

에너지 소비 구조와 임산에너지의 역할¹

임 기 표²

Energy Consumption Structure and the Roles of Forestry Energy¹

Kie-Pyo Lim²

I. 에너지의 경제적 가치와 연료의 중요성

1.1 지구상의 원소 존재량과 Biomass 자원

1.1.1 지구상의 원소 존재량과 생명현상의 특이성
지구상에는 103개의 원소가 존재한다고 알려져 있으나 자연계에는 우라늄을 마지막으로 90여개의 원소가 존재하며, 인간이 생활하는 지각층에서 10ppm이상 존재하는 원소는 40여 가지에 불과하다. 여기에서 산업적으로 중요한 원소는 철, 알루미늄, 규소, 칼슘 등이고, 이 중 각종 무기재료를 제외하면 탄소를 골간으로 하는 고분자재료로서 각종 합성 플라스틱과 생명체들이 이에 속한다.

특히 생태계에서 생명활동의 근원이 되고 있는 탄수화물을 생합성하는 녹색식물체가 요구하는 원소는 20여가지이나 인간을 포함하여 생명체를 구성하는 중요 원소는 C, H, O, N, S, P, halogen(F, CL, Br, I)등 10여 가지에 불과하다. 또한 이들 원소의 대부분은 대기중에 존재하는 탄소와 산소 및 질소이며, 물에서 공급되는 수소를 포함하면 4가지 원소가 중요하다. 여기에 생체반응에 중요한 기능을 하는 유황과 유전자를 구성하는 인산을 포함해도 생명체를 구성하는 주원소는 6가지에 불과하다.

1.1.2 생태계의 먹이사슬(food chain)과 탄소순환
지구상의 생태계는 녹색식물이 태양광과 대기중의 탄소와 토양중의 수분을 흡수하고 광합성하여 합성한 탄수화물을 동물이 먹이로 이용하고, 인간은 식물에서 생산된 탄수화물과 동

물이 생산한 단백질을 섭취하며, 모든 생물의 사체는 미생물이 분해하여 탄소와 수분 및 질소로 환원시켜 대기와 토양 및 수중에 방출하는 먹이사슬(food chain)을 이루고 있다. 따라서 우리가 사용하는 에너지원인 연료를 포함하여 생태계의 먹이사슬을 구성하면 거대한 사이클이 된다.

각종 산업체에서 이용되는 각종 재료와 에너지도 탄소를 구성된 고분자재료가 대부분이기 때문에 각종 소비재에서 탄소를 분석하면 지구촌의 탄소이용과 생산 및 소비를 추적할 수 있다.

최근 UN에서는 지구온난화의 주범인 탄소의 소비에 세금을 부과하려는 탄소세금까지 대두되고 있다. 따라서 먹이사슬의 출발점인 녹색식물을 대상으로 하는 농업과 임업에서도 환경이라는 형용사가 추가된 환경농업과 환경임업이 대두되고 있다.

특히 생명활동의 근원을 되는 탄수화물을 생합성하여 에너지를 공급해 주는 녹색 식물체는 넓은 바다와 대륙에 모두 존재하고 다양하지만 태양광선을 받아야만 생존할 수 있고, 주변 환경에서 생합성에 필요한 영양원소를 흡수하여야 번성하게 된다.

이때 식물체가 필요로 하는 원소는 주로 C, H, O, N, S, P, K, Ca, Mg등 9가지이고, 극미량으로 Fe, Cu, Mn, Zn, B, CL, Mo, Co, V, Na, Si, F, I, Se, Br, Ru, St, AL, Be, Ba 등이 필요하다. 더욱이 먹이사슬 중에서 생명체(biomass)를 구성하는 주요원소는 C, H, O, N,

¹ 접수 1999년 4월 5일 Received on April 5, 1999.

² 전남대학교 농과대학 College of Agriculture, Chonnam National University, Kwangju 500-757, Korea

S, P 등 6가지이며, 이들 유기물질은 모두 대기중의 산소로 연소시키면 모두 가스성분으로 변하여 없어지고, 남는 것은 인산성분과 극소량의 무기원소들로서 재(회분)로 남는 양은 5% 이하로 적다.

한편 탄소를 골간으로 하는 유기분자는 1000만종이상 알려져 있지만 생명체를 구성하는 분자들은 cellulose와 hemicellulose, lignin, 수용성 탄수화물과 단백질 등 몇 종에 불과하다.

1.1.3 지구상의 Bioenergy량과 biomass

Whittaker와 Lickens(1975)에 따르면 지구상의 녹색식물은 생태계의 구성에 따라 생산량이 다르나 매년 1700억톤에 달하는 유기물질을 생합성하고 있다. 환언하면 총 광합성량에서 식물 자신의 호흡으로 소비된 후 잔유하는 순광합성량이 1700억톤에 달하여 우리가 소비하는 총 에너지량의 10배에 달하나 산업용 에너지원로서는 품질이 떨어져 비경제적이다.

특히 인류문명사에서 직경이 큰 목재는 주택과 선박 및 운송수단을 제작하는데 이용되었고, 중요한 연료자원이었으나 지금은 석탄과 석유에게 자리를 내주었으며 토목건축재료에서는 강철과 시멘트에 자리를 내주어 비경제적인 것으로 인식되고 있다. 그러나 생존 환경 보존 측면에서는 화폐가치로 직접 계산하기 어려운 막대한 양의 공익적 가치를 제공하고 있다.

최근에는 석유와 석탄도 고생대의 식물체에서 기원한다는 것이 알려지면서 석탄과 석유고갈에 대비하는 방향으로 biomass의 중요성이 다시 대두되고 있으며, 이러한 위기에 대비한 환경보존과 에너지 자급방향으로 도시쓰레기의 소각으로 생기는 폐열을 에너지로 이용하는 기술과 사회적 시스템들이 개발되고 있다.

1.2 근대 과학기술의 발전과 에너지의 경제적 가치

1.2.1 에너지의 상호변환과 전기에너지의 생산

지구상에 존재하는 에너지 형태는 편리하게 이용하고 있는 전기에너지 외에 광에너지, 열에너지, 기계적 에너지로 구분되나 에너지 보존법칙상 형태만 변할 뿐 소멸하거나 창조할 수 없다. 이 중에서 저장되는 에너지는 화학적

인 에너지 형태뿐이므로 연료가 중요하다.

현재 편리하게 사용하는 전기에너지는 연료인 석유와 석탄을 사용하여 발전하는 화력발전소에서 생산에너지가 대부분이다. 특히 전자산업의 발전으로 날로 증가하는 전기에너지를 생산하기 위하여서는 발전소에서 고 에너지 밀도를 가진 석탄이나 석유를 연료로 사용하여야 하나 모두 고생대의 생물체에서 기원한 자원들로서 경제성장에 따라 소비가 증가하고 있다.

즉 전기에너지는 에너지 형태 면에서 비축된 화학에너지를 열로 변환시킨 후 고압의 기계적 에너지로 전환시킨 다음 전자기장 속에 회전축을 갖추고 있는 발전기 터빈을 회전시켜야 에너지가 얻어지므로 전기에너지는 고품질의 에너지이다.

최근에는 연료로 저장된 화학에너지로부터 전환시키는 단계를 단축한 방법으로 광에너지를 화학에너지로 전환시키는 광전지나 열에너지를 전기에너지로 직접 전화시키는 열 전자발전시스템, 광에너지를 집중하여 고압스팀을 발생하는 태양열 발전소, 태양의 파도나 조력, 바람과 같은 기계적 에너지를 전기에너지로 전화시키는 파력발전소나 조력발전소, 풍력발전소등이 건설되고, 집중강우시 많은 물을 높은 곳에 저장하여 높은 낙차를 이용하는 수력발전소등이 증설되는 경향이다.

1.2.2 에너지의 경제적 가치

모든 나라가 산업화를 통한 경제성장으로 부유한 국가가 되기를 위하여 다양한 개발을 시도하고 있다. 그러나 경제적 발전에 필요한 에너지는 그림 1과 같이 경제적으로 가장 값이 싸야 한다.

적은 노력으로 많은 경제적 이득을 얻고자 하는 자본주의 경제에서는 단위 질량당 가격이 가장 비싼 식량이나 사료 및 의약품 생산에 투자하여야 하나 실제로는 생활의 편의성을 추구하는 각종 공산품 생산과 이용에 투자하고 있다.

다루기가 힘든 노동 문제를 제거하기 위하여 각종 기계장치를 개발하고 로봇이 탄생하였으며 인간만이 할 수 있다는 사무직까지도 컴퓨터의 개발로 대부분이 자동화되어 모든 산업 분야가 무인화되고 있다. 경영학에서는 노동자

(man)/기계(machine)라는 대체개념까지 도입되어 기계보다 값비싼 단순 노동력은 모두 기계로 대체되는 무인화와 자동화가 추진되어 인간이 할 수 있는 일은 이제 기계가 할 수 없는 고급 두뇌력이 요구되는 분야만이 남아 있다. 결국 사람은 태어나면서부터 자연에서 배우는 것이 아니라 선조나 선배들이 해온 과거 역사를 배우면서 새로운 것을 찾아내는 교육 시스템이 중요하게 되었다.

따라서 이들 기계적인 요소기술을 종합하여 통합시키는 컴퓨터 프로그램분야와 기계장치가 하지 못하는 종합적 판단과 처방이 필수적인 생명과학분야와 경제적인 기획분야, 그리고 사람에게만 존재한다고 믿고 있는 법률분야 그리고 인간의 호기심을 자극하는 정보교환용 TV 영상과 만화 분야 등이 각광을 받는 것으로 사료된다.

1.2.3 경제성장과 에너지 소비구조 변화

따라서 모든 나라가 산업화를 통하여 경제성장을 유도하여 부유한 나라가 되기를 열망하고 있으나 산업적 발전은 그만큼의 에너지를 소비한다. Cook(1971)에 따르면 표 1과 같이 과학기술의 발달정도에 에 따라 필요한 에너지는 고도로 집적된 석탄이나 석유를 연료로 사용하

여야 한다.

더욱이 석유 부존자원이 없는 우리나라는 모든 원유를 외국에서 수입하는 반면, 인구가 밀집된 도시화된 산업사회에서는 석유와 석탄의 사용이 급속히 증가하고 있다. 또한 전자공업의 발전으로 갑자기 증가하는 전기에너지 소비량을 충족시키기 위하여는 고집적 저장 에너지인 석유와 석탄을 연료를 사용하는 화력발전소와 우라늄을 사용하는 원자력 발전소가 경제적이지만 증설에 따라 탄산가스 방출량의 증가와 핵폐기물의 증가로 환경오염에 대한 우려가 커지고 있다.

1.2.4 경제성장률과 에너지소비 증가율의 관계

인류사회의 경제발전에는 반드시 에너지가 필요하고 경제적 성장을 추구할수록 많은 에너지를 소비하게 된다. 이러한 현상은 표 2와 같이, 한국의 경우 GNP 성장률에 대한 에너지 소비 증가율의 탄성치가 1보다 높아 일시적으로 1992년의 경우 2.4배에 달하였다. 이러한 탄성치는 1973년 제1차 석유파동이후 선진국의 경우 1.0이하로 낮아져 에너지 효율적인 기계장치의 개발이 분명하나 후진국일수록 1.0이상이 된다. 즉 선진국에서는 경제성장률에 비한 에너지 소비증가율이 적은 기계장치를 개발하

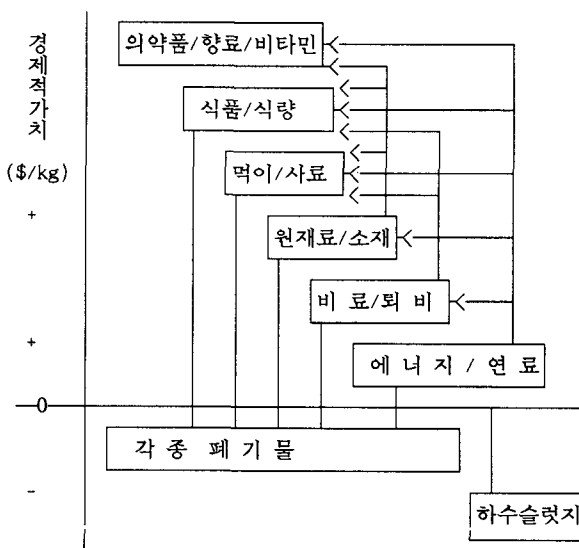


그림 1. 단위 질량당 경제적 가치와 과학기술의 발전 방향 (須之部 淑男, 1984)

표 1. 문명 발달과 에너지 소비구조 (Cook, 1971)

시 대	사회구조	에너지소비구조(kcal/day/capita)				비 고				
		식량 + 난방 + 농공업 + 교통기관 = 합계								
1000천년전	원시인	2천	+	0	+	0	=	2,000	---	
10천년전	수렵인	3천	+	2천	+	0	+	0	= 5,000	불 발명/목재 연료
BC 5천년경	원시 농업인	4천	+	4천	+	4천	+	0	= 12,000	비옥한 중동지방거주인 (일부가축사양)
AD14,000경	진보된 농업인	6천	+	12천	+	7천	+	1천	= 26,000	석유를거주인 (일부 석탄사용)
AD1850/70	공업인	7천	+	32천	+	24천	+	14천	= 77,000	영국/독일/미국거주인 (증기기관사용)
AD1970년	기술인	10천	+	66천	+	91천	+	63천	= 230,000	미국 거주인 (상당부분이 전기에너지사용)

표 2. 경제성장률과 에너지소비 증가율의 관계(한국의 경우) (산업통상부, 1997)

구 분	1980-85	1986-90	1990	1992	1994	1995	1996
1차에너지 소비 증가율(%)	4.5	10.6	-	12.0	8.2	9.8	9.8
경제성장률(GNP 기준: %)	6.2	10.5	-	5.0	8.4	8.7	6.9
에너지/GNP 탄성치	0.73	1.01	-	2.40	0.98	1.10	1.42
1인당 GNP(1990년=100)	38.1	88.6	100	119.1	144.2	171.3	179.3
에너지가격(1990년=100)	141.0	102.0	100	110.5	115.5	121.4	137.9

표 3. 연료의 종류와 진 발열량

고체 연료		액체 연료		기체 연료		액 연료	
종 류	발열량 (kcal/kg)	종 류	발열량 (kcal/kg)	종 류	발열량 (kcal/Nm ³)	종 류	발열량
무연탄	7,300-8,000	휘발유	11,100-11,500	천연가스	8,400-13,300	우라늄	
역청탄	5,200-7,800	등유	10,300-10,370	석탄가스	4,500- 5,200	플루토늄	
갈 탄	4,000-5,500	경유	10,160-10,230	코크스가스	- 7,000	중수소	
아 탄	2,000-4,000	중유	10,020-10,120	발생로가스	1,000- 1,300		
연 탄	6,000-7,500	90%알코올	- 5,500	수성가스	2,600- 2,800		
코오크스	6,200-7,200	타르유	- 9,100	반수성가스	3,000- 3,500		
반성코크스	6,000-7,000	시에엘유	- 9,700	용광로가스	850- 900		
신탄(장작)	2,800-3,500						
목 탄	6,700-7,500						

여 경제적으로 효율적인 방향으로 발전하고 있으나 우리 나라와 같은 개발도상국은 효율적인 에너지 이용체계가 미비하여 에너지 소비율이 경제성장률보다 1.5 - 2.0배 정도 높다.

1.2.5 저장 에너지와 연료(fuel)의 형태

경제발전에서 필수 불가결한 에너지를 저장할 수 있는 방법은 화학에너지뿐이다. 따라서 연

료로 알려진 핵연료와 일반연료를 확보하는 것이 그 나라의 경제 발전에 가장 긴요한 정책이 되고 있다. 그러나 이러한 연료를 생산하는 국가는 현재 중동지역과 인도네시아 외에 북해 및 알래스카 등 산유국이 국지적으로 존재하기 때문에 석유의 생산과 확보를 위하여 국가간의 전쟁도 일어나고 있다.

원자사이의 화학결합에 저장된 에너지인 화

학에너지는 지구상에 있는 90여종의 원소중 Table 3에서처럼 몇 종류만이 이용되고 있을 뿐이며, 핵연료를 제외하면 탄소와 수소를 근간으로 한 석탄과 석유가 대부분이다.

탄소와 수소를 근간으로 하는 물질들은 모두 유기물들로서 다음 식을 이용하면 원소 분석으로 얻어진 원소함량에 따라 발열량을 계산할 수 있다.

Dulong 식 :

$$\begin{aligned} \text{고발열량(Hh)} &= 8100 \cdot C + 34200 \cdot (H - O/2) \\ &\quad + 2250 \cdot S \text{ (kcal/kg fuel)} \\ \text{진발열량(HL)} &= 8100 \cdot C + 29000 \cdot (H - O/2) \\ &\quad + 2250 \cdot S - 600 \cdot W \text{ (kcal/kg fuel)} \end{aligned}$$

여기서 C=1kg중 탄소함량, H=1kg중 수소함량, O=1kg중 산소함량, S=1kg중 유황함량, W=1kg중 수분함량을 나타내며, 발열량계산에서 대기조건을 기준으로 한 값을 고발열량이라 하고, 산업적으로 동력으로 이용가능한 steam 조건을 기준으로 한 값으로 100℃를 기준하여 계산한 값을 저발열량이라고 한다. 이때 유황이 포함된 것은 연료의 가치가 없지만 연료에 포함된 유황이 공기중의 산소와 반응할 때 발열 반응으로 열에너지를 발생하기 때문이다.

현재 세계적으로 소비하는 에너지 형태는 표 4에서와 같이 아직도 석유와 석탄이 1/3씩 점

유하여 산업적으로 중요한 연료이나 전자공업의 발전으로 기존의 연료인 석유와 석탄의 소비량이 세계적으로 감소하는 반면 원자력과 수력발전이 증가하고 있다.

이러한 현상은 과거에 비해 환경오염에 대한 고려가 증가하였으나 조직화된 산업사회의 위기위협성(crisis risk) 역시 증가하고 있다. 즉 현재 세계 인구가 60억에 이르고, 에너지소비가 증가하는 국가는 주로 개발도상국로서 우리나라가 그러한 국가에 속하며, 주요 연료인 석유의 매장량중 66% 이상이 중동에 위치하고 있어 국제분쟁의 가능성이 상존하고 있다.

총 에너지소비량을 발열량을 기준으로 석유로 환산한 TOE(ton of oil equivalent)로 표시하면 현재 연간 1인당 소비하는 연료는 대략 1.36TOE에 이른다.

1.3 우리나라의 에너지 소비구조

1.3.1 우리나라의 주요 에너지 총량 지표

현재 우리나라가 소비하는 에너지는 표 5에 나타난 바와 같이 주로 석유에 의존하고, 국제무역에서 많은 외화를 소비하여 석유를 도입하여 경제발전을 유지하고 있다. 즉 국제무역에서 적자시대인 1997년도에도 석유수입액이 270억달러에 이르고, 경상수지적자의 대부분을 점유하고 있다고 한다.

표 4. 현재의 1차에너지 소비량 (세계 전체) (산업통상부, 1997)

<세계인구: 60억명, (2020년에 80억)> (단위: 106TOE; ()=구성비)

구 분	1985	1990	1995	연평균 증가율			
				'86-'90	'91-'95	'95/'94	
탄소계	석 탄	2,083.2(30.2)	2,230.1(28.6)	2,210.7(27.2)	1.4	-0.2	1.2
	석 유	2,806.6(40.6)	3,121.3(40.0)	3,226.9(39.7)	2.1	0.7	1.2
	천연가스	1,479.1(21.4)	1,760.6(22.6)	1,883.6(23.2)	3.5	1.4	2.5
원자력	원자력발전	369.0(5.3)	510.9(6.5)	596.4(7.3)	6.7	3.1	4.0
수 력	수력발전	169.8(2.5)	183.1(2.3)	218.5(2.7)	1.5	3.6	6.0
	합 계	6,907.7(100)	7,806.0(100)	8,135.8(100)	2.5	0.8	1.8
1인당 에너지소비량		-	-	1.36TOE			

표 5. 1995-96년도 우리나라의 석유 수입량과 의존도 (산업통상부, 1997)

구 분	1995	1996	증가율(%)	비고
0. 에너지수입액 (106\$)	18,646	24,094	29.2	
-석유수입액(106\$)	15,265	19,712	29.1	
-석유도입량(106bbL)	849.4	952.8	12.2	
0. 총 수입액중 에너지 수입비중(%)	13.8	16.0	-	

한편 우리나라는 표 6에서와 같이 GNP에 대한 에너지 소비율 증가의 탄성치가 1.0정도로 경제성장률과 비례하여 증가하고 있으나 1인당 에너지소비량은 세계평균치의 2배가 넘는다. 우리나라는 연료자원이 매우 부족하므로 해외에 기지를 둔 에너지자원의 확보가 중요하지만, 그에 못지 않게 에너지 효율적인 기계장치 개발과 공정개발이 요구된다. 선진국에서는 경제성장률에 비한 에너지 소비증가율이 적은 기계장치를 개발하여 경제적으로 효율적인 방향으로 발전하고 있으나 우리나라와 같은 개발도상국은 효율적인 에너지 이용체계가 미비하여 에너지 소비율이 경제성장률보다 1.5-2.0배 정도 높다고 한다.

1.3.2 우리나라의 1차에너지 소비량 변화

석유자원이 없는 우리나라는 표 7에 나타난 바와 같이 석유소비율이 감소하고 있으나 아직

2/3정도가 석유이고, 원자력발전이 증가하여 환경오염과 위기의 위험율은 증가하고 있다. 더욱이 총소요에너지량의 90%정도가 탄소계 연료로서 근원적으로 식물광합성에서 유래된 것으로서 연소후에는 많은 탄산가스를 발생하여 지구온난화 가스의 주범이 되고 있다. 따라서 국내에서 발생한 탄산가스를 고정하는 기술을 개발하여야 하고, 환경보존을 겸한 산림생태계의 확보와 육성이 중요할 것이다.

또한 전술한 바와 같이 사용이 편리한 석유 소비량이 날로 증가하므로 선진국과 같이 각종 biomass를 합성가스화하여 탄산가스로 방출되기 전에 석유를 인공합성하는 기술개발도 연구하여야 하고, 나아가 방출된 탄산가스라도 탄화수소화합물로 고정하는 탄산가스 고정방법도 개발하여야 할 것이다.

따라서 식물을 대상으로 업을 유지하는 농업 업을 육성하여 생태계를 보존함으로써 생존에

표 6. 우리나라의 주요 에너지 총량 지표 (산업통상부, 1997)

() = 증가율(%)

구 분	단 위	1987	1990	1994	1995	1996
1차에너지량	1000TOE	67,878 (10.4)	93,192 (14.1)	137,235 (8.2)	150,437 (9.6)	165,209 (9.8)
최종에너지소비량	1000TOE	55,187 (9.2)	75,031 (14.0)	112,206 (7.8)	121,849 (8.6)	132,033 (8.4)
에너지/GNP탄성치		0.85	1.47	0.98	1.10	1.42
1인당 에너지소비량	TOE/인*년	1.63	2.17	3.09	3.35	3.65
1인당 전력소비량	kWh/인*년	1,543	2,202	3,297	3,640	4,006
에너지 수입의존도	%	43.7	53.8	62.9	62.5	60.5
무연탄비중	%	19.1	10.7	2.6	2.0	1.5
에너지수입액	US\$106	6,209 (19.9)	10,926 (45.1)	15,269 (0.8)	18,646 (22.1)	2,4094 (29.2)

표 7. 1995-96년도 우리나라의 에너지원별 1차에너지 소비량 변화 (산업통상부, 1997)

구 분	물량단위	1995			1996			
		물 량	구성비 (%)	증가율 (%)	물 량	구성비 (%)	증가율 (%)	
탄소계	무 연 탄	1000ton	6,263	2.0	-17.0	5,369	1.5	-14.3
	유 연 탄	1000ton	38,089	16.7	8.5	44,908	17.9	17.9
	석 유	1000bbl	677,210	62.5	9.0	721,063	60.5	6.5
	천연가스	1000ton	7,087	6.1	20.9	9,361	7.4	32.1
원자력	원자력발전	GWh	67,029	11.1	14.3	73,924	11.2	10.3
수 력	수력발전	GWh	5,473	0.9	33.7	5,201	0.8	-5.1
기 타	태양광열/biomass/풍력 등	1000TOE	1,051	0.7	16.0	1,161	0.7	10.5
합 계	1000TOE	150,437	100.0	9.6	165,209	100.0	9.8	

표 8. 1996년도 우리나라의 부문별 에너지소비량 (산업통상부, 1997)

구 분	종 류	물량단위	1995			1996			
			물 량	구성비 (%)	증가율 (%)	물 량	구성비 (%)	증가율 (%)	
산 업 용	석 유	1000bbL	266,039	39.3	2.9	281,565	39.0	5.8	
	무연탄	1000ton	837	13.4	24.4	895	16.7	6.9	
	유연탄	1000ton	21,895	48.0	20.3	23,810	53.0	21.8	
	전 기								
수 송 용	석 유	1000bbL	193,711	28.6	13.7	212,744	29.5	9.8	
	전 기								
가 정 · 상업용	석 유	1000bbL	131,803	19.4	14.2	139,761	19.4	6.0	
	LNG	1000ton	3,417	48.2	39.4	4,561	48.7	33.5	
	무연탄	1000ton	3,005	48.0	-35.9	1,960	16.7	6.9	
	전 기								
공 공 · 기타	석 유	1000bbL	9,962	1.5	-5.5	10,675	1.5	7.2	
	유연탄	1000ton	1,965	5.2	17.3	2,150	4.8	9.4	
	전 기								
에 너 지 전 환	합 계	석 유	1000bbL	75,695	11.2	13.7	76,318	10.6	0.8
	발 전	석 유	1000bbL	62,201	(22.8)	(11.1)	63,640	(20.2)	(2.3)
		LNG	1000ton	3,412	(10.4)	(6.1)	4,449	(11.8)	(30.4)
		무연탄	1000ton	2,421	(2.2)	(10.4)	2,514	(2.0)	(3.8)
		유연탄	1000ton	14,229	(22.0)	(15.0)	18,948	(25.5)	(33.2)
		원자력	GWh	67,029	(39.3)	(14.3)	73,924	(37.8)	(10.3)
		수 력	GWh	5,478	(3.2)	(33.7)	5,201	(2.7)	(-5.1)
		소 계	1000TOE	42,618	(100.0)	(13.3)	48,948	(100.0)	(14.9)
	가스제조	석 유	1000bbL	12,696	1.9	24.8	11,789	1.6	-7.1
	지역난방	석 유	1000bbL	796	0.1	83.9	889	0.1	11.4
		LNG	1000ton	150	2.1	31.6	173	1.9	15.3
자체소비	LNG	1000ton	108	1.6	35.0	178	1.9	64.8	
합 계	석 유	1000bbL	677,210	100.0	9.0	721,063	100.0	6.5	
	LNG	1000ton	7,087	100.0	20.9	9,361	100.0	32.1	
	무연탄	1000ton	6,263	100.0	-17.0	5,369	100.0	-14.0	
	유연탄	1000ton	38,089	100.0	8.5	44,908	100.0	17.9	
	전 기								

필수불가결한 환경보존과 식량 및 에너지자원을 확보하는 길을 택해야 할 것이다.

1.3.3 1996년도 우리나라의 부문별 에너지소비량

전자공업의 발달로 생활이 편리해졌지만 전기에너지 소비량 증가로 발전부분에서 소비하는 연료량이 날로 증가하고 있다. 표 8과 같이 탄소자원이 부족한 우리나라는 전기에너지 해결방법으로 원자력에 의한 발전량이 날로 증가하여 50%에 이르고 있다. 이러한 정책은 경제성 때문에 이루어진 조치이나 환경보존과 위기관리의 안전기술개발이 급선무이다. 만약 안전성이 확보되지 않는다면 시민들은 그의 위험성 때문에 불안과 공포에 사로 잡혀 전쟁이상의 스트레스를 받아 만성병으로 진행될 것이다.

1.4 한국의 Bioenergy 소비량과 수출입 현황

1.4.1 한국의 식량과 농산물 수급 현황

일반적으로 농수산물은 단순히 식량으로만 인식하고 있으나 이를 에너지와 부가가치적 측면에서 bionenergy로 계산하여 하나의 기준으로 평가할 수 있다. 일정한 소비에너지라도 경제적 가치가 다른 제품 생산의 종류에 따라 에너지의 경제적 가치를 달리 평가할 수 있다. 즉 연료로 이용하는 석탄과 석유, 식량으로 이용하는 곡물과 단백질들은 모두 동일한 탄소계 유기물이므로 에너지량으로 평가할 수 있다.

한편 기존의 경제분야에서 다루는 하나의 동일한 화폐가치로 평가하면 농산물의 경우 표 9에 나타낸 바와 같이 70억 달러에 이르나 1996년도에는 120억 달러에 이르렀다. 따라서 지난

Table 9. 우리나라의 식량과 농산물 수급 현황 (단위 : US\$1000)

구 분		1995	1996	1997	1998	(98/97)
수 입	농산물	5,674,632	6,911,394	6,335,970	4,696,618	74.1%
	축산물	1,224,397	1,240,284	1,282,972	726,888	56.7%
	수산물	843,269	1,080,498	1,045,474	582,483	55.7%
	임산물	2,778,133	2,787,995	2,583,884	1,015,174	39.3%
	계	10,520,431	12,020,471	11,248,300	7,021,163	62.4%
수 출	농산물	1,086,615	1,164,094	1,190,036	1,005,558	84.5%
	축산물	155,547	259,966	317,824	385,345	121.2%
	수산물	1,721,817	1,635,113	1,492,588	1,364,143	91.4%
	임산물	504,628	405,205	339,055	292,006	86.1%
	계	3,468,607	3,464,380	3,339,502	3,047,052	91.2%

해 우리나라가 수입한 것 중 가장 많은 순으로 나열하면 석유와 석탄인 연료와 농산물 및 임산물 순으로 유기물질들이며, 금속이나 세라믹과 같은 무기원료보다 많다. 따라서 우리나라가 국가를 유지하기 위해서는 다량의 외국산 농산물과 임산물을 수입하여야 생존할 수 있는 상황에 이르렀다.

결국 WTO체제하에서 개방되어 국제적인 경쟁에서 자존하는 방법으로 식량과 에너지를 생산하면서 환경도 보존해 주는 농림수산업의 육성이 시급히 요청된다.

1.4.2 우리나라의 임산물 수입 현황

한국목재공업협동조합 발행 목재정보(1998)에 따르면 에너지분야를 제외한 임산물 수입은 대동아전쟁과 6.25동란으로 황폐화되어 지난해에 16억 달러에 달하였으며, 우리나라의 토목 건축에 필요한 목재자원 부족으로 해외로부터 원목으로 수입한 것이 4억 달러에 이르는데 반해 가공된 임산물이 12억달러에 이른다. 따라서 우리나라의 산림자원은 한국전쟁이후 전후복구 사업으로 조림된 임목으로서 수령이 20 - 30년에 불과하여 소경목이므로 이를 이용하는 목재 가공기술이 다양하게 연구 개발되어야 한다.

특히 목재고분자는 다른 합성 고분자와 같이 마지막에는 에너지원으로 이용되어 대기중에 탄산가스로 환원되어야 하는 고분자재료이지만 자연계에 폐기시 미생물에 의한 생분해성 고분자이기 때문에 합성고분자와는 달리 심각한 화학변화를 받지 않는 목재는 생분해성을 갖춘 구조이므로 생분해성 고분자 제조원료로 이용하는 가공기술개발이 요구된다.

II. 산림자원의 기능과 목재자원의 가치

2.1 생존 환경과 산림생태계의 역할

2.1.1 인간 생존조건과 환경의 관계

대기오염에 대하여 연구한 Goldsmith와 Friberg(1977)는 “인간은 음식을 먹지 않고서는 5주 이상 살 수 없고, 물을 마시지 않고서는 5일 이상 살 수 없으며, 공기를 마시지 않고서는 5분 이상 살아 남을 수 없다”고 하였다. 인간은 하나의 동물로서 살던 곳의 환경이 악화되면 깨끗한 공기, 맑은 물, 풍부한 식량이 생산되는 살기 좋은 곳으로 이동(이민)할 것이다. 이러한 현상은 현재 산업사회의 도시와 농산어촌, 정착한 민족국가와 유목민등의 사회현상을 보더라도 알 수 있다.

현재의 산업 선진국들은 생존지역의 환경 문제를 중요하면서 대기 오염문제는 어느 국가와 민족 뿐만 아니라 대양의 경계를 넘어 다니는 환경문제가 되고 있고, 수질오염문제는 국가나 자치단체의 경계를 넘어다니는 환경문제가 되고 있으며, 식량문제는 국가정책이나 경제체제에 따라 다르지만 생존문제를 야기하고 있다.

더욱이 도시화된 산업사회에서는 산업화로 인한 각종 오폐수와 오염물질 및 쓰레기에 의해 생존환경이 악화되어 이러한 오염물질을 발생하지 않거나 적게 발생하는 환경친화형 산업을 육성하는 반면 발생된 오염물질을 완전분해하여 무해한 성분으로 전환한 다음 공장 외로 방출하도록 환경규제가 강화되고 있다.

환경보존을 위한 선진국의 규제는 더욱 강화되고, 나아가 환경 친화성 재료나 공정이 아니면 공장마저 존속하기 어렵게 될 것이다.

2.1.2 경제개발과 환경에 관한 UN의 Agenda21

산업사회의 도시화로 야기된 각종 환경오염 문제로 1972년 스톡홀름에서 개최된 UN인간 환경회의의 20주년 행사로 1992년 브라질 리오 데자이로에서 개최된 환경과 개발에 관한 국제 연합회의에서는 21세기를 대비한 주제로 표 10 과 같이 Agenda 21을 선정하여 국가원수들이 서명하기도 하였다. 즉 환경과 인간의 생존은 밀접한 관계가 있으므로 우선적으로 환경을 보존하는 방향에서 인구와 빈곤퇴치 문제, 경제 발전과 에너지소비문제에서 산림자원이 핵심적인 역할을 한다는 것을 보여주고 있다.

특히 탄소세는 기후변화를 야기하는 탄산가스의 방출을 억제하려는 일시적인 정책으로 도입하자는 것으로서 1990년도를 기준으로 각국의 탄산가스 방출량 중에서 자국의 영토에서 녹색식물이 광합성으로 고정한 탄산가스량을 뺀 나머지를 기준으로 정하여 앞으로 그 이상의 탄산가스를 초과 방출하는 국가에게 UN이 탄소세금을 부과하여 거두고, 이를 후진국 경제를 지원하는데 사용하자는 것으로서 주로 열대림자원 보호에 지원한다는 제도이다. 따라서 각국은 탄소이외의 연료개발(핵연료)과 태양광 이용기술, 수력과 조력 발전소개발 및 풍력 발전소개발에 집중하면서 동시에 대기중의 탄산가스를 대량 고정시키는 녹색식물을 증식(농업과 임업육성)에 노력하고 있고, 체계적인 환경농업을 개발하고 있다. 특히 지구상에서 연간 순광합성량이 가장 높은 임목의 보호 육성, 즉 산림자원의 보호육성이 핵심이 되고 있다.

2.2 환경의 보존과 산림생태계의 역할

2.2.1 대기 오염 정화와 산림생태계의 역할

임목이 푸른 바다를 이루고 있는 대규모의 산림생태계는 동물, 특히 인간의 생존환경에 필요한 각종 생존요소를 제공해주기 때문에 환경보존운동의 골격이 되고 있다. 즉 산림을 구성하는 녹색식물의 잎은 광합성작용으로 탄산가스를 흡수하여 날로 증가하는 대기중의 탄산가스를 감소시키고, 동시에 동일량의 산소를 방출하여 대기중의 산소농도 저하를 방지해 준다. 따라서 석유나 석탄과 같은 연료 소비로 생기는 탄산가스를 줄여 주고, 탄산가스의 열에너지 흡수로 생기는 지구상의 온난화 현상을 방지해 주며, 탄산가스 증가로 인한 지구상의 entropy 증가를 감소시켜 주고, 동시에 태양에너지를 고정하여 생태계의 생존에 필수적인 전분과 목재와 같은 생태계 지속에 중요한 biomass를 공급해 주고 있다.

특히 대기중의 산소 농도는 다음과 같은 이유에서 환경보존의 중요한 인자가 된다. 즉 의학분야의 연구에 따르면 생존에 필요한 대기조건은 [21%산소+78%질소+0.03%탄산가스+아르곤]정도로 구성되고, 폐활량이 평균 500mL의 허파를 가진 성인남자는 1분에 16회 호흡하고, 이때 배기되는 호기중의 공기조성은 [16%산소+78%질소+4.03%탄산가스+기타] 정도가 되어 산소농도가 약 5%감소하는데 반해 탄산가스농도는 5% 증가한다고 한다. 또한 지하에서 실시하는 각종 안전 규칙중 대기조건이 18%이하이면 질식할 위험이 있다고 한다.

표 10. UN의 "환경과 개발에 관한 국제회의"에서 채택된 Agenda 21의 내용

1.인구 문제	인구와 지구환경 변화에 고나한 조사, 인구와 환경의 통합정책 작성
2.빈곤의 제거	
3.대기 보전	오존층보호, 대기에 악영향을 미치는 공업개발지양
4.산림보호 검토	지구촌 정상회담후에 조약 교섭개시
5.Biotechnology	식량증산, 환경보호강화
6.생태계의 보전	생물학적 다양성 보호조약을 기초함
7.유기화학물질, 폐기물 문제	유해폐기물의 국가간 이동 관리강화
8.자금기구조 검토	Agenda21의 실천에는 선진국으로부터 개도국에 매년 1250억달러의 원조 필요/ 자금조달은 지구환경기금을 이용한다
9.기술이전검토	개도국에 대한 선진국의 민간기업의 환경친화형 기술에 프로젝트 우선 보증
10.지속가능한 개발과학화	
11.장기적인 과학적 평가 기술개발	
12.국제기관의 정비 검토	

더욱이 전술한 M. Lewin 등(1984)에 따르면 지구상에서 발생하는 각종 유기폐기물을 탄산가스와 수분으로 분해하여 자연계로 환원하는 소각조작에서 필요한 공기중의 한계 산소지수(LOI : limiting oxygen index)가 고분자의 화학구조에 따라 요구되는 LOI가 다르다. 즉 산소농도 16%이하에서 완전 연소되는 고분자는 poly(methylene oxide), poly(ethylene oxide) 정도이고, 산소농도 18%이하에서 완전 연소되는 고분자는 polyethylene, polypropylene, poly(methyl methacrylate) 정도이며, 대기조건인 21%이하의 산소농도에서 연소하는 고분자는 cellulose와 cellulose derivative, polystyrene, polyisoprene, polybutadiene, polyacrylonitrile, poly(ethylene terephthalate), nylon6, nylon66, poly(vinyl alcohol), poly(vinyl carbazol) 등이 해당되나 기타 방향족 핵이나 질소 및 기타 할로겐 원소와 인산이 함유된 고분자들이나 그의 혼합물들은 현재의 대기조건에서 완전 연소하지 않는다. 즉 최근 많이 합성되는 이들 고분자들까지 제거하려면 대기조건보다 높은 21% 이상의 산소농도가 필요하므로 강제 송풍하거나 분리된 순수한 산소를 공급하는 별도의 장치가 필요하다.

따라서 생태계에서 핵심위치에 있는 지구상의 녹색식물, 특히 임목으로 구성된 산림 생태계는 광합성에 의하여 대기중의 탄산가스를 흡수하는 대신 동일량의 산소를 공급하므로 오염된 대기를 정화해 주고, 공급된 산소는 광산화반응을 유도하여 각종 재료의 자연적 분해를 촉진하여 공해 물질을 제거해 준다. 그러나 생명체를 구성하는 세포중에는 질소화합물의 고분자 단백질과 인산을 함유하는 유전자가 함유되어 자연적인 연소조건에서 쉽게 소각되지 않는 내열성 성분을 가지고 있어 생명체의 특이성을 나타낸다.

이러한 이유에서 각국의 환경단체가 주관이 되어 1992년 브라질 수도 리오데자이로에서 개최된 UN의 환경 정상회담에서는 경제사회이사회가 과도한 탄산가스 발생으로 지구의 온난화를 초래하는 국가에게 과도한 탄산가스 발생세금을 부과하여 거두진 탄소 세금으로 후진국의 산림자원 육성과 농업 개발에 지원하기 결정하기에 이르렀다. 즉 경제성장을 위하여 사

용한 석유와 석탄 사용량이 1990년도 사용량이상이 되는 양을 자국의 농림업이나 인공적인 탄산가스 고정시설로 제거하지 못하여 대기중에 방출한 양에 탄산가스 세금을 부과하기로 결정하기에 이르렀다.

2.2.2 에너지 비축과 산림생태계의 역할

또한 다년생 임목으로 구성된 산림생태계는 생리학적으로 생명현상이 표면에 집중되어 구조물로 이용하는 각종 목재가 죽어 있는 고분자물질이지만 생리적으로 교묘하게 생합성된 고분자로서 거친 자연환경과 기후조건에 견디도록 구성되어 있다. 따라서 역사적으로 목재는 중요한 연료자원이었으며, 문명의 발전을 가져온 철동기와 철기시대를 여는 연료로 중요한 역할을 하였다.

그러나 과학기술이 발달하면서 에너지밀도가 높은 석탄과 석유의 사용으로 임산연료의 가치가 무시되어 왔다.

그렇지만 고밀도 에너지자원의 한계와 환경오염 때문에 산림자원의 중요성이 국제적으로 대두되고, 나아가 석유고갈에 대비한 bio-energy 자원으로 그의 중요성이 다시 대두되었다. 따라서 선진 각국에서는 환경보존의 주요 요소로 삼림자원을 육성하고 있고, 석유가 고갈되는 비상시에는 국민이 살아 남을 수 있는 에너지원으로 산림자원을 보호육성하고 있다.

환언하면 현재 미래를 대비하여 없는 석유를 수입하여 비축하는 방법만을 고려하나 산림자원 육성이 또 하나의 에너지 비축방법이므로 버려진 황폐지나 독나지일지라도 연료림을 조성하고 있다.

우리나라도 산림자원이 환경보존 외에도 에너지 비축면에서 중요하기 때문에 비상시를 대비하는 산림자원을 보호·육성하는 정책이 요구된다.

2.2.3 맑은 물 자원과 산림생태계의 역할

생명활동의 근간이 되는 물의 오염은 생태계에 치명적인 영향을 미치며, 특히 육상생물에게는 더욱 치명적이다. 인간이 식수(食水)로 마셔야 하는 깨끗한 물은 최소한 평균 1인당 매일 2L이며, 우리나라의 상수도 보급량(1986)은 매일 295L(전국 평균)이다. 현재는 400L에 이

르러 산림생태계의 보수능력이상이 되기 때문에 추가로 다목적 댐을 건설하여야 한다고 하나 환경보존을 위하여서는 절수를 위한 기술개발과 사회운동으로 과도하게 소비되는 용수량을 절감하는 것이 필요할 것이다.

그러나 이러한 상수도를 공급하는 원천은 연간강우량으로서 숲이 맑고 있다. 즉 이러한 상류저수지를 보호하기 위하여 선진국들은 상수원지 보호구역을 만들어 일체의 사업이나 관광 및 여가활동을 하지 못하도록 규제하고 있다. 한편 사우디아라비아와 같은 사막국가들은 석유를 팔아 바다물을 증류하는 식수 제조공장을 건설해야 하기 때문에 식수값이 석유값보다 보다 비싸며, 술값보다 비싸다.

또한 물은 식수 외에도 생활용수, 산업용수 및 하천 유지수로도 필요하다. 일본에서 조사된 자료로서 식량을 생산하는데 필요한 농업용수의 경우 곡물(쌀) 1톤을 생산하는데 소비된 평균 용수량은 5,100ton에 달하는 등 막대한 량의 용수가 필요하다.

특히 인구증가와 경제성장으로 날이 갈수록 각종 산업분야에서 사용하는 용수량이 증가함에 따른 용수생산량의 부족을 해결하기 위해서는 목재를 생산하는 산림생태계의 저수기능과 지하수를 이용하는 방법을 생각할 수 있다. 더욱이 울창한 산림생태계를 보존 육성하면 집중호우시 홍수를 방지해주고, 가뭄에는 지하수로 용수를 공급해주는 역할을 하기 때문에 선진국이나 산림 국가에서는 인공적인 댐과 장거리 용수로를 건설하거나 정화시설을 건설할 필요가 없는 지역도 증가할 것이다.

2.2.4 비옥한 농경지 보존과 산림생태계의 역할

한편 녹색식물중 식량을 집중적으로 생산을 위하여 유전적으로 육중한 농작물은 순 광합성의 50%를 전분으로 전화하는 능력이 있어 값비싼 식량을 생산하는데 이용된다. 따라서 주로 토목 건축용 목재를 생산하는 산림생태계는 식량 생산에는 직접 기여하지는 않는 것으로 생각하고 있다.

그러나 식량을 생산하는 농경지도 정상적인 농업을 위하여서는 토양중에 부식(humus) 함량이 3%에 달하여야 한다. 그 이하의 경우는 부식 함량에 따라 생산량이 좌우된다고 한다.

특히 현재의 농경지가 토양중에 함유하고 있는 부식은 사막으로부터 울창한 숲이 이룩될 때까지 장시간에 걸친 식생 천이(succesion)과정에서 먼저 죽은 식물체 성분을 토양 미생물이 분해하여 영양원으로 사용하고, 분해가 곤란한 lignin이 미생물시체와 결합하여 토양중에 잔유한 것이라고 한다. 따라서 목재중의 리그닌은 토양중에서 서서히 분해되면서 농작물의 성장에 필요한 탄산가스를 국지적으로 공급해 주고, 동시에 토양의 통기성과 배수성 및 무기이온의 흡착등을 도와 농경지 토양의 물리화학적 성질을 조절해 주어 농경지의 생산성을 향상시키기 때문에 농업에도 막대한 영향을 미친다.

농경지의 토양 비옥도 평가의 중요한 기준인 토양중의 부식질 함량은 1920년 논 4.4%, 밭 3.4%로서 높았으나, 현재는 논 2.7%, 밭 2.4%로 낮아져 화학비료 사용량이 날로 증가하고 있다고 한다. 따라서 최근 활발하게 진행되고 있는 환경보존형 유기농법은 다량의 퇴비를 사용하는 농사법으로서 식물체, 특히 목재중의 리그닌을 이용하는 것이다.

사방 100m인 1ha의 농경지에 3%의 부식 함량을 갖도록 완숙된 퇴비를 제조하려면 토양비중이 농경지의 깊이를 30cm로 가정하여도 $100m \times 100m \times 0.3m \times 3000kg/m^3 \times 3\% / 100 \times 100 / 25\%$ lignin=10,80ton/ha의 소나무가 소비된 셈이다. 더욱이 매년 농사로 농경지중의 부식이 3%에서 2%로 낮아지므로 지력유지를 위해 토양중의 부식을 퇴비로 보충한다고 해도 농경지의 1%에 달하므로 매년 360ton/ha의 소나무가 필요한 셈이다. 그러나 투입량이 너무 많기 때문에 경제성을 위하여 완전히 부숙되지 않은 퇴비를 농경지에 투입하면 토양중에서 토양미생물에 의하여 잔류한 cellulose의 혐기성 분해가 일어나 발열하므로 작물을 고사하기도 한다.

2.2.5 토목건축재 공급과 산림생태계의 역할

산림생태계를 구성하는 깊은 뿌리를 갖춘 임목은 홍수와 산사태를 예방하고, 표토 유실을 방지하여 농경지를 보호할 뿐만 아니라 거대한 생체고분자인 목재는 주택구조물로 이용되어 정착생활을 유도한다. 즉 야생동물과 인간에게 식량이 되는 탄수화물을 공급해 줄뿐만 아니라 주거지의 안전을 보호하여 정착하는데 도움을

주어 자자손손의 번영을 보장해 준다.

그러나 현재는 자연의 재생산능력 이상으로 벌채하기 때문에 시간이 지날수록 대경제의 수량이 적어진다. 따라서 장기간에 걸쳐 건강하게 성장한 임목에서 생산된 대경제는 합성수지로 접착시킨 집성재나 합판이 하지 못하는 대규모의 각종 구조 용재로 이용될 수 있기 때문에 비싸다. 예를 들어 경북궁과 같은 대규모의 각종 기념물을 합성수지로 접착시킨 집성재로 기둥을 만들고, 대들보를 만들었다면 어떤 결과가 일어날까? 즉 같은 재적이라면 대경제가 소경제보다 수 배 값비싼 것은 용도의 다양성 외에도 성장기간동안 환경과 에너지 비축에 기여한 역할만큼 가치가 부가되어야 할 것이다.

지금은 산림자원 보유국이 비용 추가없이 천연림 중에서 대경제를 벌채하여 소요된 경비만 계상하여 판매하여 값싸기 때문에 인공림에서 생산한 목재에는 장기간의 투자에 소요된 비용과 위험율이 포함되지 않아 천연림산 목재와 경쟁되지 않지만, 앞으로는 UN이 천연림에서 벌채한 해외 목재에도 환경보존에 기여한 만큼의 탄소세를 부과한다면 인공림에서 생산된 목재에도 목재생산 기간동안 환경보존에 기여한 가치만큼의 비용을 추가하는 정책적 지원이 보완되어야 경제적인 임업경영이 가능할 것이다.

인용문헌

1. 목재공업협동조합. 1998. 목재정보(3)213
2. 산업통상부. 1997. 통상산업백서. 제 6편 에너지, 자원부문.
3. Cook, E. 1971. The flow of energy in an industrial society. Scientific American 224(3) : 135 - 144.
4. Goldsmith, J. R. and L. T. Friberg. 1977. Effect of air pollution on human health in Air Pollution. A.C. Stern(ed). Academy Press, NY. 458p.
5. Lewin, M., S. N. Atlas and E. N. Pearce. 1984. Flame retardant polymeric materials.
6. Whittaker, R.H. and G.E. Linkens. 1975. The biosphere and man. Pages 305 - 328 in Primary Productivity of the Biosphere. Lieth, H. and R.H. Whittaker (ed). Springer - Verlag. Berlin.
7. 須之部 淑男. 1984. 바이오마스의總合利用. 바이오마스による 燃料. 化學原料の開發技術資料集成. (株)フシ. テクノシステム刊. 17 - 26pp.