회장은 “증가하는 에너지 수요를 충족하기 위해서는 새로운 기술 개발이 필요하며, Exxon사는 이중 해조류를 이용하는 방법이 가장 유력하다고 판단한다”고 밝힌 바 있다.

일본은 2010년까지 3억 7,000만 달러를 바이오 연료와 수소 에너지 등의 개발에 투자할 계획이다. 현재 이미 300여 군데의 에탄올 주유소가 있다. 아울러 바이오에탄올을 해조류인 모자반에서 생산하기 위해 교토부립 해양센터와 미쓰비시 종합연구소, 도쿄해양대 등으로 구성된 연구그룹이 동해에 거대한 양식장 건설을 추진하고 있는데 이를 통해 휘발유 소비량의 1/3에 해당하는 바이오에탄올을 생산할 계획이다. 이미 건조시킨 파래 100g당 30ml의 에탄올을 생산함으로써 바이오 에탄올 양산화가 가능해졌다.

(2) 시장 전망

1980년대 이후 2000년 까지 연간 200억 리터 내외를 유지하던 바이오 에탄올 생산이 2001년부터 연 20% 이상을 성장함에 따라 2005년의 경우 약 400억 리터 규모의 시장을 형성하였다. 2006년 기준 주요국의 바이오 에탄올 생산량을 보면 미국이 185억 리터, 브라질이 178억 리터 그리고 중국이 38억 리터 정도를 생산하였다. 이처럼 바이오연료는 CO₂ 및 대기오염물질 저감 효과가 우수하고 자원 고갈의 우려가 없어 전 세계적으로 점차 사용량이 증가하는 추

세에 있다.

바이오에탄올 시장은 에너지 안보의 강화, 환경오염에 대한 국제적 규제 강화 등으로 인해 전 세계적으로 성장 산업으로 자리 잡을 것으로 예상된다. 바이오 연료 전문가들은 2012년경 세계 바이오연료 시장규모가 650억 리터를 상회할 것이라고 전망하고 있고, 향후 25년 후에는 석유 수요의 100%를 대체할 수 있다고 전망하고 있다.

결론적으로 향후 화석연료의 가격이 오르고, 화석연료 사용에 따른 온실가스 감축 의무가 더욱 강화될 수 있다는 전제 하에서, 해조류 바이오 연료생산에 따르는 경제성만 확보된다면 바이오에너지 수요는 거의 무한하므로 시장성은 거의 문제가 되지 않을 것이다.

2. 해조류 펄프 산업

국내 (주)P사는 세계 최초로 홍조류를 이용하여 펄프기술을 개발하였다. 2009년 7월 기준으로 37개국에 홍조류 펄프 특허등록이 된 상태이다. 이하에 서는 (주)P사의 사례를 중심으로 해조류 펄프의 산업화 가능성을 검토한다.

1) 해조류 바이오 펄프 생산 기술실태 분석

(1) 원료 추출기술

홍조류에는 펄프 원료가 되는 섬유와 바이오에너지의 원료가 되는 다당류가 많이 존재한다. 즉, <표 3-3>과 같이 홍조류인 우뚝가사리 등은 녹조류인 파래류 및 클로렐라와 갈조류인 미역, 다시마 보다 당질과 섬유질이 많이 함유하고 있어 산업적 가치가 높은 것으로 알려져 있다.

| 표 3-3 | 우리나라 해조류의 성분 비교

구분	종명	상태	생체 또는 건조중량 100g 기준			
			수분	탄수화물		기타
				당질	섬유	
녹조류	가시파래(<i>Enteromorpha prolifera</i>)	건조	12.8	42.2	4.3	40.7
	납작파래(<i>Entromorpha compressa</i>)	생체	87.6	3.0	0.5	8.9
	구멍갈파래(<i>Ulva pertusa</i>)	건조	13.7	40.1	3.4	42.8
갈조류	툇(<i>Hizkia fusiformis</i>)	생체	88.1	4.0	1.0	6.9
	다시마(<i>Laminaria japonica</i>)	생체	91.0	3.6	0.6	4.8
	다시마(<i>Laminaria japonica</i>)	건조	12.3	41.1	4.1	42.5
홍조류	미역(<i>Undaria pinnatifida</i>)	생체	87.6	4.8	0.3	7.3
	미역(<i>Undaria sp</i>)	건조	16.0	33.9	2.4	48.0
	꼬시래기(<i>Gracilaria sp</i>)	생체	89.1	5.9	0.3	5.0
가공품	우뭇가사리(<i>Gelidium elegans</i>)	생체	70.3	18.5	3.0	8.2
	한천(agar-agar, 분말한천)		20.1	74.6	0	5.3
	우무(agar-gel, 겔상태)		99.0	0.8	0	0.2

자료 : 국립수산물학원, 한국수산물 성분표, 1995.

또한 홍조류 펄프는 목재 펄프와 비교하여 원료 성장 순환속도가 매우 빠르며 원료 추출 및 제조 공정이 간단하기 때문에 에너지 사용 등 환경문제의 발생이 적은 장점이 있다. 그리고 홍조류에는 가늘고 균일한 ‘엔토파이버’가 존재하고 있는데 이를 추출하여 이용하면 매끄럽고 경제성 높은 고품질의 펄프와 종이를 제조할 수 있다. 또한 해조류 펄프 생산에서 발생하는 부산물인 우무는 바이오에탄올 원료로 이용할 수 있다는 특성이 있다(<표 3-4> 참조).

| 표 3-4 | 홍조류 및 목재 펄프 생산 비교

	원료생장 순환속도	연간화학 펄프생산량	환경 문제	제조 공정	품질	에너지 사용	사용가능 부산물
목재 펄프	늦음 (8년 이상)	4mts.	벌목, 제조 시유독성 화학약품 사용	복잡	저~고	많음	일부 (소각용)
홍조류 펄프	빠름 (30~60일)	16mts.	없음	간단	고	적음 자체조달가능	매우 많음

자료 : (주)P사 내부자료.

(주)P사는 2003년 9월 홍조류 바다 식물인 우뚝가사리로 펄프와 종이를 만들 수 있다는 것을 발견하였고, 3개월간의 실험을 거쳐 동년 11월 처음으로 발명특허를 출원하였다. 그 이후 해조류 펄프제조 공정 및 기계초지 실험을 완료하였으며, 2006년과 2007년에는 기계제지 설비로 기계초지 실험을 성공하여 제지공장에서의 운전조건 데이터를 축적하였다.

이를 통해 홍조류로부터 펄프 원료인 섬유를 추출할 수 있는 기술은 이미 확립되어 있는 것으로 판단된다. 또한 동 사는 2006년부터 인도네시아에서 열대산 우뚝가사리와 식물(*Ptilophora sp.*)의 양식을 시작하여 이를 홍조류 펄프의 원료로 이용하는 기술개발도 축적한 것으로 알려져 있다.

(2) 제품 생산기술

홍조류 펄프의 제품 생산은 홍조류 원료를 세척하여 우무를 추출하여 이를 표백하는 과정을 거치기만 하면 된다(<그림 3-2> 참조). 홍조류 펄프와 목재 펄프의 제조기술을 비교하면 목재 펄프는 180℃에서 8시간 물에 삶고 수산화나트륨(NaOH) 용액으로 세척하고 녹지 않은 목재덩어리를 제거한 다음 6~7회의 표백 및 세척과정을 거치는데 약 24시간이 소요된다. 이에 비해 홍조류 펄프는 100℃에 2시간 물에 삶아 세척, 분쇄 및 표백, 세척하여 우무를 추출하면 되며 약 8시간이 소요된다. 또한 목재 펄프는 6~7단계 표백공정을 거치는데 비해 홍조류 펄프는 2단계 표백공정을 거치면 된다. 따라서 홍조류 펄프제

조는 목재 펄프 대비 에너지 20%가 절감되는 것으로 알려져 있다.



자료 : (주)P사 내부자료

| 그림 3-2 | 홍조류 펄프와 목재 펄프의 제조 공정

이처럼 홍조류 펄프 제조공정은 간단하기 때문에 투자비용이 적고 펄프 제조경비가 저렴하다는 특성이 있다. 또한 벌목을 하지 않아 삼림을 보호할 수 있으며 공정상 유독성 화학물의 사용이 없고 공정상 에너지 소모가 적다는 장점을 가진다. 또한 홍조류의 균일한 섬유로 추가공정이 필요 없고 미세한 섬유로 고급종이 생산이 용하기 때문에 부가가치를 높일 수 있다.

2) 시장성 분석

(1) 수요

<표 3-5>에서 보는 바와 같이, 2008년 기준으로 국가별 펄프 소비는 주로 선진국을 중심으로 소비되고 있다. 특히 벨기에가 345kg로 가장 많고 이어서 핀란드, 미국, 오스트리아 순이다. 우리나라의 경우 178.8kg로서 세계 20위를 기록하고 있다. 지금까지 세계 펄프의 주된 수요는 선진국에서 이뤄졌으나 앞으로는 아프리카, 남미, 동남아 등 신흥 개발 국가를 중심으로 펄프 소비가 증가할 것으로 보인다.

한편, 우리나라의 종이 소비는 <표 3-6>과 같이 꾸준히 증가 추세에 있다. 2004년 817만 톤에서 늘어나 2006년 865만 톤, 2008년에는 869만 톤을 기록하였다. 특히, 인쇄용지, 포장용지 등의 고가격 종이의 소비가 늘어나고 있는 점이 눈에 특징이다. 하지만, 국내 종이 소비는 늘고 있지만 종이 원료가 되는 펄프는 대부분 수입에 의존하고 있다. 따라서 해조류 펄프의 산업화 기술력이 확보된다면 해조류 펄프의 시장성은 충분이 있을 것으로 생각된다.

표 3-5 | 국별 1인당 소비량(2008)

순위	국가	소비량(kg)	순위	국가	소비량(kg)	순위	국가	소비량(kg)
1	벨기에	344.9	11	네덜란드	211.2	21	싱가포르	172.6
2	핀란드	341.7	12	캐나다	208.8	22	슬로베니아	171.4
3	미국	265.9	13	아랍에미리트	192.4	23	노르웨이	171.0
4	오스트리아	251.8	14	이탈리아	190.8	24	프랑스	167.6
5	스웨덴	248.4	15	호주	189.1	25	체코	155.4
6	독일	247.4	16	영국	184.9	26	이스라엘	154.4
7	일본	241.5	17	홍콩	184.2	27	사이프러스	135.4
8	덴마크	224.3	18	스페인	179.6	28	버뮤다제도	119.8
9	뉴질랜드	214.9	19	대만	179.2	29	아일랜드	118.0
10	스위스	214.3	20	한국	178.8	30	아이슬란드	115.4

자료 : 한국제지공업연합회 홈페이지(http://www.paper.or.kr/n_indu/indu_02_2.asp)

| 표 3-6 | 국내 종이 소비 주어

단위 : 천 톤

	합계	신문용지	인쇄용지	포장용지	판지	기타
2004	8,173	1,174	1,998	240	3,921	839
2005	8,353	1,050	2,111	228	4,122	842
2006	8,648	1,044	2,167	232	4,280	925
2007	8,964	1,072	2,271	258	4,536	828
2008	8,690	975	2,245	253	4,419	798

자료 : 한국제지공업연합회 홈페이지(http://www.paper.or.kr/n_indu/indu_02_2.asp)

(2) 원료공급

홍조류 펄프를 생산하기 위해서는 홍조류의 안정적 대량 생산이 전제되어야 한다. 하지만 2008년 현재 우리나라의 우뭇가사리 생산은 약 1,000톤에 불과하고 양식도 거의 이루어지지 않고 있다.

홍조류 대량 생산 기술을 개발하기 위해 (주)P사에서는 국내에서 대상 종의 양식실험을 하였고, 수온이 따뜻한 인도네시아의 열대바다에서 우뭇가사리 식물을 양식한 결과 2개월에 4배의 성장주기로 연간 5~6회 수확이 가능한 것으로 파악되었다. 그 이후 한국산 우뭇가사리를 인도네시아에 이식하여 70일 만에 평균 4배 이상의 성장률을 확인하였다.

또한 낮은 수온에서도 성장 속도가 빠른 신품종 종묘를 개발하기 위한 교배육종 실험도 진행하고 있다. 해조류 분자생물학은 우리나라의 기술수준이 세계적이므로 이를 실현할 수 있을 것으로 보인다. 이를 통해 최대체형인 멕시코산 홍조류, 군집특성이 있는 모로코산 홍조류, 그리고 저수온종인 호주산 홍조류를 교배·육종하여 우리나라 겨울에도 생장 가능한 대형종이 개발된다면 홍조류 펄프의 국내 의존도를 높일 수 있을 것이다. 또한 홍조류를 대량 양식할 수 있는 기술 개발도 아울러 뒷받침 되어야 한다.

이상과 같이 현재 단계에서 우리나라는 홍조류 펄프의 원료가 되는 우뭇

가사리를 대량 생산할 수 있는 여건이 구비되어 있지 않으므로 (주)P사에서는 인도네시아에 대량 양식을 통해 펄프 원료를 우리나라로 가져와서 홍조류 펄프를 생산할 계획을 가지고 있다. 홍조류 건조 중량 1만 톤을 생산하기 위해서는 최소한 500ha의 양식 면적이 필요한 것으로 파악하고 있다. (주)P사는 2009년에 홍조류 펄프를 생산한다는 목표로 연간 1,000톤 생산 규모의 공장을 건설하고 있다.

(3) 타제품 가격 비교

홍조류 펄프와 목재 펄프의 비용을 비교하면, 홍조류 펄프가 목재 펄프에 비해 제조공정의 비용이 훨씬 저렴하다. <표 3-7>은 목재 펄프와 홍조류 펄프의 가격 비교를 한 것이다. 원료 가격은 1톤 당 가격이 1/3 정도로 낮다. 펄프 수율은 목재 펄프가 다소 높다. 제조설비 건설, 제조 시간, 표백약품비용 등의 공정비용은 해조류 펄프가 대략 1/3 정도 적은 것으로 알려져 있다. 홍조류 원료 단가는 1ha의 경우 \$73/ton, 100ha의 경우 \$47/ton(건조중량 기준임)이다.

표 3-7 | 목재 펄프 및 홍조류 펄프의 가격 비교

구 분	목재 펄프	홍조류 펄프	비고
원료가격	목재칩* 수입단가 150~180달러	홍조류 양식단가 50달러	1톤당 가격
펄프수율	44%	10~25%	표백화학펄프 기준
공정비용	100~150달러	100달러	홍조류는 1/3 이하 추정

주 : 목재칩은 원목의 껍질, 잔가지, 잎 등을 제거하고 칩(chip) 상태로 가공한 것을 말함
자료 : (주)P사 내부자료

(4) 수익성

현재 목재 펄프는 원료원인 삼림의 과도한 개발로 인해 한계에 봉착해 있

다. 지구 온난화에 대응하기 위해 삼림보존의 필요성이 높아지고 있으며, 제조 시 다량의 에너지 사용하고 있어 주요 CO₂ 배출 산업이기도 하다. 또한 목재 펄프를 제조할 때 다량의 화학약품 사용으로 선진국에서는 펄프 공장의 신축을 규제하고 있는 추세이다.

이에 비해 홍조류 펄프는 기존 목재펄프 대비 우수한 품질과 특성을 지니고 있어 기존 펄프 시장가격 이상으로 거래될 것으로 판단되며, 펄프 시가의 10% 수준인 톤당 60달러를 로열티로 부과하여도 홍조류 펄프업체는 기존 목재펄프 업체의 톤당 마진 79달러의 약 3배인 230달러 이상의 톤당 마진을 확보할 것으로 보인다.

한편, 펄프의 산업적 가치를 정리해 보면, 일반적인 종이(인쇄용지 및 복사용지 등)의 시장가격이 톤당 500~1,000달러이며, 고부가가치 특수지(고밀도지, 식품포장지, 담배용지 등)의 시장가격은 톤당 2,000~5,000달러이다. 그리고 고부가가치인 응용 제품군(마스크팩, 피부용 테이프, 반창고, 전기전자부품 등)의 시장가격은 제품에 따라 다르지만 톤당 10,000달러를 상회하고 있다.

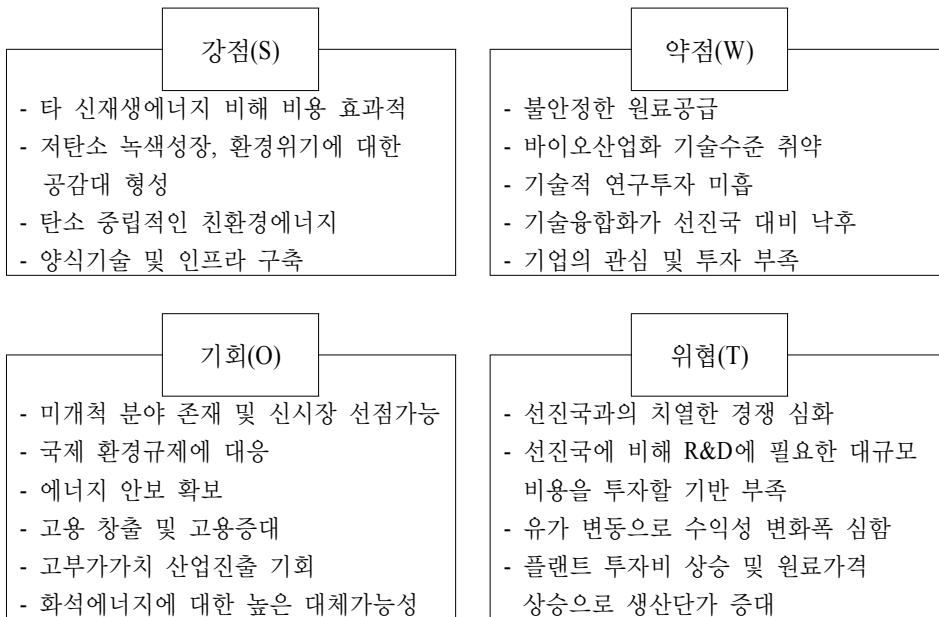
3. 해조류 바이오산업화 가능성 및 한계 분석

1) 해조류 바이오산업화 SWOT 분석

본 절에서는 현재 주로 식용 해조류를 생산하는 해조류 양식업을 향후 해조류 바이오산업화로 발전시키기 위한 가능성을 분석하고자 한다. 따라서 전체적인 차원에서 가능성을 분석하고자 기존 해조류 양식 실태, 국내와 여건변화, 해조류 바이오 연료 기술 및 개발 추이 등을 고려하여 해조류 바이오 산업화 SWOT 분석하였으며 그 결과는 <그림 3-4>와 같다.

(1) 강점과 기회

현 정부가 우리 경제의 지속적인 성장을 위한 새로운 정책 패러다임 및 신성장 동력으로 녹색성장산업을 제시하면서 바이오매스가 현안으로 대두되고 있다. 바이오매스의 개발과 이용은 지금까지도 중요시되어 왔으나 앞으로도 매우 중요한 과제이고, 특히 바이오매스를 이용한 바이오연료가 화석연료의 대체 에너지로서 사회경제적으로 주요한 이슈가 될 것이다.



|그림 3-4| 해조류 바이오산업화 SWOT 분석

따라서 세계적으로도 기후변화협약과 환경규제 강화에 의해 친환경 특성을 가지는 에너지 신소재 및 석유를 대체할 수 있는 바이오에너지를 개발하기 위한 연구가 활발하게 진행되고 있다. 현재까지는 주로 작물, 목재, 천연섬유 등의 식물 셀룰로오스 자원을 보강재로 이용하는 고분자 복합재료 혹은 이들 자원을 이용한 바이오 연료제조 연구가 주로 많이 진행되고 있었다. 그러나 작

물은 식량과 경쟁하며 또한 식물계 셀룰로오스는 성장하는 장소나 성장기간에 따라 특성이 많이 다르며 성장속도가 느린 단점도 가지고 있다. 따라서 성장속도가 빠르고 셀룰로오스가 풍부한 천연섬유의 선정과 육성, 재배가 필요한 연구 분야로 요구되고 있다. 목재 같은 경우는 셀룰로오스 이외에 헤미셀룰로오스나 리그닌이 많이 포함되어 있어 이들을 제거하는 공정이 필요하기 때문에 경제성에서 문제가 될 수도 있다.

이러한 관점에서 볼 때 해조류를 이용한 바이오에너지는 석유 자원을 대체하여 에너지 수입의존도를 줄이고 온실가스 배출도 저감할 수 있을 뿐만 아니라 식량 수요와 경합성이 거의 없어 현재 바이오에너지원으로 이용되는 곡물보다 경쟁력이 높은 것으로 평가하고 있다. 따라서 새로운 바이오매스로서 해조류의 활용 범위가 더욱 다양해질 가능성이 매우 높아질 것이다.

해조류 바이오산업은 바이오 산업발전의 동력원으로서 해조류 바이오매스를 보다 효과적으로 이용할 수 있는 생산시스템 개발 및 정책적 지원이 따른다면 전망은 밝다고 할 수 있다. 더욱이 정부가 추진하고 있는 저탄소녹색성장 산업에 해조류가 상당한 기여를 하는 동시에 경영이 어려운 양식어가의 소득 증진에도 많은 도움을 줄 수 있을 것이다.

(2) 약점과 위협

해조류를 이용한 바이오산업화는 앞에서 언급했듯이 많은 강점과 기회를 가지고 있다. 반면, 해조류 바이오산업화에 따른 많은 약점과 위협요소도 지니고 있는 게 사실이다. 약점의 경우 해조류를 이용하여 바이오산업화를 이루기 위해서는 지속적이고 대량의 원료공급이 필요한데, 아직 대량생산기술이 미흡하고, 산업과 기술 수준도 취약하다. 아울러 부족한 기술을 극복하기 위한 연구 투자 및 기술융합수준도 주요 선진국에 비해 낙후되어있다. 게다가 아직 해조류를 이용한 바이오 연료에 대한 경제성이 증명되지 않아 기업의 관심과 투

자도 부족하다.

위협요소는 다음과 같다. 국제 바이오 연료 시장 선점에 있어 선진국과의 치열한 경쟁이 심화 되고 있고, 선진국에 비해 투자 기반이 부족하다. 아울러 바이오 연료가 생산 되더라도 기존 화석연료의 가격변동에 따라 바이오연료 생산기업의 수익성이 변화될 가능성이 높다. 이외에도 세계경제가 침체됨에 따라 여러 가지 공장 설립에 따른 비용이 상승되어 초기 투자비의 증가에 따른 생산단가의 상승이 우려된다.

(3) 소결

해조류 바이오 산업화 SWOT분석을 통해 전체적으로 볼 때 해조류 양식의 전략적 중요성이 저평가되고 있고, 해조류를 이용한 산업화 전략 및 정책 프로그램의 부족으로 인해 산업화 발전단계에서 산발적인 연구 및 개발 시도에 머무를 우려가 있다.

반면 우리나라는 해조류 양식 기술과 노하우가 상당히 축적되어있다. 따라서 이를 기초로 하여 바이오 산업발전의 동력원으로서 해조류 바이오매스를 보다 효과적으로 이용할 수 있는 생산시스템 개발 및 정책적 지원이 따른다면 전망은 매우 밝을 수 있다.

2) 해조류 바이오산업화 가능성 분석

(1) 해조류 바이오에너지 산업

가. 기술적 측면

해조류는 초본계나 목질계와는 달리 전분질 원료를 추출하고 당화하는데 공정이 간단하고, 기존 공정의 활용 및 개선을 통해 산업화 가능성이 매우 높

다고 할 수 있다. 또한 해조류 전처리 과정에 있어서 기존의 산·알칼리 처리에 의한 전분 추출에서 벗어나 선진화된 기술을 개발한다면 단순추출 공정의 문제(낮은 수율, 복잡한 공정, 부산물 이용 가능성 미지수)를 해소하고 보다 높은 수율의 전분질 원료를 추출할 수 있다.

녹조류인 구멍갈파래는 전분질원료를 추출하고 당화하는 공정이 매우 간단하고, 기존 공정의 활용 및 개선을 통해 산업화 성공가능성이 높다고 할 수 있다. 또한 구멍갈파래의 전처리 과정에 있어서 기존의 산알칼리 처리에 의한 전분추출에서 벗어나 고압액화기술을 도입하여 단순추출 공정의 문제를 해소하고 보다 높은 수율의 전분질 원료를 추출 할 수 있다.

결론적으로 우리나라는 해조류 양식기술 및 생산량 측면에서는 상당한 수준의 인프라 및 기술력을 보유하고 있다. 따라서 해조류 바이오매스를 기반으로 하는 연구개발이 집중적으로 이루어질 경우, 해조류 바이오산업화에 필요한 기술은 개발 될 수 있을 것이다. 더욱이 해조류의 바이오에탄올 생산기술은 세계적으로 아직 상용화되지 않았기 때문에 지금이 해조류로부터의 바이오에너지 생산기술의 선점의 기회라 할 수 있다.

나. 경제적 측면³⁶⁾

해조류 바이오매스로부터 에너지를 생산하는데 추정되는 경제적 타당성은 기본적으로 해조류의 에너지 수율에 기초하여 추정할 수 있다. 그러나 에너지 수율 이외에 해조류 바이오매스를 생산하는 과정에서 나타나는 이산화탄소 저감과 영양염 제거를 통한 해양 생태계 안정성 회복 등의 부가적인 이점들 역시 경제성 분석의 항목에 포함하여 경제적 타당성을 추정할 수 있다. 본 분석에서는 자료의 한계로 인해 해조류 에너지 수율에 기초한 분석에 한정하였다.

36) 우희철 외, 바이오매스용 해조류 대량양식 및 바이오에너지 생산기술개발 로드맵(타당성조사) 연구, 농림수산식품부, 2009.

경제성 분석에 가장 기초가 되는 해조류의 생산비용은 시설규모에 따라 차이가 크게 나타난다. 따라서 비교적 산업적 규모로 생산된다고 할 수 있는 김, 미역 및 다시마를 대상으로 10ha를 기준으로 생산비용을 추정하였다. 김의 경우 노출 부류식으로 10ha에서 200척을 시설하였을 경우, 9월부터 5월까지 생산시기를 감안하였을 때 김의 바이오매스 생산비용은 10ha 당 66,000천 원이며, 건중량 1톤당 생산가격은 10,000~20,000천 원이다. 미역의 경우 10ha에서 200대의 연승을 시설하고 10월부터 3월까지 생산시기를 감안하면 생산비용은 10ha당 23,000천 원, 그리고 건중량 1톤당 생산 단가는 10~50천 원이다. 다시마의 경우 전복 먹이용의 생산단가는 건중량 1톤당 10~20천 원으로 생산되고 있다.

따라서 현재 우리나라의 해조류 양식 생산비용은 바이오매스로 이용하기 위한 목표 생산단가인 건중량 1톤당 100~500달러 보다 낮은 비용으로 생산이 가능하다. 향후 외해 대량 양식 기술의 발달과 바이오매스 대량양식을 위한 정책적 지원이 뒷받침된다면 해조류의 생산단가는 지금보다 더 낮은 수준에 이를 수 있을 것이다.

표 3-8 | 해조류 바이오매스 추정 생산량 및 생산비용

종	생산비용 (천원/10ha)	생산량 (톤, 건중량/ha)	생산성 (톤/ha/년)	가격 (천원/톤-dry wt.)
김	66,000	0.4	2~4	10,000~20,000
미역	23,000	2.8	20	10~50
다시마	27,000	4.5	40	1,500~4,500 (전복먹이용(10~20))

자료 : 우희철 외, 2009.

경제성 측면에서 바이오에탄올 추출용 바이오매스의 생산단가는 0.49달러/리터 이하 정도가 되어야 한다. 그러나 육상작물의 경우, 1년에 1~2회 정도 수

확함으로 경제성에 문제가 있다. 반면, 해조류는 연간 채취가 10회 이상이므로 국내 양식장을 이용할 경우 에탄올 생산량은 19억 리터로 휘발유의 20%를 대체 할 수 있다.³⁷⁾ 아울러 동남아 등지의 해외 양식장으로 확대하여 대량생산이 이루어질 경우 약 86억 리터(양식장 16만ha)로 휘발유의 약 90% 대체가 가능하여 경제성이 매우 높다고 할 수 있다.

| 표 3-9 | 해조류 바이오에탄올 수율 및 가격

대상종 (fresh wt. based)	당함량 (%)	에탄올수율 (%)	해조류 1톤당	
			에탄올(L)	금액(원)
다시마	3.6	1.8	18	10,800
미역	4.8	2.5	25	15,000
모자반	5.2	2.7	27	16,200
김	1.7	0.9	9	5,400

자료 : 국립수산물연구원 생명공학연구소 내부자료

다. 정책적 측면

일반적으로 수산부문의 녹색성장은 해역별 또는 한반도 전 해역의 환경용량과 생물자원 부양능력을 고려하여 잡는어업과 양식어업 방식을 친환경화적으로 전환하는 동시에, 감축(reduction)↔재활용(recycle)↔재사용(reuse)↔재생산(renewal)를 토대로 자원순환형 녹색수산업을 의미한다. 아울러 저탄소·저오염을 지향하는 기술개발, 녹색어촌개발 등을 통한 저탄소녹색성장을 의미한다.

이러한 관점에서 볼 때, 새로운 바이오매스로서 해조류는 녹색성장에 있어 중요한 자연자원이라 할 수 있다. 세계적으로 화석 에너지원에 따른 온실가스 배출량을 줄이기 위하여 바이오에너지 생산량을 증가시키고 있지만 식용

37) 현재 양식장 7만ha의 절반인 3.5만 ha 재배, 수율 20%를 적용함.

가능한 육상작물을 이용한 바이오에너지를 생산함에 따라 국제 곡물시장에서 옥수수, 콩, 밀의 가격이 상승하는 문제점이 드러났다. 특히 2007년에는 곡물가 급등이라는 유래 없는 사태가 발생함에 따라 FAO를 비롯한 국제기구에서는 인류 식량공급차원에서 곡물 에너지화에 대하여 공식적으로 반대하는 입장을 취하고 있다. 우리나라도 최근에 농업부문에서 유채를 이용한 바이오에너지 사업을 시행하고 있지만 육상의 공간적 제약으로 인해 산업화를 통한 발전에는 한계가 있는 것으로 평가 받고 있다.

그러나 해조류는 육상식물처럼 식량문제를 촉발시키거나, 산림자원의 경우처럼 자원을 고갈시키지 않는 자원으로서 자연 친화적이다. 아울러 해조류는 육상바이오매스 자원에 비해 단위면적 대비 생산수율이 높아 경쟁력이 있다. 더욱이 해조류는 목질계 바이오매스에 비하여 성장속도가 월등히 빠르며 또한 구성성분 면에서도 리그닌이 함유되어 있지 않아서 전처리가 용이하다는 장점도 있다.

이러한 해조류의 여러 가지 장점으로 인해 바이오에너지 개발은 농산물 및 목재에서 바다식물인 해조류로 전환되고 있다(<표 3-10> 참조).

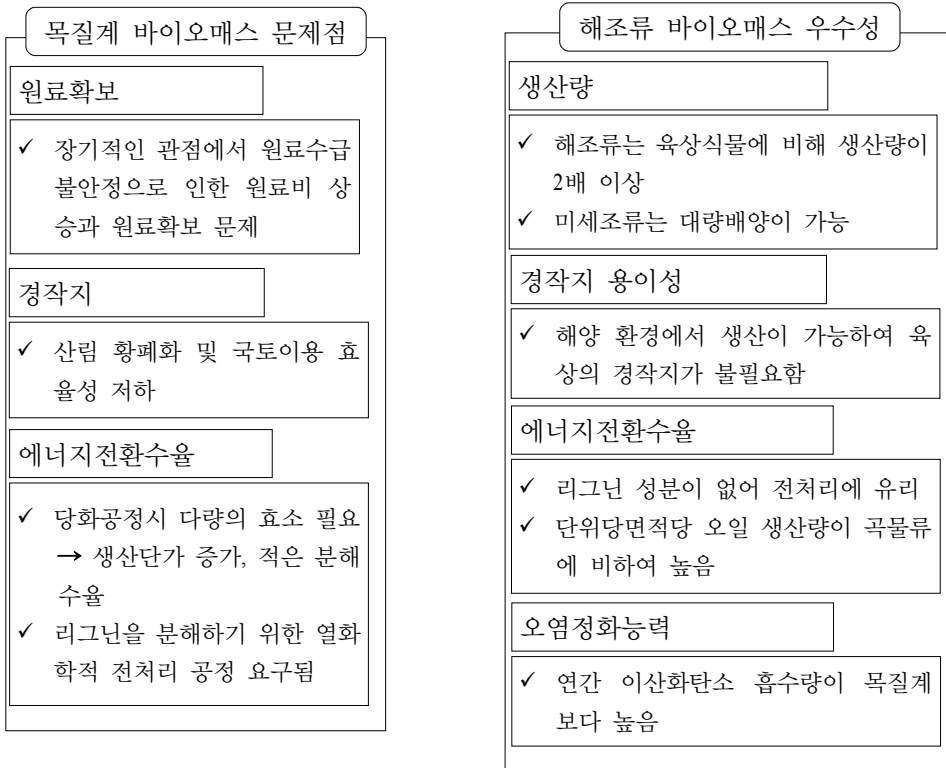
표 3-10 | 바이오에너지의 개발 방향

구분	제1세대	제2세대	제3세대
제조공정	전분→당 분해	셀룰로오스→ 당분해	갈락토오스→ 당 분해
원료	옥수수, 사탕수수, 고구마	목재부산물, 농업부산물	해조류

자료 : 우희철 외, 2009.

게다가 최근 기후변화, 해양오염, 해양생태계 파괴 등 환경에 대한 우려가 증가하면서 해조류 활용에 관한 인식이 제고되고 있다. 예를 들면 해조류가 이산화탄소 흡수원으로 열대우림보다 우월한 효과가 있다는 연구결과가 발표되었다. 아울러 우리나라는 기후변화협약의 교토의정서체제 이후 온실가스 감축

의무를 부여받을 것으로 예상되어, 이에 대비한 탄소흡수원 개발이 필요하다. 그러나 좁은 국토 여건상 육상의 숲 조성을 통한 탄소 흡수는 한계가 있기 때문에 바다 숲 조성이 CDM의 대안으로 주목받고 있다.³⁸⁾ 또한 해조류를 이용한 바다 숲 조성은 동해안과 제주도에서 나타나고 있는 갯녹음 현상을 치유하는 데 성과가 있다고 보고되고 있으며, 해조류가 서식처를 제공함에 따라 어업자원을 회복하는 역할도 수행하고 있다.



【그림 3-5】 목질계와 해조류 바이오매스의 비교

38) CDM은 자사나 타기업의 이산화탄소 배출을 감축한 물량을 증권화해 타 기업이나 외국에 판매할 수 있는 메커니즘을 의미하는데, 현재 우리나라 일부 기업들은 CDM사업을 통해 탄소배출권을 확보하고 수익을 얻고 있다. 현재 유럽에서는 이 권리가 톤당 10유로 수준에서 거래되고 있음.

결론적으로 해조류 바이오 산업화와 저탄소 녹색성장과의 연계성이 매우 높아 정책적 타당성이 매우 크다고 할 수 있다. 이는 해조류라는 새로운 바이오매스를 이용한 바이오산업화가 환경보전과 경제성장을 동시에 이룰 수 있기 때문이다.

해조류는 생산과정에서 CO₂를 흡수하여 일차적으로 CO₂ 저감효과가 있으나 활용하지 않으면 바다에 녹아 고정력이 떨어지고 결국 상당부분이 대기로 기화되어 그 효과가 떨어진다. 그러나 펄프원료로 사용할 경우 펄프원료인 목재사용을 줄임으로써 탄소흡수 효과가 있고, 바이오에너지로 활용할 경우 화석연료 사용을 줄여 탄소배출을 억제하는 효과가 있다.

아울러 전복 등 패류의 먹이로 사용할 경우에는 CO₂가 패각에 잔류하여 탄소고정 효과가 있다. 이와 같이 해조류의 양식을 통한 해조류 바이오 산업화는 CO₂ 흡수 및 배출 억제 그리고 고정의 효과가 있어 저탄소 녹색성장에 가장 적합한 사업으로 분류할 수 있다.

(2) 해조류 펄프 산업

가. 산업화 전망

해조류 펄프 산업화는 우리나라가 세계에서 처음으로 시도하고 있으며 우수한 해조류 생산기술을 토대로 현재 펄프제조 파일럿 공장을 건설하고 있다. 해조류 펄프의 원료 추출 및 제품생산 기술은 국내에서 이미 확립되어 특허를 가지고 있으며, 목재 펄프 보다 친환경적이며 공정이 단순하고 생산비용도 낮기 때문에 세계시장을 선도할 가능성이 높을 것으로 판단된다.

하지만 해조류 바이오산업화가 실현되기 위해서는 선결되어야 할 것이 해조류의 대량 생산시스템의 확립과 해조류 바이오매스 추출 기술의 고도화와 저비용화를 달성하는 것이다. 또한 세계적으로 건강식에 대한 관심이 높아지고 있는 속에서 유럽을 중심으로 해조류의 식용(특히 해조샐러드)이 급격하게

증가하고 있다. 따라서 해조류 바이오매스 산업화는 식용으로 사용하지 않는 미이용 해조류를 대상으로 검토할 필요가 있다.

나. 기술적 측면

해조류 펄프가 산업화를 이루기 위해서는 원료가 되는 홍조류의 안정적인 고 대량 생산과 공급이 전제되어야 한다. 우리나라에서는 우뚝가사리가 해조류 펄프 대상종으로 각광을 받고 있지만 우뚝가사리는 겨울철이면 거의 성장을 멈춰 대량 생산하기에는 어려운 실정이다. 따라서 현재 해조류 펄프는 따뜻한 인도네시아 열대지역에 서식하는 홍조류를 대량 양식하여 국내에 해조류 펄프 원료로 조달할 계획을 수립하고 있다.

금번 인도네시아 출장에서 (주)P사가 우뚝가사리를 양식하고 있는 과정을 점검한 바 있다. 부록에서 언급하고 있는 바와 같이 현재 인도네시아에서 우뚝가사리 양식은 일단 성공하였다고 할 수 있다. 다만 아직까지 대규모 시설에서 양식을 하고 있지 않기 때문에 몇 년간 더 양식을 한 후 검증을 거쳐야 할 필요성이 있었다.

향후 장기적 관점에서는 성장 속도가 빠르고 우리나라 해역에서도 겨울철에도 성장할 수 있는 대형 홍조류의 육종 등을 연구하여 신품종을 개발할 수 있는 여건을 정비하는 것이 필요하다.

다. 정책적 측면

현재 정부에서는 저탄소 녹색성장이 주요 국정 정책으로 자리 잡고 있으며, 최근에는 7개 정부 부처 공동으로 저탄소 에너지 생산·보급을 위한 ‘폐자원 및 바이오매스 에너지화 실행계획’을 수립·발표한 바가 있다.

여기에서 수산 분야의 계획을 보면, ‘연안지역 바다 숲 조성’, ‘해조류바이오매스 양산 및 통합적 활용기반 구축 기술개발’, ‘해양 바이오매스 에너지화 기술개발’ 등이 2020년까지 추진될 예정이다.

여기에 해조류 대량 양식 및 육종, 대량 생산시스템 개발, 바이오에너지

기술 개발 등이 포함되어 있기 때문에 해조류 바이오산업화의 실현 가능성은 높다고 하겠다.

3) 해조류 바이오산업화 한계 분석

(1) 해조류 바이오에너지 산업

해조류를 이용한 바이오에너지 산업화를 이루기 위해 가장 기본이 되는 것은 제품의 원료와 원료를 이용하여 제품을 만들 수 있는 기술이다. 산업 발달 측면에서 보면, 초기 생산단계에서 대규모 산업화 차원의 단계로 넘어가기 위해서는 안정적인 원료 공급과 제품을 만드는 기술에 기초하여 제품의 경쟁력인 경제성과 시장성이 확보되어야 한다. 즉, 최종 제품의 경제성과 시장성은 해조류 바이오에너지 산업화의 필요조건이라 할 수 있다. 따라서 해조류 바이오에너지 산업화를 위해서는 지속적인 원료공급, 선진 기술, 경제성 및 시장성이 확보되어야 한다.

가. 원료공급

우리나라의 해조류 양식은 미역, 김 다시마를 중심으로 발전하였는데, 2008년 우리나라 해조류 생산량은 약 100만 톤에 이른다. 그러나 이 수치는 습중량으로서 80~90%에 달하는 수분함량을 감안할 때 건중량 기준의 생산량은 10~20만 톤에 불과하다. 아울러 해조류 총 생산량 중 전복 먹이용 소비를 제외하고는 대부분 식용으로 활용되고 있다. 이러한 적은 생산량은 주로 해조류 수요의 부족에 기인하므로 새로운 수요가 발생한다면 우리나라 연안에서 양식 가능한 해조류의 양은 지금보다 훨씬 늘어날 것이다.

해조류는 성장성이 우수하고, 가용 재배 면적이 넓으며, 에너지 전환수율

이 높아 새로운 바이오매스로 매우 적합하다고 할 수 있다. 우리나라의 경우 연 4회 수확이 가능하며, 현재 해조류 양식장의 면적이 7만ha 정도이고, 국토 면적 대비 영해 면적이 71.4%이다. 따라서 해조류 양식장으로 이용할 수 있는 면적의 가능성도 매우 높다고 할 수 있다 (<표 3-11> 참조).

더욱이 향후 동남아 국가들과 협력을 통해 우리나라 해조류 양식 기술에 기초하여 현지에서 해조류를 대량 양식한다면 확대 생산도 가능하다. 동남아 국가의 경우 열대성 해조류를 양식할 경우 1년에 6회 정도 수확이 가능하다.

| 표 3-11 | 우리나라 국토지표

구분	면적(km ²)	국토면적 대비 비율(%)
국토면적	99,373	100
산림면적	63,700	64.1
영해면적(12해리)	71,000	71.4
배타적경제수역(200해리)	225,214	226.6
갯벌면적	2,550	2.6

자료 : 우희철, 해조류 바이오매스 확보 및 통합적 활용기술 개발, 바이오에너지 기술 심포지엄, 2009.

나. 선진 기술

해조류 바이오산업화 관련된 기술 수준은 아직 낮은 단계이다. 특히, 해조류 대량 양식에 비하여 바이오에너지 생산에 적합한 해조류의 종류, 전처리/당화 공정, 생산 공정에 대한 기초자료 및 연구결과물이 현재로서는 미흡한 실정이다. 구체적으로 해조류를 이용한 바이오 에탄올 산업화를 위해서는 여러 가지 기술, 즉 원료를 안정적으로 확보하는 기술, 생산단가의 약 20% 정도를 차지하는 전처리 기술의 혁신, 발효균주의 성능 향상, 동시당화발효 기술 개발, 부산물 처리 기술 개발 등이 해결되어야 한다.

다. 경제성 및 시장성

일반적으로 경제성 측면에서 바이오에탄올 추출용 바이오매스의 생산단가는 리터당 0.49 달러 이하가 되어야 한다. 따라서 육상식물을 이용하여 바이오에탄올을 생산할 경우 경제성 확보에 어려움이 있다. 그러나 해조류에는 목질계에 존재하는 리그닌 성분이 없음으로 목질계보다 제조공정이 간단하다. 아울러 담수, 토지 비용 등 원가 높은 자원의 사용이 적으며, 원재료의 절반이상을 당화시킴으로써 리터당 0.2 달러 이하의 생산이 가능할 수 있다. 따라서 해조류 바이오 연료 산업화의 조건인 경제성 문제는 향후 기술개발 정도에 따라 달라질 수 있다. 아울러 현재 바이로 에탄올 시장성도 좋고, 향후 바이오에탄올의 수요도 급증할 것으로 예견되는바, 향후 시장성은 매우 밝다고 할 수 있다. 현재 우리나라에서는 금호석유화학이 2013년까지 약 2,000억 원을 투자하여 여수산업단지에 우뭇가사리를 이용한 바이오에탄올 공장을 설립할 계획이다.

(2) 해조류 펄프 산업

가. 생산기술

해조류 펄프의 대상 품종으로서는 섬유질이 많아야 하는데 홍조류의 우뭇가사리가 가장 적정한 것으로 알려져 있다. 홍조류에서 섬유를 추출하고 펄프를 제조할 수 있는 기술은 어렵지 않으며 국내의 원천 기술이 확립되어 있다. 따라서 해조류 펄프가 산업화되기 위한 생산기술은 현재의 홍조류의 섬유 추출과 펄프 제조 시 단위 당 비용을 절감시킬 수 있는 첨단 기술의 개발이 요구된다고 할 수 있다.

나. 생산규모

<표 3-12>는 해조류 펄프의 산업화 조건을 검토한 것이다. 우선 해조류의

펄프를 생산하기 위해서는 원료가 되는 홍조류의 생산이 이뤄져야 한다. 1ha당 홍조류는 원조 기준으로 200톤 생산되며 여기에서 건조 중량으로 환산하면 약 66톤을 생산하게 된다.

생산규모는 건조 중량 1,000톤의 홍조류를 생산하기 위해서는 약 15ha의 면적이 필요하며, 5,000톤의 경우 75ha가 필요하다. 그리고 50,000톤의 생산하기 위해서는 750ha의 양식면적이 필요한데 이 정도의 규모이면 목재 펄프와 가격 경쟁이 할 수 있는 것으로 추산된다.

| 표 3-12 | 해조류 펄프 산업화 검토

	생산규모(건조)	생산 상품	제품가격(1톤 당)	양식면적
1단계	1,000톤	펄프 제조	10,000달러	15ha
2단계	5,000톤	기능성 화장품 원료, 전기·전자 부품 소재 등	10,000달러	75ha
3단계	10,000~20,000톤	권연지, 트레싱페이퍼, 고밀도지 등	4,000~5,000달러 2,000~3,000달러 1,000~2,000달러	150~300ha
4단계	50,000톤	일반 펄프 상품	1,000달러 미만	750ha 목재펄프와 경쟁 가능

주 : 1ha당 홍조류 생산량은 수분 포함 200톤, 건조 66톤 정도임
자료 : (주)P사 내부자료

다. 원료 가격

해조류 원료 생산이 5,000톤일 경우 해조류 펄프의 톤당 가격은 10,000달러로 비싸기 때문에 주로 기능성 화장품 원료, 전기·전자 부품 등 특수한 소재로 이용된다. 그리고 원료 생산이 10,000~20,000톤으로 늘어나게 되면 펄프 톤당 가격은 2,000~5,000달러로 떨어지며 이용 용도는 권연지, 트레싱페이퍼, 고밀도지 등 고급 제지로 이용된다. 또한 원료 생산이 50,000톤 이상이 되면 펄프 가격은 1,000달러/톤으로 하락하게 되어 약 7000달러/톤이면 목재펄프의 가격과 비슷하고 이용 용도도 비슷하게 되는 것으로 파악되었다.

따라서 해조류 펄프가 목재 펄프와 비교하여 시장 경쟁력(가격, 이용품)을 가지기 위해서는 적어도 50,000톤 이상의 생산규모가 실현되어야지만 가능한 것으로 나타났다.

제 4 장 해조류 바이오산업화 전략 및 정책방향

1. 국가 및 중앙정부 관련 계획

1) 녹색성장 국가전략 및 5개년 계획

대통령직속기관인 녹색성장위원회에는 2009년 9월 녹색성장 국가전략 및 5개년 계획을 확정 발표하였다. 동 계획 수립근거는 2009년 11월 국회를 통과하고 2010년 4월 시행예정인 “저탄소녹색성장기본법(안)”을 근거로 하였다.

동 전략의 의의는 ① 저탄소 녹색성장과 관련한 최상위 국가계획, ② 저탄소 녹색성장을 위한 국가 정책의 기본방향 제시, ③ 연도별 달성목표, 투자계획, 수행주체 등 실행방안 구체화 그리고 ④ 범부처, 시민단체, 민간전문가 등 국민참여형 국가계획이라는 것이다.

동 전략의 비전체계는 <그림 4-1>과 같이 “2020년까지 세계 7대, 2050년까지 세계 5대 녹색강국 진입”을 비전으로 제시하고 있다. 또한 3대 전략과 10대 정책방향을 제시하고 있는데, 동 사업과 연계해 볼 때 3대 전략중 기후변화 적응 및 에너지 자립과 신성장동력 확충과 연계된다.

또한 10대 정책방향중에서는 효율적인 온실가스 감축, 탈석유·에너지자립 강화, 녹색기술개발 및 성장 동력화, 산업의 녹색화 및 녹색산업 육성과 동 사업이 연계된다.

효율적인 온실가스 감축 정책방향중에는 국가 중장기 온실가스 감축목표 설정 및 관리, 산림 등의 탄소 흡수원 확대, 남북 그린협력 강화 등이 있는데, 이중 탄소 흡수원 확대와 밀접한 관련이 있다.



자료 : 녹색성장위원회, 전제서, p.53.

그림 4-1 | 저탄소 녹색성장 국가전략 비전 체계

탈석유·에너지자립 강화 정책에는 에너지효율화 기술혁신 및 부문별 에너지 수요관리, 신재생에너지 산업화 촉진 및 청정에너지 보급 확대, 원자력 신뢰성 제고 및 원전비중 확대, 자원개발 전문기업 육성 등이 있는데, 이중 신재생에너지 산업화 촉진 및 청정에너지 보급 확대와 자원개발 전문기업 육성이 이에 해당된다 하겠다.

녹색기술개발 및 성장 동력화 정책방향은 녹색기술 기술력 제고 및 사업화 촉진(녹색기술 세계시장 점유율 확대), 녹색 R&D 투자의 전략적 확대, 녹색기술개발 체계 강화 및 녹색기술이전·사업화 촉진, 녹색기술산업 인프라 구축이 있고, 동 사업은 이에 모두 해당된다.

산업의 녹색화 및 녹색산업 육성 정책으로는 자원순환형 경제·산업구조

구축, 저탄소 고효율(Doing more with less) 산업구조 구축, 녹색중소기업 육성, 친환경 녹색클러스터 육성 및 그린 산업단지 확대 등이 있고, 이중 특히 녹색 클러스터 및 녹색중소기업 육성과 관련이 깊다 하겠다.

그러나 구체적으로 해조류 바이오산업화를 위한 기술개발, 산업화 지원 등이 누락되어 있어 안타깝다.

2) 농림수산식품부 저탄소 녹색성장 정책

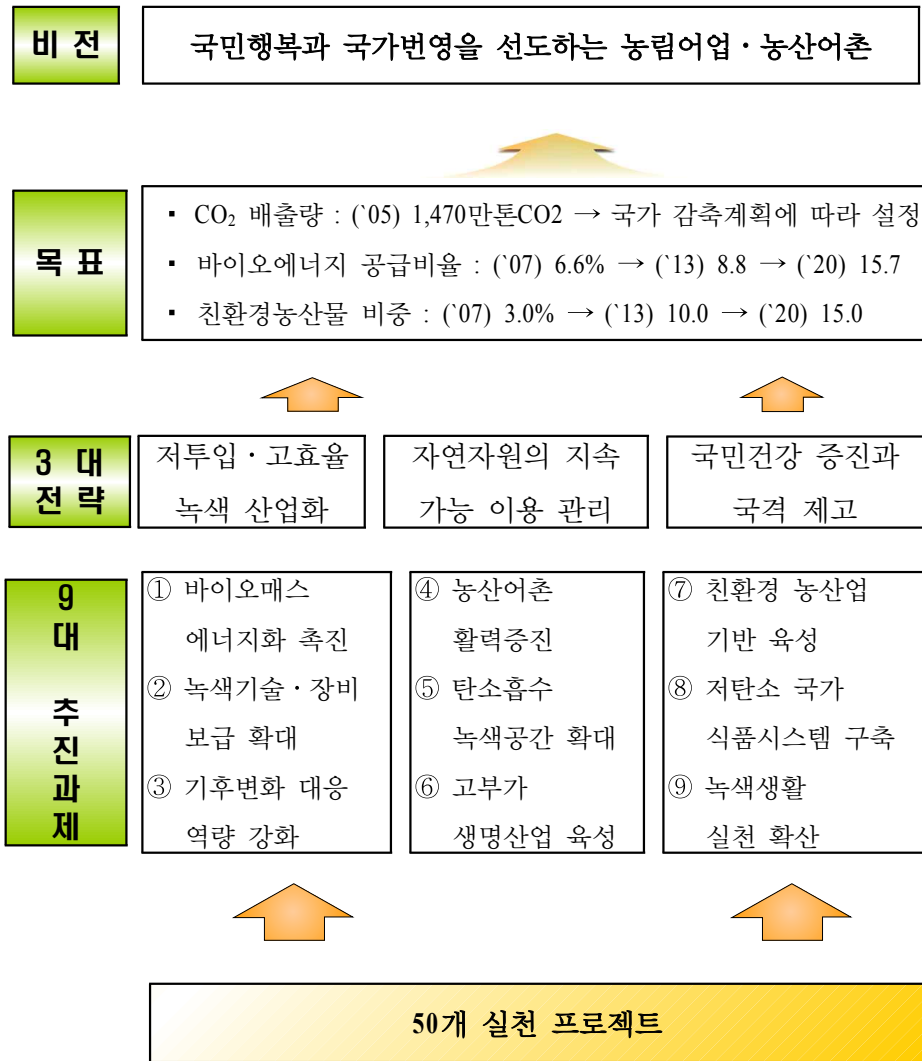
농림수산식품부도 국가의 저탄소 녹색성장 국가전략 수립과 연계하여 저탄소 녹색성장 정책을 수립중에 있다. 2009년 11월 현재의 계획을 중심으로 녹색성장 정책을 보고자 한다.

농림수산식품부는 저탄소 녹색성장 정책의 비전을 “국민행복과 국가변영을 선도하는 농림어업·농산어촌”으로 하였고, 온실가스 배출량은 국가 계획과 연계해서 설정하는 것으로 미뤄졌고, 바이오에너지 공급비율은 2020년까지 15.7%, 친환경농산물 비중은 15.0%로 올린다는 목표를 설정하였다(<그림 4-2> 참조).

전략으로는 저투입·고효율 녹색 산업화, 자연자원의 지속가능 이용·관리 그리고 국민건강 증진과 국격 제고로 하였다. 이중 동 사업과 연계가 있는 전략은 저투입 고효율 녹색산업화와 자연자원의 지속가능한 이용·관리에 연계된다.

한편 각 전략을 추진하기 위한 9대 추진과제를 제시하고 있는데 이중 바이오매스 에너지화, 녹색기술·장비 보급, 탄소흡수 녹색공간 확대 등 3대 추진과제와 동 사업이 연계된다고 할 수 있다.

그러나 동 계획에서도 국가전략에서와 마찬가지로 동 사업에 대한 구체성이 없다는 것이 동 사업의 중요성을 볼 때 아쉬움이 남는다.



자료 : 농림수산식품부, 저탄소 녹색성장 추진전략, 2009. 11.

| 그림 4-2 | 농림수산식품부 저탄소 녹색성장 추진대책의 비전과 목표

2. 비전 및 목표

1) 비전

해조류는 21세기 새로운 바이오산업의 원천으로 부상하고 있다. 특히 바이오에너지 분야에서는 그 필요성이 더욱 절실하다. 물론 현재의 기술수준이라든가 산업화의 여건은 성숙되어 있지 않고, 세계적으로도 아직 확실한 검증이 이뤄지지 않았다. 하지만 우리나라가 가지고 있는 해조류 공급능력을 최대한 활용하고 바이오 산업화를 위한 기술수준이 향상된다면 세계적인 해조류 바이오산업 국가로 발돋움 할 수 있을 것이다.

이러한 가능성을 전제로 본 연구에서는 우리나라 해조류 바이오산업화의 비전을 “세계 제1의 환경 친화적이고 경쟁력 있는 해조류 바이오산업 국가”로 설정하였다.

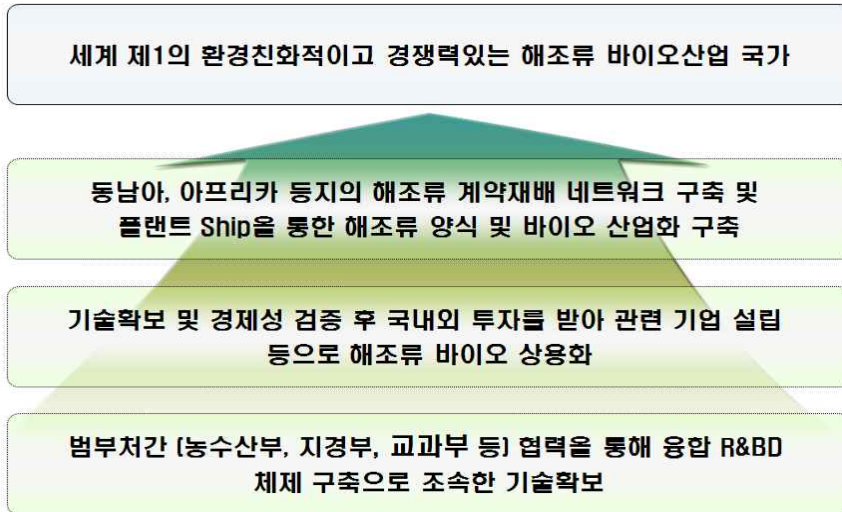
이러한 비전을 실현시키기 위해서는 융합 R&D 구축을 통한 기술개발, 기술 및 경제성 검증을 통한 상용화 Pilot, 해조류 대량양식 및 바이오산업화 구축 등의 추진단계를 거쳐야 할 것이다. 추진단계별 비전을 제시하면 <그림 4-3>과 같다.

2) 목표

해조류 바이오 산업화의 목표는 다음과 같다.

첫째, 해조류 바이오에너지로 일정비율 화석연료를 대체한다. 현재 국내 연간 소비량은 약 95억 리터이다. 2009년 정부에서는 바이오에너지 대체률을 6.7%로 정한 바 있다. 이는 바이오에탄올 약 6.4억 리터의 수요가 있다는 것이다. 이미 살펴본 바와 같이 우리나라의 바이오에탄올 생산을 거의 전무하고, 대부분 외국에서 곡물 에탄올을 수입하고 있다. 본 사업은 국내 휘발유 대체 바이오 에탄올 소비량의 일정 비율을 해조류 바이오 에탄올로 대체한다는 것

이다.



| 그림 4-3 | 해조류 바이오산업화 추진 단계별비전

둘째, 이산화탄소 흡수량을 증대시키고 배출량을 감축하는 것이다. 해조류는 육상식물보다 탄소흡수력이 뛰어나다. 해조류 바이오 에탄올을 생산하기 위해서는 대량 해조류 양식이 이뤄져야 한다. 해조류 양식과정에서 이산화탄소를 흡수하는 효과가 있고, 바이오 에탄올로 화석연료를 대체할 경우 이산화탄소 배출량을 억제할 수 있다.

셋째, 해조류를 이용한 바이오산업을 활성화하고 세계화한다는 것이다. 세계는 지금 바이오산업화를 새로운 성장동력사업으로 적극 추진하고 있다. 그러나 전술한 바와 같이 곡물을 이용한 바이오산업은 한계가 있다. 선진국은 해조류에 대해서도 많은 관심과 기술개발 투자를 하고 있으나 우리나라를 비롯한 아시아 국가에 비하여 실질적인 해조류 생산과 이용도가 낮다. 반면 우리나라는 오래전부터 해조류 양식을 하여왔고, 세계적 수준의 기술을 축적한 바 있

다. 또한 바이오산업화를 위한 기술수준도 상당한 수준에 있기 때문에 정부 정책으로 적극 추진하여 세계적인 바이오산업을 활성화한다는 것이다.

넷째, 해조류 바이오산업에 관한 원천기술을 축적한다. 해조류 바이오산업의 원천기술은 해조류 양식기술, 원료 처리기술, 제품생산기술 등으로 구분된다. 양식기술과 일부 산업화 기술은 세계적 수준에 도달해 있다. 하지만 아직까지 세계를 선도할 수 있는 원천기술을 확보한 것은 아니다. 국가적으로 산업화를 위한 집중적인 기술개발을 통해 원천기술을 축적할 필요가 있다.

다섯째, 해조류 대량 생산시스템을 개발하여 세계를 주도한다. 해조류 바이오산업화의 가장 첫 관문은 저가 양질의 해조류를 대량으로 생산하는 것이다. 지금까지의 양식기술은 식용생산이 주가 되어 왔다. 바이오산업화를 위한 해조류 생산은 또 다른 기술이 요구된다. 국내뿐만 아니라 세계의 양식 적지에서 대량 양식할 수 있는 시스템을 개발하여 세계를 주도할 필요가 있는 것이다.

본 연구의 대상인 해조류 에너지와 펄프의 산업화를 위한 정략적 목표는 국내 관련 산업의 소비량을 중심으로 산정하였다. 우선 바이오 에탄올은 국내 휘발유 소비량 95억 리터 중 1%, 5% 및 10%를 해조류 바이오 에탄올로 대체할 경우의 바이오 에탄올 생산량, 해조류 양식생산량 및 양식면적을 추정하였다. 해조류 에탄올 수율은 해조류 1톤당 약 25리터로 하였고, 해조류 양식생산량은 우리나라 미역 및 다시마의 ha당 연평균 생산량 약 34톤을 기준으로 추정하였다. 그 결과 <표 4-1>에서 바와 같이 총 휘발유 소비량 1%를 대체할 경우 에탄올 생산량은 9,500만 리터 생산을 위하여 390만 해조류가 필요하고 이를 생산하기 위해서는 약 116천 ha의 양식장이 필요하였다. 5%를 대체할 경우에는 4.75억 리터의 에탄올 생산을 위하여 1,900만 톤의 해조류가 소요되고 이를 위해서는 550천 ha의 양식장이 필요할 것으로 추정되었다. 10% 대체 시에는 1%의 10배 규모로서 양식장이 1,160천 ha가 있어야 할 것으로 추정되었다.

| 표 4-1 | 해조류 에탄올 생산 목표 추정

단위 : 억 리터, 만 M/T, 천 ha, %

구 분		소비량	양식량 (습중량)	양식면적
연간 국내 휘발유 소비량		95		
해조류 에탄올 공급	총소비 1%	0.95	390	116
	총소비 5%	4.75	1,900	550
	총소비 10%	9.5	3,800	1,160

주 : 현재 국내 1ha 당 해조류 생산량(습중량) 34톤, 해조류 1톤당 에탄올 25리터 생산

그러나 <표 4-2>에서 보는 바와 같이 현재 우리나라 연안의 잠재 해조류 양식가능면적은 약 116천 ha이고, 미개발 면적은 36천 ha에 불과하다. 다만 영해 면적이 710만 ha이기 때문에 외해를로 어장을 확대개발하면 불가능하지는 않지만, 아직까지는 그러한 기술이 개발되어 있지 않다.

| 표 4-2 | 우리나라 해조류 잠재 생산면적

양식면적('08년) (a)	적지면적 (b)	개발가능면적 (b-a)	영해면적	EEZ면적
79,504ha	115,909ha	36,405ha	7,100,000ha	22,521,400ha

주 : 적지면적은 연안어장기본조사(1988) 자료 인용하였음.

해조류 펄프 생산 목표는 국내 연간 펄프 소비량의 5%와 10%를 해조류 바이오 펄프로 대체하여 국내 자급률을 현재 17%에서 20% 이상으로 올리는 것으로 하였다.

| 표 4-3 | 해조류 펄프 생산 목표 추정

단위 : 만 톤, %, 천 M/T, ha

구 분		합 계	목질 펄프	해조류 펄프	자급률	양식량 (건조중량)	양식 면적
연간 국내 펄프 소비량		300	300	-			
국내 펄프 생산량		50	50	-	17		
해조류 펄프 공급	총소비 5%	66	50	16	22	812	12,300
	총소비 10%	82	50	32	27	1,624	24,600

주 : 인도네시아 등 동남아 ha 당 해조류 양식 생산량(건조 중량) 66톤, 해조류 톤당 펄프 20% 생산

현재 해조류 펄프는 우뚝가사리에서 추출하는 기술이 개발되어 산업화 초기단계에 있기 때문에 대상 해조류는 동 품종으로 가정하여 추정하였다. 따라서 우뚝가사리 생산을 인도네시아 등 열대지방에서 양식하는 것을 전제로 목표량을 추정한다. 현재 인도네시아에서 양식을 시험하고 있는데, 거의 성공단계에 와 있음을 이번 인도네시아 현지출장에서 확인한 바 있다.

동 지방에서 최대 연간 양식 가능량은 건중량으로 ha당 66톤이고, 해조류 톤당 펄프 생산량을 20%로 가정하여 추정하였다. 따라서 국내 펄프 소비량의 5%를 해조류 펄프로 대체할 경우 해조류 펄프 생산량은 16만 톤이고 이를 생산하기 위한 해조류는 건중량을 812천 톤이며 양식면적은 12,300ha이다. 10%를 대체할 경우에는 32만 톤의 해조류 펄프 생산을 위하여 1,624천 톤의 해조류 생산과 이를 위한 양식장 24,600ha가 필요할 것으로 추정되었다. 해조류 펄프 생산 업계에 따르면 해조류 생산만 충분하다면 해조류 펄프공급은 큰 문제가 없다고 한다. 현재 인도네시아에서는 몇 십만 ha의 양식장도 임대해 줄 수 있다는 입장이므로 해조류 펄프 생산목표는 더 높게 책정해도 무방할 것으로 사료된다. 다만 본 연구에서는 아직 산업화 초기단계이기 때문에 보수적으로 목표치를 책정하였고, 중장기적으로 확대해 나가는 전략이 필요하다는 것을 부연하고자 한다.

이상과 같이 해조류 바이오 산업화를 위한 생산목표를 추정한 결과 대량의 해조류 바이오매스를 확보하기 위해서는 국내뿐 만 아니라 해외양식어장 개발도 적극 검토할 필요가 있다. 먼저 국내에서는 새로운 양식장 및 대상 품종의 개발을 추진할 수 있도록 제도개선이 필요하다. 기존의 양식 품종 중에서 당함량이 높아 바이오매스로 활용도가 높은 모자반, 미역, 다시마 등을 대량 양식하는 것도 필요하다.³⁹⁾ 또한 연안 지역에 양식면적이 충분하지 않으므로 외해에서 대량 양식할 수 있는 기술 개발이 필요하다. 단, 이를 추진할 경우, 태풍 등의 영향에 대한 대비책 마련이 필요하고 바이오매스 채취와 동시에 현장에서 전처리 가공이 이뤄질 수 있는 해상 플랜트선의 개발도 수반되어야 한다. 이와 아울러 해조류 대량 생산을 위해서는 해양생물, 화학, 물리, 해양공학 등의 첨단 분야의 기술 개발도 동시에 수행될 필요가 있다.

한편 국내에서 해조류 바이오매스를 대량 공급하기 힘들기 때문에 연중 해조류 생산이 가능한 열대지역 국가와 협력하여 따뜻한 수온에서 양식이 가능하고 성장률이 높은 모자반류와 꼬시래기류와 같은 품종을 대량 양식할 수 있는 시스템도 구축해갈 필요가 있다.

이상에서 제시한 해조류 바이오 산업화 생산목표치 추정은 추정근거는 아직은 미약하여 정확성을 떨어짐을 밝혀둔다. 다만 이러한 목표치를 추정한 것은 해조류 바이오 산업화를 위한 전략을 수립하기 방향을 설정하기 위한 것이다. 즉 기술개발, 산업화 전략, 정책적 지원 및 업계의 역할 등을 정하기 위한 대략적인 가이드라인이라 할 수 있다.

39) 국립수산물과학원에 따르면 현재 양식되고 있는 해조류 중 당함량이 높아 에탄올 수율이 높은 해조류는 모자반(5.2%), 미역(4.8%), 다시마(3.6%)인 것으로 알려져 있음.

3. 추진전략

1) 기본방향

본 연구에서는 해조류 바이오산업의 조기 산업화를 위하여 4가지의 기본 방향을 설정하였다.

첫째, 해조류를 이용한 바이오산업화를 국가정책사업화 한다는 것이다. 해조류 바이오산업은 단순한 업계의 경제적 목적만이 있는 것이 아니다. 크게는 전 지구적인 아젠다인 기후변화에 대응하는 것이고, 국가적으로는 새로운 동력산업으로서 개발하고 발전시켜야 하며, 에너지 안보에 기여하는 산업이기 때문이다.

둘째, 해조류 바이오산업화를 위한 기술개발과 해조류 대량양식시스템을 동시에 구축하여 산업화한다. 해조류 바이오 산업화를 위한 전제조건은 대량의 해조류 생산 및 해조를 원료로 한 대량 저가의 에탄올 및 펄프 등을 생산하는 기술이 필수적이다. 이러한 기술은 아직 산업화를 위해서는 미진한 상태임을 이미 검토하였다. 다만 이러한 전제조건을 해결을 각각 수행하는 것보다 동시에 수행함으로써 조기 산업화를 추구하여 선제적으로 대응하여야 한다는 것이다.

셋째, 정부, 지자체, 대학 연구소 및 기업이 참여하는 국가 Pilot사업으로 추진한다. 동 사업은 누차 강조하듯이 초기단계이고, 업계만의 노력으로는 해결하기 어려운 것이 현실이다. 따라서 업계뿐만 아니라 정부와 지자체 그리고 대학 연구소가 참여하는 Pilot 사업으로 우선 추진하여 산업화를 기초를 다져야 할 것으로 판단된다. 일부 국내기업들은 관심은 많으나 경제성이 담보되지 않아 쉽사리 참여하는 것을 꺼리고 있다. 이러한 우려를 불식시키고 업계가 적극적으로 참여토록 하기 위하여 정부 주도의 시범사업이 필요한 것이다.

넷째는 단계별로 추진하여 시행착오를 줄이고 세계 선도산업으로 발전한

다는 것이다. 즉 제1단계(2010-2013년) 해조류 바이오산업 기반구축 단계, 제2단계(2014-2016년) 해조류 상용화 단계, 제3단계(2017-2020년) 해조류 바이오산업화 단계로 구분하여 향후 10년간 집중 투자하는 것이다.

2) 주요 추진전략

본 연구에서는 전기한 3단계 추진단계별 비전과 목표 및 기본방향에 따라 다음과 같이 5가지의 추진전략을 수립하고자 한다.

첫째, Pilot를 통한 상용화를 검증한다. 전술한 바와 같이 업계, 정부(중앙 정부와 지자체)와 대학 연구소 공동 Pilot 사업단을 통해 상용화를 검증하는 것이다.

둘째, 범부처 융합 R&D체제를 구축하여 실현한다. 동 사업의 실현을 위해서는 무엇보다도 R&D가 우선되어야 한다. 이는 산업화를 위해서도 필요할 뿐만 아니라 세계로 나아가기 위한 특허기술 및 노하우가 축적되어야 하기 때문이다. 그런데 동 사업은 에탄올 및 펄프 생산기술만으로는 불가능한 사업이다. 즉 원료인 해조류를 양식하는 것부터 에탄올과 펄프의 생산에 이르기까지 다양한 분야와 부처가 연관되어 있다. 따라서 녹색성장위원회, 농림수산식품부, 지식경제부, 교육과학부, 환경부, 국토해양부 등 관련부처가 범부처 융합 R&D체제를 구축하여 추진하여야 할 것이다.

셋째, 산업화를 기업을 중점 육성하여 산업화를 조기 달성한다. 산업화는 모든 기업이 참여한다고 가능한 것이 아니다. 선택과 집중을 통한 조기 산업화가 요구된다. 따라서 정부는 가장 실현가능성이 큰 기업을 대상으로 범부처적으로 집중 투자 육성할 필요가 있다.

넷째, 특정지역 클러스터를 통해 통합체제로 실현한다. 동 사업은 연구개발, 양식생산, 제품생산, 판매 및 수출 등이 집약적이고 통합적으로 이루어질 때 시너지 효과가 크다 할 것이다, 따라서 가장 적절한 지역을 선정하여 클러

스터화하여 추진하는 것이 효과적일 것이다.

다섯째, 국가 저탄소 녹색성장 정책 일환으로 추진한다. 해조류 바이오산업은 단순히 에탄올과 펄프의 생산업으로 간주할 수 없다. 동 산업화의 기저에는 저탄소 녹색성장이라는 새로운 정책수요에 의하여 발굴된 사업이다. 따라서 국가적으로 저탄소 녹색성장 정책의 일환으로 추진되어야 할 것이다. 왜냐하면 기존의 정책으로 추진할 경우 특정 기업 및 지역에 대한 집중 지원의 한계, 세제 지원의 한계 등 많은 문제점이 발생할 수 있기 때문이다.

4. 정책방향

1) 해조류 대량생산

해조류는 비식량계 바이오매스로 식량수급 불균형 문제를 야기하지 않으며, 육상식물에 비해 단일면적 생산수율이 높은 친환경적 식물로서 제3세대 바이오매스로 부각되고 있다. 우리나라는 해조류 양식기술 및 생산량 측면에서 세계 4위 수준의 인프라를 보유하고 있어 국제경쟁력에서 우위에 있는 것으로 평가받고 있다. 하지만 해조류 바이오매스 산업화 측면에서는 기술 수준이 실험연구 수준에 있어 실용화 단계에 이르지 못하고 있는 것이 현실이다.

해조류 바이오매스를 이용하여 산업화를 달성하기 위해서는 우선적으로 바이오매스 대상이 되는 수율이 높은 해조류를 개발하고 이의 대량 생산시스템이 정비되어야 할 것이다. 해조류 대량 생산을 위한 기본방향은 다음과 같이 정하였다.

첫째, 산업화 대상 해조류의 성장 및 수율을 높일 수 있도록 선발 육종 기술을 개발해 나간다. 특히 우리나라 수역의 사계절 수온을 극복할 수 있는 경제성 높은 산업화 해조류의 육종 개발이 필요하다.

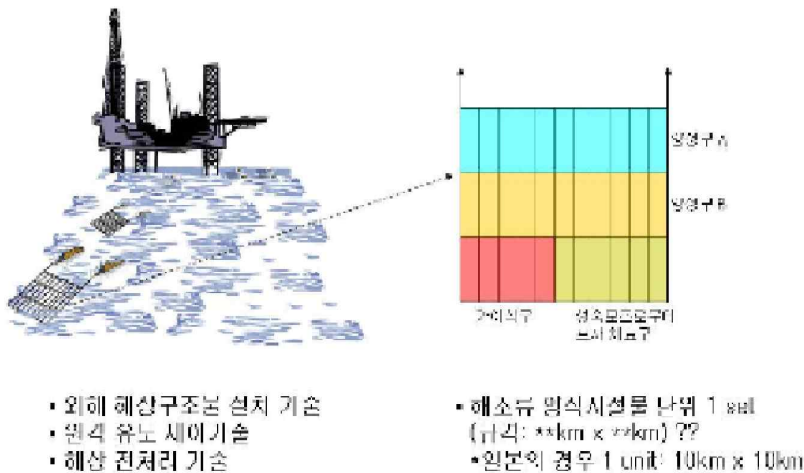
둘째, 국내 연안의 해조류 양식 가능량을 검토하고 대량 양식 기법을 확립

하고 외해로 양식어장의 확장 가능성을 분석한다. 또한 대량 양식된 해조류의 회수를 자동화할 수 있는 시스템을 확립한다.

셋째, 해조류 양식 방식을 기존의 노동집약적이고 전통적인 2D 양식에서 연근해 및 외해에서도 가능하도록 부류식 등의 3D 양식시스템으로 전환할 수 있는 기술 개발을 실시한다.

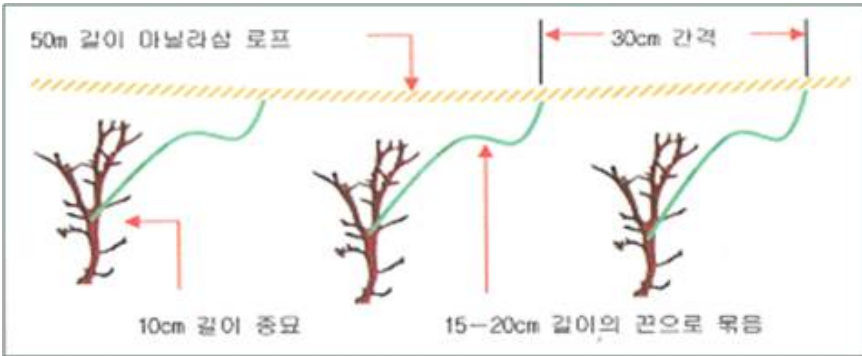
넷째, 해조류 식용과 분리하여 바이오산업용으로 해조류 양식장을 새롭게 개발한다. 즉 기존의 연안에는 식용의 해조류를 양식해 나감으로써 종래의 해조류 수급을 안정시키고, 이와 별도로 바이오산업용 해조류를 외해에서 생산되도록 적지 조사, 부류식 양식시스템 개발 등을 통해 적지 양식장을 개발해 나간다.

마지막으로 산업화 해조류의 성장률이 높은 양식 적지로 알려져 있는 동남아, 아프리카 등 해외의 해조류 양식어장을 적극적으로 개발, 확대해 나간다.



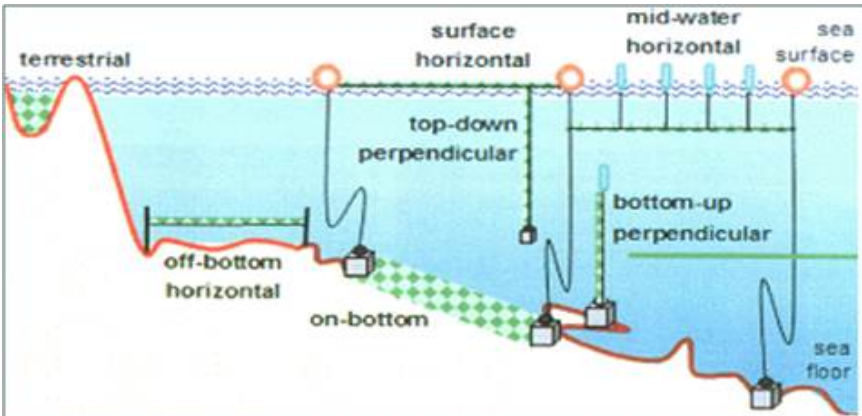
자료 : 국립수산물과학원 내부자료.

| 그림 4-4 | 외해 해조류 대량양식 개념도



자료 : 국립수산물학원 내부자료.

| 그림 4-5 | 2D 해조류 양식 시스템



자료 : 국립수산물학원 내부자료.

| 그림 4-6 | 3D 해조류 양식 시스템

2) 산업화 기술개발

해조류를 이용한 바이오에너지 기술은 우뚝가사리 등을 이용해 바이오 에탄올, 바이오 가스 등을 생산하는 제반 핵심 기술을 의미한다. 1세대 기술은 기존의 사탕수수, 옥수수 등의 전분을 당으로 분해하는 기술이고, 2세대 기술은 목재 부산물 및 농업 부산물의 셀룰로오스를 당으로 분해하는 기술이다. 그

러나 3세대 바이오에너지 기술은 해조류의 갈락토오스를 당으로 분해하여 에탄올 및 가스를 생산하는 기술로서 상당히 진화된 기술이다.

해조류를 이용한 바이오에너지 기술개발은 크게 해조류의 대량 생산 기술 개발과 해조류 통합 활용 기술 개발로 나누어 볼 수 있다. 해조류 대량생산 기술로는 우수종 선발 및 개량, 산업용 대량 양식 시스템 구축 등이 있고, 해조류 통합 활용 기술로는 국내 수송용 연료 대체 기술, 바이오리파이너리 원천기술 등이 있다.



자료 : 우희철, 전게서.

| 그림 4-7 | 해조류 녹색성장 산업화 기술개발 로드맵

2020년까지 세 단계로의 로드맵을 제시하면 다음과 같다.⁴⁰⁾ 1단계인 2012년은 기반 구축 단계로 핵심기술을 확보해야 한다. 이때 해조류 신품종 개발, 원료의 DB구축 및 표준화, 원천기술 개발이 이뤄져야 한다. 2단계인 2013~2016년은 부문별로 개발된 기술을 통합하여 경제성을 확보하는 단계이다. 해조류 대량생산 기술의 경제성이 확보되고 에너지 또는 유용성분 부산물을 활용한 통합공정이 개발되어야 한다. 3단계인 2017~2020년은 실용성을 입증하고 상용화하는 단계이다.

구체적으로 바이오매스용 해조류 대량생산기술 개발에는 다음을 들 수 있다.

- 해조류 양식 원천기술 개발
 - 바이오매스용 해조류의 생태학적 기초연구
 - 해조류 종묘생산, 양성기술 개발 및 품종연구
- 바이오매스 생산 자동화 기술개발
 - 해양환경 및 기상정보의 DB화 연구
 - 내파성 해조류 양식 및 양식 원격조정 기술개발

해조류 바이오에너지 생산기술 개발에는 다음을 들 수 있다.

- 바이오에탄올 및 바이오가스 생산 원천기술 개발
 - 원료의 하이브리드 전처리 요소기술개발
 - 해조류 가스화 미생물 발굴 및 가스화 정제기술 개발
- 바이오연료 실용화 기술개발
 - 원료 전처리장치 및 에너지 절감 당화장치 개발
 - 바이오에탄올 증류 및 정제장치 개발
 - 바이오가스 발생 및 정제장치 개발

40) 우희철 외, 바이오매스용 해조류 대량양식 및 바이오에너지 생산기술개발 로드맵(타당성조사) 연구, 농림수산물식품부, 2009.

바이오에너지 부산물의 산업적 이용기술 개발에는 다음을 들 수 있다.

- 산업용 활성소재 개발 및 유용금속 회수기술 개발
 - 농작물 성장촉진제, 기능성 화장품, 사료 소재 등 개발
 - 우라늄 추출 및 정제 및 산업적 생산 장치 개발

산·관·학의 협력으로 개발 기술이 조기에 상용화되기 위해서는 다음 사항이 요청된다.

- 에너지 전문회사와 연구개발 협력 체제 구축
 - 대형 국책과제 발굴 및 협동연구개발 추진
 - 해조류 바이오매스 대량생산 및 대상종의 발굴
 - 바이오에너지 산업적 생산시스템 개발
- 해조류 생산 지자체 등과 실용화 협력체제 구축
 - 지자체는 연구개발 해역 제공, 중앙정부는 해조류 대량생산 실용화 기술 지원
 - 바이오연료 현장적용시험 추진
- 해조류 바이오에너지 연구개발 인프라 구축
 - 해조류 바이오에너지에 대한 대국민 홍보
 - 해조류 바이오에너지 인력양성 기술지원

3) 산업화 체제 구축

해조류 바이오 산업화를 위한 체제 구축을 위해서는 우선 녹색성장위원회 등 범부처를 관장할 수 있는 기관에 해조류 바이오산업화 추진단을 구성하여 운영할 필요가 있다. 동 추진단에서는 동 산업화를 위한 부처간 협력 및 지원, 산업화 로드맵 작성 및 추진 등의 업무를 관장한다.

둘째는 국내 및 해외 해조류 바이오산업용 해조류 대량 양식을 할 수 있는 법과 제도를 개선할 필요가 있다. 국내에서는 기존의 양식어업 면

허기준만으로는 대규모 양식과 외해에서의 해조류 양식면허가 불가능하다. 양식면적 상한제 폐지, 대기업의 양식업 참여 제한 폐지, 외해 해조류 양식면허 기준 마련 등이 이뤄져야 한다.

한편 해외에서 양식할 경우 국내법으로 지원하거나 해외 양식 해조류를 국내 반입시의 조건 등을 완화하는 제도 개선도 있어야 할 것이다.

셋째는 동 제품을 생산하는 기업에 대한 세제 지원 및 자금 지원 등에 관한 별도의 제도개선도 있어야 할 것이다.

4) 지역 클러스터화

전술한 바와 같이, 바이오매스는 에너지 작물, 사료 등 농산물 부산물, 수생식물, 동물 분뇨 등의 많은 종류가 있으며, 특정 바이오매스로부터 다양한 물질이 추출되어 다양하게 이용할 수 있다. 예를 들어, 해조류를 원료로 생물 의약, 건강식품, 해조류 펄프 등을 추출할 수 있고 여기에서 발생하는 부산물(우무)로서는 바이오에너지의 원료로 이용할 수 있다. 그리고 해조류는 수온, 해류 특성에 따라 지역별 해역별로 서식하는 종류가 다르다. 또한 정부가 발표한 ‘폐자원 및 바이오매스 에너지화 실행계획’에 따르면 다양한 기술개발이 이뤄질 전망이다.

이러한 점을 고려할 때 해조류 바이오산업이 체계적으로 짧은 기간 내에 육성되어 세계적인 경쟁력을 갖추기 위해서는 관련 산업과 기술지원 등이 동시에 이뤄질 수 있는 클러스터화⁴¹⁾의 형태로 나가는 것이 바람직할 것이다. 특히, 해조류에는 다양한 유용 물질이 함유되어 있으므로 해조류 대량 생산, 해조류 바이오매스 연구센터, 해조류를 이용한 제약 및 건강식품 산업, 펄프산

41) 여기서 클러스터화의 개념을 최성애(2008)에 따르면 산업과 연관된 주체들이 모여 서로 협력하고 경쟁하면서 기술을 포함한 지식 창출을 위해 새로운 부가가치를 만들로 이를 통해 새로운 부가가치를 만들고 이로 인해 클러스터 전체의 경쟁 우위를 강화시켜 나가는 것이라 할 수 있음.

업, 그리고 해조류 부산물을 이용한 바이오에너지 등이 클러스터를 이룬다면 그 파급효과는 매우 클 것으로 사료된다. 따라서 기존 클러스터 산업의 사례를 검토하여 해조류의 특성이 감안된 지역 클러스터 도입을 검토할 필요가 있다.

우리나라의 타 분야에서는 ‘연구개발 혁신 클러스터’, ‘바이오 혁신 클러스터’, ‘첨단의료기기 산업거점’ 등 산업간 클러스터가 활발히 추진된 바가 있다. 바이오매스와 관련해서는 바이오매스 에너지화 사업을 지역 단위로 유치하여 에너지 자립도를 높이려는 ‘바이오매스 타운’ 시범사업이 추진 중에 있다.

한편, 해조류 바이오매스와 관련해서 해조류 생산이 가장 많은 전라남도 완도 지역에 해조류 바이오에너지 연구센터의 설립과 대규모 해조류 양식장 조성을 주 내용으로 하는 ‘해조류 바이오에너지 클러스터’ 계획을 수립하였다.

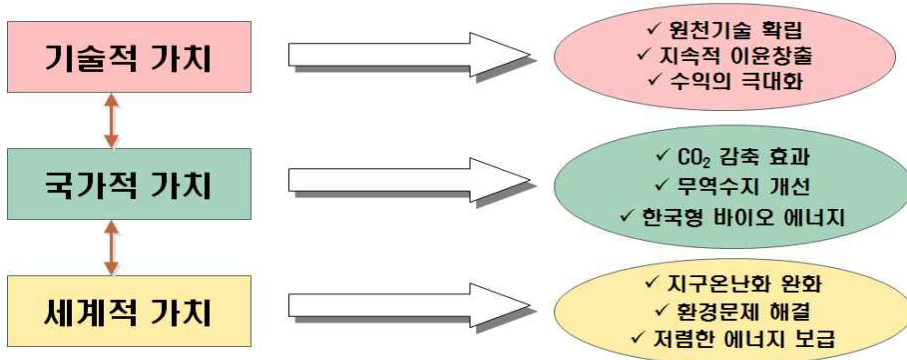
5. 파급 효과

해조류 바이오산업화의 가치는 크게 기술적 가치, 국가적 가치 그리고 세계적 가치로 구분할 수 있다.

해조류 바이오산업화에 따른 정성적 경제·사회적 파급효과는 여러 가지가 있을 수 있으나 크게 다음의 다섯 가지로 정리 할 수 있다.

첫째, 해조류를 이용한 바이오연료 공급은 이산화탄소 배출량을 감소시키므로 기후변화협약에 대응할 수 있다. carbon neutral 형태의 에너지 중 하나인 바이오연료는 연소과정에서 CO₂를 배출하지만 해조류의 생장과정에서 온실가스를 흡수하게 되므로 바이오연료의 Life-Cycle 전체를 고려할 경우 CO₂배출량은 0이 된다. 이에 따라 화석연료의 대체 연료인 바이오연료를 적극적으로 이용함으로써 대체된 화석연료의 CO₂배출량만큼을 감소시킬 수 있다.⁴²⁾

42) 다만, 바이오연료의 제조 등에 수반되는 온실가스의 배출량은 별도로 고려할 필요가 있으며 지속가능한 순환형 사회를 실현하기 위해서는 바이오연료의 제조부터 공급까지의 과정



| 그림 4-8 | 해조류 바이오산업의 가치

둘째, 바이오연료의 보급은 에너지 도입의 다양화로 인해 에너지안보를 확보할 수 있다. 에너지안보의 향상을 위해서는 에너지 자급율의 향상이나 에너지원의 다양화가 필요하다. 바이오연료의 경우 국내에서 발생하는 바이오매스 및 해조류 양식 등을 통하여 에너지 자급율의 향상이 가능하다.

셋째, 바이오연료는 자원순환적 연료로서 재생가능한 에너지이므로 석유 자원고갈에 대한 대응책으로 이용 될 수 있다.

넷째, 3면이 바다인 우리나라의 특성을 이용하여 해조류 대량양식을 통해 바이오연료를 생산함으로써 어민의 수익을 증대시킬 수 있다. 이는 에너지 자급율의 향상 및 에너지 다양화에 기여할 뿐만 아니라, 바이오에너지 생산/수집, 연료 제조, 유통, 이용 등 각 과정에서 새로운 산업 육성이나 고용창출, 산업활동의 고부가가치화 등 지역경제의 활성화에 기여할 것이다.

다섯째, 바이오연료의 보급이 활성화 되면, 이에 따른 기술력이 증대하게 되어 더 낮은 가격에 바이오연료를 생산하게 될 것이며, 또한 개도국 등에 기

에서 환경오염을 일으키지 않는 것이 중요할 것임.

술력을 이전하게 되면 새로운 부를 창출할 수 있다. 이 같은 바이오연료에 대한 기술력 증대는 국내의 지구 온난화 대책이나 화석연료의 소비 억제, 자원 순환형 사회의 형성 등에 기여할 뿐만 아니라 나아가 지구 환경보전과 재생가능한 에너지의 유효 이용에 관련한 글로벌적인 공헌을 하게 될 것이다.

표 4-4 | 해조류 바이오 산업화에 따른 정량적 효과

구분	단위	2012년	2014년	2020년
해조류바이오매스	천 톤 (습량기준)	5,500	50,000	125,000
바이오 에탄올	억 리터	0.38	5.23	22.7
	억 원	380	5,230	22,700
부산물 활용 (유가금속 포함)	천 톤	0.015	8.6	21.6
	억 원	0.3	17.2	432
고용창출	양식인력(명)	1,100	10,000	12,500
	생산인력(명)	90	1,200	5,300

자료 : 농림수산식품부 발표 자료, 바이오에너지 기술 심포지엄, 2009

결론적으로 해조류 바이오산업화의 경제사회적 파급효과는 대기 중 이산화탄소 감소, 안정적인 에너지 확보 및 에너지원의 다양화, 미사용된 바이오매스 이용, 관련 산업 육성 및 기술력 향상에 따른 지구 환경 및 개도국 경제에 기여 등을 포함할 수 있다. 따라서 해조류 바이오산업화에 대한 정성적인 사회경제 파급효과는 매우 클 수 있다고 할 수 있다.

제 5 장 결 론

1. 요약 및 결론

1) 연구 개요

본 연구는 ① 지구온난화 대응, ② 필연인 저탄소 녹색성장 정책 실현, ③ 녹색성장 정책의 핵심인 화석에너지 대체 에너지 발굴, ④ 차세대 바이오산업으로 부상하고 있는 해조류 바이오매스의 활용, ⑤ 바이오연료 및 온실가스 흡수 미개발 잠재자원으로서의 해조류의 재인식, ⑥ 초기단계에 머물고 있는 해조류 바이오산업의 개발 그리고 ⑦ 해조류 바이오산업화의 절실성에서 연구의 필요성으로 찾았다.

본 연구 목적은 해조류를 이용한 바이오 산업화 전략 및 정책방향을 제시함으로써 우리나라 녹색성장 주요정책인 온실가스 감축, 탈석유·에너지 자립화 및 신성장 동력을 창출하는 것이다.

본 연구 대상은 해조류 바이오 산업화의 대상을 해조류 바이오에너지 산업과 펄프산업으로 한정하였고, 연구범위는 해조류 바이오산업 실태분석, 해조류 바이오산업화 가능성 검토, 해조류 바이오산업화 전략 및 정책방향 설정으로 하였다.

2) 바이오산업 실태 분석

해조류 바이오산업의 필요성은 크게 지구온난화 대응과 저탄소 녹색성장 실현에서 찾을 수 있다. 우선 해조류는 바이오매스(biomass)로서 바이오에너지를 비롯하여 바이오의약, 바이오화학, 바이오식품, 생물정보·공정, 생물농업·해양, 생물전자, 바이오환경 등으로 다양한 산업용도로 활용되고 있다.

해조류 바이오매스에서 생산되는 바이오에너지는 에탄올이고, 바이오매스를 원료로 해서 바이오에너지는 원료의 생물자체가 이미 CO₂를 흡수하고 있기 때문에 제조나 연소단계에서 CO₂를 배출하더라도 CO₂의 증감에 영향을 미치지 않는 재생가능한 대체 연료로서 주목을 받고 있다.

특히 지구온난화 대응과 관련하여 화석연료 대체에너지를 개발이 요구되는데, 곡물 바이오에너지화는 인류 식량문제를 야기함으로써 한계가 있다. 따라서 기후변화 및 인류 식량문제에 영향을 미치지 않으면서 화석연료를 대체하고 지속적으로 생산할 수 있는 에너지원으로서 해조류 바이오 에너지 산업화가 필요하다.

둘째는 저탄소 녹색성장산업화의 원동력이라는 점이다. 녹색성장은 기존의 경제성장 패러다임을 친환경적으로 전환하는 과정에서 신에너지 및 친환경 관련 신기술이 개발되는 동시에 기존 산업과 상호 융합함으로써 새로운 성장 동력을 창출하는 것이다.

해조류는 육상식물처럼 식량문제를 촉발시키거나, 산림자원처럼 자원을 고갈시키지 않는 자연친화적 자원으로서 녹색성장에 개념에 가장 적합한 산업이다.

국내외 바이오산업중 곡물 바이오산업을 보면, 주로 바이오에너지 생산에 주력하고 있다. 바이오에너지는 옥수수, 사탕수수, 대두, 유채, 해바라기, 고구마 등 곡물에 의존하여 생산하고 있으며, 2007년 현재 세계 바이오에너지 생산은 160억 갤런(약 606억 리터)으로 이중 수송연료 비율은 3%미만이며, 종류별로는 바이오에탄올이 84%, 바이오디젤이 16%이다.

우리나라는 선진국에 비해 낮은 2000년대 중반부터 시작했고, 바이오매스 에너지 작물개발 분야 중에서 유전자 발굴기술은 선진국 대비 90%로 상대적으로 높은 반면, 작물형질 전환기술 및 작물품종 개량기술은 60%로서 미흡하다. 또한 바이오매스 활용기술 분야에서 효소발효 및 개량, 발효기술 등은 선진국 대비 90% 수준이지만 전처리·당화기술은 미흡한 수준이다.

해조류 바이오산업은 최근들어 본격적으로 관심을 받게 되었는데, 생물의 약, 화학, 환경, 바이오에너지, CDM 등 비식용 분야에서 검토되고 있는 단계이다. 세계적으로 해조류 바이오매스 산업화는 아직까지 초기 연구단계에 있다.

해조류 활용 및 생산 실태를 보면 해류는 해수에 서식하는 광합성 식물로서 미세조류와 거대조류로 구분되고, 현재 이용하고 있는 종류는 약 500여 종에 이른다. 해조류는 부영양화 감소 및 산소의 공급 기능, 수산자원의 산란 및 성육장을 제공, 이산화탄소의 흡수원, 지속적 이용성이 높은 특징을 가지고 있고, 그 종류가 많은 만큼 활용되는 용도도 다양하다.

세계적으로 약 200종의 해조류가 이용되고 있고 생산량은 2006년 현재 1,500만 톤으로 지속적으로 증가추세이고, 중국이 세계 해조류 생산량의 71.2%로 1위, 우리나라는 4위이며 용도는 식용 43.0%, 공업용 42.8%, 의약용 7.7%, 사료용 6.5%이다.

2008년 현재 우리나라 해조류는 양식면적 79,504ha에서 93만 톤이 생산되어 전체 어업생산량 27.8%, 양식 생산량의 67.6%이고, 주요 품종은 미역, 김, 다시마, 톳, 파래 등이다. 해조류 양식기술 실태를 보면 중국, 필리핀, 한국, 일본, 인도네시아 등의 아시아 국가들은 대부분 노동집약적인 조방적 양식에 의존하고 있고, 미국, 캐나다, 프랑스, 독일, 네덜란드 등 서구에서는 대규모 해조류 재배 시설을 통해 생산하고 있다.

3) 해조류 바이오에너지 및 펄프 산업화 가능성 검토

해조류 바이오에너지화를 위한 요소기술은 해조류 대량 양식기술, 해조류 전처리 당화기술, 바이오연료 생산기술, 발효 및 전처리 부산물 활용 기술 등이 있다. 현재 우리나라의 해조류 바이오에너지 관련 연구는 대학 및 연구소에서 10여개 정도가 수행되고 있으나, 아직 실질적인 산업화단계까지는 발전하지 못하고 있다.

우리나라 해조류 바이오 에너지 산업과 관련된 기술 및 연구는 선진국 대비 약 50%로 다소 낮은 단계라 할 수 있으나, 해조류 양식생산기술은 다른 나라에 비해 상대적으로 우수하다.

해조류 바이오 에너지 산업화에 기초가 되는 여러 가지 기술들이 초기 단계임에도 불구하고, 최근 들어 해조류를 이용한 바이오 에너지 관련 연구가 주목 받기 시작함에 따라 해조류 바이오매스 관련 요소기술은 점차 축적되고 있다.

바이오에탄올 시장은 에너지 안보의 강화, 환경오염에 대한 국제적 규제 강화 등으로 인해 전 세계적으로 성장 산업으로 자리 잡을 것으로 예상되어, 향후 25년 후에는 석유 수요의 100%를 대체할 것으로 전망된다. 따라서 해조류 바이오연료 생산에 따르는 경제성만 확보된다면 바이오에너지 수요는 거의 무한하여 시장성은 문제가 되지 않을 것으로 판단된다.

해조류 펄프와 관련하여 국내 (주)P사는 세계 최초로 홍조류인 우뚝가사리를 이용하여 펄프기술을 개발하여 2009년 7월 현재 37개국에 홍조류 펄프 특허등록이 된 상태임이다. 그만큼 우리나라가 세계적으로 기술수준이 앞서있다고 할 수 있다.

홍조류 펄프는 목재 펄프와 비교하여 원료 생장 순환속도가 매우 빠르며 원료 추출 및 제조 공정이 간단하고, 매끄럽고 경제성 높은 고품질의 펄프와 종이를 제조할 수 있다.

세계 펄프생산은 2008년 기준 약 19,000만 톤이고, 홍조류 펄프와 경쟁하는 화학펄프 생산은 13,000만 톤이다. 우리나라 펄프 수요는 연간 230~290만 톤으로 국내 자급율 14~19% 수준에 머물러 대부분 수입에 의존하고 있다.

해조류 펄프의 원료가 되는 2008년 현재 우리나라 우뚝가사리 생산은 약 1,000톤에 불과하고 양식도 거의 이루어지지 않고 있다. 따라서 P사는 인도네시아에서 양식시험을 거쳐 성공하였고 확장할 계획이다.

홍조류 펄프와 목재 펄프를 비교하면 펄프수율을 제외하고는 제조공정과

원료가격면에서 유리하다.

우리나라 해조류 바이오산업화를 위한 SWOT 분석결과는 다음 표와 같다.

강점(S) - 타 신재생에너지 비해 비용 효과적 - 저탄소 녹색성장, 환경위기에 대한 공감대 형성 - 탄소 중립적인 친환경에너지 - 양식기술 및 인프라 구축	약점(W) - 불안정한 원료공급 - 바이오산업화 기술수준 취약 - 기술적 연구투자 미흡 - 기술융합화가 선진국 대비 낙후 - 기업의 관심 및 투자 부족
기회(O) - 미개척 분야 존재 및 신시장 선점가능 - 국제 환경규제에 대응 - 에너지 안보 확보 - 고용 창출 및 고용증대 - 고부가가치 산업진출 기회 - 화석에너지에 대한 높은 대체가능성	위협(T) - 선진국과의 치열한 경쟁 심화 - 선진국에 비해 R&D에 필요한 대규모 비용을 투자할 기반 부족 - 유가 변동으로 수익성 변화폭 심함 - 플랜트 투자비 상승 및 원료가격상승으로 생산단가 증대

해조류 바이오에너지 산업화 가능성을 분석한 결과 첫째, 해조류 바이오에너지 산업화 관련된 기술 수준은 아직 낮은 단계로 요소기술 개발이 요구되었다. 둘째, 경제성 측면에서 바이오에탄올 추출용 바이오매스의 생산단가는 0.49달러/리터 이하 정도가 되어야 한다. 국내 양식장을 이용할 경우 에탄올 생산량은 19억 리터로 휘발유의 20%를 대체 할 수 있을 것으로 전망되고, 약 86억 리터를 생산한다면 휘발유의 약 90% 대체가 가능하여 경제성이 매우 높다고 할 수 있다. 셋째는 해조류 바이오에너지 산업화는 환경보전과 경제성장을 동시에 이룰 수 있기 때문에 저탄소 녹색성장 정책과의 연계성이 매우 높고, 바이오에너지 수입 대체효과도 기대된다.

해조류 펄프 산업화 가능성 분석결과를 요약하면 첫째, 해조류 펄프 산업화는 우리나라가 세계에서 처음으로 시도하였고, 목재 펄프 보다 친환경적이며 공정이 단순하고 생산비용도 낮기 때문에 세계시장을 선도할 가능성이 높을 것으로 전망된다. 둘째, 해조류 펄프 산업화를 이루기 위해서는 홍조류의

안정적이고 대량 생산과 공급이 전제되어야 함으로 인도네시아 등 열대지역에 서식하는 홍조류를 대량 양식하여 국내에 해조류 펄프 원료로 조달할 필요가 있다.

해조류 바이오에너지 산업화 한계로는 첫째, 원료공급 측면에서는 현재의 우리나라 식용 해조류 양식으로는 바이오에너지화가 불가능하므로 내만양식에서 외해양식으로 확대 또는 해외양식으로 진출이 요구된다. 둘째, 해조류 바이오에너지화를 위한 전처리 기술, 발효균주의 성능향상 기술, 동시당화발효 기술, 부산물 처리 기술 개발 등 요소기술이 혁신적으로 개발되어야 한다. 셋째, 바이오 에탄올은 수요도 급증하고 향후 시장성도 매우 좋을 전망이나 경제성 확보는 요소기술의 개발정도에 따라 달라진다.

해조류 펄프 산업화 한계로는 첫째, 홍조류에서 섬유를 추출하고 펄프를 제조할 수 있는 기술은 국내기업이 원천 기술을 보유하고 있으나, 산업화를 위해서는 홍조류의 섬유 추출과 펄프 제조 단가를 절감시킬 수 있는 첨단 기술의 개발이 요구된다. 둘째, 목재 펄프와 가격 경쟁하기 위해서는 해조류 원료 생산규모를 50,000톤 이상으로 확대하여야 펄프 가격이 1,000달러/톤으로 하락하여 목재펄프의 가격과 비슷하다.

4) 해조류 바이오산업화 전략 및 정책방향

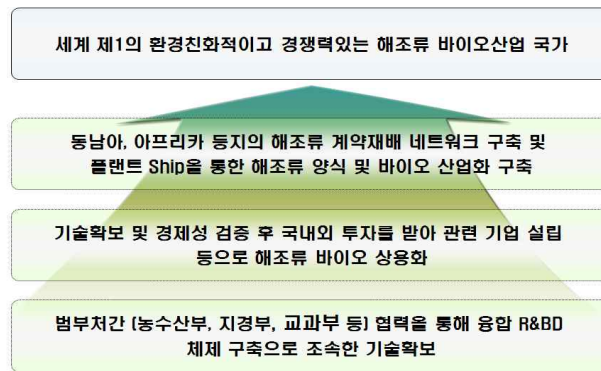
해조류 바이오산업화 정책은 우리나라 60 국가 아젠다인 저탄소 녹색성장과 그 궤를 같이 한다고 할 수 있다.

국가 녹색성장 국가전략 및 5개년 계획과 관련하여 3대 전략중 기후변화 적응 및 에너지 자립과 신성장동력 확충과 연계되고, 10대 정책방향중에는 효율적인 온실가스 감축, 탈석유·에너지자립 강화, 녹색기술개발 및 성장 동력화, 산업의 녹색화 및 녹색산업 육성에 연계된다.

농림수산식품부의 저탄소 녹색정책 3대 전략중 저투입 고효율 녹색산업화

와 자연자원의 지속가능한 이용·관리에 연계되고, 9대 추진과제중 바이오매스 에너지화, 녹색기술·장비 보급, 탄소흡수 녹색공간 확대 등 3대 추진과제와 연계된다.

본 연구에서는 우리나라 해조류 바이오산업화의 비전을 “세계 제1의 환경친화적이고 경쟁력있는 해조류 바이오 산업국가”를 단계별로 아래 그림과 같이 설정하였다.



해조류 바이오산업화의 목표는 ① 해조류 바이오 에너지로 일정비율 화석 연료를 대체, ② 이산화탄소 흡수량을 증대시키고 배출량 감축, ③ 해조류를 이용한 바이오산업을 활성화하고 세계화, ④ 해조류 바이오산업에 관한 원천 기술 축적, ⑤ 해조류 대량 생산시스템 개발 및 세계 주도 등 5가지를 제시했다.

해조류 바이오에너지 및 펄프 생산목표는 국내 관련 산업의 소비를 감안하여 추정하였다. 우리나라 국내 휘발유 소비량의 10%를 해조류 바이오 에너지로 대체할 경우 해조류 바이오에너지 생산목표는 연간 9.5억 리터이고, 이를 생산하기 위한 해조류 양식생산량은 3,800만톤(M/T)이며 이를 위해서는 1,160천 ha의 양식면적이 필요하다.

해조류 바이오산업화를 위한 기본방향은 크게 4가지로 요약할 수 있다. 첫째는 해조류를 이용한 바이오산업화를 국가 정책사업으로 추진하여야

한다. 둘째는 해조류 바이오산업화를 위한 기술개발과 해조류 대량양식 시스템을 동시에 구축하여 산업화를 추진한다. 셋째, 정부, 지자체, 대학 연구소 및 기업이 참여하는 국가 Pilot사업으로 추진한다. 넷째는 단계별로 추진하여 시행착오를 줄이고 세계 선도산업으로 발전시키다는 것이다. 즉 제1단계(2010-2013년) 해조류 바이오산업 기반구축 단계, 제2단계(2014-2016년) 해조류 상용화 단계, 제3단계(2017-2020년) 해조류 바이오산업화 단계로 구분하여 향후 10년간 집중 투자하는 것이다.

추진전략으로는 다섯 가지를 제안했다. 첫째는 Pilot를 통한 상용화를 검증하는 것이다. 둘째는 녹색성장위원회, 농림수산식품부, 지식경제부, 교육과학부, 환경부, 국토해양부 등 관련 범부처 융합 R&D 체제를 구축하여 추진하는 것이다, 셋째는 기업을 중점 육성하여 산업화를 조기 달성하도록 추진한다. 넷째는 특정지역 클러스터단지화하여 통합체제로 실현한다. 다섯째 이 정책을 국가 저탄소 녹색성장 정책 일환으로 추진한다.

주요 정책방향으로서 해조류 대량양식생산 체제 구축, 해조류 바이오산업화 기술개발, 해조류 바이오산업화 체제 구축 및 지역 클러스터화에 대한 정책을 제안했다.

5) 결론

세계적으로 기후변화 대응을 위한 화석 연료의 사용 억제와 CO₂ 감축이 주요 이슈로 부상되면서 바이오매스를 이용한 다양한 산업화의 전개는 세계의 이목이 주목할 만하다. 현재 바이오매스의 대부분은 옥수수, 대두, 유채 등 곡물에 의해 생산되고 있다.

하지만 곡물 바이오매스의 증산은 국제 곡물가격의 폭등을 초래하고 있고 개발도상국의 기아 난을 가속시킨다는 비판이 존재한다. 또한 곡물 바이오매스의 생산은 곡물 재배면적의 제한으로 산림 파괴라는 부정적인 측면으로 인

해 국제사회의 갈등이 존재하고 있다.

또한 우리나라는 주요 식량의 대부분을 해외에 의존하고 있으므로 곡물을 이용한 바이오매스 산업화는 한계를 가진다. 이러한 곡물 바이오매스의 한계를 극복할 수 있는 새로운 대안으로 주목 받고 있는 것이 해조류 바이오매스이다.

해조류는 기능성 식품, 화장품, 바이오신소재, 펄프 및 제지, 바이오연료 등으로 활용 가치가 높은 것으로 알려지고 있다. 또한 우리나라는 세계의 유수의 해조류 생산 및 기술 보유국으로서 해조류 바이오매스를 생산하기 위한 기초가 갖추어져 있다고 평가할 수 있다.

세계적으로도 해조류 바이오매스 산업화는 아직까지 초기 연구단계에 있으므로 체계적인 연구개발과 집중적인 지원이 이뤄진다면 국제시장을 선도할 가능성이 높다고 사료된다. 해조류 펄프 산업은 우리나라가 세계에서 처음으로 시도되고 있으며 우수한 해조류 생산기술을 토대로 현재 펄프제조 파일럿 공장을 건설하고 있다. 해조류 펄프의 원료 추출 및 제품생산 기술은 목재 펄프 보다 친환경적이며 공정이 단순하고 생산비용도 낮기 때문에 세계시장을 선도할 가능성이 높을 것으로 판단된다.

하지만 해조류 펄프산업화를 위해서는 원료가 되는 홍조류의 안정적인고 대량 공급이 전제되어야 한다. 현재는 인도네시아 열대지방의 성장 속도가 빠른 우뭇가사리를 대량 양식으로 원료 조달을 계획하고 있다. 향후 장기적 관점에서는 성장 속도가 빠르고 우리나라 해역에서도 사계절 성장 가능한 대형 홍조류의 육종 등의 개발 등이 뒤따라야 할 것으로 사료된다.

2. 정책 제언

해조류 바이오산업을 조기 달성하고 국내뿐만 아니라 세계적인 산업으로 발전시켜 우리나라가 명실상부한 세계 제1의 해조류 바이오산업 국가가 되기 위해서는 넘어야 할 산이 많다. 본 연구에서는 다음과 같이 해조류 바이오 산업화를 위한 정책제언을 하고자 한다.

1) 해조류 바이오산업, 국가 녹색성장 산업으로 추진

동 사업은 전술한 바와 같이 저탄소 녹색성장 정책과 여러 가지 측면에서 부합하는 사업이다. 즉 기후변화협약에 의한 지구온난화에 대응할 수 있고, 탈석유 및 에너지 자립화, 녹색산업 육성 및 녹색기술 개발을 통한 녹색국가 실현 등에 대단히 부합된다.

그러나 현재 국가 녹색성장 전략이라든가 농림수산식품부의 저탄소 녹색성장에서는 거의 취급을 하지 않거나 미미하게 반영되어 있다. 국가 및 중앙부처의 저탄소 녹색성장 정책으로 동 사업을 반영시켜 추진할 것을 적극 제안하는 바이다.

우리가 앞서 있지 않은 분야를 따라잡는 것 보다는 전세계적으로 아직은 초보단계에 있을 때 국가가 전략적으로 정책화하고 추진할 때 세계를 선도할 수 있을 것이다. 따라서 조속히 중앙정부와 국가는 구체적인 저탄소 녹색성장 정책 세부과제를 설정할 때 해조류 바이오에너지와 해조류 펄프산업을 주요 정책으로 추가하여야 할 것이다.

2) 「해조류 바이오산업화 추진단(가칭)」 구성·운영

동 사업은 이미 언급한 바와 같이 잠재력은 크나 아직은 초보수준의 산업

이다. 그러나 미국을 비롯한 선진국과 국제기구에서도 이에 관심을 보이기 시작하였다. 그만큼 사업의 성공여부가 아직은 확실치 않다는 것이다. 따라서 범부처 국가 Pilot 사업으로 추진할 것을 제안한다.

저탄소 녹색성장 정책은 국가에서 기본적인 국가전략을 수립하고 중앙부처가 주관이 되어 추진하는 것으로 되어 있다. 그러나 이 사업은 관련부처도 많고 초기단계이므로 어느 정도 산업화의 단계에 진입할 때까지는 녹색성장위원회가 주관하는 Pilot 사업으로 추진할 것을 제안한다.

이를 위하여 녹색성장위원회에 가칭 ‘해조류바이오산업화 추진단’을 구성하여 pilot 사업의 추진을 비롯한 산업화를 위한 기반을 조성하는 것을 제안하는 바이다.

3) 「해조류 바이오산업화 융합 R&D 추진단」 구성·운영

해조류 바이오산업화를 달성하기 위해서는 뭐니뭐니해도 기술개발이 가장 우선한다. 현재의 기술로도 어느 정도 산업화가 불가능한 것은 아니나, 장기적으로 세계를 주도하기 위해서는 기존 방식을 넘는 새로운 기술개발이 요구된다.

기술의 영역도 기존의 양식, 화학 및 물리에 국한되는 것이 아니라 IT, BT 등 새로운 첨단 기술이 접목될 때 진정한 부가가치를 창출하는 산업으로 발전할 수 있다.

따라서 해조류 바이오산업화 추진단과 연계한 「해조류 바이오산업화 융합 R&D 추진단」을 구성하여 운영할 것을 제안한다. 동 추진단에서는 산발적으로 이뤄지고 있는 연구진을 모두 집합하고, 기술로드맵을 재설정하여 기술개발 투자계획을 수립하는 것이 그 첫 번째 임무가 될 것이다.

두 번째는 새롭게 설정된 기술개발 로드맵에 따라 분야별로 연구하되 그 기간은 기본방향에서 제시한 10개년 3단계에 따라 추진한다.

특히 2009년 12월 덴마크 코펜하겐 제15차 유엔기후변화협약에서 이명박 대통령이 설립을 제안한 “글로벌 녹색성장연구소(GGGI : Global Green Growth Institute)”와 연계하는 것도 필요하다. 2010년 동 연구소를 설립할 것이기 때문에 조속히 이러한 추진단 구성을 위한 사전 TF를 농림수산식품부가 주관되어 구성하여 준비하여야 할 것이다.

모든 새로운 것은 남들보다 더 많이 철저하게 준비될 때 이뤄질 수 있다. “따라잡기”가 아닌 “뛰어넘기” 전략을 구가하기 위해서는 발빠른 조치가 무엇보다도 필요하다.

4) 대량해조류 생산을 위한 법제도 개선

현행 우리나라 양식관련법은 연안에서의 양식을 위한 법 만을 규정하고 있고, 특히 양식어업권을 비롯한 면허어장의 60ha 보유 상한선이라는 진입장벽이 존재하고 있다.

해조류 바이오산업화를 위한 해조류 양식은 대단히 대규모가 되어야 하고, 가계노동집약적으로는 불가능하다. 대기업 나아가서는 글로벌기업이 참여할 수도 있다. 따라서 정부에서는 이에 대한 법 정비를 우선적으로 실시하여야 할 것이다.

나아가서 해외양식으로 진출할 경우 대외 협력 및 원료 국내 반입에 대한 관세 및 절차 등에 관한 규제완화도 병행 추진되어야 할 것이다.

또한 해조류 바이오용 해조류 양식업자에게는 대한 탄소배출저감 및 대체 에너지 공급에 따른 직접지불제에 의하여 초기 대량 양식의 리스크를 줄이는 것도 정부에서는 검토하여야 할 것이다.

5) 해조류 바이오에탄올 유통체계 구축

바이오에탄올에 대한 국내 유통은 아직 초보수준이다. 관련 부처에서는

해조류 바이오에탄올의 혼합연료 공급에 관한 기준 제정과 병행하여 유통체계를 구축해 주어야 할 것이다. 신재생에너지 사용 제한과 더불어 더 많은 국내의 바이오에너지 수요가 발생하게 될 것이다.

그러나 유통체계가 구축되어 있지 않으면 이러한 제도는 시행이 어렵게 된다. 저장탱크, 혼합유 품질 및 표준화에 관한 정부정책이 뒤따라야 할 것이다.

6) 해조류 바이오산업 실용화 연구

이번 연구는 해조류 바이오산업화가 가능할 것인가에 대한 의구심에 출발했다고 하여도 과언이 아니다. 많은 전문가들은 긍정적인 견해가 있는 반면 부정적인 견해도 많지 않았다. 따라서 연구의 대부분을 기술적인 면과 시장성 측면에서 가능성이 있는가를 검토하는 데 많은 시간과 경비를 투자하였다. 그러다 보니 산업화를 구체적인 실천대안들이 충분하게 마련되지 못한 것이 사실이다.

또한 정부출연연구기관의 기본과제로 동 과제를 수행하다 보니 연구비의 제약도 따랐다. 따라서 실질적인 해조류 바이오산업 실용화를 위한 추가적인 연구가 추진되기를 희망한다. 구체적인 기술수준에 따는 해조류 바이오 에너지 펄프 공급가능량 추정, 이를 생산하기 위한 대량 양식량 및 면적 추정, 환경저감·수입 에너지 대체효과·해조류 바이오사업성 등 사회경제적 평가, 구체적인 세부실행 계획 등의 연구가 추진되어야 한다는 것이다.

참 고 문 헌

<국내 문헌>

강만옥 외, 바이오연료(바이오디젤, 바이오에탄올)의 환경·경제성 분석 및
보급 확대방안 연구, 환경부, 한국환경정책·평가연구원, 2007.

강희찬, 바이오 연료의 합리적 도입 방안, CEO Information 577호, 삼성경제
연구소, 2006.

강희찬 외, 한국형 바이오 연료의 가능성 평가 및 시사점-비용 편익/비용을
중심으로-, 삼성경제연구소, Issue Paper, 2007. 1.

과학기술정책연구원, 저탄소 녹색성장과 녹색기술개발, Issue & Policy 2008
제27호, 2008. 12.

교육과학기술부 외, 저탄소에너지 생산·보급을 위한 폐자원 및 바이오매
스 에너지화 실행계획(안), 2009.

국무조정실 기후변화대책기획단, “기후변화 제4차 종합대책(5개년 계획)”,
2007.12.

국립수산과학원, 한국수산식물 성분표, 1995.

국립제주대학교, 제주 해조산업 RIS 사업단 내부자료.

기후변화대책위원회, 기후변화 대응 국가연구개발 중장기 마스터플랜(상세
자료), 2008. 12.

김경수, 해조류를 이용한 바이오에너지 생산 타당성 연구 = Feasibility Study
on the Utilization of Algae for the Bio-Energy Production, 한국생산기술
연구원, 2007.

김기협, 바이오에너지 현황과 미래, 한국생산기술연구원, 서울대학교 발표
자료, 2007. 11. 21.

김영환 역, M. J. Dring 저, 해산식물학, 형설출판사, 1996.

- 김정봉 외, 고유가시대 수산업 · 어촌의 환경변화와 정책방향 연구, 농림수
산식품부, 한국해양수산개발원, 2009.
- 김정완, 수송용 바이오에탄올 도입의 경제성 분석, 에너지경제연구원, 2007
- 김현한 외, 한국이 주목해야 할 차세대 바이오산업 5選, 삼성경제연구소,
CEO Information 제731호, 2009. 11.
- 강희찬, ‘바이오 연료의 합리적 도입 방안’, CEO Information 577호, 삼성경
제연구소, 2006.
- 교육과학부 외, 저탄소에너지 생산 · 보급을 위한 폐자원 및 바이오매스 에
너지화 실행계획(안), 2009. 7.
- 녹색성장위원회, 녹색성장 국가전략, 2009. 7.
- 녹색성장위원회, 녹색성장 국가전략 및 5개년계획(요약본), 2009. 77.
- 농림수산식품부, 농림수산식품분야 저탄소 녹색성장 추진전략, 2009. 11.
- 농림수산식품부 · 국립수산물과학원, 저탄소 녹색성장 수산업 발전전략 심포
지엄, 발표 자료집, 2009. 7.
- 농림수산식품부, 어업면허의 관리 등에 관한 규칙
- 박재일 외, “해양조류로부터 바이오에너지 생산 : 현황 및 전망”, 화학공학
제46권 제5호, pp. 833-844, 2008.
- 삼성경제연구소, 포스트 교토의정서 논의와 한국의 대응, CEO Information,
2006.3.
- 서영범 외, 해양자원 바이오신소재 개발 및 산업화에 관한 연구, 지식경제
부, 충남대학교, 2008.
- 성진근 외, 유채의 산업연료화를 위한 바람직한 정책지원체계연구, 농촌진
흥청, 충북대학교 · 서울대학교, 2006.
- 성진근 외, "바이오에너지 작물의 생산 확대를 위한 정책지원체계“, 한국농
업경영정책연구 제34권 제2호, 2007, pp.344-368.
- 손철현, “한국 해조류 양식 발달에 관한 고찰”, The Korean Journal of

- Phycology, Vol. 11(4): 357-367, 1996.
- 신종암, 해조류양식 산업의 발전방안 발표 자료, 전남대학교, 2008. 11. 28.
- 우희철 외, 바이오매스용 해조류 대량양식 및 바이오에너지 생산기술개발 로드맵(타당성조사) 연구, 농림수산식품부, 2009.
- 우희철 외, 해조류 바이오매스의 그린 에너지화 및 통합적 활용을 위한 기반구축 연구 중간보고 자료, 농림수산식품부, 부경대학교, 2009. 11.
- 에너지관리공단 기후대책 총괄실, "CDM 평가방법", 2005.
- 에너지경제연구원, 에너지수요전망(2008~2013), 2009. 6.
- 유학철, 해조류를 이용한 펄프 및 종이생산(폐가서스인터내셔널), 저탄소 녹색성장 수산업 발전전략 심포지엄 자료, 농림수산식품부 · 국립수산물과학원, 2009. 7.
- 이진석, 바이오연료의 국내외 정책현황, 바이오에너지 국가정책 고찰 및 실용화방안 심포지엄, 2007. 10.
- 이진석 · 김덕근, 바이오에너지 보급 현황과 기술개발 전망, 한국에너지기술연구원, ETIS 분석지 Vol. 23., 2003, pp.74-87.
- 임송택, “탄소라벨링 시대로의 도래: 농수산식품의 경우”, GS&J Institute, 2009.
- 저탄소녹색성장국민포럼, 신재생에너지 2010 시장전망 및 향후 과제, 제7차 저탄소녹색성장국민포럼 신재생에너지분과, 2009, 12. 22.
- 저탄소녹색성장국민포럼, 신재생에너지 성장을 저해하는 3가지 허들-인력, 규제, 금융-, 제5차 저탄소녹색성장국민포럼 신재생에너지 산업기술분과, 2009, 7. 15.
- 전희동 외, 해조류를 이용한 온실가스 저감연구 사업 타당성 연구, 해양수산부, (재)포항산업과학연구원, 2006. 4.
- 정명생 외, “기후 변화가 수산업에 미치는 영향”, KMI 현안분석, 2007.5.

- 정명화 외, “포스트 교토체제와 수산분야 대응방향, KMI 현안분석, 2008.6.
지식경제부, 신재생에너지 R&D 전략 2030, 2007.
- 정익교 외, 해조류를 이용한 온실가스 저감 연구, 2008.
- 최성애, 수산업 클러스터 형성에 관한 기초연구, 한국해양수산개발원, 2008.
- 한국생명공학연구원, 바이오매스에너지 R&D 사업 기획 연구, 2008.
- 한국화학공학회, 2009년도 한국화학공학회 봄 총회 및 학술대회 특별 심포
지엄 1, 바이오에너지 기술 심포지엄 자료집, 2009. 4. 23
- 한진희 · 김재훈, 국가성장전략으로서의 녹색성장:개념 · 프레임워크 · 이슈,
KDI 「녹색성장;국가성장전략의 모색」 세미나, 2008. 11.
- 한화진 · 오소영, 지구온난화 가스 저감대책 동향분석 및 국내 대응방안 연
구- 수송부문 중심으로-, 환경정책평가연구원, 1999.
- 홍현표 외, “해조류를 이용한 바이오에너지 산업의 현황과 정책 방향”, 정
책연구 봄호 통권 160호, 국가안보전략연구소, 2009, pp.29-64.
- (주)페가서스, 내부자료.
- 기후변화 홍보포털사이트(<http://www.gihoo.or.kr>)
- 녹색성장위원회 홈페이지(<http://www.greengrowth.go.kr>)
- 농림수산식품부 홈페이지(<http://fs.fips.go.kr>)
- 대한석유협회 홈페이지(<http://www.petroleum.or.kr>)
- 저탄소녹색성장포럼 홈페이지(<http://www.kookminforum.or.kr>)
- 에너지기술연구원 홈페이지(<http://www.kier.re.kr>)
- 에너지경제연구원 홈페이지(<http://www.keei.re.kr>)
- 한국석유공사 석유정보망 홈페이지(<http://www.petronet.co.kr>)
- 한국제지공업연합회 홈페이지(<http://www.paper.or.kr>)
- 환경부 기후변화싸이트(<http://www.gihoo.or.kr>)

<국외 문헌>

- AMR Research, Regulating A Low Carbon Economy, 2008.
- Ararwal, A. K., “Biofuels (Alcohols and Biodiesel) Applications as Fuels for Internal Combustion Engines”, *Progr. Energ. Combust. Sci.*, 33(3), 233-271, 2007.
- Bird, K. T., Chynoweth, D. P. and Jerger, D. E., “Effects of Marine Algal Proximate Composition on Methane Yields”, *J. Appl. Phycol.*, 2(3), 2007-213, 1990.
- DOE, EPA, Worldwatch Institute.
- EG DG Environment, Beta(Benefits Table Database), version E1.02a, 2002.
- EU, “EU Package to tackle the Fuel Crisis in the Fisheries Sector”, 2008. 7.
- FAO, FAO Expert Workshop on Climate Change Implications for Fisheries and Aquaculture, 2008.
- Ghynoweth, D. P., “Review of Biomethane from Marine Biomass”, Ph. D. Dissertation, Department of Agricultural and Biological Engineering, University of Florida, Gainesville, Florida, 2002.
- IEA/OECD, CO₂ Emission from Combustion, 2009
- Kanetsuma, Y., “New and Interesting Desmids (Zygnematales, Chlorophyceae) Collected from Asia”, *Phycological Research*, 50(2), 101-113, 2002.
- OECD, Biotechnology & Trade, 1997
- OECD, Energy Balance of OECD Countries, 2008.
- Slessor, M. and Lewis, C., Biological energy resources, John Wiley & Sons, New York, 1979.
- Richard Doornbosch, Dolf Gielen and Paul Koutstaal, Mobilising Investment in Low-Emission Energy Technologies on the Scale Needed Reduce the Risks

- of Climate Change, OECD, 2008.
- USDE. Energy Efficiency and Renewable Energy 홈페이지
閣議決定, バイオマス・ニッポン総合戦略, 2008. 3.
- (社)J A総合研究所 Homepage, 「世界の窓」から食料問題を考えるシリーズ,
「穀物・大豆等の大規模な需給変化と今後の課題」, 第1回: トウモロ
コシと大豆の市場をにらんだ輸出国側の『調整』2008. 8. 11.
- (社)マリノフォーラム21, 創立20周年記念, MF21事業成果・事例集, 2006.
- 水産庁 研究指導課, 水産バイオマス資源化技術開発, 紹介 資料.
- 水産庁, 水産基本計画, 2007. 4.
- 水産庁, 水産研究・技術開発戦略 資料集, 2006. 4.
- 水産庁, 海洋基本計画, 2008. 4.
- FAO Homepage(<http://www.fao.org>).

부록 1 : 일본 수산 바이오매스 정책

1. 바이오매스·일본 총합전략 수립

1) 바이오매스·일본 총합전략 수립 : 2002년 12월

일본은 2002년 12월 바이오매스·일본 총합전략을 수립하였다. 여기에 참여한 정부 부처는 내각부, 총무성, 문부과학성, 농림수산업성, 경제산업성, 국토교통성, 환경성 등 7개 부처에 이른다.

바이오매스·일본 총합전략의 목적은 지구온난화 방지, 순환형 사회 형성, 전략적 산업 육성, 농산어촌의 활성화로 나뉜다.

첫째, 바이오매스는 탄소중립(Carbon neutral) 자원의 특성을 가지고 있어 화석자원을 억제하고 지구온난화 방지에 공헌한다.

둘째, 폐기물 발생을 억제하고 한정된 자원을 유효히 활용하는 순환형 사회로 이행셋째, 바이오매스가 새롭게 에너지, 신소재 등으로 이용되는 것에 의해 전혀 새로운 산업과 새로운 고용의 창출이 기대되며, 세계를 선도하는 전략적 산업으로 육성한다.

넷째, 일본은 온난하고 강우가 많은 기후로서 바이오매스가 풍부하며, 이러한 바이오매스의 이용과 활용을 추진함으로써 농촌, 어촌사회의 새로운 가능성을 개척한다.

2) 바이오매스·일본 총합전략 수정

2006년 3월 바이오매스·일본 총합전략을 수정하였는데, 이전 전략과 차별되는 것은 바이오매스타운 구축의 가속화, 국산 바이오연료의 이용 촉진이다.

먼저 바이오매스타운의 구축은 광역(시정촌 단위) 모델의 구축과 바이오매스 자문가 등에 의한 추진활동을 통해 바이오매스타운 구상을 가속화시키고, 환경자금 용자와 CO₂ 절감효과의 평가와 지원책 등을 검토하여 바이오매스타운 유인책을 강화한다. 이와 같은 정책을 통해 2010년까지 300지구를 목표로 하고 있으며 2009년 9월 기준으로 218지구에 바이오매스타운을 건립하였다.

다음으로 국산 바이오연료의 이용촉진은 2007년 작성된 국산 바이오연료 대폭적인 생산 확대 공정표에 따르면 현재 바이오원료와 생산 가능량이 30KL에서 2011년까지 5만 KL로, 2030년에는 대폭 늘어난 6백만 KL 생산을 목표로 하고 있다. 단, 바이오연료는 식량공급과 경합하지 않는 바이오매스를 개발하는 것으로 제한되어 있다. 이를 위해 수집·운반비용의 절감, 자원작물의 개발, 에탄올변환 효율 향상 등의 바이오 기술개발을 추진하고 바이오연료 이용촉진을 지원하기 위한 제도를 검토한다.

2. 수산바이오매스 이용 활용

1) 수산바이오매스에 대한 수산정책의 방향

2007년에 수정된 수산기본계획의 정책 과제 중 ‘수산업의 미래를 개척하는 신기술의 개발 및 보급’이 있으며, 세부 시책에 ‘바이오매스 자원의 이용 활용의 촉진’이 포함되어 바이오매스·일본총합전략에 근거하여 순환형 사회의 형성에 기여하기 위해 해양바이오매스를 효율적으로 이용 활용하는 기술의 개발·보급을 추진하는 것으로 되어 있다.

한편, 수산청은 2007년에 수산기본계획에 나타난 시책의 추진을 연구개발 측면에서 지원하기 위해 새로운 ‘수산연구·기술개발전략’을 공포하였다. 여기에 연구개발 과제 중 ‘기반이 되는 기초적·선도적 연구개발 및 모니터링 등의 추진’이 있고, 세부 추진 방향으로 ‘새로운 수산업을 개척하는 기초적·선

도적 연구개발'이 있고 여기에 '해양바이오매스 자원화기술의 개발'이 포함되어 있다. 구체적 내용은 바이오매스·일본총합전략에 근거하여 해조 및 수산 가공잔재(殘滓=부산물) 등의 해양바이오매스를 연료 등의 자원으로서 활용하기 위해, 효율적으로 배양·수확·회수하는 기술 및 생물공학적 기술에 의한 자원화 기술을 개발한다. 특히 CO₂ 배출량의 삭감을 위해 해조 등을 활용한 매탄 발효, 마이오에탄올 연료생산, 어유의 바이오디젤 연료화, 이를 어선에 도입하기 위한 연구개발을 추진한다. 또한 가공잔재의 사료, 비료화 등 지역에 있어서 해양바이오매스 다단계 이용기술의 개발 등을 추진한다.

2) 농림어업 바이오 연료법

한편, 일본 농림수산성은 2008년 10월 일본 국내 바이오연료의 생산 확대를 촉진시키기 위해 '농림어업 유기물 자원의 바이오연료의 원재료로서 이용 촉진에 관한 법률(이하, 농림어업 바이오 연료법)을 제정·시행하고 있다.

일본의 국산 바이오연료의 생산 확대는 지구온난화 방지, 순환형 사회 형성뿐만 아니라 종래의 식량·사료의 공급이라는 역할에 더해 농림수산업에 에너지의 원료 공급이라는 새로운 영역을 개척하는 것으로 매우 중요하다.

이러한 속에서 정부는 바이오·일본 총합전략에 근거하여 국산 바이오연료의 생산 확대를 도모하고 있다. 국산 바이오연료의 생산 확대를 추진하는 제도적 조치로서 농림어업바이오연료법이 제정, 시행하였다.

동 법은 전문 20조, 부칙으로 구성되어 있으며, 목적은 농림어업 유기물 자원의 바이오연료의 원재료로서 이용을 촉진하기 위해 조치를 강구함으로써 농림어업 유기물 자원의 새로운 수요의 개척 및 그 유효한 이용 확립, 바이오연료의 생산확대를 도모하고, 이를 통해 농림어업의 지속적 건전한 발전 및 에너지 공급원의 다양화에 기여하는 것을 목적으로 한다.

3) 바이오매스 관련 예산

2009년 기준으로 일본의 바이오매스 관련 예산은 203,690백만 엔이며 이 중에서 바이오연료관련 예산은 98,289백만 엔이다. 여기에서 농림수산성의 예산은 26,080백만 엔이 포함되어 있다.

한편, 2009년 수산청의 바이오매스 관련 예산은 ‘수산업 진흥형 기술개발 사업(108백만 엔)’과 ‘어선 등 에너지절약·안전추진사업(924백만 엔)’으로 구분되어 있다.

우선 수산업 진흥형 기술개발사업의 핵심은 연안어업에 있어서 자원의 합리적 이용 등에 기여하는 기술의 도입과 바이오매스기술의 활용 등을 통해서 국제경쟁력 있는 건전한 수산업의 실현에 기여하는 기술개발을 효율적으로 실시하는 것이다. 동 사업의 정책목표는 국제경쟁력 있는 경영체의 육성·확보와 활력 있는 어업취업구조 확립에 있다.

구체적인 정책 내용을 보면, ① 연안어업 현장 대응형 기술도입 조사 검토 사업, ② 수산바이오매스 자원화 기술의 개발 : 수산바이오매스로부터 유용성분을 추출하는 기술 개발 등을 추진하고, 미이용 해조류에서 에탄올 생산 등의 바이오 연료생산기술의 개발을 실시, ③ 어선어업의 CO₂배출량을 삭감하기 위한 조사연구 추진으로서 CO₂의 증대에 영향을 미치지 않는 바이오디젤연료 등 화석연료를 대체하는 에너지 어선의 도입을 위한 기술개발을 실시 등이 있다.

4) 수산바이오매스 이용연구 현황

수산 분야의 바이오매스 이용연구는 주로 수산물 가공잔재·미이용수산물에서 기능성 성분 등의 추출정제·이용연구가 주류를 이루고 있는 반면, 수산 바이오연료에 대응한 사례는 적다. 단, 농업에서 바이오에탄올 연료는 농업 분야에서 많이 진전되어 있다.

5) 해조류에서 에탄올 생산수율 공표

(독)수산종합연구센터에서는 수산청의 ‘수산바이오매스 자원화기술개발사업’ 예산을 받아 2007년부터 해조류 등을 원료로 한 바이오에탄올 생산기술의 연구에 착수하였다. 그 결과 해조(참갈파래) 및 수생식물(부레옥잠)을 원료로 발효법에 의해 에탄올을 생산하였고, 단위중량 당 에탄올 수량은 참갈파래의 경우 건조중량의 10%, 부레옥잠은 건조중량 16%로 확인하였다. 향후 에탄올 수율의 향상이 실용화의 열쇠이다.

3. 수산바이오매스 기술개발 현황

1) 마리노포럼21의 개요

마리노포럼21은 1986년 설립, 농림수산성 소관의 사단법인, 2009년 10월 (사)해외수산컨설팅트협회와 합병하여 현재에 이르고 있다.

동 단체의 설립 목적은 첫째, 21세기 어업을 전망하고 민간 기술개발력 및 지방공공단체 등의 어업개발에 대한 의욕을 결집하여 일본 200해리수역 내의 어장정비 및 개발, 재배어업을 중심으로 한 ‘만들어 기르는 어업’에 대해 신기술 개발 등을 수행한다.

둘째, 해외에서 수산업 개발에 대한 협력체제의 강화 및 해외수산컨설팅트 관계기술자의 자질 향상을 도모하여 해외수산업의 건전한 발전에 이바지하는 것에 의해 일본 어업의 발전과 수산물의 안정공급에 기여하는 것을 목적으로 한다.

다음으로 주요 사업의 방향은 ㉠ 어장의 정비 및 개발, 재배어업을 중심으로 하는 만들어 기르는 어업에 대한 신기술의 개발, ㉡ 만들어 기르는 어업에 의한 어업발전을 촉진하기 위한 조사연구, ㉢ 해외수산업개발 및 해외어업협

력에 관한 조사연구, 프로젝트 창출을 위한 조사 및 관계단체에 대한 지도 등,

㉔ 상기 사업에 관한 정보 수집 및 제공, ㉕ 기타 필요한 사업이다.

사업내용은 연구사업 활동, 위탁사업 활동, 기술사 강습회, 수산세미나, 정보사업 활동 등이 있으며, 기술 개발을 위한 수산양식연구회, 해역종합개발연구회, 양식시스템연구회가 구성되어 있다.

2) 수산바이오매스 관련 프로젝트

(1) 2009년 수탁사업 실적

- 국가 :

① 有明海어장조성기술개발사업, ② 표류·표착물 처리추진모델사업, ③ 김양식의 효율적 작업관리시스템의 기술개발사업, ④ 대수심에 설치하는 어초의 설계기준조사 중 중층부어초 회수방법의 개발사업, ⑤ 원양어업관리추진위탁사업 중 과학 오피서버에 의한 정보수집·분석사업, ⑥ 해외수산업협력기초조사사업

- (독)수산종합연구센터 :

① 수산바이오매스 자원화 기술개발사업

- 사단법인 :

① JICA 과제부 국내지원업무, ② 전복양식에서 반순환형에너지화시스템 실증실험

- 국제기관 : SEADEC지원업무

(2) 수산바이오 관련 기술개발

수산자원 유효이용 관점에서 미이용자원 고도 이용할 수 있는 새로운 식품소재, 약품 등의 신물질 개발 등과 관련된 기술개발이 중심을 이루고 있다.

주요 사업의 성과를 정리하면 다음과 같다.

- 어개류 엑기스를 이용한 식품소재, 사료 개발
- 고기풀(수리미) 이용액에서 효소 회수와 이용
- 어류 내장에서 혈압조절 물질의 추출
- 다시마에서 고혈압방지식품개발
- 해조에서 항산화성물질의 생산
- 비늘의 식품으로 이용
- 저분자 키토산 제조와 이용
- 수산가공폐기물의 메탄발효 : 기간 ; 2002~2005 년, 수산가공폐기물의 발생 상황 조사 및 선진사례 조사, 수산가공폐기물을 사용한 발효시험, 메탄발효 실증시험기의 설계와 시험, 플랜트시스템의 개념 검토와 제안

4. 일본 수산바이오매스 시사점

일본 수산 바이오매스 관련하여 시사점을 정리하면 다음과 같다.

수산바이오에너지는 원료의 안정적 공급과 저렴한 비용을 어떻게 해결해 나가는지가 열쇠이다. 바이오에너지의 산업화 첫걸음으로서 내년부터 도쿄 GAS에서 바이오에탄올을 일반가스와 혼합하여 공급 예정이다.

해조류 식용(특히 해조류셀러드)이 선진국을 중심으로 폭발적으로 증대되고 있는 상황에서 해조류바이오매스는 비식용 해조류로 대상으로 하는 것이 바람직할 것으로 사료된다.

그리고 해조류바이오매스 연구는 신기술 대량 양식시스템을 검토하고 있는 등 기술개발 단계에 불과함. 대량 생산 등을 통한 산업화는 아직까지 다소 시간이 필요할 것으로 보인다.

한편, 현재 일본의 남쪽 연안을 중심으로 백화현상이 심각하다. 따라서 해

조류 바이오매스는 우선 일본 연안의 해조류를 복원·증대시키는 기술 개발이 우선적으로 되어야 하며, 해조류가 대량 번식하였을 때 에너지 확보하는 기술 개발이 필요할 것이다.

부록 2 : 저탄소녹색성장기본법

제1조(목적)

이 법은 경제와 환경의 조화로운 발전을 위하여 저탄소(低炭素) 녹색성장에 필요한 기반을 조성하고 녹색기술과 녹색산업을 새로운 성장동력으로 활용함으로써 국민경제의 발전을 도모하며 저탄소 사회 구현을 통하여 국민의 삶의 질을 높이고 국제사회에서 책임을 다하는 성숙한 선진 일류국가로 도약하는 데 이바지함을 목적으로 한다.

제2조(정의) 이 법에서 사용하는 용어의 뜻은 다음과 같다.

1. “저탄소”란 화석연료(化石燃料)에 대한 의존도를 낮추고 청정에너지의 사용 및 보급을 확대하며 녹색기술 연구개발, 탄소흡수원 확충 등을 통하여 온실가스를 적정수준 이하로 줄이는 것을 말한다.
2. “녹색성장”이란 이란 에너지와 자원을 절약하고 효율적으로 사용하여 기후변화와 환경훼손을 줄이고 청정에너지와 녹색기술의 연구개발을 통하여 새로운 성장동력을 확보하며 새로운 일자리를 창출해 나가는 등 경제와 환경이 조화를 이루는 성장을 말한다.
3. “녹색기술”이란 온실가스 감축기술, 에너지 이용 효율화 기술, 청정생산 기술, 청정에너지 기술, 자원순환 및 친환경 기술(관련 융합기술을 포함한다) 등 사회·경제 활동의 전 과정에 걸쳐 에너지와 자원을 절약하고 효율적으로 사용하여 온실가스 및 오염물질의 배출을 최소화하는 기술을 말한다.
4. “녹색산업”이란 경제·금융·건설·교통물류·농림수산·관광 등 경제 활동 전반에 걸쳐 에너지와 자원의 효율을 높이고 환경을 개선할 수 있는 재화(財貨)의 생산 및 서비스의 제공 등을 통하여 저탄소 녹색성장을

이루기 위한 모든 산업을 말한다.

5. “녹색제품”이란 에너지·자원의 투입과 온실가스 및 오염물질의 발생을 최소화하는 제품을 말한다.
6. “녹색생활”이란 기후변화의 심각성을 인식하고 일상생활에서 에너지를 절약하여 온실가스와 오염물질의 발생을 최소화하는 생활을 말한다.
7. “녹색경영”이란 기업이 경영활동에서 자원과 에너지를 절약하고 효율적으로 이용하며 온실가스 배출 및 환경오염의 발생을 최소화하면서 사회적, 윤리적 책임을 다하는 경영을 말한다.
8. “지속가능발전”이란 「지속가능발전법」 제2조제2호에 따른 지속가능발전을 말한다.
9. “온실가스”란 이산화탄소(CO₂), 메탄(CH₄), 아산화질소(N₂O), 수소불화탄소(HFCs), 과불화탄소(PFCs), 육불화황(SF₆) 및 그 밖에 대통령령으로 정하는 것으로 적외선 복사열을 흡수하거나 재방출하여 온실효과를 유발하는 대기 중의 가스 상태의 물질을 말한다.
10. “온실가스 배출”이란 사람의 활동에 수반하여 발생하는 온실가스를 대기 중에 배출·방출 또는 누출시키는 직접배출과 다른 사람으로부터 공급된 전기 또는 열(연료 또는 전기를 열원으로 하는 것만 해당한다)을 사용함으로써 온실가스가 배출되도록 하는 간접배출을 말한다.
11. “지구온난화”란 사람의 활동에 수반하여 발생하는 온실가스가 대기 중에 축적되어 온실가스 농도를 증가시킴으로써 지구 전체적으로 지표 및 대기의 온도가 추가적으로 상승하는 현상을 말한다.
12. “기후변화”란 사람의 활동으로 인하여 온실가스의 농도가 변함으로써 상당 기간 관찰되어 온 자연적인 기후변동에 추가적으로 일어나는 기후체계의 변화를 말한다.
13. “자원순환”이란 「자원의 절약과 재활용촉진에 관한 법률」 제2조제1호에 따른 자원순환을 말한다.

14. “신·재생에너지”란 「신에너지 및 재생에너지 개발·이용·보급 촉진법」 제2조제1호에 따른 신에너지 및 재생에너지를 말한다.
15. “에너지 자립도”란 국내 총소비에너지량에 대하여 신·재생에너지 등 국내 생산에너지량 및 우리나라가 국외에서 개발(지분 취득을 포함한다)한 에너지량을 합한 양이 차지하는 비율을 말한다.

제3조(저탄소 녹색성장 추진의 기본원칙) 저탄소 녹색성장은 다음 각 호의 기본원칙에 따라 추진되어야 한다.

1. 정부는 기후변화·에너지·자원 문제의 해결, 성장동력 확충, 기업의 경쟁력 강화, 국토의 효율적 활용 및 쾌적한 환경 조성 등을 포함하는 종합적인 국가 발전전략을 추진한다.
2. 정부는 시장기능을 최대한 활성화하여 민간이 주도하는 저탄소 녹색성장을 추진한다.
3. 정부는 녹색기술과 녹색산업을 경제성장의 핵심 동력으로 삼고 새로운 일자리를 창출·확대할 수 있는 새로운 경제체제를 구축한다.
4. 정부는 국가의 자원을 효율적으로 사용하기 위하여 성장잠재력과 경쟁력이 높은 녹색기술 및 녹색산업 분야에 대한 중점 투자 및 지원을 강화한다.
5. 정부는 사회·경제 활동에서 에너지와 자원 이용의 효율성을 높이고 자원순환을 촉진한다.
6. 정부는 자연자원과 환경의 가치를 보존하면서 국토와 도시, 건물과 교통, 도로·항만·상하수도 등 기반시설을 저탄소 녹색성장에 적합하게 개편한다.
7. 정부는 환경오염이나 온실가스 배출로 인한 경제적 비용이 재화 또는 서비스의 시장가격에 합리적으로 반영되도록 조세(租稅)체계와 금융체계를 개편하여 자원을 효율적으로 배분하고 국민의 소비 및 생활 방식

이 저탄소 녹색성장에 기여하도록 적극 유도한다. 이 경우 국내산업의 국제경쟁력이 약화되지 않도록 고려하여야 한다.

8. 정부는 국민 모두가 참여하고 국가기관, 지방자치단체, 기업, 경제단체 및 시민단체가 협력하여 저탄소 녹색성장을 구현하도록 노력한다.
9. 정부는 저탄소 녹색성장에 관한 새로운 국제적 동향(動向)을 조기에 파악·분석하여 국가 정책에 합리적으로 반영하고, 국제사회의 구성원으로서 책임과 역할을 성실히 이행하여 국가의 위상과 품격을 높인다.

제4조(국가의 책무)

- ① 국가는 정치·경제·사회·교육·문화 등 국정의 모든 부문에서 저탄소 녹색성장의 기본원칙이 반영될 수 있도록 노력하여야 한다.
- ② 국가는 각종 정책을 수립할 때 경제와 환경의 조화로운 발전 및 기후변화에 미치는 영향 등을 종합적으로 고려하여야 한다.
- ③ 국가는 지방자치단체의 저탄소 녹색성장 시책을 장려하고 지원하며, 녹색성장의 정착·확산을 위하여 사업자와 국민, 민간단체에 정보의 제공 및 재정 지원 등 필요한 조치를 할 수 있다.
- ④ 국가는 에너지와 자원의 위기 및 기후변화 문제에 대한 대응책을 정기적으로 점검하여 성과를 평가하고 국제협상의 동향 및 주요 국가의 정책을 분석하여 적절한 대책을 마련하여야 한다.
- ⑤ 국가는 국제적인 기후변화대응 및 에너지·자원 개발협력에 능동적으로 참여하고, 개발도상국가에 대한 기술적·재정적 지원을 할 수 있다.

제5조(지방자치단체의 책무)

- ① 지방자치단체는 저탄소 녹색성장 실현을 위한 국가시책에 적극 협력하여야 한다.
- ② 지방자치단체는 저탄소 녹색성장대책을 수립·시행할 때 해당 지방자치

단체의 지역적 특성과 여건을 고려하여야 한다.

③ 지방자치단체는 관할구역 내에서의 각종 계획 수립과 사업의 집행과정에서 그 계획과 사업이 저탄소 녹색성장에 미치는 영향을 종합적으로 고려하고, 지역주민에게 저탄소 녹색성장에 대한 교육과 홍보를 강화하여야 한다.

④ 지방자치단체는 관할구역 내의 사업자, 주민 및 민간단체의 저탄소 녹색성장을 위한 활동을 장려하기 위하여 정보 제공, 재정 지원 등 필요한 조치를 강구하여야 한다.

제6조(사업자의 책무)

① 사업자는 녹색경영을 선도하여야 하며 기업활동의 전 과정에서 온실가스와 오염물질의 배출을 줄이고 녹색기술 연구개발과 녹색산업에 대한 투자 및 고용을 확대하는 등 환경에 관한 사회적·윤리적 책임을 다하여야 한다.

② 사업자는 정부와 지방자치단체가 실시하는 저탄소 녹색성장에 관한 정책에 적극 참여하고 협력하여야 한다.

제7조(국민의 책무)

① 국민은 가정과 학교 및 직장 등에서 녹색생활을 적극 실천하여야 한다.

② 국민은 기업의 녹색경영에 관심을 기울이고 녹색제품의 소비 및 서비스 이용을 증대함으로써 기업의 녹색경영을 촉진한다.

③ 국민은 스스로가 인류가 직면한 심각한 기후변화, 에너지·자원 위기의 최종적인 문제해결자임을 인식하여 건강하고 쾌적한 환경을 후손에게 물려주기 위하여 녹색생활 운동에 적극 참여하여야 한다.

제8조(다른 법률과의 관계)

- ① 저탄소 녹색성장에 관하여는 다른 법률에 우선하여 이 법을 적용한다.
- ② 저탄소 녹색성장과 관련되는 다른 법률을 제정하거나 개정하는 경우에는 이 법의 목적과 기본원칙에 맞도록 하여야 한다.
- ③ 국가와 지방자치단체가 다른 법령에 따라 수립하는 행정계획과 정책은 제3조에 따른 저탄소 녹색성장 추진의 기본원칙 및 제9조에 따른 저탄소 녹색성장 국가전략과 조화를 이루도록 하여야 한다.

제2장 저탄소 녹색성장 국가전략

제9조(저탄소 녹색성장 국가전략)

- ① 정부는 국가의 저탄소 녹색성장을 위한 정책목표·추진전략·중점추진 과제 등을 포함하는 저탄소 녹색성장 국가전략(이하 "녹색성장국가전략"이라 한다)을 수립·시행하여야 한다.
- ② 녹색성장국가전략에는 다음 각 호의 사항이 포함되어야 한다.
 1. 제22조에 따른 녹색경제 체제의 구현에 관한 사항
 2. 녹색기술·녹색산업에 관한 사항
 3. 기후변화대응 정책, 에너지 정책 및 지속가능발전 정책에 관한 사항
 4. 녹색생활, 제51조에 따른 녹색국토, 제53조에 따른 저탄소 교통체계 등에 관한 사항
 5. 기후변화 등 저탄소 녹색성장과 관련된 국제협상 및 국제협력에 관한 사항
 6. 그 밖에 재원조달, 조세·금융, 인력양성, 교육·홍보 등 저탄소 녹색성장을 위하여 필요하다고 인정되는 사항
- ③ 정부는 녹색성장국가전략을 수립하거나 변경하려는 경우 제14조에 따른 녹색성장위원회의 심의 및 국무회의의 심의를 거쳐야 한다. 다만, 대통령령으로 정하는 경미한 사항을 변경하는 경우에는 그러하지 아니한다.

제10조(중앙행정기관의 추진계획 수립·시행)

- ① 중앙행정기관의 장은 녹색성장국가전략을 효율적·체계적으로 이행하기 위하여 대통령령으로 정하는 바에 따라 소관 분야의 추진계획(이하 "중앙추진계획"이라 한다)을 수립·시행하여야 한다.
- ② 중앙행정기관의 장은 중앙추진계획을 수립하거나 변경하는 때에는 대통령령으로 정하는 바에 따라 제14조에 따른 녹색성장위원회에 보고하여야 한다. 다만, 대통령령으로 정하는 경미한 사항을 변경하는 경우에는 그러하지 아니하다.

제11조(지방자치단체의 추진계획 수립·시행)

- ① 특별시장·광역시장·도지사 또는 특별자치도지사(이하 "시·도지사"라 한다)는 해당 지방자치단체의 저탄소 녹색성장을 촉진하기 위하여 대통령령으로 정하는 바에 따라 녹색성장국가전략과 조화를 이루는 지방녹색성장 추진계획(이하 "지방추진계획"이라 한다)을 수립·시행하여야 한다.
- ② 시·도지사는 지방추진계획을 수립하거나 변경하는 때에는 제20조에 따른 지방녹색성장위원회의 심의를 거친 후 지방의회에 보고하고 지체 없이 이를 제14조에 따른 녹색성장위원회에 제출하여야 한다. 다만, 대통령령으로 정하는 경미한 사항을 변경하는 경우에는 그러하지 아니하다.

제12조(추진상황 점검 및 평가)

- ① 국무총리는 대통령령으로 정하는 바에 따라 녹색성장국가전략과 중앙추진계획의 이행사항을 점검·평가하여야 한다. 이 경우 국무총리는 평가의 절차, 기준, 결과 등에 대하여 제14조에 따른 녹색성장위원회와 협의하여야 한다.
- ② 시·도지사는 대통령령으로 정하는 바에 따라 지방추진계획의 이행상황

을 점검·평가하여 그 결과를 지방의회에 보고하고 지체 없이 이를 제14조에 따른 녹색성장위원회에 제출하여야 한다.

제13조(정책에 관한 의견제시)

① 제14조에 따른 녹색성장위원회는 제12조에 따른 추진상황 점검·평가 결과 등에 따라 필요하다고 인정되는 경우에는 관계 중앙행정기관의 장 또는 시·도지사에게 의견을 제시할 수 있다.

② 제1항에 따른 의견을 제시받은 관계 중앙행정기관의 장 또는 시·도시사는 해당 기관의 정책 등에 이를 반영하기 위하여 노력하여야 한다.

제3장 녹색성장위원회 등

제14조(녹색성장위원회의 구성 및 운영)

① 국가의 저탄소 녹색성장과 관련된 주요 정책 및 계획과 그 이행에 관한 사항을 심의하기 위하여 대통령 소속으로 녹색성장위원회(이하 “위원회”라 한다)를 둔다.

② 위원회는 위원장 2명을 포함한 50명 이내의 위원으로 구성한다.

③ 위원회의 위원장은 국무총리와 제4항제2호의 위원 중에서 대통령이 지명하는 사람이 된다.

④ 위원회의 위원은 다음 각 호의 사람이 된다.

1. 기획재정부장관, 교육과학기술부장관, 지식경제부장관, 환경부장관, 국토해양부장관 등 대통령령으로 정하는 공무원
2. 기후변화, 에너지·자원, 녹색기술·녹색산업, 지속가능발전 분야 등 저탄소 녹색성장에 관한 학식과 경험이 풍부한 사람 중에서 대통령이 위촉하는 사람

⑤ 위원회의 사무를 처리하게 하기 위하여 위원회에 간사위원 1명을 두며,

간사위원의 지명에 관한 사항은 대통령령으로 정한다.

- ⑥ 위원장은 각자 위원회를 대표하며, 위원회의 업무를 총괄한다.
- ⑦ 위원장이 부득이한 사유로 직무를 수행할 수 없는 때에는 국무총리인 위원장이 미리 정한 위원이 위원장의 직무를 대행한다.
- ⑧ 제4항제2호의 위원의 임기는 1년으로 하되, 연임할 수 있다.

제15조(위원회의 기능) 위원회는 다음 각 호의 사항을 심의한다.

- 1. 저탄소 녹색성장 정책의 기본방향에 관한 사항
- 2. 녹색성장국가전략의 수립·변경·시행에 관한 사항
- 3. 기후변화대응 기본계획, 에너지기본계획 및 지속가능발전 기본계획에 관한 사항
- 4. 저탄소 녹색성장 추진의 목표 관리, 점검, 실태조사 및 평가에 관한 사항
- 5. 관계 중앙행정기관 및 지방자치단체의 저탄소 녹색성장과 관련된 정책 조정 및 지원에 관한 사항
- 6. 저탄소 녹색성장과 관련된 법제도에 관한 사항
- 7. 저탄소 녹색성장을 위한 재원의 배분방향 및 효율적 사용에 관한 사항
- 8. 저탄소 녹색성장과 관련된 국제협상·국제협력, 교육·홍보, 인력양성 및 기반구축 등에 관한 사항
- 9. 저탄소 녹색성장과 관련된 기업 등의 고충조사, 처리, 시정권고 또는 의견표명
- 10. 다른 법률에서 위원회의 심의를 거치도록 한 사항
- 11. 그 밖에 저탄소 녹색성장과 관련하여 위원장이 필요하다고 인정하는 사항

제16조(회의)

- ① 위원장은 위원회의 회의를 소집하고 그 의장이 된다.

- ② 위원회의 회의는 정기회의와 임시회의로 구분하며, 임시회의는 위원장이 필요하다고 인정하는 경우 또는 위원 5명 이상의 소집요구가 있을 경우에 위원장이 소집한다.
- ③ 위원회의 회의는 위원 과반수의 출석으로 개의하고, 출석위원 과반수의 찬성으로 의결한다. 다만, 대통령령으로 정하는 경우에는 서면으로 심의·의결할 수 있다.
- ④ 제1항부터 제3항까지에서 규정한 사항 외에 정기회의의 시기 등 위원회의 운영에 필요한 사항은 대통령령으로 정한다.

제17조(분과위원회)

- ① 위원회의 업무를 효율적으로 수행·지원하고 위원회가 위임하는 업무를 검토·조정 또는 처리하기 위하여 대통령령으로 정하는 바에 따라 위원회에 분과위원회를 둘 수 있다.
- ② 분과위원회는 위촉위원으로 구성하며, 분과위원회의 위원장은 분과위원회의 위원 중에서 호선(互選)한다.
- ③ 중앙행정기관의 고위공무원단에 속하는 공무원은 관계 분야의 안전에 대하여 해당 분과위원회에 참석하여 의견을 제시할 수 있다.
- ④ 제1항부터 제3항까지에서 규정한 사항 외에 분과위원회의 운영에 필요한 사항은 위원회의 의결을 거쳐 위원회의 위원장이 정한다.

제18조(녹색성장기획단)

- ① 위원회 및 분과위원회의 운영 및 업무를 효율적으로 지원하기 위하여 위원회에 녹색성장기획단(이하 “기획단”이라 한다)을 둔다.
- ② 기획단의 구성 및 운영 등에 필요한 사항은 대통령령으로 정한다.

제19조(공무원 등의 파견 요청)

위원회는 위원회의 운영 또는 기획단의 업무수행을 위하여 필요한 경우에는 중앙행정기관, 지방자치단체 소속의 공무원 및 관련 민간기관·단체 또는 연구소, 기업 임직원 등의 파견 또는 겸임을 요청할 수 있다.

제20조(지방녹색성장위원회의 구성 및 운영)

- ① 지방자치단체의 저탄소 녹색성장과 관련된 주요 정책 및 계획과 그 이행에 관한 사항을 심의하기 위하여 시·도지사 소속으로 지방녹색성장위원회(이하 “지방녹색성장위원회”라 한다)를 둘 수 있다.
- ② 지방녹색성장위원회의 구성, 운영 및 기능 등에 필요한 사항은 대통령령으로 정한다.

제21조(녹색성장책임관의 지정)

저탄소 녹색성장의 원활한 추진을 위하여 중앙행정기관의 장 및 시·도지사는 소속 공무원 중에서 녹색성장책임관을 지정할 수 있다.

제4장 저탄소 녹색성장의 추진

제22조(녹색경제·녹색산업 구현을 위한 기본원칙)

- ① 정부는 화석연료의 사용을 단계적으로 축소하고 녹색기술과 녹색산업을 육성함으로써 국가경쟁력을 강화하고 지속가능발전을 추구하는 경제(이하 “녹색경제”라 한다)를 구현하여야 한다.
- ② 정부는 녹색경제 정책을 수립·시행할 때 금융·산업·과학기술·환경·국토·문화 등 다양한 부문을 통합적 관점에서 균형 있게 고려하여야 한다.
- ③ 정부는 새로운 녹색산업의 창출, 기존 산업의 녹색산업으로의 전환 및 관련 산업과의 연계 등을 통하여 에너지·자원 다소비형 산업구조가 저탄

소 녹색산업구조로 단계적으로 전환되도록 노력하여야 한다.

④ 정부는 저탄소 녹색성장을 추진할 때 지역 간 균형발전을 도모하며 저소득층이 소외되지 않도록 지원 및 배려하여야 한다.

제23조(녹색경제·녹색산업의 육성·지원)

① 정부는 녹색경제를 구현함으로써 국가경제의 건전성과 경쟁력을 강화하고 성장잠재력이 큰 새로운 녹색산업을 발굴·육성하는 등 녹색경제·녹색산업의 육성·지원 시책을 마련하여야 한다.

② 제1항에 따른 녹색경제·녹색산업의 육성·지원 시책에는 다음 각 호의 사항이 포함되어야 한다.

1. 국내외 경제여건 및 전망에 관한 사항
2. 기존 산업의 녹색산업 구조로의 단계적 전환에 관한 사항
3. 녹색산업을 촉진하기 위한 중장기·단계별 목표, 추진전략에 관한 사항
4. 녹색산업의 신성장동력으로의 육성·지원에 관한 사항
5. 전기·정보통신·교통시설 등 기존 국가기반시설의 친환경 구조로의 전환에 관한 사항
6. 녹색경영을 위한 자문서비스 산업의 육성에 관한 사항
7. 녹색산업 인력 양성 및 일자리 창출에 관한 사항
8. 그 밖에 녹색경제·녹색산업의 촉진에 관한 사항

제24조(자원순환의 촉진)

① 정부는 자원을 절약하고 효율적으로 이용하며 폐기물의 발생을 줄이는 등 자원순환의 촉진과 자원생산성 제고를 위하여 자원순환 산업을 육성·지원하기 위한 다양한 시책을 마련하여야 한다.

② 제1항에 따른 자원순환 산업의 육성·지원 시책에는 다음 각 호의 사항이 포함되어야 한다.

1. 자원순환 촉진 및 자원생산성 제고 목표설정
2. 자원의 수급 및 관리
3. 유해하거나 재제조·재활용이 어려운 물질의 사용억제
4. 폐기물 발생의 억제 및 재제조·재활용 등 재자원화
5. 에너지자원으로 이용되는 목재, 식물, 농산물 등 바이오매스의 수집·활용
6. 자원순환 관련 기술개발 및 산업의 육성
7. 자원생산성 향상을 위한 교육훈련·인력양성 등에 관한 사항

제25조(기업의 녹색경영 촉진)

- ① 정부는 기업의 녹색경영을 지원·촉진하여야 한다.
- ② 정부는 기업의 녹색경영을 지원·촉진하기 위하여 다음 각 호의 사항을 포함하는 시책을 수립·시행하여야 한다.
 1. 친환경 생산체제로의 전환을 위한 기술지원
 2. 기업의 에너지·자원 이용 효율화, 온실가스 배출량 감축, 산림조성 및 자연환경 보전, 지속가능발전 정보 등 녹색경영 성과의 공개
 3. 중소기업의 녹색경영에 대한 지원
 4. 그 밖에 저탄소 녹색성장을 위한 기업활동 지원에 관한 사항

제26조(녹색기술의 연구개발 및 사업화 등의 촉진)

- ① 정부는 녹색기술의 연구개발 및 사업화 등을 촉진하기 위하여 다음 각 호의 사항을 포함하는 시책을 수립·시행할 수 있다.
 1. 녹색기술과 관련된 정보의 수집·분석 및 제공
 2. 녹색기술 평가기법의 개발 및 보급
 3. 녹색기술 연구개발 및 사업화 등의 촉진을 위한 금융지원
 4. 녹색기술 전문인력의 양성 및 국제협력 등
- ② 정부는 정보통신·나노·생명공학 기술 등의 융합을 촉진하고 녹색기술

의 지식재산권화를 통하여 저탄소 지식기반경제로의 이행을 신속하게 추진하여야 한다.

③ 「과학기술기본법」에 따른 과학기술기본계획에 제1항의 시책이 포함되는 경우에는 미리 위원회의 의견을 들어야 한다.

제27조(정보통신기술의 보급·활용)

① 정부는 에너지 절약, 에너지 이용효율 향상 및 온실가스 감축을 위하여 정보통신기술 및 서비스를 적극 활용하는 다음 각 호에 대한 시책을 수립·시행하여야 한다.

1. 방송통신 네트워크 등 정보통신 기반 확대
2. 새로운 정보통신 서비스의 개발·보급
3. 정보통신 산업 및 기기 등에 대한 녹색기술 개발 촉진

② 정부는 저탄소 녹색성장을 위한 생활문화를 조속히 확산시키기 위하여 재택근무·영상회의·원격교육·원격진료 등을 활성화하는 등의 방송통신 시책을 수립·시행하여야 한다.

③ 정부는 정보통신기술을 활용하여 전력 네트워크를 지능화·고도화함으로써 고품질의 전력서비스를 제공하고 에너지 이용효율을 극대화하며 온실가스를 획기적으로 감축할 수 있도록 하여야 한다.

제28조(금융의 지원 및 활성화)

정부는 저탄소 녹색성장을 촉진하기 위하여 다음 각 호의 사항을 포함하는 금융 시책을 수립·시행하여야 한다.

1. 녹색경제 및 녹색산업의 지원 등을 위한 재원의 조성 및 자금 지원
2. 저탄소 녹색성장을 지원하는 새로운 금융상품의 개발
3. 저탄소 녹색성장을 위한 기반시설 구축사업에 대한 민간투자 활성화
4. 기업의 녹색경영 정보에 대한 공시제도 등의 강화 및 녹색경영 기업에 대한 금융지원 확대

5. 탄소시장(온실가스를 배출할 수 있는 권리 또는 온실가스의 감축·흡수 실적 등을 거래하는 시장을 말한다. 이하 같다)의 개설 및 거래 활성화 등

제29조(녹색산업투자회사의 설립과 지원)

① 녹색기술 및 녹색산업에 자산을 투자하여 그 수익을 투자자에게 배분하는 것을 목적으로 하는 녹색산업투자회사(「자본시장과 금융투자업에 관한 법률」 제9조제18항의 집합투자기구를 말한다. 이하 같다)를 설립할 수 있다.

② 녹색산업투자회사가 투자하는 녹색기술 및 녹색산업은 다음 각호에서 정하는 사업 또는 기업으로 한다.

1. 제2조제3호에 따른 녹색기술에 대한 연구와 시제품의 제작 및 상용화를 위한 연구개발 또는 기술지원 사업
2. 제2조제4호에 따른 녹색산업에 해당하는 사업
3. 녹색기술 또는 녹색산업에 대한 투자 또는 영업을 영위하는 기업

③ 정부는 「공공기관의 운영에 관한 법률」 제4조에 따른 공공기관이 녹색산업투자회사에 출자하려는 경우 이를 위한 자금의 전부 또는 일부를 예산의 범위에서 지원할 수 있다.

④ 금융위원회는 제3항의 규정에 따라 공공기관이 출자한 녹색산업투자회사(해당 회사의 자산운용회사·자산보관회사 및 일반사무관리회사를 포함한다. 이하 이 조에서 같다)에게 해당 회사의 업무 및 재산 등에 관한 자료의 제출이나 보고를 요구할 수 있으며, 관계 중앙행정기관은 금융위원회에 해당 자료의 제출을 요구할 수 있다.

⑤ 관계 중앙행정기관은 제4항에 의하여 제출된 자료나 보고 내용에 대하여 검사가 필요하다고 인정하는 경우 금융위원회에게 해당 녹색산업투자회사에 대한 업무 및 재산 등에 관한 검사를 요청할 수 있으며, 해당 검사 결과 중대한 문제가 있다고 여겨지는 경우에는 금융위원회는 관계 중앙행

정기관과 협의하여 해당 녹색산업투자회사의 등록을 취소할 수 있다.

⑥ 제1항 내지 제5항에 따른 녹색산업투자회사의 설립·운영 및 재정지원과 그 밖에 필요한 세부사항은 대통령령으로 정한다.

제30조(조세 제도 운영)

정부는 에너지·자원의 위기 및 기후변화 문제에 효과적으로 대응하고 저탄소 녹색성장을 촉진하기 위하여 온실가스와 오염물질을 발생시키거나 에너지·자원 이용효율이 낮은 재화와 서비스를 줄이고 환경친화적인 재화와 서비스를 촉진하는 방향으로 국가의 조세 제도를 운영하여야 한다.

제31조(녹색기술·녹색산업에 대한 지원·특례 등)

① 국가 또는 지방자치단체는 녹색기술·녹색산업에 대하여 보조금의 지급 등 필요한 지원을 할 수 있다.

② 「신용보증기금법」에 따라 설립된 신용보증기금 및 「기술신용보증기금법」에 따라 설립된 기술신용보증기금은 녹색기술·녹색산업에 우선적으로 신용보증을 하거나 보증조건 등을 우대할 수 있다.

③ 국가나 지방자치단체는 녹색기술·녹색산업과 관련된 기업을 지원하기 위하여 「조세특례제한법」과 「지방세법」에서 정하는 바에 따라 소득세·법인세·취득세·재산세·등록세 등을 감면할 수 있다.

④ 국가나 지방자치단체는 녹색기술·녹색산업과 관련된 기업이 「외국인투자 촉진법」 제2조제1항제4호에 따른 외국인투자를 유치하는 경우에 이를 최대한 지원하기 위하여 노력하여야 한다.

제32조(녹색기술·녹색산업의 표준화 및 인증 등)

① 정부는 국내에서 개발되었거나 개발 중인 녹색기술·녹색산업이 「국가표준기본법」 제3조제2호에 따른 국제표준에 부합되도록 표준화 기반을 구

축하고 녹색기술·녹색산업의 국제표준화 활동 등에 필요한 지원을 할 수 있다.

② 정부는 녹색기술·녹색산업의 발전을 촉진하기 위하여 녹색기술, 녹색사업, 녹색제품 등에 대한 적합성 인증을 하거나 녹색전문기업 확인, 공공기관의 구매의무화 또는 기술지도 등을 할 수 있다.

③ 정부는 다음 각 호의 어느 하나에 해당하는 경우에는 제2항에 따른 적합성 인증 및 녹색전문기업 확인을 취소하여야 한다.

1. 거짓이나 그 밖의 부정한 방법으로 인증이나 확인을 받은 경우
2. 중대한 결함이 있어 인증이나 확인이 적당하지 아니하다고 인정되는 경우

④ 제1항 내지 제3항에 따른 표준화, 인증 및 취소 등에 관하여 그 밖에 필요한 사항은 대통령령으로 정한다.

제33조(중소기업의 지원 등)

정부는 중소기업의 녹색기술 및 녹색경영을 촉진하기 위하여 다음 각 호의 시책을 수립·시행할 수 있다.

1. 대기업과 중소기업의 공동사업에 대한 우선 지원
2. 대기업의 중소기업에 대한 기술지도·기술이전 및 기술인력 파견에 대한 지원
3. 중소기업의 녹색기술 사업화의 촉진
4. 녹색기술 개발 촉진을 위한 공공시설의 이용
5. 녹색기술·녹색산업에 관한 전문인력 양성·공급 및 국외진출
6. 그 밖에 중소기업의 녹색기술 및 녹색경영을 촉진하기 위한 사항

제34조(녹색기술·녹색산업 집적지 및 단지 조성 등)

① 정부는 녹색기술의 공동연구개발, 시설장비의 공동활용 및 산·학·연 네트워크 구축 등의 사업을 위한 집적지와 단지를 조성하거나 이를 지원할

수 있다.

② 제1항에 따른 사업을 추진하는 경우에는 다음 각 호의 사항을 고려하여야 한다.

1. 산업단지별 산업집적 현황에 관한 사항
2. 기업·대학·연구소 등의 연구개발 역량강화 및 상호연계에 관한 사항
3. 산업집적기반시설의 확충 및 우수한 녹색기술·녹색산업 인력의 유치에 관한 사항
4. 녹색기술·녹색산업의 사업추진체계 및 재원조달방안

③ 정부는 대통령령으로 정하는 기관 또는 단체로 하여금 녹색기술·녹색산업 집적지 및 단지를 조성하게 할 수 있다.

④ 정부는 제3항에 따른 기관 또는 단체가 같은 항에 따른 녹색기술·녹색산업 집적지 및 단지를 조성하는 사업을 수행하는 데에 소요되는 비용의 전부 또는 일부를 출연할 수 있다.

제35조(녹색기술·녹색산업에 대한 일자리 창출 등)

① 정부는 녹색기술·녹색산업에 대한 일자리를 창출·확대하여 모든 국민이 녹색성장의 혜택을 누릴 수 있도록 하여야 한다.

② 정부는 녹색기술·녹색산업에 대한 일자리를 창출하는 과정에서 산업분야별 노동력의 원활한 이동·전환을 촉진하고 국민이 새로운 기술을 습득할 수 있는 기회를 확대하며, 녹색기술·녹색산업에 대한 일자리 창출을 위한 재정적·기술적 지원을 할 수 있다.

제36조(규제의 선진화)

① 정부는 자원을 효율적으로 이용하고 온실가스와 오염물질의 발생을 줄이기 위한 규제를 도입하려는 경우에는 온실가스 또는 오염물질의 발생 원인자가 스스로 온실가스와 오염물질의 발생을 줄이도록 유도함으로써 사

회·경제적 비용을 줄이도록 노력하여야 한다.

② 정부는 온실가스과 오염물질의 발생을 줄이기 위한 규제를 도입하려는 경우에는 민간의 자율과 창의를 저해하지 않도록 하고, 기업의 규제에 대한 국내외 실태조사 등을 하여 산업경쟁력을 높일 수 있도록 규제의 중복을 피하는 등 규제 체계를 선진화하여야 한다.

제37조(국제규범 대응)

① 정부는 외국 정부 또는 국제기구에서 제정하거나 도입하려는 저탄소 녹색성장과 관련된 제도·정책에 관한 동향과 정보를 수집·조사·분석하여 관련 제도·정책을 합리적으로 정비하고 지원체제를 구축하는 등 적절한 대책을 마련하여야 한다.

② 정부는 제1항의 동향·정보 및 대책에 관한 사항을 기업·국민들에게 충분히 제공함으로써 국내 기업과 국민들이 대응역량을 높일 수 있도록 하여야 한다.

제5장 저탄소 사회의 구현

제38조(기후변화대응의 기본원칙)

정부는 저탄소 사회를 구현하기 위하여 기후변화대응 정책 및 관련 계획을 다음 각 호의 원칙에 따라 수립·시행하여야 한다.

1. 지구온난화에 따른 기후변화 문제의 심각성을 인식하고 국가적·국민적 역량을 모아 총체적으로 대응하고 범지구적 노력에 적극 참여한다.
2. 온실가스 감축의 비용과 편익을 경제적으로 분석하고 국내 여건 등을 감안하여 국가온실가스 중장기 감축 목표를 설정하고, 가격기능과 시장원리에 기반을 둔 비용효과적 방식의 합리적 규제체제를 도입함으로써 온실가스 감축을 효율적·체계적으로 추진한다.

3. 온실가스를 획기적으로 감축하기 위하여 정보통신·나노·생명 공학 등 첨단기술 및 융합기술을 적극 개발하고 활용한다.
4. 온실가스 배출에 따른 권리·의무를 명확히 하고 이에 대한 시장거래를 허용함으로써 다양한 감축수단을 자율적으로 선택할 수 있도록 하고, 국내 탄소시장을 활성화하여 국제 탄소시장에 적극 대비한다.
5. 대규모 자연재해, 환경생태와 작물상황의 변화에 대비하는 등 기후변화로 인한 영향을 최소화하고 그 위험 및 재난으로부터 국민의 안전과 재산을 보호한다.

제39조(에너지정책 등의 기본원칙)

정부는 저탄소 녹색성장을 추진하기 위하여 에너지정책 및 에너지와 관련된 계획을 다음 각 호의 원칙에 따라 수립·시행하여야 한다.

1. 석유·석탄 등 화석연료의 사용을 단계적으로 축소하고 에너지 자립도를 획기적으로 향상시킨다.
2. 에너지 가격의 합리화, 에너지의 절약, 에너지 이용효율 제고 등 에너지 수요관리를 강화하여 지구온난화를 예방하고 환경을 보전하며, 에너지 저소비·자원순환형 경제·사회구조로 전환한다.
3. 친환경에너지인 태양에너지, 폐기물·바이오에너지, 풍력, 지열, 조력, 연료전지, 수소에너지 등 신·재생에너지의 개발·생산·이용 및 보급을 확대하고 에너지 공급원을 다변화한다.
4. 에너지가격 및 에너지산업에 대한 시장경쟁 요소의 도입을 확대하고 공정거래 질서를 확립하며, 국제규범 및 외국의 법제도 등을 고려하여 에너지산업에 대한 규제를 합리적으로 도입·개선하여 새로운 시장을 창출한다.
5. 국민이 저탄소 녹색성장의 혜택을 고루 누릴 수 있도록 저소득층에 대한 에너지 이용 혜택을 확대하고 형평성을 제고하는 등 에너지와 관련

한 복지를 확대한다.

6. 국외 에너지자원 확보, 에너지의 수입 다변화, 에너지 비축 등을 통하여 에너지를 안정적으로 공급함으로써 에너지에 관한 국가안보를 강화한다.

제40조(기후변화대응 기본계획)

- ① 정부는 기후변화대응의 기본원칙에 따라 20년을 계획기간으로 하는 기후변화대응 기본계획을 5년마다 수립·시행하여야 한다.
- ② 기후변화대응 기본계획을 수립하거나 변경하는 경우에는 위원회의 심의 및 국무회의 심의를 거쳐야 한다. 다만, 대통령령으로 정하는 경미한 사항을 변경하는 경우에는 그러하지 아니하다.
- ③ 기후변화대응 기본계획에는 다음 각 호의 사항이 포함되어야 한다.
 1. 국내외 기후변화 경향 및 미래 전망과 대기 중의 온실가스 농도변화
 2. 온실가스 배출·흡수 현황 및 전망
 3. 온실가스 배출 중장기 감축목표 설정 및 부문별·단계별 대책
 4. 기후변화대응을 위한 국제협력에 관한 사항
 5. 기후변화대응을 위한 국가와 지방자치단체의 협력에 관한 사항
 6. 기후변화대응 연구개발에 관한 사항
 7. 기후변화대응 인력양성에 관한 사항
 8. 기후변화의 감시·예측·영향·취약성평가 및 재난방지 등 적응대책에 관한 사항
 9. 기후변화대응을 위한 교육·홍보에 관한 사항
 10. 그 밖에 기후변화대응 추진을 위하여 필요한 사항

제41조(에너지기본계획의 수립)

- ① 정부는 에너지정책의 기본원칙에 따라 20년을 계획기간으로 하는 에너

지기본계획(이하 이 조에서 "에너지기본계획"이라 한다)을 5년마다 수립·시행하여야 한다.

② 에너지기본계획을 수립하거나 변경하는 경우에는 「에너지법」 제9조에 따른 에너지위원회의 심의를 거친 다음 위원회와 국무회의의 심의를 거쳐야 한다. 다만, 대통령령으로 정하는 경미한 사항을 변경하는 경우에는 그러하지 아니하다.

③ 에너지기본계획에는 다음 각 호의 사항이 포함되어야 한다.

1. 국내외 에너지 수요와 공급의 추이 및 전망에 관한 사항
2. 에너지의 안정적 확보, 도입·공급 및 관리를 위한 대책에 관한 사항
3. 에너지 수요 목표, 에너지원 구성, 에너지 절약 및 에너지 이용효율 향상에 관한 사항
4. 신·재생에너지 등 환경친화적 에너지의 공급 및 사용을 위한 대책에 관한 사항
5. 에너지 안전관리를 위한 대책에 관한 사항
6. 에너지 관련 기술개발 및 보급, 전문인력 양성, 국제협력, 부존 에너지자원 개발 및 이용, 에너지 복지 등에 관한 사항

제42조(기후변화대응 및 에너지의 목표관리)

① 정부는 범지구적인 온실가스 감축에 적극 대응하고 저탄소 녹색성장을 효율적·체계적으로 추진하기 위하여 다음 각 호의 사항에 대한 중장기 및 단계별 목표를 설정하고 그 달성을 위하여 필요한 조치를 강구하여야 한다.

1. 온실가스 감축 목표
2. 에너지 절약 목표 및 에너지 이용효율 목표
3. 에너지 자립 목표
4. 신·재생에너지 보급 목표

- ② 정부는 제1항에 따른 목표를 설정할 때 국내 여건 및 각국의 동향 등을 고려하여야 한다.
- ③ 정부는 제1항에 따른 목표를 달성하기 위하여 관계 중앙행정기관, 지방자치단체 및 대통령령으로 정하는 공공기관 등에 대하여 대통령령으로 정하는 바에 따라 해당 기관별로 에너지절약 및 온실가스 감축목표를 설정하도록 하고 그 이행사항을 지도·감독할 수 있다.
- ④ 정부는 제1항제1호 및 제2호에 따른 목표를 달성할 수 있도록 산업, 교통·수송, 가정·상업 등 부문별 목표를 설정하고 그 달성을 위하여 필요한 조치를 적극 마련하여야 한다.
- ⑤ 정부는 제1항제1호 및 제2호에 따른 목표를 달성하기 위하여 대통령령으로 정하는 기준량 이상의 온실가스 배출업체 및 에너지 소비업체(이하 "관리업체"라 한다)별로 측정·보고·검증이 가능한 방식으로 목표를 설정·관리하여야 한다. 이 경우 정부는 관리업체와 미리 협의하여야 하며, 온실가스 배출 및 에너지 사용 등의 이력, 기술 수준, 국제경쟁력, 국가목표 등을 고려하여야 한다.
- ⑥ 관리업체는 제5항에 따른 목표를 준수하여야 하며, 그 실적을 대통령령으로 정하는 바에 따라 정부에 보고하여야 한다.
- ⑦ 정부는 제6항에 따라 보고받은 실적에 대하여 등록부를 작성하고 체계적으로 관리하여야 한다.
- ⑧ 정부는 관리업체의 준수실적이 제5항에 따른 목표에 미달하는 경우 목표달성을 위하여 필요한 개선을 명할 수 있다. 이 경우 관리업체는 개선명령에 따른 이행계획을 작성하여 이를 성실히 이행하여야 한다.
- ⑨ 관리업체는 제8항에 따른 이행결과를 측정·보고·검증이 가능한 방식으로 작성하여 대통령령으로 정하는 공신력 있는 외부 전문기관의 검증을 받아 정부에 보고하고 공개하여야 한다.
- ⑩ 정부는 관리업체가 제5항에 따른 목표를 달성하고 제8항에 따른 이행계

획을 차질 없이 이행할 수 있도록 하기 위하여 필요한 경우 재정·세제·경영·기술지원, 실태조사 및 진단, 자료 및 정보의 제공 등을 할 수 있다.

⑪ 제5항부터 제9항까지에서 규정한 사항 외에 등록부의 관리, 관리업체의 지원 등에 필요한 사항은 대통령령으로 정한다.

제43조(온실가스 감축의 조기행동 촉진)

- ① 정부는 관리업체가 제42조제5항에 따른 목표관리를 받기 전에 자발적으로 행한 실적에 대해서는 이를 목표관리 실적으로 인정하거나 그 실적을 거래할 수 있도록 하는 등 자발적으로 온실가스를 미리 감축하는 행동을 하도록 촉진하여야 한다.
- ② 제1항에 따른 실적을 거래할 수 있는 방법 및 절차 등에 필요한 사항은 대통령령으로 정한다.

제44조(온실가스 배출량 및 에너지 사용량 등의 보고)

- ① 관리업체는 사업장별로 매년 온실가스 배출량 및 에너지 소비량에 대하여 측정·보고·검증 가능한 방식으로 명세서를 작성하여 정부에 보고하여야 한다.
- ② 관리업체는 제1항에 따른 보고를 할 때 명세서의 신뢰성 여부에 대하여 대통령령으로 정하는 공신력 있는 외부 전문기관의 검증을 받아야 한다. 이 경우 정부는 명세서에 흠이 있거나 빠진 부분에 대하여 시정 또는 보완을 명할 수 있다.
- ③ 정부는 명세서를 체계적으로 관리하고 명세서에 포함된 주요 정보를 관리업체별로 공개할 수 있다. 다만, 관리업체는 정보공개로 인하여 그 관리업체의 권리나 영업상의 비밀이 현저히 침해되는 특별한 사유가 있는 경우에는 비공개를 요청할 수 있다.
- ④ 정부는 관리업체로부터 제3항 단서에 따른 정보의 비공개 요청을 받았

을 때에는 심사위원회를 구성하여 30일 이내에 그 결과를 통지하여야 한다.

⑤ 명세서의 내용, 보고·관리, 공개방법 및 심사위원회의 구성·운영 등에 필요한 사항은 대통령령으로 정한다.

제45조(온실가스 종합정보관리체계의 구축)

① 정부는 국가 온실가스 배출량·흡수량, 배출·흡수 계수(係數), 온실가스 관련 각종 정보 및 통계를 개발·검증·관리하는 온실가스 종합정보관리체계를 구축하여야 한다.

② 관계 중앙행정기관의 장은 제1항에 따른 종합정보관리체계가 원활히 운영될 수 있도록 에너지·산업공정·농업·폐기물·산림 등 부문별 소관 분야의 정보 및 통계를 작성하여 제공하는 등 적극 협력하여야 한다.

③ 정부는 제1항에 따른 각종 정보 및 통계를 작성·관리하거나 종합정보관리체계를 구축함에 있어 국제기준을 최대한 반영하여 전문성·투명성 및 신뢰성을 제고하여야 한다.

④ 정부는 제1항에 따른 각종 정보 및 통계를 분석·검증하여 그 결과를 매년 공표하여야 한다.

⑤ 제1항부터 제4항까지에서 규정한 사항 외에 세부적인 정보 및 통계 관리방법, 관리기관 및 방법 등은 대통령령으로 정한다.

제46조(총량제한 배출권 거래제 등의 도입)

① 정부는 시장기능을 활용하여 효율적으로 국가의 온실가스 감축목표를 달성하기 위하여 온실가스 배출권을 거래하는 제도를 운영할 수 있다.

② 제1항의 제도에는 온실가스 배출허용총량을 설정하고 배출권을 거래하는 제도 및 기타 국제적으로 인정되는 거래 제도를 포함한다.

③ 정부는 제2항에 따른 제도를 실시할 경우 기후변화 관련 국제협상을 고

려하여야 하고, 국제경쟁력이 현저하게 약화될 우려가 있는 제42조제5항의 관리업체에 대하여는 필요한 조치를 강구할 수 있다.

④ 제2항에 따른 제도의 실시를 위한 배출허용량의 할당방법, 등록·관리 방법 및 거래소 설치·운영 등은 따로 법률로 정한다.

제47조(교통부문의 온실가스 관리)

① 자동차 등 교통수단을 제작하려는 자는 그 교통수단에서 배출되는 온실가스를 감축하기 위한 방안을 마련하여야 하며, 온실가스 감축을 위한 국제경쟁 체제에 부응할 수 있도록 적극 노력하여야 한다.

② 정부는 자동차의 평균에너지소비효율을 개선함으로써 에너지 절약을 도모하고, 자동차 배기가스 중 온실가스를 줄임으로써 쾌적하고 안전한 대기환경을 유지할 수 있도록 자동차 평균에너지소비효율기준 및 자동차 온실가스 배출허용기준을 각각 정하되, 이중규제가 되지 않도록 자동차 제작업체(수입업체를 포함한다)로 하여금 어느 한 기준을 택하여 준수토록 하고 측정방법 등이 중복되지 않도록 하여야 한다.

③ 정부는 온실가스 배출량이 적은 자동차 등을 구매하는 자에 대하여 재정적 지원을 강화하고 온실가스 배출량이 많은 자동차 등을 구매하는 자에 대해서는 부담금을 부과하는 등의 방안을 강구할 수 있다.

④ 정부는 하이브리드 자동차, 수소연료전지 자동차 등 저탄소·고효율 교통수단의 제작·보급을 촉진하기 위하여 재정·세제 지원, 연구개발 및 관련 제도 개선 등의 방안을 강구할 수 있다.

제48조(기후변화 영향평가 및 적응대책의 추진)

① 정부는 기상현상에 대한 관측·예측·제공·활용 능력을 높이고, 지역별·권역별로 태양력·풍력·조력 등 신·재생에너지원을 확보할 수 있는 잠재력을 지속적으로 분석·평가하여 이에 관한 기상정보관리체계를 구축

· 운영하여야 한다.

② 정부는 기후변화에 대한 감시·예측의 정확도를 향상시키고 생물자원 및 수자원 등의 변화 상황과 국민건강에 미치는 영향 등 기후변화로 인한 영향을 조사·분석하기 위한 조사·연구, 기술개발, 관련 전문기관의 지원 및 국내외 협조체계 구축 등의 시책을 추진하여야 한다.

③ 정부는 관계 중앙행정기관의 장과 협의하여 기후변화로 인한 생태계, 생물다양성, 대기, 수자원·수질, 보건, 농·수산·식품, 산림, 해양, 산업, 방재 등에 미치는 영향 및 취약성을 조사·평가하고 그 결과를 공표하여야 한다.

④ 정부는 기후변화로 인한 피해를 줄이기 위하여 사전 예방적 관리에 우선적인 노력을 기울여야 하며 대통령령으로 정하는 바에 따라 기후변화의 영향을 완화시키거나 건강·자연재해 등에 대응하는 적응대책을 수립·시행하여야 한다.

⑤ 정부는 국민·사업자 등이 기후변화 적응대책에 따라 활동할 경우 이에 필요한 기술적 및 재정적 지원을 할 수 있다.

제6장 녹색생활 및 지속가능발전의 실현

제49조(녹색생활 및 지속가능발전의 기본원칙)

녹색생활 및 지속가능발전의 실현을 위한 국가의 시책은 다음 각 호의 기본원칙에 따라 추진되어야 한다.

1. 국토는 녹색성장의 터전이며 그 결과의 전시장이라는 점을 인식하고 현 세대 및 미래세대가 쾌적한 삶을 영위할 수 있도록 국토의 개발 및 보전·관리가 조화될 수 있도록 한다.
2. 국토·도시공간구조와 건축·교통체제를 저탄소 녹색성장 구조로 개편하고 생산자와 소비자가 녹색제품을 자발적·적극적으로 생산하고 구매

할 수 있는 여건을 조성한다.

3. 국가·지방자치단체·기업 및 국민은 지속가능발전과 관련된 국제적 합의를 성실히 이행하고, 국민의 일상생활 속에 녹색생활이 내재화되고 녹색문화가 사회전반에 정착될 수 있도록 한다.
4. 국가·지방자치단체 및 기업은 경제발전의 기초가 되는 생태학적 기반을 보호할 수 있도록 토지이용과 생산시스템을 개발·정비함으로써 환경정보전을 촉진한다.

제50조(지속가능발전 기본계획의 수립·시행)

- ① 정부는 1992년 브라질에서 개최된 유엔환경개발회의에서 채택한 의제 21, 2002년 남아프리카공화국에서 개최된 세계지속가능발전정상회의에서 채택한 이행계획 등 지속가능발전과 관련된 국제적 합의를 성실히 이행하고, 국가의 지속가능발전을 촉진하기 위하여 20년을 계획기간으로 하는 지속가능발전 기본계획을 5년마다 수립·시행하여야 한다.
- ② 지속가능발전 기본계획을 수립하거나 변경하는 경우에는 「지속가능발전법」 제15조에 따른 지속가능발전위원회의 심의를 거친 다음 위원회와 국무회의의 심의를 거쳐야 한다. 다만, 대통령령으로 정하는 경미한 사항을 변경하는 경우에는 그러하지 아니하다.
- ③ 지속가능발전 기본계획에는 다음 각 호의 사항이 포함되어야 한다.
 1. 지속가능발전의 현황 및 여건변화와 전망에 관한 사항
 2. 지속가능발전을 위한 비전, 목표, 추진전략과 원칙, 기본정책 방향, 주요 지표에 관한 사항
 3. 지속가능발전에 관련된 국제적 합의이행에 관한 사항
 4. 그 밖에 지속가능발전을 위하여 필요한 사항
- ④ 중앙행정기관의 장은 제1항에 따른 지속가능발전 기본계획과 조화를 이루는 소관 분야의 중앙 지속가능발전 기본계획을 중앙추진계획에 포함하

여 수립·시행하여야 한다.

⑤ 시·도지사는 제1항에 따른 지속가능발전 기본계획과 조화를 이루며 해당 지방자치단체의 지역적 특성과 여건을 고려한 지방 지속가능발전 기본계획을 지방추진계획에 포함하여 수립·시행하여야 한다.

제51조(녹색국토의 관리)

① 정부는 건강하고 쾌적한 환경과 아름다운 경관이 경제발전 및 사회개발과 조화를 이루는 국토(이하 "녹색국토"라 한다)를 조성하기 위하여 국토종합계획·도시기본계획 등 대통령령으로 정하는 계획을 제49조에 따른 녹색생활 및 지속가능발전의 기본원칙에 따라 수립·시행하여야 한다.

② 정부는 녹색국토를 조성하기 위하여 다음 각 호의 사항을 포함하는 시책을 마련하여야 한다.

1. 에너지·자원 자립형 탄소중립도시 조성
2. 산림·녹지의 확충 및 광역생태축 보전
3. 해양의 친환경적 개발·이용·보존
4. 저탄소 항만의 건설 및 기존 항만의 저탄소 항만으로의 전환
5. 친환경 교통체계의 확충
6. 자연재해로 인한 국토 피해의 완화
7. 그 밖에 녹색국토 조성에 관한 사항

③ 정부는 「국토기본법」에 따른 국토종합계획, 「국가균형발전특별법」에 따른 국가균형발전계획 등 대통령령으로 정하는 계획을 수립할 때에는 미리 위원회의 의견을 들어야 된다.

제52조(기후변화대응을 위한 물 관리)

정부는 기후변화로 인한 가뭄 등 자연재해와 물 부족 및 수질악화와 수생태계 변화에 효과적으로 대응하고 모든 국민이 물의 혜택을 고루 누릴 수 있도록 하기 위하여 다음 각 호의 사항을 포함하는 시책을 수립·시행하여

야 한다.

1. 깨끗하고 안전한 먹는 물 공급과 가뭄 등에 대비한 안정적인 수자원의 확보
2. 수생태계의 보전·관리와 수질개선
3. 물 절약 등 수요관리, 빗물 이용·하수 재이용 등 순환 체계의 정비 및 수해의 예방
4. 자연친화적인 하천의 보전·복원
5. 수질오염 예방·처리를 위한 기술 개발 및 관련 서비스 제공 등

제53조(저탄소 교통체계의 구축)

- ① 정부는 교통부문의 온실가스 감축을 위한 환경을 조성하고 온실가스 배출 및 에너지의 효율적인 관리를 위하여 대통령령으로 정하는 바에 따라 온실가스 감축목표 등을 설정·관리하여야 한다.
- ② 정부는 에너지소비량과 온실가스 배출량을 최소화하는 저탄소 교통체계를 구축하기 위하여 대중교통분담률, 철도수송분담률 등에 대한 중장기 및 단계별 목표를 설정·관리하여야 한다.
- ③ 정부는 철도가 국가기간교통망의 근간이 되도록 철도에 대한 투자를 지속적으로 확대하고 버스·지하철·경전철 등 대중교통수단을 확대하며, 자전거 등의 이용 및 연안해운을 활성화하여야 한다.
- ④ 정부는 온실가스와 대기오염을 최소화하고 교통체증으로 인한 사회적 비용을 획기적으로 줄이며 대도시·수도권 등에서의 교통체증을 근본적으로 해결하기 위하여 다음 각 호의 사항을 포함하는 교통수요관리대책을 마련하여야 한다.
 1. 혼잡통행료 및 교통유발부담금 제도 개선
 2. 버스·저공해차량 전용차로 및 승용차진입제한 지역 확대
 3. 통행량을 효율적으로 분산시킬 수 있는 지능형교통정보시스템 확대·구축

제54조(녹색건축물의 확대)

- ① 정부는 에너지이용 효율 및 신·재생에너지의 사용비율이 높고 온실가스 배출을 최소화하는 건축물(이하 "녹색건축물"이라 한다)을 확대하기 위하여 녹색건축물 등급제 등의 정책을 수립·시행하여야 한다.
- ② 정부는 건축물에 사용되는 에너지소비량과 온실가스 배출량을 줄이기 위하여 대통령령으로 정하는 기준 이상의 건물에 대한 중장기 및 기간별 목표를 설정·관리하여야 한다.
- ③ 정부는 건축물의 설계·건설·유지관리·해체 등의 전 과정에서 에너지·자원 소비를 최소화하고 온실가스 배출을 줄이기 위하여 설계기준 및 허가·심의를 강화하는 등 설계·건설·유지관리·해체 등의 단계별 대책 및 기준을 마련하여 시행하여야 한다.
- ④ 정부는 기존 건축물이 녹색건축물로 전환되도록 에너지 진단 및 「에너지이용 합리화법」 제25조에 따른 에너지절약사업과 이를 통한 온실가스 배출을 줄이는 사업을 지속적으로 추진하여야 한다.
- ⑤ 정부는 신축되거나 개축되는 건축물에 대해서는 전력소비량 등 에너지의 소비량을 조절·절약할 수 있는 지능형 계량기를 부착·관리하도록 할 수 있다.
- ⑥ 정부는 중앙행정기관, 지방자치단체, 대통령령으로 정하는 공공기관 및 교육기관 등의 건축물이 녹색건축물의 선도적 역할을 수행하도록 제1항부터 제5항까지의 규정에 따른 시책을 적용하고 그 이행사항을 점검·관리하여야 한다.
- ⑦ 정부는 대통령령으로 정하는 일정 규모 이상의 신도시의 개발 또는 도시 재개발을 하는 경우에는 녹색건축물을 확대·보급하도록 노력하여야 한다.
- ⑧ 정부는 녹색건축물의 확대를 위하여 필요한 경우 대통령령으로 정하는 바에 따라 자금의 지원, 조세의 감면 등의 지원을 할 수 있다.

제55조(친환경 농림수산의 촉진 및 탄소흡수원 확충)

- ① 정부는 에너지 절감 및 바이오에너지 생산을 위한 농업기술을 개발하고, 기후변화에 대응하는 친환경 농산물 생산기술을 개발하여 화학비료·자재와 농약사용을 최대한 억제하고 친환경·유기농 농수산물 및 나무제품의 생산·유통 및 소비를 확산하여야 한다.
- ② 정부는 농지의 보전·조성 및 바다숲(대기의 온실가스를 흡수하기 위하여 바다 속에 조성하는 우뚝가사리 등의 해조류군을 말한다)의 조성 등을 통하여 탄소흡수원을 확충하여야 한다.
- ③ 정부는 산림의 보전 및 조성을 통하여 탄소흡수원을 대폭 확충하고, 산림바이오매스 활용을 촉진하여야 한다.
- ④ 정부는 기후변화에 적극 대응할 수 있는 신제품 개량 등을 통하여 식량자립도를 높일 수 있는 시책을 수립·시행하여야 한다.

제56조(생태관광의 촉진 등)

정부는 동·식물의 서식지, 생태적으로 우수한 자연환경자산, 지역의 특색 있는 문화자산 등을 조화롭게 보존·복원 및 이용하여 이를 관광자원화하고 지역경제를 활성화함으로써 생태관광을 촉진하고, 국민 모두가 생태체험·교육의 장으로 활용할 수 있도록 하여야 한다.

제57조(녹색성장을 위한 생산·소비 문화의 확산)

- ① 정부는 재화의 생산·소비·운반 및 폐기(이하 "생산등"이라 한다)의 전 과정에서 에너지와 자원을 절약하고 효율적으로 이용하며 온실가스와 오염물질의 발생을 줄일 수 있도록 관련 시책을 수립·시행하여야 한다.
- ② 정부는 재화 및 서비스의 가격에 에너지 소비량 및 탄소배출량 등이 합리적으로 연계·반영되고 그 정보가 소비자에게 정확하게 공개·전달될 수 있도록 하여야 한다.

- ③ 정부는 재화의 생산등의 전 과정에서 에너지와 자원의 사용량, 온실가스와 오염물질의 배출량 등을 분석·평가하고 그 결과에 관한 정보를 축적하여 이용할 수 있는 정보관리체계를 구축·운영할 수 있다.
- ④ 정부는 녹색제품의 사용·소비의 촉진 및 확산을 위하여 재화의 생산자와 판매자 등으로 하여금 그 재화의 생산등의 과정에서 발생하는 온실가스와 오염물질의 양에 대한 정보 또는 등급을 소비자가 쉽게 인식할 수 있도록 표시·공개하도록 하는 등의 시책을 수립·시행할 수 있다.

제58조(녹색생활 운동의 촉진)

- ① 정부는 국민 및 기업들이 녹색생활에 친숙할 수 있도록 하는 시책을 마련하고 지방자치단체·기업·민간단체 및 기구 등과 협력체계를 구축하며 교육·홍보를 강화하는 등 범국민적 녹색생활 운동을 적극 전개하여야 한다.
- ② 정부는 녹색생활 운동이 민간주도형의 자발적 실천운동으로 전개될 수 있도록 관련 민간단체 및 기구 등에 대하여 필요한 재정적·행정적 지원 등을 할 수 있다.

제59조(녹색생활 실천의 교육·홍보)

- ① 정부는 저탄소 녹색성장을 위한 교육·홍보를 확대함으로써 산업체와 국민 등이 저탄소 녹색성장을 위한 정책과 활동에 자발적으로 참여하고 일상생활에서 녹색생활 문화를 실천할 수 있도록 하여야 한다.
- ② 정부는 녹색생활 실천이 어릴 때부터 자연스럽게 이루어질 수 있도록 교과용 도서를 포함한 교재 개발 및 교원 연수 등 저탄소 녹색성장에 관한 학교교육을 강화하고 일반 교양교육, 직업교육, 기초평생교육 과정 등과 통합·연계한 교육을 강화하여야 한다.
- ③ 정부는 녹색생활 문화의 정착과 확산을 촉진하기 위하여 신문·방송·

인터넷포털 등 대중매체를 통한 교육·홍보 활동을 강화하여야 한다.

- ④ 공영방송은 지구온난화에 따른 기후변화 및 에너지 관련 프로그램을 제작·방영하고 공익광고를 활성화하도록 적극 노력하여야 한다.

제7장 보칙

제60조(자료제출 등의 요구)

- ① 위원회는 직무 수행상 필요하다고 인정되는 경우 관계 중앙행정기관·지방자치단체·공공기관의 장에게 저탄소 녹색성장에 관한 정보 또는 자료의 제출을 요구할 수 있다.
- ② 제1항에 따른 요구를 받은 관계 기관의 장은 국방상 또는 국가안전보장상 기밀을 요하는 사항 등 정당한 사유가 없으면 이에 응하여야 한다.

제61조(국제협력의 증진)

- ① 정부는 외국 및 국제기구 등과 저탄소 녹색성장에 관한 정보교환, 기술협력 및 표준화, 공동조사·연구 등의 활동에 참여하여 국제협력, 국외진출의 증진을 도모하기 위한 각종 시책을 마련하도록 한다.
- ② 국가는 개발도상국가가 기후변화에 효과적으로 대응하고 지속가능발전을 촉진할 수 있도록 재정 지원을 하는 등 국제사회의 기대에 맞는 국가적 책무를 성실히 이행하고 국가의 외교적 위상을 높일 수 있도록 노력하여야 한다.
- ③ 정부는 국제기구 및 관련 기관에서 발표하는 공신력 있는 기후변화대응 평가에 대한 국가별 지수에서 우리나라의 위상 및 평가가 올라갈 수 있도록 기후변화대응을 적극 추진하고 국제협력을 강화하며 관련 정보를 충분히 제공하는 등 모든 노력을 기울여야 한다.

제62조(국회 보고)

- ① 정부는 제9조제1항에 따른 녹색성장 국가전략을 수립하였을 때에는 지체없이 국회에 보고하여야 한다.
- ② 중앙행정기관의 장은 중앙추진계획을 수립하였을 때에는 지체없이 소관 상임위원회(또는 소관 특별위원회)에 보고하여야 하며, 그 이행결과를 다음 해 2월 말일까지 소관 상임위원회(또는 소관 특별위원회)에 보고하여야 한다.

제63조(국가보고서의 작성)

- ① 정부는 「기후변화에 관한 국제연합 기본협약」에서 정하는 바에 따라 국가보고서를 작성할 수 있다.
- ② 정부는 제1항에 따른 국가보고서를 작성하기 위하여 필요한 경우 관계 중앙행정기관의 장에게 자료의 제출을 요청할 수 있다. 이 경우 관계 중앙행정기관의 장은 특별한 사유가 없으면 요청에 따라야 한다.
- ③ 정부는 제1항에 따른 국가보고서를 「기후변화에 관한 국제연합 기본협약」의 당사국총회에 제출할 때에는 위원회의 심의를 거쳐야 한다.

제64조(과태료)

- ① 다음 각 호의 자에게는 1천만원 이하의 과태료를 부과한다.
 1. 제42조제6항·제9항 또는 제44조제1항에 따른 보고를 하지 아니하거나 거짓으로 보고한 자
 2. 제42조제8항에 따른 개선명령을 이행하지 아니한 자
 3. 제42조제9항에 따른 공개를 하지 아니한 자
 4. 제44조제2항에 따른 시정이나 보완 명령을 이행하지 아니한 자
- ② 제1항에 따른 과태료는 대통령령으로 정하는 바에 따라 관계 행정기관의 장이 부과·징수한다.

부칙

제1조(시행일)

이 법은 공포 후 3개월이 경과한 날부터 시행한다. 다만 이 법 부칙 제4조 제12항 및 제13항에 의한 환경경영체제인증의 녹색경영체제인증으로의 변경은 이 법 공포 후 18개월이 경과한 날로부터 시행한다.

제2조(명세서 작성에 관한 특례)

관리업체는 제44조에도 불구하고 이 법 시행 첫해에는 과거 3년간의 온실가스 배출량 및 에너지 소비량에 대하여 명세서를 작성하여 보고하여야 한다.

제3조(녹색성장 국가전략에 대한 경과조치)

이 법 시행 당시 종전의 대통령 훈령 239호에 따라 설치된 녹색성장위원회가 수립하여 국무회의의 심의를 거쳐 시행 중인 녹색성장 국가전략은 제9조에 따른 녹색성장 국가전략으로 본다.

제4조(다른 법률의 개정)

① 대기환경보전법 일부를 다음과 같이 개정한다.

제12조를 삭제한다.

제81조제1항제2호를 삭제한다.

② 대·중소기업 상생협력 촉진에 관한 법률 일부를 다음과 같이 개정한다.

제12조제1항 중 "환경경영"을 "녹색경영"이라 한다.

③ 법률 제9369호 산업기술혁신 촉진법 일부개정법률 일부를 다음과 같이 개정한다.

제2조제1호 중 "「에너지기본법」"을 "「에너지법」"으로 한다.

④ 산업발전법 일부를 다음과 같이 개정한다.

제4조제2항제4호 중 "「에너지기본법」"을 "「에너지법」"으로 한다.

⑤ 수도권 대기환경개선에 관한 특별법 일부를 다음과 같이 개정한다.

제10조제2호를 다음과 같이 한다.

2. 「저탄소 녹색성장 기본법」 제41조에 따른 에너지기본계획

⑥ 신에너지 및 재생에너지 개발·이용·보급 촉진법 일부를 다음과 같이 개정한다.

제5조제2항제3호의2 중 "「에너지기본법」 제2조제10호의 규정에 의한"을 "「에너지법」 제2조제10호에 따른"으로 한다.

제32조제2항 중 "「에너지기본법」 제13조에 따른"을 "「에너지법」 제13조에 따른"으로 한다.

⑦ 에너지기본법 일부를 다음과 같이 개정한다.

제명 "에너지기본법"을 "에너지법"으로 한다.

제3조를 삭제한다.

제5조 본문 중 "기본원칙"을 "「저탄소 녹색성장 기본법」 제39조에 따른 기본원칙"으로 한다.

제6조를 삭제한다.

제7조제1항 중 "기본계획"을 "「저탄소 녹색성장 기본법」 제41조에 따른 에너지기본계획(이하 "기본계획"이라 한다)"으로 한다.

제8조제2항 중 "제9조의 규정에 따른 국가에너지위원회"를 "제9조에 따른 에너지위원회"로 한다.

제9조의 제목 "(국가에너지위원회의 구성 및 운영)"을 "(에너지위원회의 구성 및 운영)"으로 한다.

제9조제1항 중 "국가에너지위원회"를 "에너지위원회"로 하고, 같은 조 제2항 중 "위원장 및 부위원장 각 1인을 포함한 25인"을 "위원장 1명을 포함한

25명"으로 하며, 같은 조 제3항을 다음과 같이 한다.

③ 위원장은 지식경제부 장관이 된다.

제9조제4항 중 "중앙행정기관의 장"을 "중앙행정기관의 고위공무원단에 속하는 고위공무원"으로 하고, 같은 조 제5항 전단 중 "대통령"을 "지식경제부 장관"으로 하며, 같은 조 제8항을 다음과 같이 하고, 같은 조 제9항 중 "지식경제부 장관"을 "지식경제부 차관"으로 한다.

⑧ 위원장이 부득이한 사유로 직무를 수행할 수 없을 때에는 위원장이 미리 지명한 위원이 그 직무를 대행한다.

제10조제1호를 다음과 같이 한다.

1. 「저탄소 녹색성장 기본법」 제41조제2항에 따른 에너지기본계획 수립·변경의 사전심의에 관한 사항

제19조제1항 중 "제6조의 규정에 의한 국가에너지기본계획"을 "기본계획"으로 하고, 같은 조 제3항을 삭제한다.

⑧ 에너지이용 합리화법 일부를 다음과 같이 개정한다.

제2조 중 "「에너지기본법」"을 "「에너지법」"으로 한다.

⑨ 전기·전자제품 및 자동차의 자원순환에 관한 법률 일부를 다음과 같이 개정한다.

제2조제7호 중 "「에너지기본법」"을 "「에너지법」"으로 한다.

⑩ 지속가능발전 기본법 일부를 다음과 같이 개정한다.

제명 "지속가능발전 기본법"을 "지속가능발전법"으로 한다.

제3조부터 제6조까지 삭제한다.

제7조를 다음과 같이 한다.

제7조 (국가·지방이행계획의 협의·조정) 중앙행정기관의 장이나 특별시장·광역시장·도지사·특별자치도지사(이하 "시·도지사"라 한다)는 다른 중앙행정기관이나 특별시·광역시·도·특별자치도(이하 "시·도"라 한다)의 중앙 지속가능발전 기본계획(이하 "국가이행계획"이라 한다) 또는 지방 지속가능발전

기본계획(이하 "지방이행계획"이라 한다)이 그 중앙행정기관 또는 시·도의 이행계획의 시행에 지장을 초래하거나 초래할 우려가 있다고 인정할 때에는 대통령령으로 정하는 바에 따라 상호 협의·조정하여야 한다. 이 경우 중앙행정기관의 장이나 시·도지사는 그 협의·조정 사항에 관하여 제15조에 따른 지속가능발전위원회(이하 "위원회"라 한다) 또는 해당 지방녹색성장위원회의 의견을 들을 수 있다.

제8조를 삭제한다.

제9조 제1항 중 "국가위원회"는 "위원회"로 하고 제2항 중 "국가위원회로부터"는 "위원회로부터"로 하며 제3항 및 제4항을 각각 삭제한다.

제10조를 다음과 같이 한다.

제10조 (다른 법령에 따른 계획과의 연계) 국가와 지방자치단체는 다른 법령에 따라 수립하는 행정계획과 정책이 「저탄소 녹색성장 기본법」 제49조에 따른 기본원칙과 제50조에 따른 지속가능발전 기본계획과 조화를 이루도록 노력하여야 한다.

제11조를 다음과 같이 한다.

제11조 중 "국가위원회"를 "위원회"로 하고 "지방위원회"를 "지방 녹색성장위원회"로 하며 제2항 중 "국가기본전략"을 "지속가능발전 기본계획"으로 하고 제3항 중 "지방기본전략"을 "지방이행계획"으로 한다.

제12조를 삭제한다.

제13조 및 제14조를 각각 다음과 같이 한다.

제13조(지속가능발전지표 및 지속가능성 평가)

- ① 국가는 지속가능발전지표를 작성하여 보급하여야 한다.
- ② 제15조에 따른 지속가능발전위원회는 제1항에 따른 지속가능발전지표에 따라 2년마다 국가의 지속가능성을 평가하여야 한다.
- ③ 제1항 및 제2항에 따른 지속가능발전지표의 작성·보급 및 지속가능성 평가에 필요한 사항은 대통령령으로 정한다.

제14조(지속가능성보고서)

- ① 제15조에 따른 지속가능발전위원회는 2년마다 제13조제2항에 따른 지속가능성 평가결과를 종합하는 지속가능성보고서를 작성하여 대통령에게 보고한 후 공표(公表)하여야 한다.
- ② 정부는 제1항에 따라 작성한 지속가능성보고서를 국회에 보고하여야 한다.
- ③ 제1항에 따른 지속가능성보고서의 작성 등에 필요한 사항은 대통령령으로 정한다.

제4장의 제목 "국가 및 지방 지속가능발전위원회"를 "지속가능발전위원회"로 한다.

제15조 및 제16조를 각각 다음과 같이 한다.

제15조(지속가능발전위원회의 설치) 국가의 지속가능발전을 효율적으로 추진하기 위하여 환경부장관 소속으로 지속가능발전위원회를 둔다.

제16조(위원회의 기능) 위원회는 다음 각 호의 사항을 심의한다.

1. 「저탄소 녹색성장 기본법」 제50조 제2항에 따른 지속가능발전 기본계획 수립·변경의 사전심의에 관한 사항
2. 제7조에 따른 이행계획의 협의·조정에 관한 사항
3. 제9조제1항에 따른 국가이행계획의 추진상황 점검에 관한 사항
4. 제11조에 따른 법령 및 행정계획에 대한 검토 및 통보 등에 관한 사항
5. 제13조에 따른 지속가능발전지표의 작성 및 지속가능성 평가에 관한 사항
6. 제14조제1항에 따른 지속가능성보고서의 작성 및 공표에 관한 사항
7. 제20조에 따른 지속가능발전 지식·정보의 보급 등에 관한 사항
8. 제21조에 따른 교육·홍보 등에 관한 사항
9. 제22조에 따른 국내외 협력 등에 관한 사항
10. 그 밖에 지속가능발전을 위하여 고려하여야 할 주요 정책과 이와 관련된 사회적 갈등 해결에 관하여 환경부장관에 대한 자문이 필요한 사항

제17조의 제목 “(국가위원회의 구성 등)”을 “(위원회의 구성 등)”으로 한다.
제17조제1항 중 “국가위원회”를 “위원회”로 하고, 같은 조 제2항 중 “중앙행정기관의 장과 시·도의 지방위원회 위원장”을 “중앙행정기관의 고위공무원단에 속하는 고위 공무원”으로 하며, 같은 조 제3항 중 “대통령”을 “환경부장관”으로 하고, 같은 조 제5항 및 제6항 중 “국가위원회”를 각각 “위원회”로 한다.

제18조를 다음과 같이 한다.

제18조(정책에 관한 의견의 제시)

- ① 위원회는 지속가능발전을 위하여 필요하다고 인정하면 관계 중앙행정기관 또는 지방자치단체의 정책에 관하여 의견을 제시할 수 있다.
- ② 제1항에 따라 의견을 제시받은 관계 중앙행정기관 또는 관계 지방자치단체의 장은 그 의견을 존중하고 이를 관계 법령의 제·개정이나 행정계획의 수립·변경에 반영하기 위하여 노력하여야 한다.

제19조제1항 및 제2항 중 “국가위원회”를 각각 “위원회”라 한다.

제20조제2항, 같은 조 제3항 전단 및 같은 조 제4항 중 “국가위원회”를 각각 “위원회”로 한다.

제21조 중 “기본전략의 수립·이행·평가와 그 밖에 지속가능발전을”을 “지속가능발전을”로 한다.

제22조제1항을 다음과 같이 한다.

- ① 국가와 지방자치단체는 지속가능발전을 위하여 긴밀하게 상호 협력하여야 한다.
- ① 폐기물관리법 일부를 다음과 같이 개정한다.

제2조제7호 중 “「에너지기본법」”을 “「에너지법」”으로 한다.

- ② 환경기술개발 및 지원에 관한 법률 일부를 다음과 같이 개정한다.

제1조 중 “환경보전”을 “환경보전, 녹색성장 촉진”으로 한다.

제5조의2제1항 중 “「친환경상품 구매촉진에 관한 법률」 제2조 제1호에 따

른"을 「저탄소 녹색성장 기본법 제2조제5호에 따른」으로 한다.

제5조의2제1항 중 "친환경상품"을 "녹색제품"으로 하고, 제5조의2제4항제3호 중 "환경기술·경영"을 "환경기술 및 녹색경영"으로 하며, 제5조의2제4항제7호 중 "환경산업·기술·경영"을 "환경산업·기술 및 녹색경영"으로 한다.

제5조의2제4항제8호부터 제9호 중 "친환경상품"을 "녹색제품"으로 하고, 같은 항제10호 중 "환경산업·기술·경영 및 친환경상품"을 "환경산업·기술, 녹색경영 및 녹색제품"으로 하며, 같은 항 제11호 중 "환경경영"을 "녹색경영"으로, "친환경상품"을 "녹색제품"으로 한다.

제5조의2제4항제8호부터 제9호 중 "친환경상품"을 "녹색제품"으로 하고, 같은 항제10호 중 "환경산업·기술·경영 및 친환경상품"을 "환경산업·기술, 녹색경영 및 녹색제품"으로 하며, 같은 항 제11호 중 "환경경영"을 "녹색경영"으로, "친환경상품"을 "녹색제품"으로 한다.

제16조의2 및 제16조의3 중 "환경친화기업"을 각각 "녹색기업"으로 한다.

제16조의2제1항 "환경경영체제"를 "녹색경영체제"로 한다.

제16조의2제1항 후단 중 "환경경영체제인증"을 "녹색경영체제인증"이라 한다.

⑬ 환경친화적 산업구조로의 전환촉진에 관한 법률 일부를 다음과 같이 개정한다.

제2조제5호를 다음과 같이 한다.

5. "녹색경영"이란 「저탄소 녹색성장 기본법」 제2조제7호에 따른 녹색경영을 말한다.

제2조제7호 중 "환경경영체제"를 "녹색경영체제"로, "환경경영을"을 "녹색경영을"로 하고, 같은 조 제8호 중 "환경경영체제인증"을 "녹색경영체제인증"으로, "환경경영체제가"를 "녹색경영체제가"로 한다.

제6조의2의 제목 "(환경경영컨설팅사업의 육성 등)"을 "(녹색경영컨설팅사

업의 육성 등)"으로 한다.

제6조의2제1항 각 호 외의 부분 중 "환경경영을"을 "녹색경영을"로, "환경경영컨설팅사업"을 "녹색경영컨설팅사업"으로 하고, 같은 항 제3호 및 같은 조 제2항 후단 중 "환경경영컨설팅사업"을 각각 "녹색경영컨설팅사업"으로 한다.

제7조제2항제4호 중 "환경경영체제구축"을 "녹색경영체제구축"으로 한다.

제12조제1항제3호 중 "환경친화적 산업구조전환 추진본부"를 "녹색경영 추진본부"로 하고, 같은 항 제4호 중 "환경경영촉진"을 "녹색경영 촉진"으로 한다.

제13조의 제목 "(환경친화적 산업구조전환 추진본부)"를 "(녹색경영추진본부)"로 한다.

제13조제1항 중 "환경친화적 산업구조전환 추진본부"를 "녹색경영 추진본부"로 하고, 같은 조 제2항제5호 중 "환경경영활동"을 "녹색경영 활동"으로 한다.

제15조의 제목 "(환경경영 촉진시책의 마련 등)"을 "(녹색경영 촉진시책의 마련 등)"으로 한다.

제16조의 제목 "(환경경영체제의 인증 등)"을 "(녹색경영체제의 인증 등)"으로 한다.

제16조의2의 제목 "(환경경영체제인증의 신뢰성 제고 등)"을 "(녹색경영체제인증의 신뢰성 제고 등)"으로 한다.

제18조의 제목 "(환경경영에 관한 교육·홍보 등)"을 "(녹색경영에 관한 교육·홍보 등)"으로 한다.

제19조의 제목 "(환경경영에 관한 진단·지도)"를 "(녹색경영에 관한 진단·지도)"로 한다.

제2조제1호, 제4조제2항제4호, 제6조제1항제4호, 같은 조 제3항 각 호 외의 부분 및 제15조제1항·제2항 중 "환경친화적인 제품"을 각각 "녹색제품"으

로 한다.

제2조제9호, 제16조제1항 각 호 외의 부분, 같은 항 제1호부터 제3호까지 및 같은 조 제2항, 같은 조 제3항 전단, 같은 조 제7항 중 "환경경영체제"를 각각 "녹색경영체제"로 한다.

제3조제2항제5호, 제7조제1항, 제15조제1항, 제17조제1항제2호, 제18조제1항·제2항, 제19조 제목 외의 부분 및 제28조제2항 중 "환경경영"을 각각 "녹색경영"으로 한다.

제16조의2제1항 각 호 외의 부분, 같은 조 제1호·제3호, 제16조의3 전단 및 제27조제2항 중 "환경경영체제인증"을 각각 "녹색경영체제인증"으로 한다.

⑭ 친환경상품 구매촉진에 관한 법률 일부를 다음과 같이 개정한다.

제2조제1호를 다음과 같이 한다.

1. "친환경상품"이란 「저탄소 녹색성장 기본법」 제2조제5호에 따른 녹색 제품으로서 다음 각 목의 어느 하나에 해당하는 것을 말한다.

가. 환경기술개발및지원에관한법률 제20조제1항의 규정에 의한 환경표지의 인증을 위한 대상품목으로서 인증을 얻은 상품 또는 동법 제20조제3항의 규정에 의하여 환경부장관이 정하여 고시하는 대상품목별 인증기준에 적합한 상품

나. 자원의절약과재활용촉진에관한법률 제33조 및 「산업기술혁신 촉진법」 제15조에 따라 지식경제부장관이 정하여 고시하는 재활용제품의 품질인증 대상품목으로서 인증을 얻은 상품 또는 인증기준에 적합한 상품

다. 그 밖에 녹색제품으로서 환경부장관이 지식경제부장관과 협의하여 고시하는 대상품목별 판단기준에 적합한 상품

제6장 녹색생활 및 지속가능발전의 실현

제49조(녹색생활 및 지속가능발전의 기본원칙)

녹색생활 및 지속가능발전의 실현을 위한 국가의 시책은 다음 각 호의 기본원칙에 따라 추진되어야 한다.

1. 국토는 녹색성장의 터전이며 그 결과의 전시장이라는 점을 인식하고 현재 세대 및 미래세대가 쾌적한 삶을 영위할 수 있도록 국토의 개발 및 보존·관리가 조화될 수 있도록 한다.
2. 국토·도시공간구조와 건축·교통체제를 저탄소 녹색성장 구조로 개편하고 생산자와 소비자가 녹색제품을 자발적·적극적으로 생산하고 구매할 수 있는 여건을 조성한다.
3. 국가·지방자치단체·기업 및 국민은 지속가능발전과 관련된 국제적 합의를 성실히 이행하고, 국민의 일상생활 속에 녹색생활이 내재화되고 녹색문화가 사회전반에 정착될 수 있도록 한다.
4. 국가·지방자치단체 및 기업은 경제발전의 기초가 되는 생태학적 기반을 보호할 수 있도록 토지이용과 생산시스템을 개발·정비함으로써 환경보전을 촉진한다.

제50조(지속가능발전 기본계획의 수립·시행)

- ① 정부는 1992년 브라질에서 개최된 유엔환경개발회의에서 채택한 의제 21, 2002년 남아프리카공화국에서 개최된 세계지속가능발전정상회의에서 채택한 이행계획 등 지속가능발전과 관련된 국제적 합의를 성실히 이행하고, 국가의 지속가능발전을 촉진하기 위하여 20년을 계획기간으로 하는 지속가능발전 기본계획을 5년마다 수립·시행하여야 한다.
- ② 지속가능발전 기본계획을 수립하거나 변경하는 경우에는 「지속가능발전법」 제15조에 따른 지속가능발전위원회의 심의를 거친 다음 위원회와 국무회의의 심의를 거쳐야 한다. 다만, 대통령령으로 정하는 경미한 사항을 변경하는 경우에는 그러하지 아니하다.
- ③ 지속가능발전 기본계획에는 다음 각 호의 사항이 포함되어야 한다.
 1. 지속가능발전의 현황 및 여건변화와 전망에 관한 사항

2. 지속가능발전을 위한 비전, 목표, 추진전략과 원칙, 기본정책 방향, 주요 지표에 관한 사항

3. 지속가능발전에 관련된 국제적 합의이행에 관한 사항

4. 그 밖에 지속가능발전을 위하여 필요한 사항

④ 중앙행정기관의 장은 제1항에 따른 지속가능발전 기본계획과 조화를 이루는 소관 분야의 중앙 지속가능발전 기본계획을 중앙추진계획에 포함하여 수립·시행하여야 한다.

⑤ 시·도지사는 제1항에 따른 지속가능발전 기본계획과 조화를 이루며 해당 지방자치단체의 지역적 특성과 여건을 고려한 지방 지속가능발전 기본계획을 지방추진계획에 포함하여 수립·시행하여야 한다.

제51조(녹색국토의 관리)

① 정부는 건강하고 쾌적한 환경과 아름다운 경관이 경제발전 및 사회개발과 조화를 이루는 국토(이하 "녹색국토"라 한다)를 조성하기 위하여 국토종합계획·도시기본계획 등 대통령령으로 정하는 계획을 제49조에 따른 녹색생활 및 지속가능발전의 기본원칙에 따라 수립·시행하여야 한다.

② 정부는 녹색국토를 조성하기 위하여 다음 각 호의 사항을 포함하는 정책을 마련하여야 한다.

1. 에너지·자원 자립형 탄소중립도시 조성

2. 산림·녹지의 확충 및 광역생태축 보전

3. 해양의 친환경적 개발·이용·보존

4. 저탄소 항만의 건설 및 기존 항만의 저탄소 항만으로의 전환

5. 친환경 교통체계의 확충

6. 자연재해로 인한 국토 피해의 완화

7. 그 밖에 녹색국토 조성에 관한 사항

③ 정부는 「국토기본법」에 따른 국토종합계획, 「국가균형발전특별법」에 따른 국가균형발전계획 등 대통령령으로 정하는 계획을 수립할 때에는

미리 위원회의 의견을 들어야 된다.

제52조(기후변화대응을 위한 물 관리)

정부는 기후변화로 인한 가뭄 등 자연재해와 물 부족 및 수질악화와 수생태계 변화에 효과적으로 대응하고 모든 국민이 물의 혜택을 고루 누릴 수 있도록 하기 위하여 다음 각 호의 사항을 포함하는 시책을 수립·시행하여야 한다.

1. 깨끗하고 안전한 먹는 물 공급과 가뭄 등에 대비한 안정적인 수자원의 확보
2. 수생태계의 보전·관리와 수질개선
3. 물 절약 등 수요관리, 빗물 이용·하수 재이용 등 순환 체계의 정비 및 수해의 예방
4. 자연친화적인 하천의 보전·복원
5. 수질오염 예방·처리를 위한 기술 개발 및 관련 서비스 제공 등

제53조(저탄소 교통체계의 구축)

- ① 정부는 교통부문의 온실가스 감축을 위한 환경을 조성하고 온실가스 배출 및 에너지의 효율적인 관리를 위하여 대통령령으로 정하는 바에 따라 온실가스 감축목표 등을 설정·관리하여야 한다.
- ② 정부는 에너지소비량과 온실가스 배출량을 최소화하는 저탄소 교통체계를 구축하기 위하여 대중교통분담률, 철도수송분담률 등에 대한 중장기 및 단계별 목표를 설정·관리하여야 한다.
- ③ 정부는 철도가 국가기간교통망의 근간이 되도록 철도에 대한 투자를 지속적으로 확대하고 버스·지하철·경전철 등 대중교통수단을 확대하며, 자전거 등의 이용 및 연안해운을 활성화하여야 한다.
- ④ 정부는 온실가스와 대기오염을 최소화하고 교통체증으로 인한 사회적 비용을 획기적으로 줄이며 대도시·수도권 등에서의 교통체증을 근본적으로 해결하기 위하여 다음 각 호의 사항을 포함하는 교통수요관리대책을 마

련하여야 한다.

1. 혼잡통행료 및 교통유발부담금 제도 개선
2. 버스·저공해차량 전용차로 및 승용차진입제한 지역 확대
3. 통행량을 효율적으로 분산시킬 수 있는 지능형교통정보시스템 확대·구축
제54조(녹색건축물의 확대)

① 정부는 에너지이용 효율 및 신·재생에너지의 사용비율이 높고 온실가스 배출을 최소화하는 건축물(이하 "녹색건축물"이라 한다)을 확대하기 위하여 녹색건축물 등급제 등의 정책을 수립·시행하여야 한다.

② 정부는 건축물에 사용되는 에너지소비량과 온실가스 배출량을 줄이기 위하여 대통령령으로 정하는 기준 이상의 건물에 대한 중장기 및 기간별 목표를 설정·관리하여야 한다.

③ 정부는 건축물의 설계·건설·유지관리·해체 등의 전 과정에서 에너지·자원 소비를 최소화하고 온실가스 배출을 줄이기 위하여 설계기준 및 허가·심의를 강화하는 등 설계·건설·유지관리·해체 등의 단계별 대책 및 기준을 마련하여 시행하여야 한다.

④ 정부는 기존 건축물이 녹색건축물로 전환되도록 에너지 진단 및 「에너지이용 합리화법」 제25조에 따른 에너지절약사업과 이를 통한 온실가스 배출을 줄이는 사업을 지속적으로 추진하여야 한다.

⑤ 정부는 신축되거나 개축되는 건축물에 대해서는 전력소비량 등 에너지의 소비량을 조절·절약할 수 있는 지능형 계량기를 부착·관리하도록 할 수 있다.

⑥ 정부는 중앙행정기관, 지방자치단체, 대통령령으로 정하는 공공기관 및 교육기관 등의 건축물이 녹색건축물의 선도적 역할을 수행하도록 제1항부터 제5항까지의 규정에 따른 시책을 적용하고 그 이행사항을 점검·관리하여야 한다.

⑦ 정부는 대통령령으로 정하는 일정 규모 이상의 신도시의 개발 또는 도

시 재개발을 하는 경우에는 녹색건축물을 확대·보급하도록 노력하여야 한다.

⑧ 정부는 녹색건축물의 확대를 위하여 필요한 경우 대통령령으로 정하는 바에 따라 자금의 지원, 조세의 감면 등의 지원을 할 수 있다.

제55조(친환경 농림수산의 촉진 및 탄소흡수원 확충)

① 정부는 에너지 절감 및 바이오에너지 생산을 위한 농업기술을 개발하고, 기후변화에 대응하는 친환경 농산물 생산기술을 개발하여 화학비료·자재와 농약사용을 최대한 억제하고 친환경·유기농 농수산물 및 나무제품의 생산·유통 및 소비를 확산하여야 한다.

② 정부는 농지의 보전·조성 및 바다숲(대기의 온실가스를 흡수하기 위하여 바다 속에 조성하는 우뚝가사리 등의 해조류군을 말한다)의 조성 등을 통하여 탄소흡수원을 확충하여야 한다.

③ 정부는 산림의 보전 및 조성을 통하여 탄소흡수원을 대폭 확충하고, 산림바이오매스 활용을 촉진하여야 한다.

④ 정부는 기후변화에 적극 대응할 수 있는 신제품 개량 등을 통하여 식량 자립도를 높일 수 있는 시책을 수립·시행하여야 한다.

제56조(생태관광의 촉진 등)

정부는 동·식물의 서식지, 생태적으로 우수한 자연환경자산, 지역의 특색 있는 문화자산 등을 조화롭게 보존·복원 및 이용하여 이를 관광자원화하고 지역경제를 활성화함으로써 생태관광을 촉진하고, 국민 모두가 생태체험·교육의 장으로 활용할 수 있도록 하여야 한다.

제57조(녹색성장을 위한 생산·소비 문화의 확산)

① 정부는 재화의 생산·소비·운반 및 폐기(이하 "생산등"이라 한다)의 전 과정에서 에너지와 자원을 절약하고 효율적으로 이용하며 온실가스과 오염물질의 발생을 줄일 수 있도록 관련 시책을 수립·시행하여야 한다.

② 정부는 재화 및 서비스의 가격에 에너지 소비량 및 탄소배출량 등이 합

리적으로 연계·반영되고 그 정보가 소비자에게 정확하게 공개·전달될 수 있도록 하여야 한다.

③ 정부는 재화의 생산등의 전 과정에서 에너지와 자원의 사용량, 온실가스와 오염물질의 배출량 등을 분석·평가하고 그 결과에 관한 정보를 축적하여 이용할 수 있는 정보관리체계를 구축·운영할 수 있다.

④ 정부는 녹색제품의 사용·소비의 촉진 및 확산을 위하여 재화의 생산자와 판매자 등으로 하여금 그 재화의 생산등의 과정에서 발생하는 온실가스와 오염물질의 양에 대한 정보 또는 등급을 소비자가 쉽게 인식할 수 있도록 표시·공개하도록 하는 등의 시책을 수립·시행할 수 있다.

제58조(녹색생활 운동의 촉진)

① 정부는 국민 및 기업들이 녹색생활에 친숙할 수 있도록 하는 시책을 마련하고 지방자치단체·기업·민간단체 및 기구 등과 협력체계를 구축하며 교육·홍보를 강화하는 등 범국민적 녹색생활 운동을 적극 전개하여야 한다.

② 정부는 녹색생활 운동이 민간주도형의 자발적 실천운동으로 전개될 수 있도록 관련 민간단체 및 기구 등에 대하여 필요한 재정적·행정적 지원 등을 할 수 있다.

제59조(녹색생활 실천의 교육·홍보)

① 정부는 저탄소 녹색성장을 위한 교육·홍보를 확대함으로써 산업체와 국민 등이 저탄소 녹색성장을 위한 정책과 활동에 자발적으로 참여하고 일상생활에서 녹색생활 문화를 실천할 수 있도록 하여야 한다.

② 정부는 녹색생활 실천이 어릴 때부터 자연스럽게 이루어질 수 있도록 교과용 도서를 포함한 교재 개발 및 교원 연수 등 저탄소 녹색성장에 관한 학교교육을 강화하고 일반 교양교육, 직업교육, 기초평생교육 과정 등과 통합·연계한 교육을 강화하여야 한다.

③ 정부는 녹색생활 문화의 정착과 확산을 촉진하기 위하여 신문·방송·

인터넷포털 등 대중매체를 통한 교육·홍보 활동을 강화하여야 한다.

- ④ 공영방송은 지구온난화에 따른 기후변화 및 에너지 관련 프로그램을 제작·방영하고 공익광고를 활성화하도록 적극 노력하여야 한다.

제7장 보칙

제60조(자료제출 등의 요구)

- ① 위원회는 직무 수행상 필요하다고 인정되는 경우 관계 중앙행정기관·지방자치단체·공공기관의 장에게 저탄소 녹색성장에 관한 정보 또는 자료의 제출을 요구할 수 있다.
- ② 제1항에 따른 요구를 받은 관계 기관의 장은 국방상 또는 국가안전보장상 기밀을 요하는 사항 등 정당한 사유가 없으면 이에 응하여야 한다.

제61조(국제협력의 증진)

- ① 정부는 외국 및 국제기구 등과 저탄소 녹색성장에 관한 정보교환, 기술협력 및 표준화, 공동조사·연구 등의 활동에 참여하여 국제협력, 국외진출의 증진을 도모하기 위한 각종 시책을 마련하도록 한다.
- ② 국가는 개발도상국가가 기후변화에 효과적으로 대응하고 지속가능발전을 촉진할 수 있도록 재정 지원을 하는 등 국제사회의 기대에 맞는 국가적 책무를 성실히 이행하고 국가의 외교적 위상을 높일 수 있도록 노력하여야 한다.
- ③ 정부는 국제기구 및 관련 기관에서 발표하는 공신력 있는 기후변화대응 평가에 대한 국가별 지수에서 우리나라의 위상 및 평가가 올라갈 수 있도록 기후변화대응을 적극 추진하고 국제협력을 강화하며 관련 정보를 충분히 제공하는 등 모든 노력을 기울여야 한다.

제62조(국회 보고)

- ① 정부는 제9조제1항에 따른 녹색성장 국가전략을 수립하였을 때에는 지체없이 국회에 보고하여야 한다.
- ② 중앙행정기관의 장은 중앙추진계획을 수립하였을 때에는 지체없이 소

관 상임위원회(또는 소관 특별위원회)에 보고하여야 하며, 그 이행결과를 다음 해 2월 말일까지 소관 상임위원회(또는 소관 특별위원회)에 보고하여야 한다.

제63조(국가보고서의 작성)

- ① 정부는 「기후변화에 관한 국제연합 기본협약」에서 정하는 바에 따라 국가보고서를 작성할 수 있다.
- ② 정부는 제1항에 따른 국가보고서를 작성하기 위하여 필요한 경우 관계 중앙행정기관의 장에게 자료의 제출을 요청할 수 있다. 이 경우 관계 중앙행정기관의 장은 특별한 사유가 없으면 요청에 따라야 한다.
- ③ 정부는 제1항에 따른 국가보고서를 「기후변화에 관한 국제연합 기본협약」의 당사국총회에 제출할 때에는 위원회의 심의를 거쳐야 한다.

제64조(과태료)

- ① 다음 각 호의 자에게는 1천만원 이하의 과태료를 부과한다.
 1. 제42조제6항·제9항 또는 제44조제1항에 따른 보고를 하지 아니하거나 거짓으로 보고한 자
 2. 제42조제8항에 따른 개선명령을 이행하지 아니한 자
 3. 제42조제9항에 따른 공개를 하지 아니한 자
 4. 제44조제2항에 따른 시정이나 보완 명령을 이행하지 아니한 자
- ② 제1항에 따른 과태료는 대통령령으로 정하는 바에 따라 관계 행정기관의 장이 부과·징수한다.

부칙

제1조(시행일)

이 법은 공포 후 3개월이 경과한 날부터 시행한다. 다만 이 법 부칙 제4조 제12항 및 제13항에 의한 환경경영체제인증의 녹색경영체제인증으로의 변

경은 이 법 공포 후 18개월이 경과한 날로부터 시행한다.

제2조(명세서 작성에 관한 특례)

관리업체는 제44조에도 불구하고 이 법 시행 첫해에는 과거 3년간의 온실가스 배출량 및 에너지 소비량에 대하여 명세서를 작성하여 보고하여야 한다.

제3조(녹색성장 국가전략에 대한 경과조치)

이 법 시행 당시 종전의 대통령 훈령 239호에 따라 설치된 녹색성장위원회가 수립하여 국무회의의 심의를 거쳐 시행 중인 녹색성장 국가전략은 제9조에 따른 녹색성장 국가전략으로 본다.

제4조(다른 법률의 개정)

① 대기환경보전법 일부를 다음과 같이 개정한다.

제12조를 삭제한다.

제81조제1항제2호를 삭제한다.

② 대·중소기업 상생협력 촉진에 관한 법률 일부를 다음과 같이 개정한다.

제12조제1항 중 "환경경영"을 "녹색경영"이라 한다.

③ 법률 제9369호 산업기술혁신 촉진법 일부개정법률 일부를 다음과 같이 개정한다.

제2조제1호 중 "「에너지기본법」"을 "「에너지법」"으로 한다.

④ 산업발전법 일부를 다음과 같이 개정한다.

제4조제2항제4호 중 "「에너지기본법」"을 "「에너지법」"으로 한다.

⑤ 수도권 대기환경개선에 관한 특별법 일부를 다음과 같이 개정한다.

제10조제2호를 다음과 같이 한다.

2. 「저탄소 녹색성장 기본법」 제41조에 따른 에너지기본계획

⑥ 신에너지 및 재생에너지 개발·이용·보급 촉진법 일부를 다음과 같이 개정한다.

제5조제2항제3호의2 중 "「에너지기본법」 제2조제10호의 규정에 의한"을 "「에너지법」 제2조제10호에 따른"으로 한다.

제32조제2항 중 "「에너지기본법」 제13조에 따른"을 "「에너지법」 제13조에 따른"으로 한다.

⑦ 에너지기본법 일부를 다음과 같이 개정한다.

제명 "에너지기본법"을 "에너지법"으로 한다.

제3조를 삭제한다.

제5조 본문 중 "기본원칙"을 "「저탄소 녹색성장 기본법」 제39조에 따른 기본원칙"으로 한다.

제6조를 삭제한다.

제7조제1항 중 "기본계획"을 "「저탄소 녹색성장 기본법」 제41조에 따른 에너지기본계획(이하 "기본계획"이라 한다)"으로 한다.

제8조제2항 중 "제9조의 규정에 따른 국가에너지위원회"를 "제9조에 따른 에너지위원회"로 한다.

제9조의 제목 "(국가에너지위원회의 구성 및 운영)"을 "(에너지위원회의 구성 및 운영)"으로 한다.

제9조제1항 중 "국가에너지위원회"를 "에너지위원회"로 하고, 같은 조 제2항 중 "위원장 및 부위원장 각 1인을 포함한 25인"을 "위원장 1명을 포함한 25명"으로 하며, 같은 조 제3항을 다음과 같이 한다.

③ 위원장은 지식경제부 장관이 된다.

제9조제4항 중 "중앙행정기관의 장"을 "중앙행정기관의 고위공무원단에 속하는 고위공무원"으로 하고, 같은 조 제5항 전단 중 "대통령"을 "지식경제부장관"으로 하며, 같은 조 제8항을 다음과 같이 하고, 같은 조 제9항 중 "지식경제부장관"을 "지식경제부차관"으로 한다.

⑧ 위원장이 부득이한 사유로 직무를 수행할 수 없을 때에는 위원장이 미리 지명한 위원이 그 직무를 대행한다.

제10조제1호를 다음과 같이 한다.

1. 「저탄소 녹색성장 기본법」 제41조제2항에 따른 에너지기본계획 수립·변경의 사전심의에 관한 사항

제19조제1항 중 "제6조의 규정에 의한 국가에너지기본계획"을 "기본계획"으로 하고, 같은 조 제3항을 삭제한다.

⑧ 에너지이용 합리화법 일부를 다음과 같이 개정한다.

제2조 중 "「에너지기본법」"을 "「에너지법」"으로 한다.

⑨ 전기·전자제품 및 자동차의 자원순환에 관한 법률 일부를 다음과 같이 개정한다.

제2조제7호 중 "「에너지기본법」"을 "「에너지법」"으로 한다.

⑩ 지속가능발전 기본법 일부를 다음과 같이 개정한다.

제명 "지속가능발전 기본법"을 "지속가능발전법"으로 한다.

제3조부터 제6조까지 삭제한다.

제7조를 다음과 같이 한다.

제7조 (국가·지방이행계획의 협의·조정) 중앙행정기관의 장이나 특별시장·광역시장·도지사·특별자치도지사(이하 "시·도지사"라 한다)는 다른 중앙행정기관이나 특별시·광역시·도·특별자치도(이하 "시·도"라 한다)의 중앙 지속가능발전 기본계획(이하 "국가이행계획"이라 한다) 또는 지방 지속가능발전 기본계획(이하 "지방이행계획"이라 한다)이 그 중앙행정기관 또는 시·도의 이행계획의 시행에 지장을 초래하거나 초래할 우려가 있다고 인정할 때에는 대통령령으로 정하는 바에 따라 상호 협의·조정하여야 한다. 이 경우 중앙행정기관의 장이나 시·도지사는 그 협의·조정 사항에 관하여 제15조에 따른 지속가능발전위원회(이하 "위원회"라 한다) 또는 해당 지방녹색성장위원회의 의견을 들을 수 있다.

제 8조를 삭제한다.

제9조 제1항 중 "국가위원회"는 "위원회"로 하고 제2항 중 "국가위원회로부

터"는 "위원회로부터"로 하며 제3항 및 제4항을 각각 삭제한다.

제10조를 다음과 같이 한다.

제10조 (다른 법령에 따른 계획과의 연계) 국가와 지방자치단체는 다른 법령에 따라 수립하는 행정계획과 정책이 「저탄소 녹색성장 기본법」 제49조에 따른 기본원칙과 제50조에 따른 지속가능발전 기본계획과 조화를 이루도록 노력하여야 한다.

제11조를 다음과 같이 한다.

제11조 중 "국가위원회"를 "위원회"로 하고 "지방위원회"를 "지방 녹색성장 위원회"로 하며 제2항 중 "국가기본전략"을 "지속가능발전 기본계획"으로 하고 제3항 중 "지방기본전략"을 "지방이행계획"으로 한다.

제12조를 삭제한다.

제13조 및 제14조를 각각 다음과 같이 한다.

제13조(지속가능발전지표 및 지속가능성 평가)

- ① 국가는 지속가능발전지표를 작성하여 보급하여야 한다.
- ② 제15조에 따른 지속가능발전위원회는 제1항에 따른 지속가능발전지표에 따라 2년마다 국가의 지속가능성을 평가하여야 한다.
- ③ 제1항 및 제2항에 따른 지속가능발전지표의 작성·보급 및 지속가능성 평가에 필요한 사항은 대통령령으로 정한다.

제14조(지속가능성보고서)

- ① 제15조에 따른 지속가능발전위원회는 2년마다 제13조제2항에 따른 지속가능성 평가결과를 종합하는 지속가능성보고서를 작성하여 대통령에게 보고한 후 공표(公表)하여야 한다.
- ② 정부는 제1항에 따라 작성한 지속가능성보고서를 국회에 보고하여야 한다.
- ③ 제1항에 따른 지속가능성보고서의 작성 등에 필요한 사항은 대통령령으로 정한다.

제4장의 제목 "국가 및 지방 지속가능발전위원회"를 "지속가능발전위원회"로 한다.

제15조 및 제16조를 각각 다음과 같이 한다.

제15조(지속가능발전위원회의 설치) 국가의 지속가능발전을 효율적으로 추진하기 위하여 환경부장관 소속으로 지속가능발전위원회를 둔다.

제16조(위원회의 기능) 위원회는 다음 각 호의 사항을 심의한다.

1. 「저탄소 녹색성장 기본법」 제50조 제2항에 따른 지속가능발전 기본계획 수립·변경의 사전심의에 관한 사항
2. 제7조에 따른 이행계획의 협의·조정에 관한 사항
3. 제9조제1항에 따른 국가이행계획의 추진상황 점검에 관한 사항
4. 제11조에 따른 법령 및 행정계획에 대한 검토 및 통보 등에 관한 사항
5. 제13조에 따른 지속가능발전지표의 작성 및 지속가능성 평가에 관한 사항
6. 제14조제1항에 따른 지속가능성보고서의 작성 및 공표에 관한 사항
7. 제20조에 따른 지속가능발전 지식·정보의 보급 등에 관한 사항
8. 제21조에 따른 교육·홍보 등에 관한 사항
9. 제22조에 따른 국내외 협력 등에 관한 사항
10. 그 밖에 지속가능발전을 위하여 고려하여야 할 주요 정책과 이와 관련된 사회적 갈등 해결에 관하여 환경부장관에 대한 자문이 필요한 사항

제17조의 제목 "(국가위원회의 구성 등)"을 "(위원회의 구성 등)"으로 한다.

제17조제1항 중 "국가위원회"를 "위원회"로 하고, 같은 조 제2항 중 "중앙행정기관의 장과 시·도의 지방위원회 위원장"을 "중앙행정기관의 고위공무원단에 속하는 고위 공무원"으로 하며, 같은 조 제3항 중 "대통령"을 "환경부장관"으로 하고, 같은 조 제5항 및 제6항 중 "국가위원회"를 각각 "위원회"로 한다.

제18조를 다음과 같이 한다.

제18조(정책에 관한 의견의 제시)

① 위원회는 지속가능발전을 위하여 필요하다고 인정하면 관계 중앙행정 기관 또는 지방자치단체의 정책에 관하여 의견을 제시할 수 있다.

② 제1항에 따라 의견을 제시받은 관계 중앙행정기관 또는 관계 지방자치 단체의 장은 그 의견을 존중하고 이를 관계 법령의 제·개정이나 행정계획 의 수립·변경에 반영하기 위하여 노력하여야 한다.

제19조제1항 및 제2항 중 "국가위원회"를 각각 "위원회"라 한다.

제20조제2항, 같은 조 제3항 전단 및 같은 조 제4항 중 "국가위원회"를 각 각 "위원회"로 한다.

제21조 중 "기본전략의 수립·이행·평가와 그 밖에 지속가능발전을"을 " 지속가능발전을"로 한다.

제22조제1항을 다음과 같이 한다.

① 국가와 지방자치단체는 지속가능발전을 위하여 긴밀하게 상호 협력하 여야 한다.

⑪ 폐기물관리법 일부를 다음과 같이 개정한다.

제2조제7호 중 "「에너지기본법」"을 "「에너지법」"으로 한다.

⑫ 환경기술개발 및 지원에 관한 법률 일부를 다음과 같이 개정한다.

제1조 중 "환경보전"을 "환경보전, 녹색성장 촉진"으로 한다.

제5조의2제1항 중 "「친환경상품 구매촉진에 관한 법률」 제2조 제1호에 따 른"을 "「저탄소 녹색성장 기본법 제2조제5호에 따른"으로 한다.

제5조의2제1항 중 "친환경상품"을 "녹색제품"으로 하고, 제5조의2제4항제3 호 중 "환경기술·경영"을 "환경기술 및 녹색경영"으로 하며, 제5조의2제4 항제7호 중 "환경산업·기술·경영"을 "환경산업·기술 및 녹색경영"으로 한다.

제5조의2제4항제8호부터 제9호 중 "친환경상품"을 "녹색제품"으로 하고, 같 은 항제10호 중 "환경산업·기술·경영 및 친환경상품"을 "환경산업·기술, 녹색경영 및 녹색제품"으로 하며, 같은 항 제11호 중 "환경경영"을 "녹색경

영"으로, "친환경상품"을 "녹색제품"으로 한다.

제5조의2제4항제8호부터 제9호 중 "친환경상품"을 "녹색제품"으로 하고, 같은 항제10호 중 "환경산업·기술·경영 및 친환경상품"을 "환경산업·기술, 녹색경영 및 녹색제품"으로 하며, 같은 항 제11호 중 "환경경영"을 "녹색경영"으로, "친환경상품"을 "녹색제품"으로 한다.

제16조의2 및 제16조의3 중 "환경친화기업"을 각각 "녹색기업"으로 한다.

제16조의2제1항 "환경경영체제"를 "녹색경영체제"로 한다.

제16조의2제1항 후단 중 "환경경영체제인증"을 "녹색경영체제인증"이라 한다.

⑬ 환경친화적 산업구조로의 전환촉진에 관한 법률 일부를 다음과 같이 개정한다.

제2조제5호를 다음과 같이 한다.

5. "녹색경영"이란 「저탄소 녹색성장 기본법」 제2조제7호에 따른 녹색경영을 말한다.

제2조제7호 중 "환경경영체제"를 "녹색경영체제"로, "환경경영을"을 "녹색경영을"로 하고, 같은 조 제8호 중 "환경경영체제인증"을 "녹색경영체제인증"으로, "환경경영체제가"를 "녹색경영체제가"로 한다.

제6조의2의 제목 "(환경경영컨설팅사업의 육성 등)"을 "(녹색경영컨설팅사업의 육성 등)"으로 한다.

제6조의2제1항 각 호 외의 부분 중 "환경경영을"을 "녹색경영을"로, "환경경영컨설팅사업"을 "녹색경영컨설팅사업"으로 하고, 같은 항 제3호 및 같은 조 제2항 후단 중 "환경경영컨설팅사업"을 각각 "녹색경영컨설팅사업"으로 한다.

제7조제2항제4호 중 "환경경영체제구축"을 "녹색경영체제구축"으로 한다.

제12조제1항제3호 중 "환경친화적 산업구조전환 추진본부"를 "녹색경영 추진본부"로 하고, 같은 항 제4호 중 "환경경영촉진"을 "녹색경영 촉진"으로

한다.

제13조의 제목 "(환경친화적 산업구조전환 추진본부)"를 "(녹색경영추진본부)"로 한다.

제13조제1항 중 "환경친화적 산업구조전환 추진본부"를 "녹색경영 추진본부"로 하고, 같은 조 제2항제5호 중 "환경경영활동"을 "녹색경영 활동"으로 한다.

제15조의 제목 "(환경경영 촉진시책의 마련 등)"을 "(녹색경영 촉진시책의 마련 등)"으로 한다.

제16조의 제목 "(환경경영체제의 인증 등)"을 "(녹색경영체제의 인증 등)"으로 한다.

제16조의2의 제목 "(환경경영체제인증의 신뢰성 제고 등)"을 "(녹색경영체제인증의 신뢰성 제고 등)"으로 한다.

제18조의 제목 "(환경경영에 관한 교육·홍보 등)"을 "(녹색경영에 관한 교육·홍보 등)"으로 한다.

제19조의 제목 "(환경경영에 관한 진단·지도)"를 "(녹색경영에 관한 진단·지도)"로 한다.

제2조제1호, 제4조제2항제4호, 제6조제1항제4호, 같은 조 제3항 각 호 외의 부분 및 제15조제1항·제2항 중 "환경친화적인 제품"을 각각 "녹색제품"으로 한다.

제2조제9호, 제16조제1항 각 호 외의 부분, 같은 항 제1호부터 제3호까지 및 같은 조 제2항, 같은 조 제3항 진단, 같은 조 제7항 중 "환경경영체제"를 각각 "녹색경영체제"로 한다.

제3조제2항제5호, 제7조제1항, 제15조제1항, 제17조제1항제2호, 제18조제1항·제2항, 제19조 제목 외의 부분 및 제28조제2항 중 "환경경영"을 각각 "녹색경영"으로 한다.

제16조의2제1항 각 호 외의 부분, 같은 조 제1호·제3호, 제16조의3 진단

및 제27조제2항 중 "환경경영체제인증"을 각각 "녹색경영체제인증"으로 한다.

⑭ 친환경상품 구매촉진에 관한 법률 일부를 다음과 같이 개정한다.

제2조제1호를 다음과 같이 한다.

1. "친환경상품"이란 「저탄소 녹색성장 기본법」 제2조제5호에 따른 녹색 제품으로서 다음 각 목의 어느 하나에 해당하는 것을 말한다.

가. 환경기술개발및지원에관한법률 제20조제1항의 규정에 의한 환경표지의 인증을 위한 대상품목으로서 인증을 얻은 상품 또는 동법 제20조제3항의 규정에 의하여 환경부장관이 정하여 고시하는 대상품목별 인증기준에 적합한 상품

나. 자원의절약과재활용촉진에관한법률 제33조 및 「산업기술혁신 촉진법」 제15조에 따라 지식경제부장관이 정하여 고시하는 재활용제품의 품질 인증 대상품목으로서 인증을 얻은 상품 또는 인증기준에 적합한 상품

다. 그 밖에 녹색제품으로서 환경부장관이 지식경제부장관과 협의하여 고시하는 대상품목별 판단기준에 적합한 상품

부칙

제1조(시행일)

이 법은 공포 후 3개월이 경과한 날부터 시행한다. 다만 이 법 부칙 제4조 제12항 및 제13항에 의한 환경경영체제인증의 녹색경영체제인증으로의 변경은 이 법 공포 후 18개월이 경과한 날로부터 시행한다.

제2조(명세서 작성에 관한 특례)

관리업체는 제44조에도 불구하고 이 법 시행 첫해에는 과거 3년간의 온실가스 배출량 및 에너지 소비량에 대하여 명세서를 작성하여 보고하여야 한다.

제3조(녹색성장 국가전략에 대한 경과조치)

이 법 시행 당시 종전의 대통령 훈령 239호에 따라 설치된 녹색성장위원회

가 수립하여 국무회의의 심의를 거쳐 시행 중인 녹색성장 국가전략은 제9조에 따른 녹색성장 국가전략으로 본다.

제4조(다른 법률의 개정)

① 대기환경보전법 일부를 다음과 같이 개정한다.

제12조를 삭제한다.

제81조제1항제2호를 삭제한다.

② 대·중소기업 상생협력 촉진에 관한 법률 일부를 다음과 같이 개정한다.

제12조제1항 중 "환경경영"을 "녹색경영"이라 한다.

③ 법률 제9369호 산업기술혁신 촉진법 일부개정법률 일부를 다음과 같이 개정한다.

제2조제1호 중 "「에너지기본법」"을 "「에너지법」"으로 한다.

④ 산업발전법 일부를 다음과 같이 개정한다.

제4조제2항제4호 중 "「에너지기본법」"을 "「에너지법」"으로 한다.

⑤ 수도권 대기환경개선에 관한 특별법 일부를 다음과 같이 개정한다.

제10조제2호를 다음과 같이 한다.

2. 「저탄소 녹색성장 기본법」 제41조에 따른 에너지기본계획

⑥ 신에너지 및 재생에너지 개발·이용·보급 촉진법 일부를 다음과 같이 개정한다.

제5조제2항제3호의2 중 "「에너지기본법」 제2조제10호의 규정에 의한"을 "「에너지법」 제2조제10호에 따른"으로 한다.

제32조제2항 중 "「에너지기본법」 제13조에 따른"을 "「에너지법」 제13조에 따른"으로 한다.

⑦ 에너지기본법 일부를 다음과 같이 개정한다.

제명 "에너지기본법"을 "에너지법"으로 한다.

제3조를 삭제한다.

제5조 본문 중 "기본원칙"을 "「저탄소 녹색성장 기본법」 제39조에 따른 기본원칙"으로 한다.

제6조를 삭제한다.

제7조제1항 중 "기본계획"을 "「저탄소 녹색성장 기본법」 제41조에 따른 에너지기본계획(이하 "기본계획"이라 한다)"으로 한다.

제8조제2항 중 "제9조의 규정에 따른 국가에너지위원회"를 "제9조에 따른 에너지위원회"로 한다.

제9조의 제목 "(국가에너지위원회의 구성 및 운영)"을 "(에너지위원회의 구성 및 운영)"으로 한다.

제9조제1항 중 "국가에너지위원회"를 "에너지위원회"로 하고, 같은 조 제2항 중 "위원장 및 부위원장 각 1인을 포함한 25인"을 "위원장 1명을 포함한 25명"으로 하며, 같은 조 제3항을 다음과 같이 한다.

③ 위원장은 지식경제부장관이 된다.

제9조제4항 중 "중앙행정기관의 장"을 "중앙행정기관의 고위공무원단에 속하는 고위공무원"으로 하고, 같은 조 제5항 전단 중 "대통령"을 "지식경제부장관"으로 하며, 같은 조 제8항을 다음과 같이 하고, 같은 조 제9항 중 "지식경제부장관"을 "지식경제부차관"으로 한다.

⑧ 위원장이 부득이한 사유로 직무를 수행할 수 없을 때에는 위원장이 미리 지명한 위원이 그 직무를 대행한다.

제10조제1호를 다음과 같이 한다.

1. 「저탄소 녹색성장 기본법」 제41조제2항에 따른 에너지기본계획 수립·변경의 사전심의에 관한 사항

제19조제1항 중 "제6조의 규정에 의한 국가에너지기본계획"을 "기본계획"으로 하고, 같은 조 제3항을 삭제한다.

⑧ 에너지이용 합리화법 일부를 다음과 같이 개정한다.

제2조 중 "「에너지기본법」"을 "「에너지법」"으로 한다.

⑨ 전기·전자제품 및 자동차의 자원순환에 관한 법률 일부를 다음과 같이 개정한다.

제2조제7호 중 "「에너지기본법」"을 "「에너지법」"으로 한다.

⑩ 지속가능발전 기본법 일부를 다음과 같이 개정한다.

제명 "지속가능발전 기본법"을 "지속가능발전법"으로 한다.

제3조부터 제6조까지 삭제한다.

제7조를 다음과 같이 한다.

제7조 (국가·지방이행계획의 협의·조정) 중앙행정기관의 장이나 특별시장·광역시장·도지사·특별자치도지사(이하 "시·도지사"라 한다)는 다른 중앙행정기관이나 특별시·광역시·도·특별자치도(이하 "시·도"라 한다)의 중앙 지속가능발전 기본계획(이하 "국가이행계획"이라 한다) 또는 지방 지속가능발전 기본계획(이하 "지방이행계획"이라 한다)이 그 중앙행정기관 또는 시·도의 이행계획의 시행에 지장을 초래하거나 초래할 우려가 있다고 인정할 때에는 대통령령으로 정하는 바에 따라 상호 협의·조정하여야 한다. 이 경우 중앙행정기관의 장이나 시·도지사는 그 협의·조정 사항에 관하여 제15조에 따른 지속가능발전위원회(이하 "위원회"라 한다) 또는 해당 지방녹색성장위원회의 의견을 들을 수 있다.

제 8조를 삭제한다.

제9조 제1항 중 "국가위원회"는 "위원회"로 하고 제2항 중 "국가위원회로부터"는 "위원회로부터"로 하며 제3항 및 제4항을 각각 삭제한다.

제10조를 다음과 같이 한다.

제10조 (다른 법령에 따른 계획과의 연계) 국가와 지방자치단체는 다른 법령에 따라 수립하는 행정계획과 정책이 「저탄소 녹색성장 기본법」 제49조에 따른 기본원칙과 제50조에 따른 지속가능발전 기본계획과 조화를 이루도록 노력하여야 한다.

제11조를 다음과 같이 한다.

제11조 중 "국가위원회"를 "위원회"로 하고 "지방위원회"를 "지방 녹색성장 위원회"로 하며 제2항 중 "국가기본전략"을 "지속가능발전 기본계획"으로 하고 제3항 중 "지방기본전략"을 "지방이행계획"으로 한다.

제12조를 삭제한다.

제13조 및 제14조를 각각 다음과 같이 한다.

제13조(지속가능발전지표 및 지속가능성 평가)

- ① 국가는 지속가능발전지표를 작성하여 보급하여야 한다.
- ② 제15조에 따른 지속가능발전위원회는 제1항에 따른 지속가능발전지표에 따라 2년마다 국가의 지속가능성을 평가하여야 한다.
- ③ 제1항 및 제2항에 따른 지속가능발전지표의 작성·보급 및 지속가능성 평가에 필요한 사항은 대통령령으로 정한다.

제14조(지속가능성보고서)

- ① 제15조에 따른 지속가능발전위원회는 2년마다 제13조제2항에 따른 지속가능성 평가결과를 종합하는 지속가능성보고서를 작성하여 대통령에게 보고한 후 공표(公表)하여야 한다.
- ② 정부는 제1항에 따라 작성한 지속가능성보고서를 국회에 보고하여야 한다.
- ③ 제1항에 따른 지속가능성보고서의 작성 등에 필요한 사항은 대통령령으로 정한다.

제4장의 제목 "국가 및 지방 지속가능발전위원회"를 "지속가능발전위원회"로 한다.

제15조 및 제16조를 각각 다음과 같이 한다.

제15조(지속가능발전위원회의 설치) 국가의 지속가능발전을 효율적으로 추진하기 위하여 환경부장관 소속으로 지속가능발전위원회를 둔다.

제16조(위원회의 기능) 위원회는 다음 각 호의 사항을 심의한다.

1. 「저탄소 녹색성장 기본법」 제50조 제2항에 따른 지속가능발전 기본제

획 수립·변경의 사전심의에 관한 사항

2. 제7조에 따른 이행계획의 협의·조정에 관한 사항
3. 제9조제1항에 따른 국가이행계획의 추진상황 점검에 관한 사항
4. 제11조에 따른 법령 및 행정계획에 대한 검토 및 통보 등에 관한 사항
5. 제13조에 따른 지속가능발전지표의 작성 및 지속가능성 평가에 관한 사항
6. 제14조제1항에 따른 지속가능성보고서의 작성 및 공표에 관한 사항
7. 제20조에 따른 지속가능발전 지식·정보의 보급 등에 관한 사항
8. 제21조에 따른 교육·홍보 등에 관한 사항
9. 제22조에 따른 국내외 협력 등에 관한 사항

10. 그 밖에 지속가능발전을 위하여 고려하여야 할 주요 정책과 이와 관련된 사회적 갈등 해결에 관하여 환경부장관에 대한 자문이 필요한 사항

제17조의 제목 “(국가위원회의 구성 등)”을 “(위원회의 구성 등)”으로 한다.

제17조제1항 중 “국가위원회”를 “위원회”로 하고, 같은 조 제2항 중 “중앙행정기관의 장과 시·도의 지방위원회 위원장”을 “중앙행정기관의 고위공무원단에 속하는 고위 공무원”으로 하며, 같은 조 제3항 중 “대통령”을 “환경부장관”으로 하고, 같은 조 제5항 및 제6항 중 “국가위원회”를 각각 “위원회”로 한다.

제18조를 다음과 같이 한다.

제18조(정책에 관한 의견의 제시)

- ① 위원회는 지속가능발전을 위하여 필요하다고 인정하면 관계 중앙행정기관 또는 지방자치단체의 정책에 관하여 의견을 제시할 수 있다.
- ② 제1항에 따라 의견을 제시받은 관계 중앙행정기관 또는 관계 지방자치단체의 장은 그 의견을 존중하고 이를 관계 법령의 제·개정이나 행정계획의 수립·변경에 반영하기 위하여 노력하여야 한다.

제19조제1항 및 제2항 중 “국가위원회”를 각각 “위원회”라 한다.

제20조제2항, 같은 조 제3항 전단 및 같은 조 제4항 중 “국가위원회”를 각

각 "위원회"로 한다.

제21조 중 "기본전략의 수립·이행·평가와 그 밖에 지속가능발전을"을 "지속가능발전을"로 한다.

제22조제1항을 다음과 같이 한다.

① 국가와 지방자치단체는 지속가능발전을 위하여 긴밀하게 상호 협력하여야 한다.

⑪ 폐기물관리법 일부를 다음과 같이 개정한다.

제2조제7호 중 "「에너지기본법」"을 "「에너지법」"으로 한다.

⑫ 환경기술개발 및 지원에 관한 법률 일부를 다음과 같이 개정한다.

제1조 중 "환경보전"을 "환경보전, 녹색성장 촉진"으로 한다.

제5조의2제1항 중 "「친환경상품 구매촉진에 관한 법률」 제2조 제1호에 따른"을 "「저탄소 녹색성장 기본법 제2조제5호에 따른"으로 한다.

제5조의2제1항 중 "친환경상품"을 "녹색제품"으로 하고, 제5조의2제4항제3호 중 "환경기술·경영"을 "환경기술 및 녹색경영"으로 하며, 제5조의2제4항제7호 중 "환경산업·기술·경영"을 "환경산업·기술 및 녹색경영"으로 한다.

제5조의2제4항제8호부터 제9호 중 "친환경상품"을 "녹색제품"으로 하고, 같은 항제10호 중 "환경산업·기술·경영 및 친환경상품"을 "환경산업·기술, 녹색경영 및 녹색제품"으로 하며, 같은 항 제11호 중 "환경경영"을 "녹색경영"으로, "친환경상품"을 "녹색제품"으로 한다.

제5조의2제4항제8호부터 제9호 중 "친환경상품"을 "녹색제품"으로 하고, 같은 항제10호 중 "환경산업·기술·경영 및 친환경상품"을 "환경산업·기술, 녹색경영 및 녹색제품"으로 하며, 같은 항 제11호 중 "환경경영"을 "녹색경영"으로, "친환경상품"을 "녹색제품"으로 한다.

제16조의2 및 제16조의3 중 "환경친화기업"을 각각 "녹색기업"으로 한다.

제16조의2제1항 "환경경영체제"를 "녹색경영체제"로 한다.

제16조의2제1항 후단 중 "환경경영체제인증"을 "녹색경영체제인증"이라 한다.

⑬ 환경친화적 산업구조로의 전환촉진에 관한 법률 일부를 다음과 같이 개정한다.

제2조제5호를 다음과 같이 한다.

5. "녹색경영"이란 「저탄소 녹색성장 기본법」 제2조제7호에 따른 녹색경영을 말한다.

제2조제7호 중 "환경경영체제"를 "녹색경영체제"로, "환경경영을"을 "녹색경영을"로 하고, 같은 조 제8호 중 "환경경영체제인증"을 "녹색경영체제인증"으로, "환경경영체제가"를 "녹색경영체제가"로 한다.

제6조의2의 제목 "(환경경영컨설팅사업의 육성 등)"을 "(녹색경영컨설팅사업의 육성 등)"으로 한다.

제6조의2제1항 각 호 외의 부분 중 "환경경영을"을 "녹색경영을"로, "환경경영컨설팅사업"을 "녹색경영컨설팅사업"으로 하고, 같은 항 제3호 및 같은 조 제2항 후단 중 "환경경영컨설팅사업"을 각각 "녹색경영컨설팅사업"으로 한다.

제7조제2항제4호 중 "환경경영체제구축"을 "녹색경영체제구축"으로 한다.

제12조제1항제3호 중 "환경친화적 산업구조전환 추진본부"를 "녹색경영 추진본부"로 하고, 같은 항 제4호 중 "환경경영촉진"을 "녹색경영 촉진"으로 한다.

제13조의 제목 "(환경친화적 산업구조전환 추진본부)"를 "(녹색경영추진본부)"로 한다.

제13조제1항 중 "환경친화적 산업구조전환 추진본부"를 "녹색경영 추진본부"로 하고, 같은 조 제2항제5호 중 "환경경영활동"을 "녹색경영 활동"으로 한다.

제15조의 제목 "(환경경영 촉진시책의 마련 등)"을 "(녹색경영 촉진시책의

마련 등)"으로 한다.

제16조의 제목 "(환경경영체제의 인증 등)"을 "(녹색경영체제의 인증 등)"으로 한다.

제16조의2의 제목 "(환경경영체제인증의 신뢰성 제고 등)"을 "(녹색경영체제인증의 신뢰성 제고 등)"으로 한다.

제18조의 제목 "(환경경영에 관한 교육·홍보 등)"을 "(녹색경영에 관한 교육·홍보 등)"으로 한다.

제19조의 제목 "(환경경영에 관한 진단·지도)"를 "(녹색경영에 관한 진단·지도)"로 한다.

제2조제1호, 제4조제2항제4호, 제6조제1항제4호, 같은 조 제3항 각 호 외의 부분 및 제15조제1항·제2항 중 "환경친화적인 제품"을 각각 "녹색제품"으로 한다.

제2조제9호, 제16조제1항 각 호 외의 부분, 같은 항 제1호부터 제3호까지 및 같은 조 제2항, 같은 조 제3항 전단, 같은 조 제7항 중 "환경경영체제"를 각각 "녹색경영체제"로 한다.

제3조제2항제5호, 제7조제1항, 제15조제1항, 제17조제1항제2호, 제18조제1항·제2항, 제19조 제목 외의 부분 및 제28조제2항 중 "환경경영"을 각각 "녹색경영"으로 한다.

제16조의2제1항 각 호 외의 부분, 같은 조 제1호·제3호, 제16조의3 전단 및 제27조제2항 중 "환경경영체제인증"을 각각 "녹색경영체제인증"으로 한다.

⑭ 친환경상품 구매촉진에 관한 법률 일부를 다음과 같이 개정한다.

제2조제1호를 다음과 같이 한다.

1. "친환경상품"이란 「저탄소 녹색성장 기본법」 제2조제5호에 따른 녹색 제품으로서 다음 각 목의 어느 하나에 해당하는 것을 말한다.

가. 환경기술개발및지원에관한법률 제20조제1항의 규정에 의한 환경표지의

인증을 위한 대상품목으로서 인증을 얻은 상품 또는 동법 제20조제3항의 규정에 의하여 환경부장관이 정하여 고시하는 대상품목별 인증기준에 적합한 상품

나. 자원의절약과재활용촉진에관한법률 제33조 및 「산업기술혁신 촉진법」 제15조에 따라 지식경제부장관이 정하여 고시하는 재활용제품의 품질 인증 대상품목으로서 인증을 얻은 상품 또는 인증기준에 적합한 상품

다. 그 밖에 녹색제품으로서 환경부장관이 지식경제부장관과 협의하여 고시하는 대상품목별 판단기준에 적합한 상품

2010년 4월 13일 시행예정

부록 3 : 인도네시아 해조류(우뭇가사리) 양식 실태조사

해조류 바이오메스산업화를 위해서는 안정적이고 충분한 해조류의 확보가 가장 큰 관건이다. 본 연구결과 해조류 바이오 산업화를 위한 해조류 생산은 양식을 통해서만 가능할 것으로 증명되었고, 대량 양식은 우리나라 바다만을 이용해서는 불가능할 것으로 나타났다. 따라서 본 연구에서는 해조류 양식을 국내와 해외에서 추진할 것을 제안한 바 있다.

본 연구진은 해조류 해외양식의 적지라 할 수 인도네시아를 금년 10월 직접 방문하여 해조류 양식의 가능성을 점검하였다.

해조류 펄프회사인 P사는 인도네시아 롬복 연안에 2008년 우리나라 우뭇가사리를 이식하여 시험양식을 실시하였고, 2009년부터는 본격적인 양식이 실시하여 현재 성공적으로 양식이 이뤄지고 있었다.

인도네시아는 열대지방으로 연간 수온이 일정하여 우리나라와는 달리 1회 양식기간이 2개월로 연간 5-6회 양식이 가능하다. 현재 우뭇가사리를 양식하고 있는 연안은 인도네시아 남부 롬복지방으로 뉴질랜드와 호주에서 올라오는 풍부한 미네랄이 함유된 해류로 인하여 해조류 양식의 최적지로 꼽히고 있다.

금번 현장 점검결과 P사가 양식하고 있는 우뭇가사리 양식은 거의 성공적인 수준에 와 있었다. 또한 현재 양식하고 있는 한국산 우뭇가사리 성체는 약 30cm에 불과하다. 그러나 P는 성체는 1m인 멕시코산 대형 우뭇가사리 종사를 도입하였다. 만일 동 품종 양식이 인도네시아에서 성공한다면 양식생산량은 3배 이상 증가할 것으로 전망하였다.

P사는 인도네시아 주정부로부터 30년 이용할 수 있는 양식장 25,000ha 이상을 확보한 상태이다. 양식방법은 우리나라 연승식과 유사하며, 해조류가 성장하면 분지하여 양식장을 확장하는 분지식을 도입하고 있었다. 이러한 분지

식의 도입 장점은 양식순기마다 종사를 구입하여 시설하지 않으므로 종사비용이 절감되는데, 이는 현지 인건비가 저렴하기 때문에 가능한 것으로 조사되었다.

양식장 종사원은 현지 마을 주민들이며 양식장 관리자는 인도네시아에서 해조류 양식에 가장 권위자를 고용하여 양식 및 종사자들의 관리를 맡기고 있다. 한편 양식기술지원은 인도네시아 Sam Ratulangi Univerty 교수이자 국립해조류센터 소장인 Grevo S. Gerung 교수가 전담하고, 국립해조류센터에서 양식물에 관한 실험을 실시하고 있었다.

양식해조류 건조에 대하여는 기상이 좋아 단시간 건조가 가능하므로 큰 문제가 없었고, 일부에서 연안주민들의 절도에 관해서는 현지 마을 주민들을 고용하고 있고 우뚝가사리에 대한 현지 수요가 없어 큰 문제가 없는 것으로 파악되었다.

전처리가공은 가능한 한 현지 공장을 건설하여 현지 가공하는 것이 비용면에서나 현지 고용창출 및 지역경제 활성화 측면에서 바람직할 것으로 판단되었다. 다만 P사는 대량체제가 도입되기 전까지는 현지산 양식물을 건조하여 국내에 반입한 후 한국 공장을 가공할 계획을 가지고 있다.

인도네시아 중앙정부 및 주정부를 방문하여 우리나라 기업의 인도네시아 투자에 대한 입장을 조사한 결과, 기본적으로 해외기업 유치에 적극 희망하고 있었다. 다만 인도네시아에서 한국 기업이 직접 양식하는 것도 좋지만 가급적 인도네시아 현지민이 양식한 수산물을 가공하기를 원하고 있었다. 또한 직접 투자할 경우에는 플라즈마 방식(현지민 생산원료 구입 70%, 직영 30%)으로 투자하기를 원하고 있었다.

결론적으로 우리나라 기업의 인도네시아 해조류 양식진출 가능성은 대단히 높았고, 해조류 양식 가능성 또한 양호하여 해조류 바이오산업화를 위한 해조류 공급이 가능할 것으로 판단하였다.



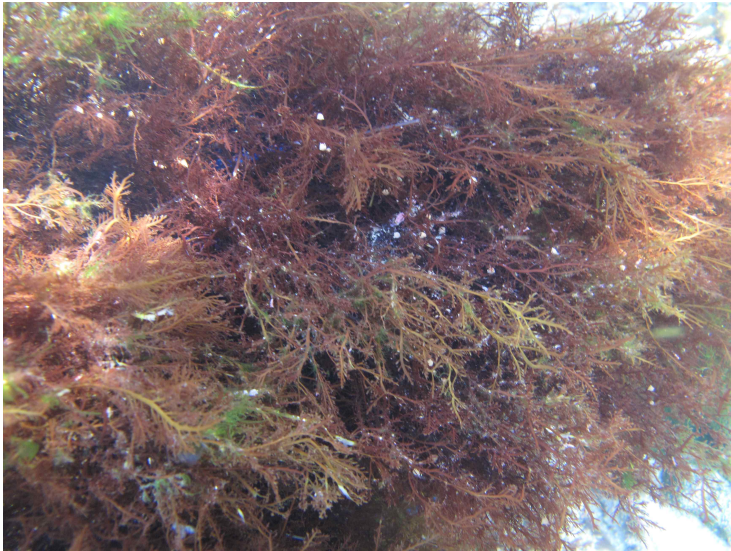
| 부록 사진-1 | 인도네시아 롬복 P사 우뭇가사리 양식장



| 부록 사진-2 | 인도네시아 롬복 P사의 양식중인 우뭇가사리



| 부록 사진-3 | 인도네시아 롬복 P사 우뭇가사리 양식시설



| 부록 사진-4 | 인도네시아 롬복 P사 양식장 우뭇가사리

해조류 바이오산업화를 위한 전략 및 정책방향

2009年 12月 29日 印刷

2009年 12月 31日 發行

編輯兼 發行人	姜 淙 熙
發行處	韓國海洋水產開發院 서울특별시 마포구 상암동 1652
전 화	2105-2700 FAX : 2105-2800
등 록	1984년 8월 6일 제16-80호

組版・印刷 / 해항사 393-0836

정가 15,000원

판매 및 보급 : 정부간행물판매센터 Tel : 394 - 0337