

바이오매스 가스화와 수소화 공정기술

글 _ 이상천
경남대학교 나노공학과

제1장 서론

온실가스 배출 증가율이 높기 때문에 지구온실화를 우려한 교토의정서 선언과 최근 국제 유가 최고가격인 배럴당 74달러 선에 육박하면서 에너지 자원의 대부분을 수입에 의존하는 우리나라에서는 지속적인 경제성장을 유지하기 위해 에너지 수입 의존도를 최대한 감소시킬 수 있는 장기적인 에너지 수급정책 수립과 근본적인 청정 대체에너지 개발이 필연적이다. 따라서 천연자원의 고갈과 청정에너지개발을 위하여 친환경적인 에너지로 바이오매스가 대체 에너지로 주목을 받고 있다.

바이오에너지 생산기술이란 동·생물 유기체를 각종 가스, 액체 혹은 고형연료로 변환하거나 이를 연소하여 열, 증기 및 전기를 생산하는데 응용되는 화학, 생물, 연소 공학을 말한다. 바이오매스 중에서 열분해, 가스화와 같이 연구개발이 진행중인 분야와 바이오디젤, 바이오 알콜과 같이 전세계적으로 이미 상용화 단계에 접어든 분야도 있다.

국내의 바이오에너지 기술 개발은 1988년 대체에너지 기술 개발 사업이 계획되면서 본격화된 바이오매스 연구는 왕겨 및 축산 폐기물 등을 이용하여 왕겨탄의 개발과 축산 폐기물에서 발생한 메탄 발효가 주 연구 대상이었으며, 소정의 성과를 거두었다. 1988년 이후에는 전분 및 목질계 바이오에탄올 생산기술의 개발과 삼성 엔지니어링 등이 참여한 연속발효 파일로트 플랜트의 성공적인 개발 운용으로 해외 수출도 가능하게 되었으며 현대 중공업의 연구 개발도 상업화에 성공하였다. 현재 유럽에서 보급단계까지 개발을 완성한 유기성 폐기물 메탄가스

화 기술은 국내에서 기초와 응용 연구가 수행되어 1997년 파주시에서 일일 30톤 규모의 음식물 쓰레기 처리가 이루어진 적이 있다. 지역난방의 목적으로 LFG 발전 기술이 김포 및 난지도 매립지에서 활용되어 운영되고 있으며 부산 등 타 도시로의 이전이 이루어지고 있다.

2013년 교토의정서가 발효시 CO₂ 발생량을 감축해야 하는 국내 현실을 감안할 때, 화석연료의 사용량을 줄이고 폐기물로 처리되는 바이오매스를 고부가가치의 에너지 자원으로 활용할 수 있으며, 이에 국가 차원의 관심과 육성이 필요하다고 여겨진다.

제2장 미국의 기술개발 현황

바이오매스 에너지 활용기술은 1974년 석유파동을 겪으면서 그때까지의 땀감으로 단순연소 사용의 개념에서 벗어나 신 재생에너지로서 생산·보급을 위한 기술개발이 추진되었다. 1980년대 저유가, 세계경제의 활황으로 실용화에 소강국면을 보이다가 1990년대에 들어와 폐기물, 대기오염, 지구온난화, 최근의 고유가 현상이 장기화되면서 대체 에너지 기술개발이 활성화 등 실용화 보급이 다시 추진되기 시작하였다.

미국의 많은 연구 기관에서 가용할만한 석탄매장량은 앞으로 약 250년 정도로 예측하고 있다. 더구나 모든 운송기관이나 에너지부문이 이러한 석탄에만 의존한다면 단지 30여년 내에 고갈할 것으로 예측하고 있다.

1999년 8월 여름에 미국의 클린턴 행정부는 대통령 특별명령으로 21세기에 대비한 한 가지 의미 있는 성명을 발표한바 있다. 즉, 제13134호로 발표된 “바이오 에너지

및 바이오 원료 산업 육성” 특별명령은 그동안 일반인들의 관심에서 멀어져 갔지만, 부시 미 대통령이 2006년 국정연설에서 석유의존도 완화를 위한 대체에너지 개발 구상(Advanced Energy Initiative, AEI)을 천명하였다.

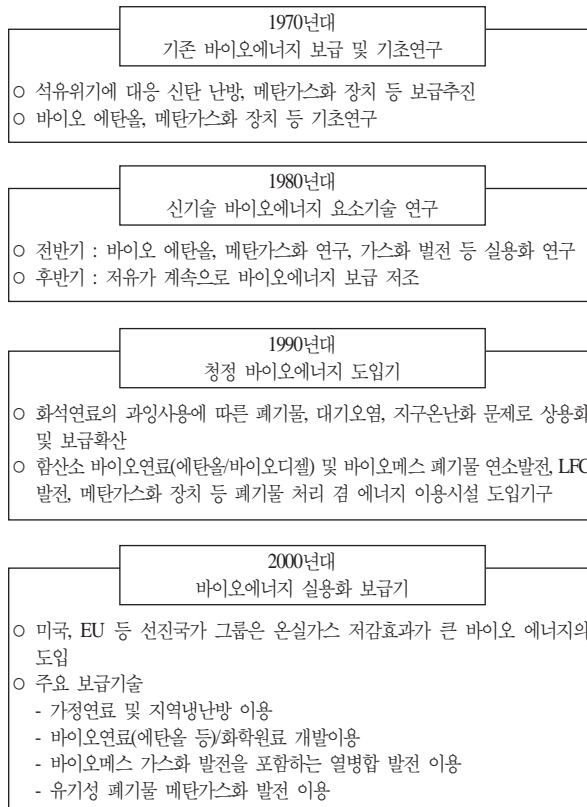


Fig. 1. 연대별 바이오에너지 개발 동향

내용은 대체에너지 R&D 투자를 22% 증액, 대체에너지 기술개발을 통해 2025년까지 중동산 원유 수입량의 75%를 감축, AEI는 주거용 전력(청정화력발전, 태양광, 풍력, 원자력)과 운송용 연료(하이브리드 전지, 수소연료전지) 분야의 기술개발, 특히 바이오에탄올을 6년 내에(화석연료 대비) 가격경쟁력을 가진 상용화 가능연료로 거론하였다.

바이오 에너지의 주요 선진국의 총 1차 에너지 중 신·재생에너지의 비중은 3~7% 정도이며, 바이오에너지가 차지하는 비중은 30 ~ 60%로 높은 편이다.

화석연료와 같이 제한적인 에너지자원은 연소나 에너지관련 연구자들로 하여금 새롭고 깨끗한 청정에너지 생산을 할 수 있도록 자극을 주고 있으며 노력하게 만들었다. 수소는 청정 대체에너지 중에서 수소생산 공정효율이 높고 그 공정이 또 다른 공해를 유발하지 않는 한 아주 잠재력이 높은 물질이다. 더구나 미래의 연료 원로서 본질적으로 중요한 것은 수소의 만능적인 성질 때문이다. 수소는 우주왕복선, 연소장치, 그리고 환경에 악영향을 끼치지 않는 자동차 등과 같은 아주 다양한 종류의 열적, 동력 추진체를 작동하는데 사용될 수 있다. 수소의 운반이나 이용과 관련한 안전성이 문제가 되고 있는 상황에서 이러한 문제점들은 기술적으로 잘 다루어져야 한다. 수소생산은 여러 가지 다른 방법으로 생산하고 있으며 오늘날 천연가스가 가장 수소생산에 위한 소스로 주

Table 1. OECD 국가의 1차에너지 중 신·재생에너지 비중(2003년 기준)

구분	국명	총 재생 에너지	수력	바이오메스				지열	태양열	풍력	생활 폐기물
				고체	액체	가스	계				
총1차 에너지 대비	미국	4.2%	1.1%	2.1%	0.2%	0.2%	2.5%	0.4%	0.1%	-	0.2%
	일본	3.5%	1.6%	0.9%	-	0.2%	1.1%	0.6%	0.1%	-	0.1%
	독일	3.2%	0.5%	1.5%	0.2%	0.3%	1.9%	-	0.1%	0.5%	0.3%
	프랑스	6.0%	1.9%	3.4%	0.1%	0.1%	3.6%	-	-	-	0.4%
	스페인	6.8%	2.6%	3.0%	0.1%	0.2%	3.3%	-	-	0.8%	0.1%
	한국	0.6%	0.2%	0.2%	-	-	0.2%	-	-	-	0.1%
총 재생 에너지 대비	미국	100%	25.2%	49.8%	5.9%	3.9%	59.5%	9.0%	1.5%	-	3.8%
	일본	100%	44.8%	24.5%	-	5.7%	30.2%	17.7%	3.5%	-	3.4%
	독일	100%	14.7%	46.2%	5.1%	8.1%	59.5%	-	2.1%	14.4%	7.9%
	프랑스	100%	31.4%	57.8%	1.6%	1.2%	60.6%	-	-	-	6.6%
	스페인	100%	38.2%	43.8%	1.8%	2.8%	48.4%	-	-	11.2%	1.5%
	한국	100%	35.9%	30.6%	-	-	30.6%	-	-	-	20.2%

자료 : Energy Balances of OECD Countries(2002-2003), 2005 Edition

목받고 있다. 이 방법이 SMR(Steam Reformation)방법으로서 미국에서는 95% 그리고 세계적으로는 평균 50-55% 정도가 이러한 방법으로 생산하고 있다. 수소생산은 집약된 석유정제 기술의 하나로서 전 세계생산의 30% 정도가 이러한 방법을 이용하며 이는 전 세계에서 2번째 생산방법으로 인식되고 있다. 세 번째는 석탄기화법으로 약 18% 정도 되고 있으며 다음으로 전기분해법으로 약 4% 정도에 해당한다. 수소의 주 소스로서 SMR 방법이 헤게모니를 쥐고 있지만 향후 가까운 장래에 변화가 예상되고 있다. 비록 수소를 생산하는데 있어 연료 개발 방법이 값이 싸다고는 하지만 메탄이나 천연가스 공급가격이 상승하고 있는 시점에서 원가상승요인이 기대된다. 2002년도 미국 NASA에서 분석한 예측결과를 보면 SMR방법에 의한 수소생산 예측가격은 기가줄(giga-joule)당 6달러정도로 계산되고 있다. 또한 오늘날 개발의 한계성 때문에 천연가스 가격의 상승 요인으로 인해 기가줄당 10달러 정도로 상승한 것으로 평가되고 있다. 메탄이 매립지로부터 나올지라도 SMR 방식에 의한 수소생산에서 부산물로 나오는 것 같이 불필요한 이산화탄소가 여전히 존재한다. 그럼에도 불구하고 상업적 투자 시기에 다다르면 SMR 방식과 비교할만한 수소생산기술이 요구되고 있는 실정이다. 미래를 위해 우리는 지속가능하고 저가의 청정에너지를 찾아야만 한다. 청정에너지 생산을 위해 바이오매스는 지속가능한 잠재력이 있는 에너지원중 하나이다.

여러 경제적, 환경적 요인 등에 의해 화석연료 활용을 점차적으로 줄이고자 하는 노력이 진행되고 있다. 경제적 관점에서 잘 보존되고 있는 휘발유를 태워 없앤다고 하는 사고방식으로부터 탈피해야 한다. 가능한 한 최대한 휘발유를 더욱 더 가치 있는 생산품으로 전환하는 것이 오히려 바람직하다. 오늘날의 기름 값을 기준으로 했을 때 1갤론의 디젤유나 휘발유는 65미국달러 가치의 전자부품이나 의약품으로 만들어 질 수 있다. 만약 기름 값이 오른다면 이러한 수치는 점점 더 크게 오르게 될 것이다. 100 갤론의 기름은 6500미국달러 가치의 컴퓨터 부품, TV, 렌즈, 의약품 기기 혹은 강철보다 12배나 강한 카본화이버로 전환될 수 있다. 기름이나 다른 새로운 하

이드로카본들, 그리고 지구상에 있는 수많은 사람들의 일상에서 사용되고 있는 것 등을 포함하여 수천 개의 제품을 생산할 수 있다.

천연가스나 기름 모두 어느 국가에도 연료보다는 부가가치가 있는 제품의 원료로서 사용되는 것이 더욱 더 중요한 일임은 자명하다. 두 번째로 중요한 요인은 석탄이나 천연기름 그리고 천연가스의 사용은 환경에 악영향을 주는 이산화탄소의 배출이다.

이산화탄소의 배출은 지구의 온난화의 주범이며 이는 소위 그린하우스효과(green house effect) 라고 불리운다. 결국 지구환경시스템에 불균형을 초래하고 허리케인, 홍수 및 가뭄과 같은 기상이변을 야기 시킨다. 또한 지구상의 눈이나 얼음을 녹여 해수면을 증가시키고 해양의 구조를 변화시킨다. 이산화탄소 방출로 인한 스모그나 오존발생은 지구환경과 건강에 큰 영향을 끼친다.

입자의 크기가 2.5 미크론 이하의 작은 입자들, 소위 PM2.5 라고 알려진 카본이나 숯 결정들은 폐속으로 오염되면 방출이 어려워지므로 특별한 주의가 요구되고 있다. 이처럼 작은 입자들은 암을 유발하고, 호흡곤란, 천식 등과 같은 질병을 유발시켜 사망에 이를 수도 있다. 한 조사기관의 연구에 의하면 미국에서 오래되고 지저분한 석탄을 사용함으로써 인해 사망률이 증가하고 있다고 보고 하였으며, 또한 이를 입증하였다. 화석 연료의 사용은 물 공급에도 큰 영향을 주는데 한 예로서 1갤론의 가솔린을 정제하는데 18갤론의 물이 필요하다.

발전소에서 물 0.5갤론의 사용은 전기로 환산하면 1KWH에 해당한다. 대체에너지 개발은 결국 한정된 화석연료의 사용수명을 연장하고 물 보존에도 도움을 줄 수 있다. 이와 같이 수소는 물 절약이라는 경제적인 반사이익을 나타내는 매력적인 물질로 부각되어있다. 또한 수소를 태우면 물과 에너지를 생산할 수 있으므로 화석연료에 관한 외국의 의존도를 줄일 수 있는 이상적인 방법이다. 수소는 에너지 자원으로 뿐만 아니라 고가 제품 생산을 위한 원료로서 중요성을 부각시켜야만 한다. 메탄을 변형 시키거나 석탄을 기화시키면 상당량의 수소를 생산할 수 있으나 이산화탄소 방출과 천연자원의 고갈이라는 또 다른 문제점을 야기시킨다. 수소에너지의 한 원

으로서 핵에너지는 그린하우스 가스 방출을 피할 수 있으나 가치 있는 우라늄 연료의 소모와 방사선 폐기물의 배출이라는 문제를 야기 시킨다. 청정수소 생산의 한 방법은 지속 가능한 재생에너지 소스를 사용하는 것이다. 바람, 태양광, 지열 그리고 바이오매스 등이 이러한 지속 가능한 청정에너지 범주에 속한다. 바람은 1KWH 당 3 센트의 비용이 들어서 값이 싸고 공급과 안정성 면에서 장기간 지속가능한 에너지이다. 적극적이고 공격적인 연구개발을 통하여 이러한 가격이 떨어지고 있으며 미국에서는 1995년부터 2002년까지 풍력발전이 매년 32%씩 증가하고 있다. 유럽에서 풍력발전이 덴마크의 경우 전체 전기 생산의 18% 정도이며, 독일북부는 28%, 스페인 Navarra 주의 경우 22%에 달한다. 이렇게 가격이 싸고 풍부한 전기생산은 전기분해를 통한 수소생산에 도움을 줄 수 있다.

풍력발전의 경우 많은 장점에도 불구하고, 이것 하나만으로 충분한 전력공급이 어렵다. 태양광과 풍력발전은 날씨나 기후조건 그리고 지역이라는 한계성을 지니고 있다. 부적당한 태양 복사에너지나 바람양이 적은 지역에서는 문제 해결을 위한 노력이 필요하다. 바이오매스를 이용한 에너지 변환이 가능한 해결책이 될 수 있다. 태양광 그리고 바이오매스 이용과 함께 풍력에너지가 사용될 경우 태양광과 풍력발전의 제약조건은 해결 될 수 있다. 주지하는 바와 같이 바이오매스는 태양으로부터 저장된 생물에너지(bioenergy)서 각종 식물과 동물 쓰레기 속에 포함되어져 있다. 이들 범주는 다양한 종류의 연료 자원으로서 농작물, 펄프와 종이, 산업폐기물, 동물폐기물,

야산에 산적한 잡풀, 옥수수숙과 매립지의 메탄을 포함하여 분리수거해서 나오는 고형물 쓰레기까지도 확대될 수 있다. 땅과 가용할 태양광을 우선적인 함수로 보았을 때 미국을 포함한 세계국가들은 바이오매스의 잠재력을 많이 가지고 있다. 미국에서 고려할만한 미래 에너지 소스는 제거된 잔디와 매년 수확되는 파이버를 포함한 많은 종류의 식물자원이다. 잔디의 경우 특별한 배려 없이 잘 자란다. 현재 미국 아이와주에서는 제거된 잔디의 성장과 관련한 다양한 프로그램에 착수했다. 만약 현재 225만 에이커에 해당하는 보호지에 이러한 에너지 프로그램이 개발될 경우 이 잔디가 약 3만톤 규모의 석탄과 대체할 수 있으며 이는 매년 80만 가구에 전력을 공급할 수 있는 양이다. 현재 미국에서는 약 350개의 발전소에서 7000 메가와트 정도의 전력을 생산하고 있다. 이러한 경향은 미국의 환경국(department of environmental: DOE)의 지속적인 지원의 결과이다. 미국 DOE는 지속 가능한 에너지원으로 사용범위를 확장하기 위하여 National Biomass Energy Program(NBEP)을 설립하였다. 미국에서 전력 생산을 위한 바이오매스의 기여도는 지난 30여년 동안 두배로 증가하였다. 2020년까지 수소생산은 29 teragram에 해당될 것으로 예측되고 있으며 현재 미국에서 운영되고 있는 자동차의 40%가 사용할 수 있는 값이고 약 1천 7백만 에이커의 면적에서 생산되는 양으로 추산된다. 더욱더 중요한 것은 바이오매스가 환경영향 평가에서 중요한 위치에 놓인다는 것이다.

제거된 잔디 또는 도시에서 버려지는 종이 등과 같은 생연료들의 화학성분은 다양한 종을 포함하고 있다. 일

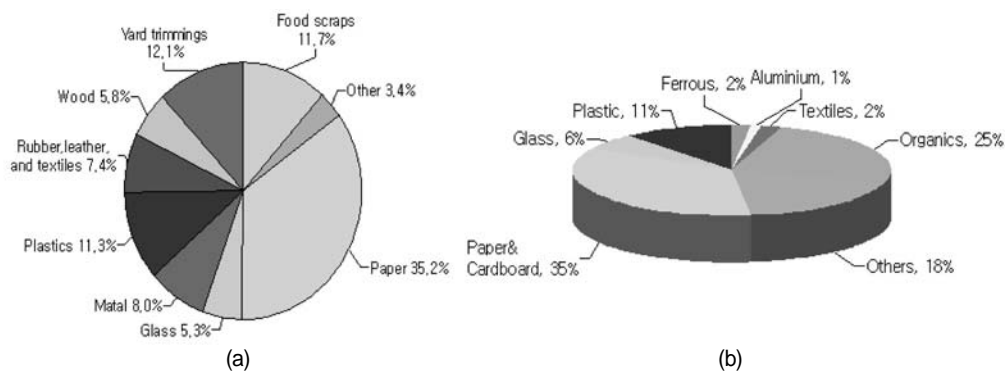


Fig. 2. 미국(a)과 유럽(b)의 2003년도 발생한 도시고형쓰레기(MSW)의 다양한 성분.

반적으로, 바이오매스의 구성성분을 보면 50%가 cellulose이고 25%가 hemi-cellulose 그리고 25%가 lignin로 되어있다. 이러한 성분들은 가정에서 버려지는 고형폐기물이 바이오매스의 한 자원으로 될 수 있음을 보여주는 중요한 자료이다. 미국의 환경단체의 보고에 의하면, 2003년도 기준으로 종이를 포함하여 고형물 쓰레기 2억 3천 6백만톤 중 35.2%에 달한다. Fig. 1에서 보는바와 같이 집주변 잔디제거를 통해 얻어지는 12.1%의 cellulose를 포함하여 총 쓰레기의 47.3%로서 매년 1억 1천 1백만톤 규모의 cellulose 양에 해당하는 것이다. 이러한 쓰레기양은 땅의 보존을 위하여 급격히 줄여야만 한다. 현재 가정용 쓰레기의 약 55.4% (130만톤 규모)가 땅으로 투기되고 있다. 유럽연합에서는 Fig. 1에서 보는바와 같이 가정용 고형물 쓰레기양이 미국과 비슷한 경향을 나타내고 있다. 5억톤 규모의 쓰레기가 열처리를 통하여 처리되고 있는 실정이다. 따라서 청정에너지 생산을 위한 쓰레기의 이용은 현재 도시의 효율적인 사용과 사용연한을 증가시키기 위하여 증가되어야 한다.

바이오매스와 관련한 또 다른 중요한 유익은 CO₂ 가스 방출의 감량이다. 바이오매스가 청정에너지로 전환될 때 대기 중에 화석연료와 비교하여 새로운 CO₂ 가스 생산을 야기시키지는 않는다. 바이오매스로부터 CO₂ 가스 방출의 감량은 바이오매스의 상전이 기간 동안 흡수된 양으로서 일부분에 해당한다. 2020년까지 29 teragram의 수소가 바이오매스로부터 산출될 것으로 추정하고 있다. 이러한 수소생산은 직접적으로 그린하우스 가스 방출을 줄이거나 약 8천 4백만톤의 연료중의 카본에 해당하는 연료생산이 기대된다. 이때 방출된 이산화탄소 가스가 깊은 바다나 지구구조 속으로 강제로 주입된다면 바이오매스의 사용은 오히려 밸런스 면에 마이너스 이산화탄소의 결과를 낳을 수도 있다.

2.1. 미국의 바이오매스 가스화와 수소화 공정기술

바이오매스는 세계적으로 볼 때 적어도 4번째로 고려되어야 할 에너지원이다. 바이오매스원의 풍부함 때문에 다양한 종류의 수소전환기술이 실제 적용을 위하여 제안되어 오고 있다. 바이오매스가 청정연료 소스로 사용되

어지기 위하여 Fig. 2에서 보는바와 같이 비록 몇 가지의 제한적인 조건이 만들어진다고 하여도 산업체에서는 단지 몇 가지 기술만이 사용 가능할 수 있다.

Fig. 3에서 여러 가지 다양한 수소전환기술이 열거되고 있으나 그 중에서 가장 그럴듯한 기술은 역시 열화학적으로 기화시키거나 열분해 기술이다. 바이오매스와 관련하여, 400°C 이하의 낮은 온도에서 열처리하면 1차 산물로서 하이드로카본의 액상을 얻을 수가 있다. 이들이 분해하고 기화하거나 휘발하여 연료성분을 얻어낼 수가 있다. 열분해 공정은 기화하기 위한 첫 단계로서 석탄대신 바이오매스를 기화시킬 때 대단히 중요하다.

바이오매스 원료 속에 상당량 즉, 건조기준으로 70~85%의 휘발성분이 들어있다. 석탄은 약 30% 정도로서 이와 같은 수치는 비교될만하다. 기화는 온도를 800°C에서 1800°C까지 올리는 조건에서 자유 또는 속박되어 있는 산소에 의해 고체, 액체 혹은 기화할 수 있는 탄소 함유 재료 등을 나타내는 지표이다. 이 공정은 2단계 공정으로서 진행되고 있는데 첫 번째는 열분해, 그리고 두 번째는 열분해해서 생긴 숯과 같은 물질의 기화로 요약된다. 이들은 산소, 스팀 그리고 중간화합물과 활성이 좋은 기체들과 반응을 통하여 기화된다. 결국 원료는 중간이나 또

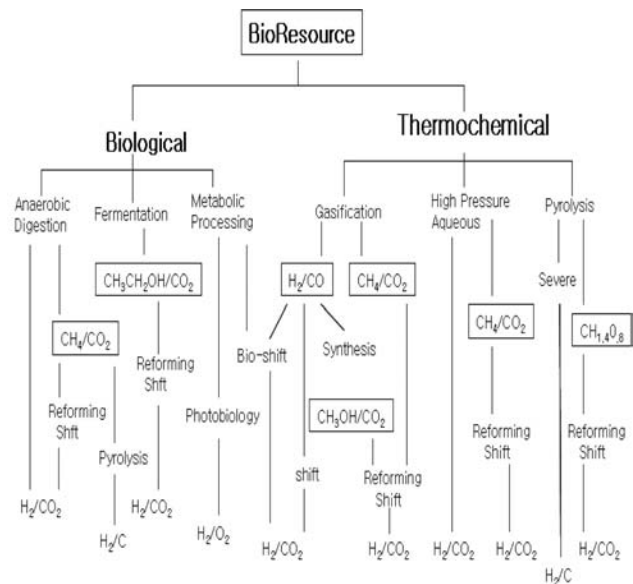


Fig. 3. 바이오매스 연료들의 다양한 변환 경로

는 저 부가가치의 가스로 전환이 되고 있다.

바이오매스의 가스화, 전기 생산이나 수소생산을 위해 바이오매스를 유용한 합성가스로 전환하기 위한 기술이 Fig. 4에 표시되었다.

주지하는 바와 같이 가장 일반적인 방법은 합성가스를

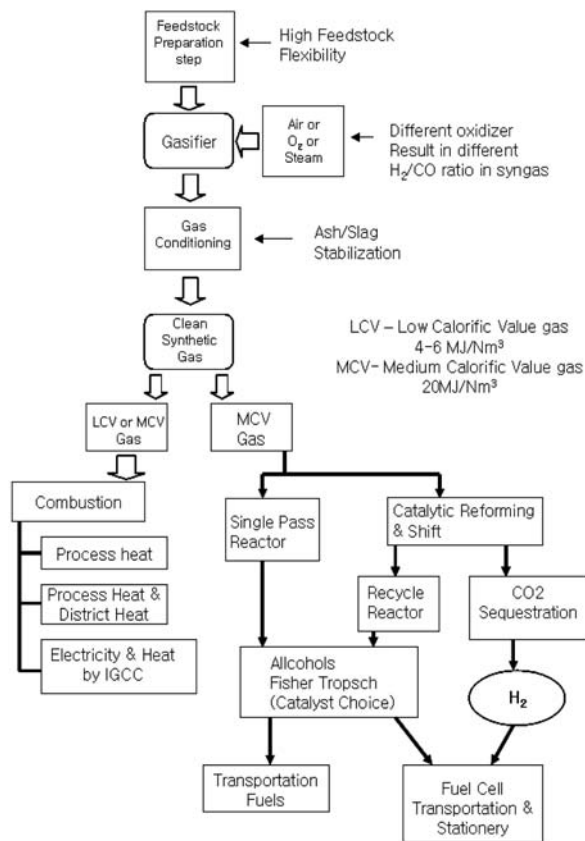


Fig. 4. 바이오매스 변환 경로들의 개략도.

연소하여 전기를 생산하는 것이다.

아시아 여러 국가 중 인도, 태국, 그리고 라틴 아메리카 국가들은 에너지 수요가 적으나 사탕수수, 쌀겨, 벼짚 등이 아주 풍부하다. 결국 이와 같은 개발도상 국가들은 전력생산을 위해 중요한 에너지 자원을 보유하고 있는 것이다. 일본을 포함한 선진국은 전기생산과 청정에너지 생산을 위하여 많은 연구와 개발을 지원하고 있으며 상용화를 위해 지속적으로 지원하고 있다. Fig. 4에서 바이오매스로부터 수소생산 쪽으로 초점을 맞춰보면 Fig. 5와 같이 단순화 시킬 수 있다.

열분해 방법은 합성가스 생산을 위해 노력해야하는 우선적인 방법이다. 더구나 오늘날은 가스화를 위한 방법이 우선시 되고 있다. 열분해법은 아직도 바이오매스를 연료로 전환하기 위한 기술이고 많은 연구들이 진행되고 있다.

가스화 공정은 몇 가지 기술로 대변할 수 있다. 이들 사이의 주된 차이점은 산화제와 환원제에 있다. 합성가스의 요구조건에 따라 공정의 선택이 결정되고 있다. 대기중의 질소에 의해 농도를 희석시킨 공기를 불어넣어 가스화 시키는 방법이 바이오매스 등 저열량 가스의 연료로 만드는 단순한 공정이다.

좀 더 화학반응을 증가시키면 중간-칼로리의 가스합성이 요구되고 있다. 이러한 점을 고려하여, 산소/스팀 혹은 스팀가스화 방법이 생산된 가스의 열적 가치를 증가시키는데 중요한 역할을 하고 있다. 고온 스팀에서 스팀가스화는 특히 합성가스의 수소량을 증가시키는데 크게 기여를 하고 있다. 이와 같은 기술 등은 여러 가지 다른

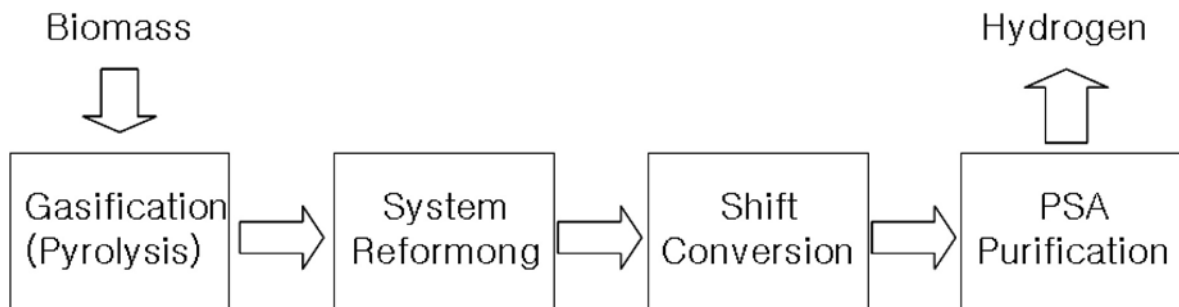


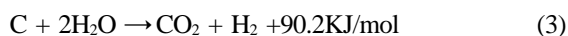
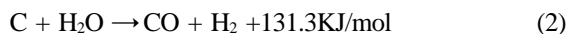
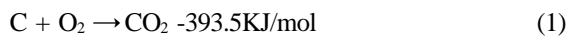
Fig. 5. 바이오매스에서 수소의 경로.

공정변수 즉 온도, 압력, 기화를 위한 조제의 특성과 기술적 이슈에 따라서 크게 분류될 수 있다. 산소를 기초로 한 가스화 시스템은 결국 산소를 분리할 수 있는 가스화 설비가 필요하다. 공급되는 원료의 다양성 때문에 조성 또한 변동이 심하여 연료 사용에서와 마찬가지로 많은 열역학적 계산과 모델이 필요한 실정이다. 더구나 숯을 남기는 가스화 공정은 변동이 큰 공급 원료의 경우와 아주 비슷하다. 그러므로 많은 연구자들이 공정변수를 단순화시키고자 하는 방법으로서 고순도 가스화 공정을 제안하고 있으며 경우에 따라선 공급 원료를 분리하여 각각의 영향을 알아보고자 하는 노력을 하고 있다.

가스화 공정은 800°C에서 1800°C 사이에서 일어나고, 상대적으로 큰 반응속도에서 특성화된다. 그러한 반응특성들은 실제계에 가까운 카본과 가스의 주된 성분 등을 고려한 연료의 열역학적 상평형을 기초로 모델링을 한다. 또한 가스의 주된 성분들과 석탄 가스화 반응과 관련된 화학은 항상 일련의 카본, 산소 그리고 스팀의 반응을 포함하고 있다.

298K에서 표준엔탈피 변화는 다음과 같은 중요한 각각의 반응에 따른다.

- 가스화반응(Gasification) :



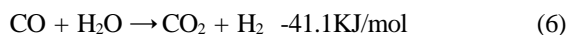
- Partial Oxidation



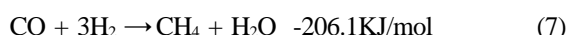
- Boudouard reaction



- Water Gas Shift



- Methanation

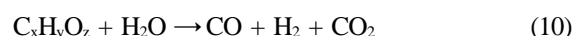
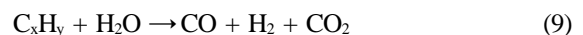


- Hydrogenation



많은 반응식들이 동시에 일어나고 좀 더 만족한 결과를 위한 공정조절은 불가능하다. 즉 온도, 압력, 반응물질, 반응시간과 산소와 스팀의 비율과 같은 공정변수를 주의 깊게 선택함으로써 원하고자 하는 특정물질을 극대화시킬 수 있다.

Boudouard 반응식은 가스화 조제가 CO₂를 포함하고 있을 때 순수한 CO 생산에 중요한 역할을 한다. 메탄화 반응은 수소생산 공정에 필수적이고 기초가 되는 반응이다. 메탄과 이산화탄소의 형성은 낮은 온도에서 주요하고 한편 고온에서는 일산화탄소와 수소가 주요한 평형종들이다. 고온에서 그러한 시스템에서 일어나는 반응들은 열역학적으로 (2)반응식과(수성가스반응) (4)반응식과 같다. 그들 반응의 열효과는 비슷하거나 평행하다. 반대의 값을 나타내는 이유는 그들 반응중 하나는 발열이고 다른 것은 흡열반응이기 때문이다. 이와 같이 평형 상태를 유지하기 위하여 공정의 구동력을 발생시킨다. 이들 두 반응은 가스화공정에서 아주 중요하다. 이상의 화학반응식으로 열거한 전환공정은 기화기나 반응기에서 일어난다. 이들 반응은 3단계로 구별되어 일어나는데 이들 반응된 계의 주된 임무는 합성가스속의 수소함량을 증가시키는 것이다. 비록 가스화공정의 변화가 사용된 산화제에 의존한다고 하더라도 3단계 가스 증가반응공정이 일반적으로 유효하다. 그 첫 번째 단계로서 스팀의 개질인데 이것은 원료인 합성가스에서 메탄과 다른 탄화수소에 의해 반응이 이루어지는 공정으로서 이들 가스가 고온의 스팀과 반응에 의해 수소와 일산화탄소로 전환되는 공정이다. 이러한 반응은 메탄을 기반으로 한 촉매의 존재하에 비교적 고온인 700~1100°C에서 일어난다. 일반적으로 반응식은 다음과 같이 쓸 수 있다.



메탄과 다른 탄화수소가 단상에서 CO, CO₂ 및 H₂의 혼합물로 변형될 때 수성가스 반응은 스팀의 개제로 인

해 CO를 H₂로 변환시키는데 사용된다.



식 (11)은 발열반응으로서 낮은 온도에서 H₂와 CO₂를 형성시킬 수 있다. 한편 그 반응 기구는 고온에서 훨씬 빠르게 나타난다. 이러한 이유로 수성가스반응이 2개의 반응식으로 수행되었다. 우선 370°C 영역에서 고온 반응기로 교환이 되었고 고온반응기를 떠난 가스들은 약 210°C에서 냉각되었으며, 저온반응기로 이동되었다. 마지막으로 바이오매스가 수소로 변환되는 경로는 Pressure Swing Adsorption (PSA) 정제 방법이다. 이 PSA 공정은 고압에서 수소가 풍부한 가스가 고정층의 흡착제 속으로 들어갈 때 불순물을 흡착하는 과정을 포함하고 있다.

포집된 불순물은 낮은 기압에서 충분히 탈착되어 배출 스팀속으로 빠져나간다. 생산된 수소가스의 순도는 거의 100%이다.

바이오 가스화를 위한 실험설비의 개략도 및 설계도는

Fig. 6과 같다.

Fig. 6에서 스팀은 수소와 산소의 화학량론의 연소로부터 연소챔버 안에서 생성된다. 그리고 시료는 균일한 열을 이용하는 전기가열로 챔버 안에 위치한다. 원하는 조건에서 높은 온도 증기는 시료를 통하여 흐르도록 허락되어진다. t1~t4는 열전기쌍에 위치한다. 생성된 합성 가스는 시료조절기를 통하여 깨끗한 합성가스만 마이크로 가스 크로마토그래피에서 성분 분석을 하게 된다. Fig. 7은 가스화장치 설계도이다. 대부분 광학의 접근하기 쉬운 초고온 증기 가스화설비는 매릴랜드대학의 연소 연구실에 설치되어 있는 설비이다.

Table 2에 사용 가능한 바이오매스들의 화학 성분과 화학식 그리고 생산된 열량을 표시하고 있다.

Table 3에 나타낸 바와 같이 스팀과 공급된 재료의 비율을 계산할 수 있고, 이들 비는 온도 상승에 따라 감소됨을 나타낸다.

Fig. 8에 나타낸바 고온에서 스팀과 cellulose의 비가 1

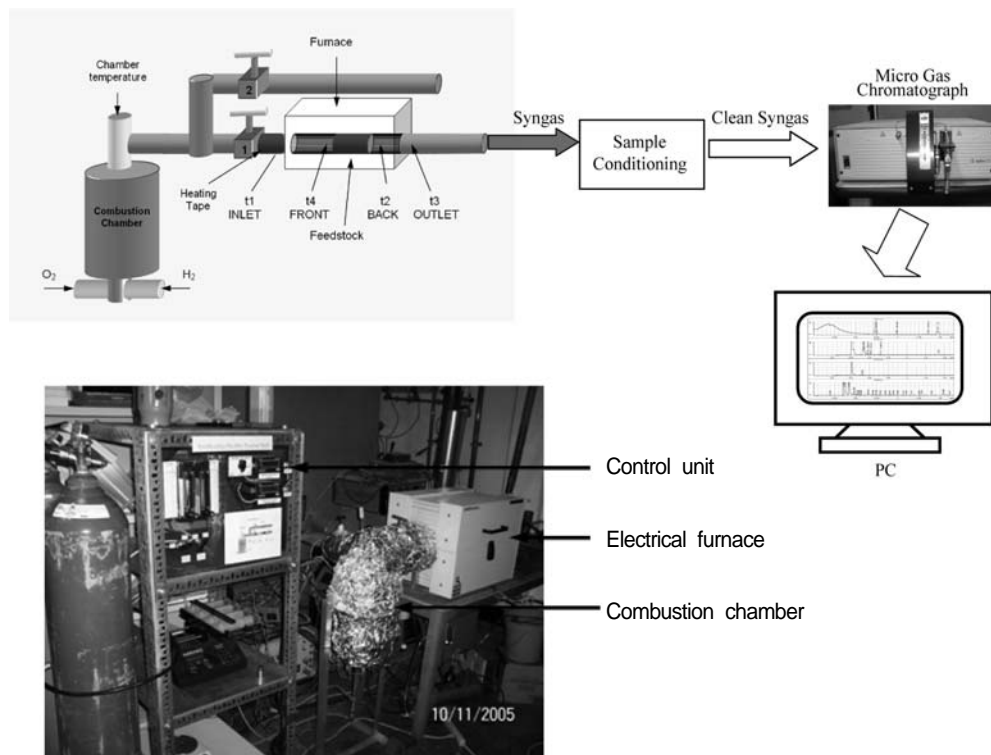


Fig. 6. 설비 계략도 및 실험설비.

Table 2. 바이오매스 연료의 최종분석과 화학적 구성

compound	Ultimate Analysis (% dry)						LHV [MJ/kg]	Ref	Chemical formula	Ref
	C	H	O	N	S	Cl				
Rice Husk	45.54	4.99	37.75	0.20	0.04	0.10	14.2	23	$\text{CH}_{1.78}\text{O}_{0.56}\text{N}_{0.007}$	26
Rice Straw	42.63	5.61	39.40	0.65	0.10	0.08	12.3	23	$\text{CH}_{1.56}\text{O}_{0.50}\text{N}_{0.008}$	26
Corn Cob	47.63	5.91	38.72	0.84	0.15	0.05	8.4	23	$\text{CH}_{1.45}\text{O}_{0.60}\text{N}_{0.002}$	26
Wood Pellets	51.00	6.60	41.8	0	0	0.02	18.92	23	$\text{CH}_{1.65}\text{O}_{0.69}$	26
Pine Chips	52.60	7.02	40.1	0	0	0	20.77	25	$\text{CH}_{1.33}\text{O}_{0.60}\text{N}_{0.002}$	26
Cellulose	44.44	6.17	49.39	0	0	0	17.68	24	$\text{C}_6\text{H}_{10}\text{O}_5$	23

Table 3. 상이한 온도상에서 다양한 실험상에서 나타나는 스팀/공급 원료 그래프분자의 비율

Type of feedstock	Sample mass [g]	Steam/feedstock molar ratio at various temperatures [°C]				
		700	800	900	1000	1100
corn cob	30	1.46	1.17	0.97	0.73	0.53
Rice Husk	30	1.08	0.84	0.8	0.72	0.6
Rice straw	20	1.59	1.14	0.91	0.8	0.65
Yellow Pine Chips	30	1.23	1.05	0.84	0.64	0.58
Wood Pellets	50	1.3	1.03	0.67	0.6	0.52

일 때 수소생산이 최대치를 나타내고 있다. 가스의 성분은 수소, 이산화탄소, 일산화탄소, 메탄 그리고 에탄, 에틸렌, 아세틸렌과 프로판 가스와 같은 탄화수소들인데 이탄화수소는 전체 가스 성분 중 7%를 넘지 못한다. 질소와 산소는 아주 적은 양으로 존재하고 있는데 특히 질

소는 주로 연료속에 들어있는 양이고, 산소는 불충분한 혼합과 원료속에 들어있는 것이다. 일반적으로 스팀의

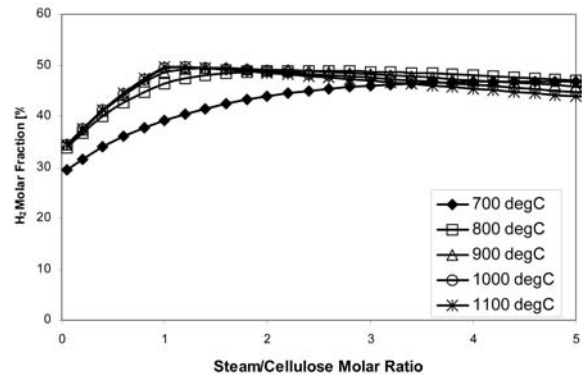


Fig. 8. 상이한 온도에서 가스화 되는 에이전트에 대해서 스팀/셀룰로스의 그래프분자 비율의 수소 산출기능.

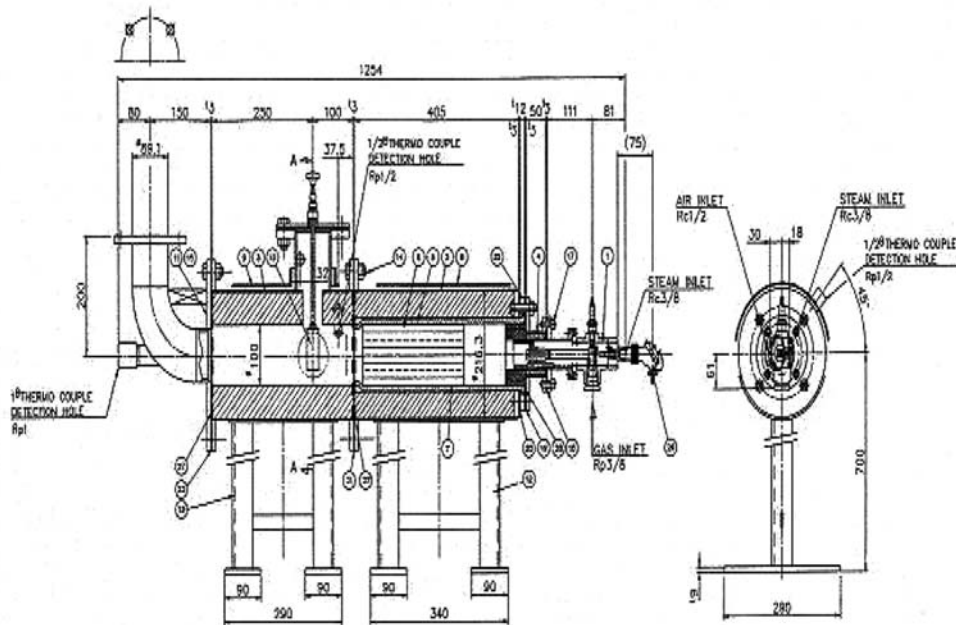


Fig. 7. 광학 접근이 용의한 새로운 고온 가스화 실험설비.

온도를 올리면 수소생산량이 증가하는데 이러한 경향은 모든 쓰레기를 가지고 조사해본 결과 나무가 아닌 모든 바이오매스 쓰레기에서 가장 높게 나타났다.

Fig. 9에 나타나는 바와 같이 1000°C에서 가장 높게 나타나고 있다.

Fig. 10은 나무쓰레기가 900°C에서 최대의 수소생산을 나타내다가 이 온도를 넘어서면 오히려 줄어드는 경향을 보여주는 것이다. 또한 스팀가스화는 일산화탄소 발생에도 기여를 하는데 나무 바이오매스 쓰레기 (Yellow pine

chips 와 Wood Pellets)가 37.69~43.85%까지 Fig. 15에서 보는바와 같이 높게 나타나고 있다.

옥수수속, 쌀겨 그리고 벼짚 등 낮은 농도의 일산화탄소를 나타내는데 Fig. 4에서 보는바와 같이 21.37~41.42%까지 넓은 범위로 나타나고 있다.

이렇게 나무와 나무가 없는 바이오매스 사이에서 일산화탄소의 농도가 큰 것은 옥수수속, 쌀겨 및 벼짚에 탄소 함유량이 적게 들어있는 것이 주된 이유이다.

메탄가스는 스팀을 조제로 한 가스화를 통해 합성한

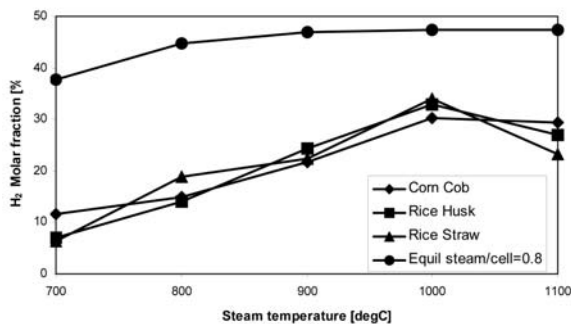


Fig. 9. 나무재질이 아닌 공급 원료의 가스화에 대한 수소 산출과 이와 동등한 계산법과의 비교.

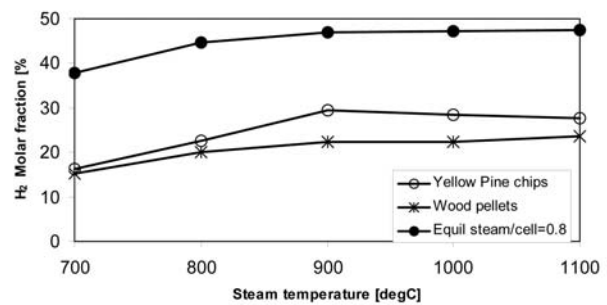


Fig. 10. 목재 공급 원료의 가스화에 대한 수소 산출과 이와 동등한 계산법과의 비교.

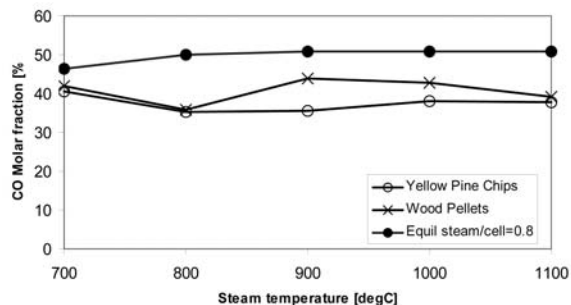


Fig. 11. 나무 바이오매스의 가스화로부터의 일산화탄소의 농도.

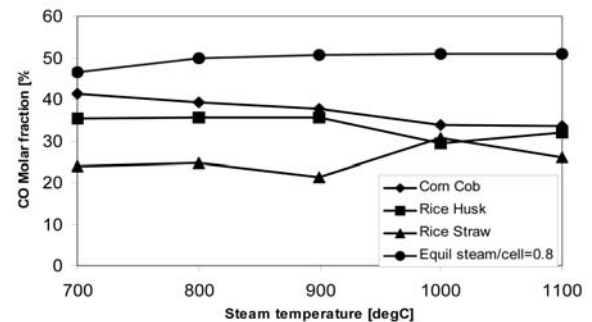


Fig. 12. 나무재질이 아닌 바이오매스의 가스화의 일산화탄소 농도.

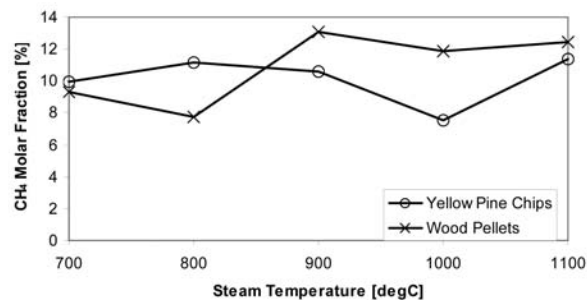


Fig. 13. 노란소나무와 나무펠렛의 가스화로부터의 메탄산출.

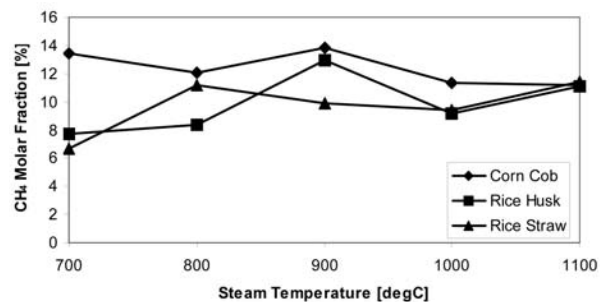


Fig. 14. 건초더미, 벼짚, 옥수수껍질의 가스화에 따른 메탄 산출.

Table 4. 비목재 바이오매스의 가스화상에서 검출되는 가스의 다양한 성분

Compound	700°C [%]	800°C [%]	900°C [%]	1000°C [%]	1100°C [%]
Hydrogen	11.54	14.80	21.73	30.26	29.34
Nitrogen	0.11	0.08	0.07	0.14	0.15
Methane	13.44	12.09	13.81	11.30	11.21
CO	41.42	39.16	37.68	33.76	33.57
CO ₂	28.35	27.97	22.22	22.62	22.67
Ethylene	3.91	3.80	4.19	2.81	2.67
Ethane	0.98	0.89	0.47	0.17	0.14
Acetylene	0.42	0.38	0.51	0.45	0.56
Propane	0.09	0.08	0.02	0	0

가스성분 중 중요한 조성이다. 나무 바이오매스 쓰레기가 Fig. 13과 Fig. 14에서 나타낸바 약간 높게 나타나고 있다.

이는 pine chips과 Wood Pellets가 일산화탄소 배출량이 높고 이로 인해 메탄화 반응이 촉진되어 결국 메탄 생산량을 증가시키는 요인으로 평가된다. 곡물류를 포함한

Table 5. 목재 바이오매스의 가스화상에서 검출되는 가스의 다양한 성분

Compound	700°C [%]	800°C [%]	900°C [%]	1000°C [%]	1100°C [%]
Hydrogen	16.29	22.59	29.42	28.45	27.76
Nitrogen	0.14	1.10	0.072	0.20	0.05
Methane	9.93	11.15	10.58	7.53	11.39
CO	40.61	35.32	35.52	38.12	37.70
CO ₂	29.22	25.50	21.69	23.96	19.74
Ethylene	2.86	3.23	3.012	1.47	3.28
Ethane	0.81	0.69	0.37	0.53	0.24
Acetylene	0.29	0.31	0.40	0.11	0.46
Propane	0.09	0	0.01	0	0

비목재류 바이오매스와 Yellow pine을 포함한 목재류 바이오매스에서 나오는 가스성분을 종합해보면 Table 4와 Table 5에 나타낸바와 같다. 이와 같이 다양한 가스성분으로부터 많은 얻은 정보는 합성가스의 heating value 에 대한 정보를 얻는데 주로 사용된다.

이 두 정보를 기초로 해서 가스조성이 heating value

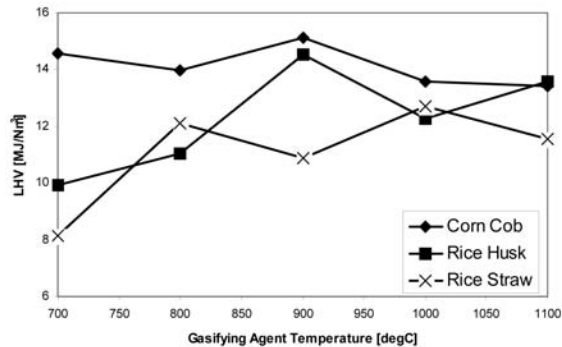


Fig. 15. 비목재의 가스화로부터 생산된 합성가스의 Lower heating value (LHV)

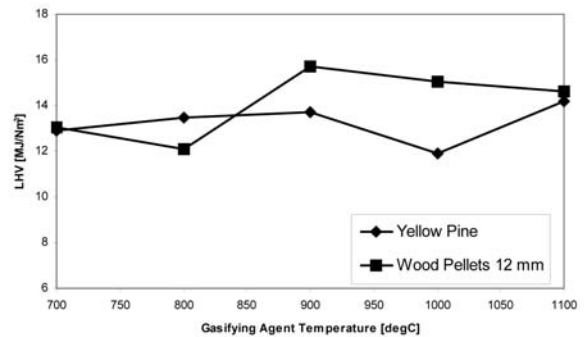


Fig. 16. 목재 쓰레기의 가스화로부터 생산된 합성가스의 Lower heating value(LHV).

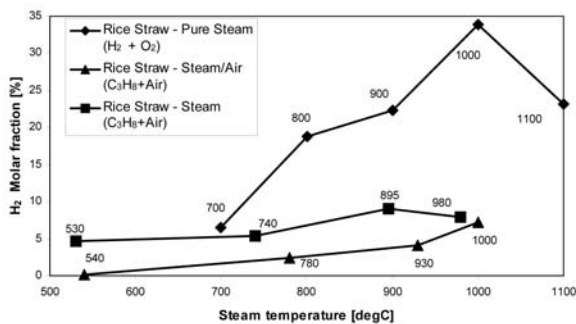


Fig. 17. 옥수수껍데기의 수소 산출에 영향을 미치는 가스화 되는 성분.

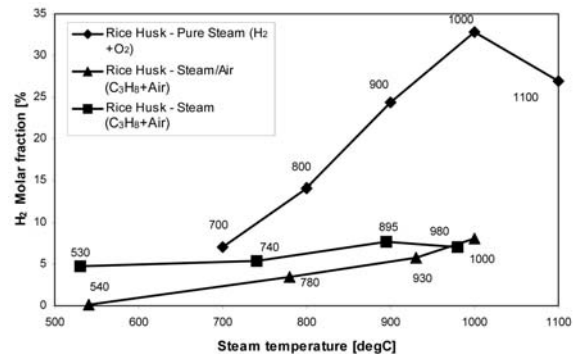


Fig. 18. 건초더미의 수소 산출에 영향을 미치는 가스화 되는 성분.

에 어떠한 영향을 미칠지에 대하여 조사한 결과 Fig. 14와 Fig. 15에 나타내바와 같다.

메탄은 합성된 가스의 heating value에 아주 중요한 역할을 한다. Air/steam 가스화 조제 시스템과 비교하여 단

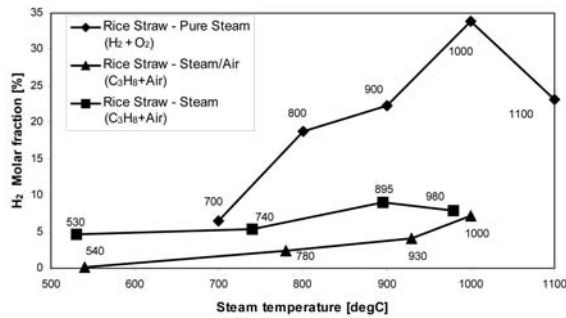


Fig. 19. 벚짚의 수소 산출에 영향을 미치는 가스화 되는 성분.

지 스팀만 가지고 가스화 조제로 했을 때 스팀만의 경우 질소성분이 없다. 이러한 이유에서 스팀만 사용했을 경우 오히려 heating value가 높게 나타난다. 가스화조제에 질소를 함유하게 되면 heating value 뿐만 아니라 생산된 합성가스에 수소함량을 증가시키는데 부정적인 역할을 한다.

짚, 벚짚과 곡물류를 포함한 비목 바이오매스 (Non-wooding biomass) 기화연료를 540, 780, 930과 1000°C의 4가지 다른 온도에서 스팀 또는 스팀과 공기를 혼합한 경우에 대비한 수소생산 결과를 Figs. 17, 18와 19에 나타내었다.

결과로부터 보는바와 같이 가스화조제의 조성 역할이 수소생산에 결정적이다.

질소를 포함하지 않고 수소를 생산할 경우 포함하지

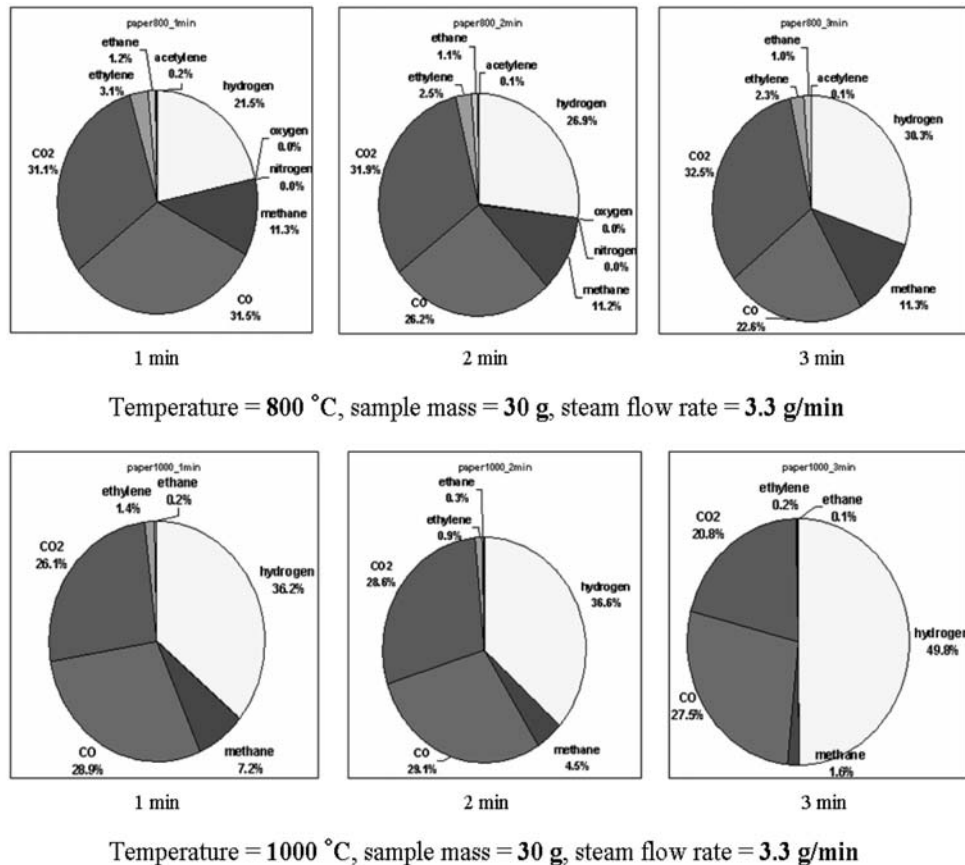


Fig. 20. Paper를 통과하는 스팀 온도 및 응축시간에 따른 바이오매스의 합성가스 성분.

않을 때와 비교할 때 3배 이상의 농도가 증가함을 알 수 있다.

이와 같이 수소생산이 질소를 포함하지 않을 경우 급격히 증가하는 이유는 가스화의 열역학적 메카니즘 때문이다. 이 가스화반응공정의 주된 반응식은 $C + H_2O \rightarrow CO + H_2 + 131.3KJ/mol$ 로서 발열반응이다. 예열된 가스화 조제의 열량은 산화에 의한 발열반응으로부터 나온 에너지를 대치할 수 있다. 결국 수성가스는 흡열이기 때문에 공정의 온도를 상승시키는 요인으로 작용하여 스팀을 높게 예열해줘서 결국 이러한 반응으로 유도된다. 부가적으로 $C + 2H_2O \rightarrow CO_2 + H_2 + 90.2KJ/mol$ 이라는 흡열 반응으로부터 수소를 생산할 수 있다. 일산화탄소와 수소의 증가는 타르(tars)의 전이를 돕고 있으며 Fig. 12에 나타낸바 정량적으로 타르의 전이를 나타낼 수가 있

다. 가스화반응이후 스팀 가스속에 있는 수소는 타르화 반응의 지표로도 삼을 수 있다.

바이오매스 원료중에서 paper, yellow pine woodchips를 이용하여 스팀온도, 응결시간의 변화에 필터를 통과한 포집병에 생성된 합성가스의 성분 및 비율을 가스크로마토그래피로 분석하였다. 그 결과 샘플의 타입, 온도, 스팀 비율은 일정하게 유지하는 것을 아래의 그림에서 보여 준다.

Paper의 경우 스팀의 온도가 800°C, 시간의 변화에 따라 수소 발생량이 증가하고, 일산화탄소가 감소한다. 온도의 변화에 따라서 수소발생량의 차이가 30.3%에서 49.8%로 스팀 온도에 민감하게 반응하는 것을 알 수 있다.

Yellow pine woodchips을 통과하는 스팀의 온도와 응

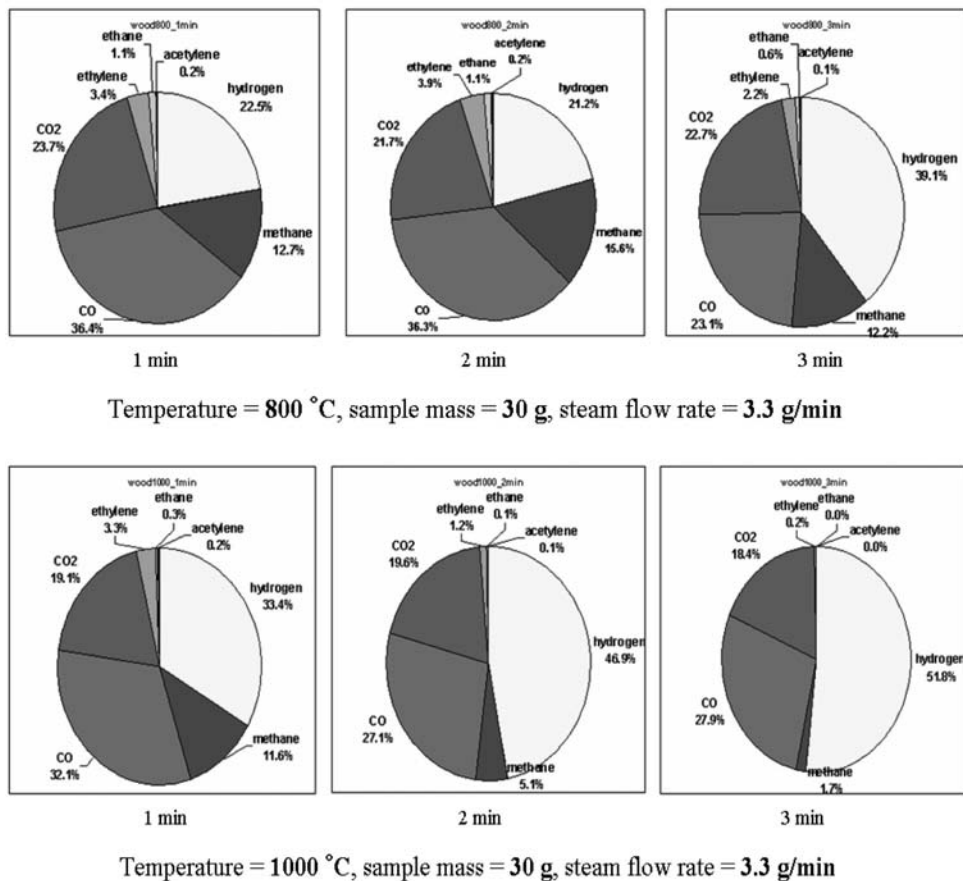


Fig. 21. Yellow pine woodchips를 통과하는 스팀 온도 및 응축시간에 따른 바이오매스의 합성가스 성분.

측시간의 변화에 따라 발생하는 합성가스의 성분비율 변화를 보인다. 그림에서 보여지는 것과 같이 실험 조건이 스팀온도 1000°C, 응축시간 3분 일 때 수소의 발생량이 최대 51.8%를 얻을 수 있다.

Fig. 22는 쌀겨를 이용하여 실험을 하였다. 수소, 메탄, 탄소일산화물, 탄소이산화물이 시간과 온도에 따라서 발생하는 성분비를 Fig. 22에서볼 수 있다.

Fig. 23은 생활고형쓰레기의 열분해, 가스화, 슬래그의 모식도이다. 열분해를 통해 가스화가 변환 과정을 거쳐 합성가스인 일산화탄소, 수소, 질소가 발생한다. 가스화 변환과정에서 생성된 무기슬러지는 재활용된다.

현재까지 미국의 바이오매스 가스화 기술은 수소생산량 비율을 50%까지 산출할 수 있다. 이를 바탕으로 청정 에너지 개발에 선도적인 역할을 수행할 것이다.

2.2. 유럽의 기술개발 현황

1980년대 유럽에서는 원자력 발전 여부와 온실효과가 스 삭감 문제에 대해서 ‘진정 무엇이 지구의 지속적 발전을 지키는 것인가’ 라는 관점에서 신중한 의논과 대책이 전개되기 시작한 것으로 보이며 이때부터 바이오매스를 이용한 에너지생산에 심혈을 기울인 것으로 보인다.

EU 국가들의 1993년 생산량을 기준으로 1999년도까

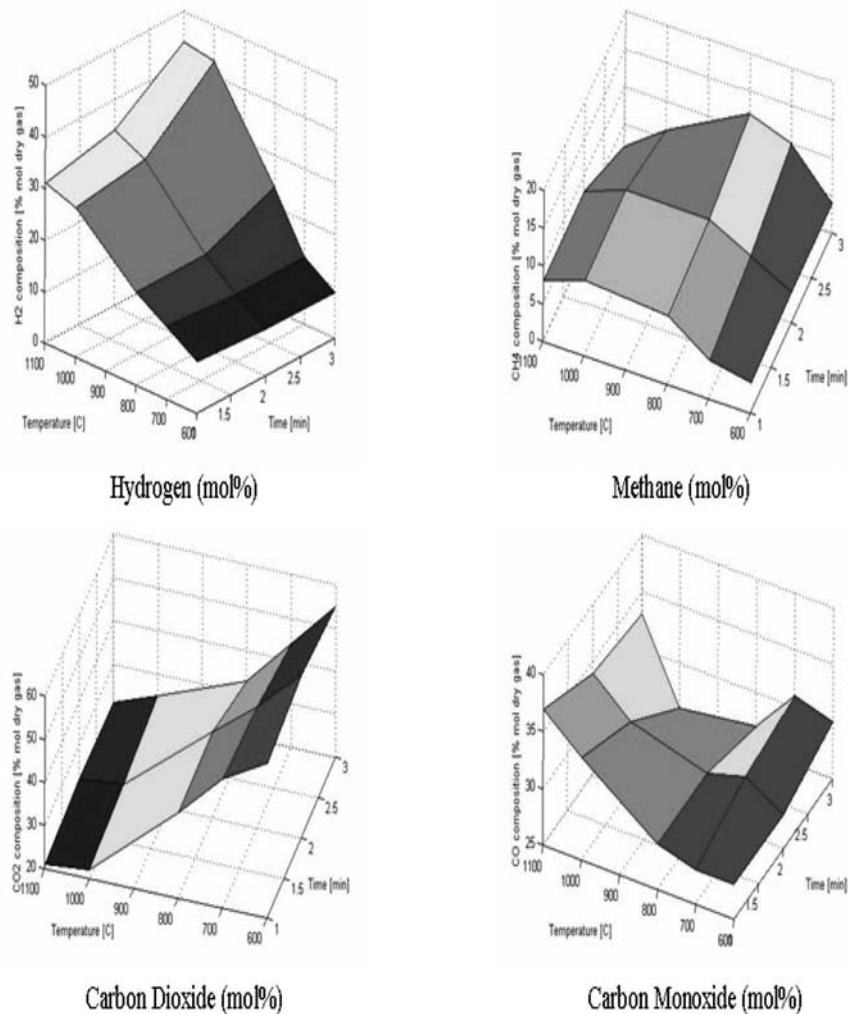


Fig. 22. 쌀겨를 이용한 바이오매스의 합성가스

지 6년간의 Biomass를 이용한 에너지 생산 증가는 Fig. 24에서 보는 바와 같다. Biomass 에너지 증가량은 핀란드가 2,697 GWh로 가장 많았고, 스웨덴 (898 GWh), 오스트리아 (575 GWh), 스페인 (432 GWh), 덴마크 (316 GWh), 독일 (258 GWh), 이탈리아 (241 GWh), 프랑스 (223 GWh), 포르투갈 (179 GWh), 벨기에 (140 GWh) 순이었다. 증가율의 경우 이탈리아가 812%로 가장 높은 증가율을 보였으며, 벨기에 238% 및 덴마크 189%로 EU 국가들 중에서 100% 이상의 증가율을 나타내었다.

각 국가별 바이오매스를 이용한 에너지 활용 현황 및 정책적, 재정적 지원 현황은 다음과 같다.

2.2.1. 핀란드

핀란드에서는 가정 및 산업용으로 필요한 열과 전력을 생산하기 위해 CHP가 광범위하게 이용되고 있다. CHP는 목재 폐기물, 이탄 및 농업 부산물 등의 바이오매스를 자원으로 활용하고 있다. 많은 양의 바이오매스 자원이 핀란드 산업분야 에너지 소비의 약 반을 차지하고 있는

펄프 및 제지산업에서 배출되고 있다. 지역난방은 핀란드에서 일반적인 것으로 전체 국민의 약 반이 지역난방 체계에 연결되어 있다. Forssa 공장은 핀란드 최초의 CHP 지역난방 공장으로서 전적으로 목재를 연료로 하고 있으며, 1996년 9월에 가동하기 시작하였다. 이 공장에서는 최고

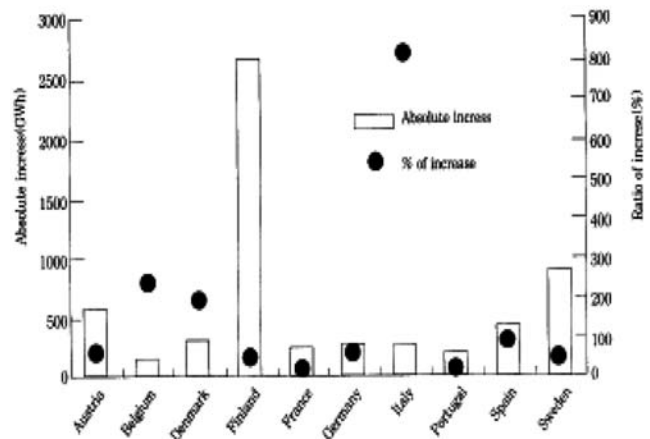


Fig. 24. 1993년부터 1999년까지 유럽의 바이오매스를 이용한 에너지 생산 증가량.

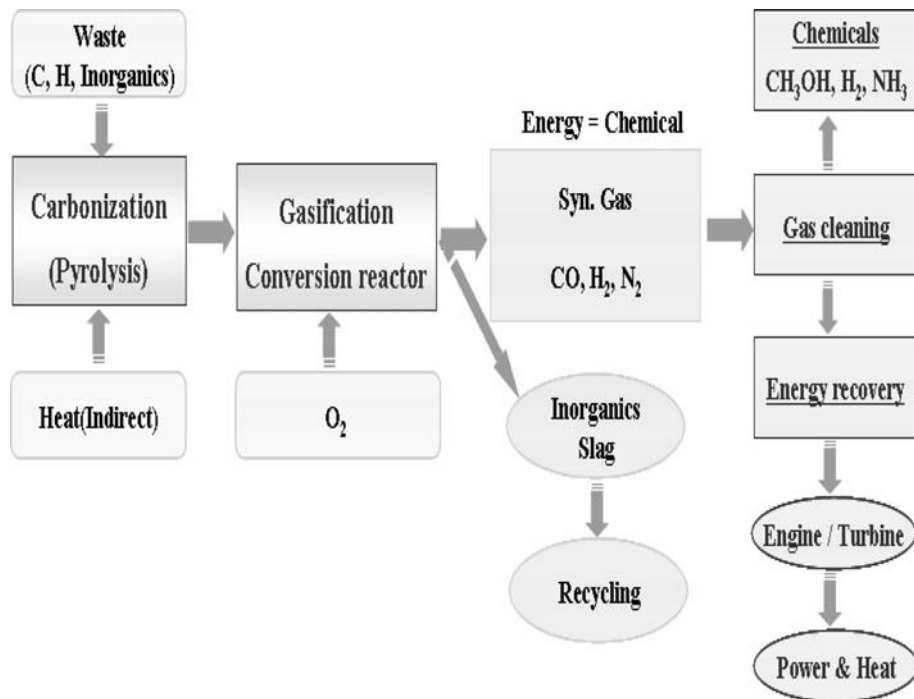


Fig. 23. 열분해, 가스화, 슬래그의 모식도.

66MW의 열을 생산할 수 있고 Forssa시가 요구하는 전체 열량과 전력의 1/3을 공급하고 있다. 핀란드에서 재생 에너지 생산을 높이기 위한 지원으로는 다음과 같은 것들이 있다.

가. 정책적 지원

핀란드의 에너지 정책은 교토의정서 이행과 핀란드 에너지 공급의 안전성을 위해 목재 및 재생에너지 자원 상용을 계속해서 증가시키는 것이다. 재생에너지에 대한 행동강령이 1999년에 실시되었고 바이오매스를 포함한 재생에너지는 전체 에너지 수요의 20%를 공급하던 1995년 수준에서 2010년 50% 수준까지 높이는 목표를 가지고 있다. 핀란드에서 전력시장의 자유화는 1995년에 이루어졌으며, 이로써 모든 생산자 및 소비자들의 축전지 활용이 가능하게 되었다. 전송요금은 법으로 규제함으로써 생산자들에게 투명성과 미래 예측을 가능하게 하였다.

나. 재정적 지원

재정지원 방안과 연구 개발은 핀란드의 재생에너지 시장 개발 및 상업화를 지원하기 위한 방법이다. 1990년 이후 화석연료에 부과되던 이산화탄소세는 1994년부터 연료 중 탄소화 에너지 용량에 따라 에너지세를 추가하여 세금이 부과되었다. 재생에너지는 이러한 세금 부과 대상에서 제외하였다. 1997년에는 전력의 사용량 정도에 따라 세금이 부과되었으며, 재생에너지는 EUR 0.042/kWh에 해당하는 세금을 환불받고 있으나 열생산 세금은 유지하고 있다. 1MW 이하의 소규모 바이오매스 공장에는 부가가치세 감면의 혜택도 주어지고 있다. 중앙 및 지방정부의 보조금으로 형성된 공익자금은 새로운 재생에너지 생산 공장 건설을 지원하는 중요한 수단이다. 투자액의 30%까지 지원되는 중앙정부 보조금은 바이오매스를 포함한 재생에너지 기술 개발에 사용되고 있다.

다. 기술 개발 및 홍보

핀란드 정부는 바이오매스 기술 산업 분야 발전을 위한 연구 및 개발에 많은 지원과 보조금을 제공하고 있다. 이러한 정책은 연소, 보일러 및 배출규제 부분에 대한 자

국 시장의 경쟁력을 높이게 하였다. 또한, 지역 에너지 관리소는 정부의 에너지관련 정보에 긴밀한 관계를 유지하고 있다. 바이오매스 관련 학회들이 혁신적인 정보를 생산하고 있으며, 외국의 관련 단체들과의 교류를 통해 보다 넓은 홍보를 하고 있다.

2.2.2. 덴마크

덴마크는 바이오매스를 주로 열을 생산하는데 이용하여 왔으나 최근에는 전력생산에도 많이 이용하고 있다. 덴마크 동부에 건설된 10개의 소규모 열병합발전(CHP, Combined Heat and Power) 시설이 있으며, 이중 하나로 1996년에 가동되기 시작한 Masnedø 공장은 벚짚, 폐목재, 폐기물 및 천연가스 등을 이용하여 8.3MW의 전력과 20.8MW의 열에너지를 생산하고 있다. 벚짚은 Masnedø 공장에서 사용하는 주요 연료원으로 연간 62×10^2 톤이 소모되고 있다. 덴마크에서 재생에너지 생산을 높이기 위한 지원으로는 다음과 같은 것들이 있다.

가. 정책적 지원

덴마크 정부는 바이오매스를 이용하여 에너지 생산을 높이기 위한 국가 에너지 정책을 시행하고 있다. 최근에는 1996년에 시작된 '에너지21' 계획이 진행 중이다. 이 계획은 1995년 1,250Ktoe(Kilo Thousand tonnes of equivalent)의 바이오매스 생산 에너지를 2005년 2,000 Ktoe로 높이려는 것으로 2005년까지 이산화탄소 배출을 1988년 수준의 20% 감소를 목표로 하는 범국가적인 목표와 같이 한다. 또한, 재생 에너지의 안정적인 시장 제공을 위해 1992년 이래 재생에너지에 유리한 관세를 적용하고 있다. 바이오매스로 생산된 전력은 지방단체에 판매되는데 생산자와 지방전력공급회사는 축전지 연결 비용을 지불하고 전송회사는 고압망에 소요되는 비용을 지불한다. 가격은 이용 시각, 사업자의 공공성 여부, 정부 보조금과 탄소세 상환 여부에 따라 다르다. 1988년 경우, 관세, 탄소세 상환, 보조금 혜택을 받은 바이오매스 에너지 평균 가격이 DKK 0.54/kWh(EUR 0.073/kWh) 이었다. CHP 설립 증가는 1990년대 초부터 전력값이 인상되질 않아 기대에 미치지 못하고 있다. 많은 기존의 공장들

이 경제적 어려움을 겪고 있으며, 전력가에 더 이상의 혜택이 없음에 따라 신규 공장 설립이 예정대로 이루어지지 못하고 있다. 1993년 바이오매스 협정에서 공장 설립 시 연료원으로 벚짚과 목재조각들의 이용율을 높일 것을 요구하였다. 이 협정은 1997년 개정되어 연료원으로 바이오매스 선택의 탄력성을 부여하였다.

나. 재정적 지원

바이오매스를 포함한 재생에너지 사용을 위한 세제 혜택에는 탄소세를 통한 보조금 지급이 있다. 이 제도를 통해 DKK 0.1/kWh(EUR 0.013/kWh)의 혜택을 받고 있다. 그러나 바이오매스 에너지는 규모에 따라 일부 보상을 받기는 하지만 황 배출에 따른 세금이 부과된다. 바이오매스 발전계획의 경제적 지원을 위해 열 생산 공장을 CHP 공장으로 전환하는 것을 지원하기 위해 비용의 10~25%에 해당하는 자금을 제공하는 법적 근거를 1992년에 마련하였다. 그 외에 상업적으로 유용한 기술자원과 홍보를 위한 재생에너지 생산시설 건설에 대해 보조금을 지급하고 있다.

2.2.3. 독일

풍력발전을 증진시키기 위한 전력공급법(Electricity Feed-in Law)의 성공 이후, 재생에너지 촉진 방향이 바이오매스 이용 측면으로 전환되고 있다. Bavaria는 지역 면적의 약 35%가 산림으로 열과 에너지 생산을 위해 목재가 많이 사용되고 있다. 이 지역에는 16개의 CHP를 포함한 100여개의 바이오매스를 이용하는 지역난방시스템이 설치되어 있다. 이 에너지 생산 공장들은 목재와 벚짚을 에너지원으로 사용하고 있다. 1995년 Sulzbach-Rosenberg 부근에 설치된 CHP에서는 4.2 MW의 전력과 16.8 MW의 열을 생산하고 있다. 생산된 에너지의 일부는 인근의 철강업에 공급되고 있으며, 1,000여 가구의 지역난방에 사용되고 있다. 톱밥 등의 목재 폐기물을 이용한 Heumarkt 지역의 CHP에서는 15 MW의 전력과 75 MW의 열을 생산하여 합판제조공장에 공급하고 있다. Altenstadt 지역에서는 CHP로부터 12 MW의 전력과 35 MW의 열을 생산하여 지역난방에 이용하고 있다. 독일

의 재생에너지 생산을 높이기 위한 지원으로는 다음과 같은 것들이 있다.

가. 정책적 지원

독일의 에너지 정책은 기후변화와 관련된 정책과 밀접하게 연관되어 있다. 재생에너지는 이러한 정책에 중요한 부분을 차지하며, 정부의 강력한 재정적 지원을 받고 있다. 지방 정부도 재생에너지를 장려하기 위한 지원책과 목표 및 각종 정책들을 마련하고 있다. 예로 Bavaria 주는 현재 9%의 재생에너지 점유율을 13%까지 높이려는 목표를 갖고 있으며, 이에 따라 바이오매스가 3% 수준에서 5%로 높아질 것으로 기대하고 있다. 전력공급법에 통해 바이오매스를 포함한 재생에너지로부터 생산된 전력에 대해 고정 가격과 시장확보를 제공하였다. 최근에는 2000년 4월부터 이행되는 개정된 법규를 통해 Biomass 에너지에 경제적으로 보다 많은 세계 혜택을 주게 되었다.

나. 재정적 지원

Bioenergy 분야의 투자에 대해서 주정부로부터 보조금 지급과 공공 은행으로부터 저리 대출 등의 재정적 혜택을 받고 있다.

다. 기술 개발 및 홍보

1970년대 이후 바이오매스 생산, 연료화 과정 및 연소 장비 등에 관한 많은 연구 개발이 수행되어왔다. 이러한 연구개발은 바이오매스를 이용한 소규모 가스 생산 시설 및 CHP 등의 새로운 기술발전을 이루었다. 아울러 벚짚과 기타 농산부산물 등의 대체 바이오매스 이용도 추진되어 왔다. 전문가로 구성된 지역 상담 센터가 일반인들에게 바이오매스 이용 기회를 높이기 위한 정보를 제공하고 있다.

2.2.4. 스페인

스페인은 이용하기 용이한 많은 양의 바이오매스 자원을 보유하고 있다. 가정과 펄프, 제지 및 목재와 같이 다

양한 산업분야에서 열을 이용하기 위한 목적으로 바이오매스를 활용중이며, CHP와 같은 에너지 생산에도 바이오매스 이용이 급속히 확대되고 있다. 이러한 증가의 요인으로는 생산된 전력의 판매시장 확보, 경제적 보조금과 다양한 바이오매스를 연료원으로 사용하는 에너지 생산 시설 개발에의 높은 관심 등을 들 수 있다. 바이오매스 계획에 따른 주요 개발자중 하나는 스페인 주 전력업체인 ENDESA이다. 이 계획에는 두 개의 CHP 공장을 포함하고 있으며, 올리브유 생산 폐기물을 이용하여 각각 16MW의 전력을 생산하고 있다. 그 외에 스페인에서 활용되는 바이오매스 폐자원에는 포도 잔해, 쌀겨, 목재, 폐기물 등이 있다. 또한, 스페인 정부는 포플라와 유칼리나무와 같은 에너지 작물 생산과 시험공장 설립에도 많은 노력을 하고 있다. 스페인에서 재생에너지 생산을 높이기 위한 자원으로는 다음과 같은 것들이 있다.

가. 정책적 지원

스페인 정부는 재생에너지의 환경에 미치는 효과와 에너지 공급의 안정성에 기여함에 따라 그 발전을 위한 자원에 적극적이다. 2000년까지 1.1 Mtoe의 재생에너지 사용을 목표로 1991년부터 2000년까지 수행된 에너지 절약 및 효율 계획(PAEE, Energy Saving and Efficiency Plan)이 수행되었다. 2000년부터 2010년까지 수행되는 새로운 계획에 따르면 2010년까지 재생에너지 사용을 전체의 12%까지 높일 것을 목표로 하고 있다. 이 목표 달성에 바이오매스를 이용한 에너지 생산 증가가 주요 역할을 할 것이다. 스페인 각자치구는 자체적으로 환경적, 경제적으로 지속성 있는 에너지 계획을 수립하고 있으며, 이 계획에 재생에너지 축진이 포함되어 있다. 재생에너지 지원의 주요 추진력은 폐자원과 같이 재생 가능한 에너지원으로부터 생산된 전력을 보조하기 위해 1990년대에 설립된 일련의 법령들이다. 이 법령들에 따르면 기존 전력요금의 평균 80~90%에 해당하는 가격으로 재생에너지를 구입하도록 보장하고 있다. 1999년부터 전력 생산자는 ESP 10.24/kWh(EUR 0.03/kWh)의 보너스를 더한 가격 중에 선택할 수 있도록 하였다. 이 법규는 합의된 연계율로 축전기에 대한 사용 보충을 제공하였다.

나. 재정적 지원

PAEE는 자금보조 형태로 20%의 제한된 보조금을 지급하였다. 그러나 계획이 예상보다 더디게 진행됨에 따라 자금 보조를 1996년부터 중·소규모에 대해 10% 추가된 30%까지 높였다. 또한, 각 자치구들도 이 분야의 투자를 위한 별도의 추가 보조를 제공하고 있다. 재생에너지원에 대한 책임이 주로 자치단체에 있음에 따라 각 지역들은 재생에너지 관련 계획 수행을 위한 조항 수립 및 행정적 절차에 대한 자치권이 있다. 이러한 책임은 새로운 계획에 대한 환경영향 평가와 같은 환경적 조항과 밀접하게 연계되어 있다.

2.2.5. 스웨덴

스웨덴은 산림자원으로부터 에너지를 생산하는 오랜 역사를 지니고 있다. 대부분의 바이오매스 에너지는 CHP 설비로부터 생산된다. 스웨덴은 넓은 면적의 산림, 재생에너지에 재정적 혜택 및 수년간 관련 연구분야에 자금지원을 하고 있다. CHP의 에너지 생산원으로 바이오매스 이용은 1990년대에 꾸준히 증가하였으며, 특히, 최근에 그 증가 속도가 높아져 현재 스웨덴 전력 수요의 약 2.5%를 공급하고 있다. 스웨덴에서 재생에너지 생산을 높이기 위한 지원으로는 다음과 같은 것들이 있다.

가. 정책적 지원

스웨덴의 전반적인 에너지 정책은 지속적인 발전과 함께 장·단기적으로 경제적 경쟁력을 갖춘 에너지를 공급하는 것이다. 이산화탄소 배출증가를 억제하기 위한 정책에 따라 스웨덴은 핵발전 용량을 단계적으로 줄일 것을 표명하였다. 새로운 재생에너지 기술개발을 위한 연구의 장기적인 지원과 재생에너지 사용 확대는 이러한 목표 달성을 위한 주요 수단이다. 스웨덴 전력시장의 자유화는 소규모 개별 발전기와 축전지를 간단히 연계시킬 수 있도록 하였다. 전력공급화사는 소규모 전력 생산자로부터 생산된 에너지를 합의된 가격에 구입하도록 규제하고 있다. 1998년 4/4분기 이후 바이오매스에너지는 시장가에 주정부에서 지원하는 S다 0.09/kWh)의 일시적

보조금을 가산한 가격으로 판매하고 있다. 소형 전력생산자는 축전기 이용료 감액의 혜택도 주어지고 있다.

나. 재정적 지원

스웨덴 정부는 바이오매스 이용 CHP 공장 설립을 위해 총 투자액의 25%까지 지원을 하는데 최고 SEK 3,000(EUR 330)까지 지원을 하고 있다. 1998년 이후, 재생에너지 생산을 위한 기술 보급 프로그램도 실시하고 있다. 1998년 4/4분기 이후에는 바이오매스 에너지는 일시적 가격 보조금의 혜택도 받고 있다. 바이오매스는 에너지세, 이산화탄소세 및 호아산화물세의 면제를 받고 있다. 에너지세와 이산화탄소세는 석탄을 사용한 에너지의 가격을 높임에 따라 새로운 전력 생산시설의 경제성을 변화시켰다. 석탄을 사용하던 많은 공공의 CHP 공장들이 바이오매스를 사용하는 시설로 변환하였다. 소규모 전력 생산시설은 연간 25GWh를 초과하는 시설에 부과하는 질소산화물세도 면제되고 있는데 이는 스웨덴에서 바이오매스 뿐만 아니라 연료에 상관없이 모든 소규모 시설에 해당된다.

다. 기술 개발

스웨덴 정부는 재생에너지 개발분야의 연구 및 기술발전을 위해 연간 SEK 400×10⁶ (EUR 36×10⁶)의 자금을 지원하고 있다. 주요 지원분야로는 연소 및 전환기술, 기술 홍보, 연료생산, 연소재의 재활용 등이 포함된다.

라. 교육 및 훈련

농민과 목재회사들은 얻어지는 부수적 수입으로 새로운 바이오매스 계획에 대한 일반 국민들의 인식을 높이는데 도움이 되고 있다. 가장 중요한 것은 스웨덴의 환경특히, 대체에너지로서 재생에너지에 대한 높은 인식이며 이러한 국민적 인식이 바이오매스와 같은 재생에너지 발전을 지지하는 원동력이 된다.

2.2.6. EU 바이오매스 기술 및 경제적 현황

지금까지 EU 국가들의 1993년부터 1999년까지의 6년간 재생에너지 사용량 변화를 살펴보기 위하여 절대량

증가와 증가율을 조사하였으며, 그 결과 많은 나라들이 높은 사용량 증가 또는 증가율을 나타내었다. 초기에 재생에너지 사용이 적었던 나라들은 1999년에도 실질적인 생산량은 적지만 기간 중 높은 증가율을 보였다. 반면에 1993년에 이미 사용량이 높았던 나라들은 낮은 증가율을 보였으나 전체 사용량은 높은 수준이었다. 재생 에너지 사용의 성공 여부는 보급 확대를 위해 많은 장애물들을 극복한 후에 성취될 수 있다. 보급 확대를 위한 요인들로는 정치적, 제도적, 재정적, 행정적인 지원과 기술개발, 홍보, 교육 및 훈련 등이 있는 것으로 사료된다.

한편, 1999년 5월에 발표된 유럽공동연합(EU)의 신재생 에너지 백서는 “도약의 캠페인 계획(Campaign for Take-off)”이라 명명된 21세기 대체에너지 실행계획이 수록되어 있다. 여기서 2010년까지 대체에너지의 공급을 총 소비 에너지의 12%로 늘리려고 하는데, 그 중에서 폐기물을 포함하는 바이오에너지의 공급 비중을 74%로 예측하여 총에너지 소비의 8.9%를 바이오에너지로 공급한다고 하였다 (Table 1).

이와 같은 EU의 바이오에너지 공급계획은 지금도 유럽에는 상당량 보급되고 있는 뿔감을 이용한 가정난방, 지역난방 및 열병합 발전 그리고 LFG 등을 포함하는 메탄가스 발전을 상당량 포함하고 있는 것이기는 하지만 바이오디젤 및 바이오 에탄올도 2010년까지는 연간 500만톤(1999년 140만톤) 정도로 확대·보급할 계획인 것이다. 이를 위하여 1999년 현재 가솔린에 비해 3배 비싼 바이오 에탄올의 보급확대를 위하여 범 EU권의 세금감면 조치를 검토 중이며 위 목표를 달성하기 위해 1997-2010년간 총 투자비 840억 ECU (총대체에너지 기술개

Table 6. EU의 바이오에너지산업 육성전략

□ “도약의 캠페인 계획” “Campaign for Take-off” ; 21세기 대체에너지 실행계획 · 2010년까지 총에너지소비 중 대체에너지 비중을 12%로 높인다는 목표 · 2010년 생산 대체에너지중 바이오에너지 비중은 74% (1차 에너지 소비의 8.9%), EU는 생활 폐기물 소각 등을 바이오에너지로 분류 · 10,000 MWh(열출력) 의 바이오매스 열병합 발전 · 100만호 바이오매스 개별난방 · 1,000MWe 메탄가스 발전 · 500만톤 바이오에탄올/디젤 공급

(주) 자료 : 1999년 EU 신재생에너지 백서, 1999. 5

발 투자비 : 1,654억 ECU)를 바이오 에탄올 및 메탄가스 화 보급 확산을 위해 투자할 계획이라는 것이다.

2006년 EU 집행위원회는 2월 8일 ‘바이오 연료전략 (EU Strategy for Biofuels)’을 채택하였다. 이 보고서에는 농업활동을 통해 생산되는 원자재에서 연료를 생산하는 기술에 대한 연구 지원, 법규 정비 등과 관련된 야심 찬 계획이 담겨있다. 2005년 12월 채택된 ‘바이오매스 행동계획 (Biomass Action Plan)’에 근거한 이 전략 보고서는 다음과 같은 세 가지 주요 목표를 제시하고 있다.

- 첫째, EU와 개발도상국에서의 바이오 연료 생산을 촉진한다.
- 둘째, 비용 측면에서 바이오 연료의 경쟁력을 제고하고 차세대 연료 개발을 위한 연구를 촉진함으로써 바이오 연료가 광범위하게 사용되도록 준비한다.
- 셋째, 바이오 연료 생산을 통해 지속가능한 경제성장을 촉진할 수 있는 개발도상국들을 지원한다.

EU는 바이오 연료 사용을 증대함으로써 여러 측면에서의 편익을 거둘 수 있을 것이라고 기대하고 있다. 첫째, 수입되는 화석 연료에 대한 EU의 의존도를 낮춘다. 둘째, 온실 가스 배출량을 줄인다. 셋째, 농업인들에게 새로운 기회를 제공한다. 넷째, 여러 개발도상국들에는 새로운 경제적 가능성을 제공한다.

이날 EU 집행위원회 농업 및 농촌개발 총국 위원 마리안 피셔 보엣은 “급격히 오른 유가는 여전히 그대로 머물러 있습니다. 우리는 교토 의정서에 따라 이행해야 할 엄정한 목표를 눈앞에 두고 있습니다. 러시아로부터의 천연 가스 수입을 둘러싼 최근의 논쟁을 통해 알 수 있듯이 유럽의 에너지 자급은 매우 중요한 사안이 되고 있습니다. 바이오 연료 생산을 위한 원자재를 공급함으로써 유럽의 농업인들은 새로운 기회를 맞이할 수 있습니다.”라고 논평하면서 이 계획에 대한 전폭적인 지지를 시사했다. EU의 바이오연료 생산전략을 담고 있는 EU 집행위원회 보고서의 내용을 요약·소개하면 다음과 같다.

EU에서 지구 온난화의 원인이 되는 온실 가스 배출

총량의 21%가 교통수단으로부터 나오는 것으로 추산되고 있으며, 그 비율은 점점 높아지고 있다. 지속가능성이라는 목표를 달성하려면, 특히 교토 의정서에서 합의된 온실가스 배출량 감소 목표를 달성하려면, 교통수단으로부터의 온실가스 배출을 줄일 방법을 찾는 것이 필수적이다. 이는 쉬운 과제가 아니다. EU의 교통 부문에서 사용되는 에너지의 거의 전부가 석유로부터 나오는 것이다. 그런데 석유의 부존량은 제한되어 있고 그것도 세계 몇몇 지역에서만 생산된다. 새로운 석유 매장지가 있다 하더라도 그것을 활용하기는 점점 더 어려워질 것이다. 따라서 미래의 에너지 안보는 수입 의존도를 낮출 뿐만 아니라 에너지원 다양화와 기술 개발을 위한 광범위한 정책 사업을 어떻게 수행하는가에 달려있다.

EU에서는 이미 광범위한 활동이 전개되고 있다. 교통수단 제조업체들은 더욱 정정하고 에너지 효율성이 높은 새로운 모델을 개발하고 있다. 대중교통을 개선하는 노력도 진행되고 있다. 그리고 될 수 있는 한 환경친화적인 교통수단을 사용하도록 촉진하는 노력도 진행되고 있다. 그러나 교통수단에 사용되는 에너지의 양을 줄이기 위한 노력은 더욱 진행되어야 한다.

2005년 10월 햄프톤 코트(Hampton Court)에서 개최되었던 비공식 EU 회원국 정상회의에서 EU 집행위원회는 유럽의 에너지 정책 재활성화 방안을 제안하도록 요청 받았다. 그것은 수입 석유 및 천연 가스에 대한 유럽의 과도한 의존 문제를 해결하고, 그러한 의존도를 낮추기 위한 방안으로서 확고한 경제적·환경적·사회적 영향 평가에 기초한 새로운 접근방법을 개발해야 함을 뜻하는 것이었다.

바이오매스를 가공하여 생산하는 재생 가능한 에너지 원으로서, 바이오 연료는 교통수단에 있어서 화석연료의 직접적인 대체물이다. 그리고 기존의 흑석 연료 공급체계 안에 쉽게 통합될 수 있다. 바이오 연료가 대부분 화석 연료에 비해 비용이 많이 들지만, 전 세계적으로 바이오 연료 사용이 증가하고 있다. 정책에 힘입어 생산되는 전 세계 바이오 연료 생산량은 현재 350억 리터 이상이 될 것으로 추산된다.

이 보고서는 그러한 맥락에서 바이오 연료가 할 수 있

는 역할에 대해 검토하고 있다. 2005년 12월에 수립된 '바이오매스 행동계획'을 보완한 것이며, 여러 가지 정책적 선택에 대한 영향평가 내용을 담고 있다. 바이오 연료의 문제는 복잡하고 여러 부문들과 관련을 맺고 있으며 진행상황이 역동적이다. 그렇기 때문에 EU의 접근방법은 전략적이어야 하며, 바이오 연료의 생산과 활용이 가져올 영향에 대해서 주의 깊게 모니터링 해야 한다. 바이오 연료 시장의 진화과정에 맞추어, 전략은 적절하게 수정될 것이다.

'바이오매스 행동계획'은 재생 가능한 에너지 생산을 위해 모든 종류의 바이오매스 사용을 촉진하는 다양한 활동들을 제시하고 있다. 이 전략 보고서는 그러한 활동들의 목표를 세 가지로 정리하고 있다.

- (1) EU와 개발도상국에서의 바이오 연료 생산 및 이용을 촉진한다. 그것은 환경적인 측면에서 전 지구적으로 긍정적인 결과를 가져올 것이다.
- (2) 바이오 연료 생산만을 목적으로 하는 작물을 최적화된 수준에서 재배함으로써 바이오 연료 사용의 비용 경쟁력을 제고하고, 차세대 바이오 연료에 대한 연구를 수행하며, 시범사업의 규모를 확대하고 비 기술적 무역장벽을 철폐함으로써 바이오 연료의 시장 진입을 지원한다.
- (3) 바이오 연료 생산 원재료나 바이오 연료 자체를 생산하는 개발도상국들을 지원함에 있어, EU의 역할을 모색한다.

가. 일세대 바이오 연료

현재 대부분의 교통수단들에서 일세대 바이오 연료를 기존의 연료에 낮은 비율로 혼합하여 사용하는 것이 가능하다. 그리고 일세대 바이오 연료를 기존 인프라구조를 통해 유통하는 것도 가능하다. 어떤 디젤 교통수단은 100% 바이오디젤(B100) 연료로 운행할 수 있다. 디젤이나 휘발유를 바이오 연료로 운행할 수 있다. 디젤이나 휘발유를 바이오 연료로 좀 더 많이 대체하는 것이 교통 부문이 교토 의정서의 목표에 직접적으로 대응하는 가장 간단한 방법이다. 그러나 현재의 기술 수준으로는 비용 측면에서 EU에서 생산되는 바이오 연료가 화석 연료에

비해 경쟁력을 갖기 어렵다. EU에서 생산되는 바이오 디젤은 원유가격이 배럴당 60 유로 이상이 되어야 겨우 경쟁이 가능하다. 바이오 에탄올은 원유가격이 배럴당 90 유로 정도일때 경쟁력을 갖게 된다.

바이오 연료전략이 성공하려면 원료작물 공급이 결정적으로 중요한 문제가 된다. 현재 공동농업정책의 일부 조항은 필요한 경우 재검토하고 변경될 것이다. 세계 무역에 있어서 바이오 연료의 교역량 증가가 예상되는데, 이 또한 EU 다른 국가들에서의 바이오 연료 수급의 안정화에 도움이 될 것이다.

대안적 연료 생산 시설을 건설하고, 새로운 유형의 엔진을 도입하고, 연료유통체계를 조정하는 일은 장기적인 투자를 수반한다. 그러한 장기 투자가 이루어지려면 시장 수요가 안정적이라는 전망이 전제되어야 한다. 이는 시장의 논리에 기초한 효과적인 인센티브 체계를 통해 기존의 공급 중심의 정책 수단들을 보완할 필요가 있음을 뜻한다.

나. 차세대 바이오 연료와 그 이후

가장 유명한 차세대 바이오 연료 기술 중 하나인 ligno-cellulosic 처리 기술은 이미 상당히 진보해 있다. 유럽에서는 스웨덴, 스페인, 덴마크에 각 1개소씩 시범공장이 설립되어 있다. Biomass를 액화 바이오 연료(BtL)로 전환하는 다른 기술들로는 Fischer-Tropsch 바이오디젤과 bio-DME (디메틸 에테르)가 있다. 독일과 스웨덴에서 그 시범공장이 운영되고 있다. 합성천연가스(Synthetic natural gas, SNG)는 화석연료뿐만 아니라 재생 자원으로로부터도 생산될 수 있다. 재생 SNG는 이산화탄소 감소 측면에서 큰 이점을 갖고 있으며, 여타의 기체 연료 개발에 있어 결정적인 도약의 단계가 될 것이다.

비용 측면에서 경쟁력 있는 바이오 연료의 대규모 사용을 준비하려면, 성공적인 신기술에 대한 지속적인 연구개발이 진행되어야 한다. '유럽 바이오 연료 기술 플랫폼(European Biofuels Technology Platform)'이 중요한 역할을 할 수 있다. 바이오 연료 전용 원료작물 개발에 그리고 바이오 연료 생산에 활용 할 수 있는 원자재의 범위를 넓이는 일에도 노력을 기울여야 한다. 그리고 민간

부문의 장기 투자를 촉진하려면 모든 관련 당사자들 사이의 동반자 관계가 필요하다. '유럽투자은행(European Investment Bank)'이 경제적으로 가능성 있는 기술개발 프로젝트를 지원할 것이다.

진일보한 바이오 연료 기술은 이산화탄소 배출 문제를 말끔히 해결하는 수소 연료 기술 전의 중요한 단계가 될 것이다. 현재, 수소 연료 기술의 적용에는 새로운 엔진 기술과 수소를 생산하고 유통하는 데 필요한 새로운 시스템 구축에 드는 막대한 비용이 수반된다. 이러한 배경에서 수소 연료의 지속가능성 문제를 면밀하게 검토할 필요가 있다. 따라서 수소 연료를 채택하는 교통수단의 도입은 매우 중요한 의사결정 사항이며, 대규모의 장기적인 전략 하에서 논의되어야 한다.

다. 개발도상국과 바이오 연료

열대 환경에서 Biomass 생산성이 가장 높다. 그리고 많은 개발도상국들에서는 바이오 연료, 특히 에탄올의 생산 비용이 비교적 저렴하다. 바이오에탄올의 주요 생산국인 브라질에서는 현재 사탕수수로부터 생산되는 바이오에탄올이 화석 연료와 경쟁하고 있는 상황이다. 그리고 바이오디젤의 경우, 전 세계적으로 EU가 주요 생산지이다. 말레이시아, 인도네시아, 필리핀 등의 개발도상국들이 현재 내수용으로 바이오디젤을 생산하고 있는데, 수출잠재력을 신장시켜 나갈 것으로 예상된다.

일반적으로 바이오 연료 생산은 농업활동의 다양성을 증진할 기회를 제공 할 수 있다. 그리고 화석 연료(주로 석유)에의 의존성을 낮추고 지속가능한 방식의 경제성장에 기여할 수 있다. 그러나 바이오 연료를 생산하고 있는 기존의 개발도상국들마다 처한 환경적, 사회적, 경제적 상황이 각기 다르다는 점을 인식할 필요가 있다.

개발도상국에서의 바이오 연료 생산과 이용에 대한 전망이 다양하게 나오는 것은 생산되는 원료작물과 여러 가지 경제적 요인들과 관련이 있다. 무엇보다도 국제 원유 가격이 중요한 결정 요인이다. 그밖에도 잠재적 생산 규모, 국내 시장 규모, 필요한 인프라구조 투자 규모, 정책 지원, (EU, 미국, 일본, 중국 등에 대한) 수출 가능성, 원료작물의 시장 가격 등이 중요한 요인으로 작용한다.

원료작물 생산 규모가 크게 확대되는 나라에서는, 환경민감지역(예: 열대우림지역)에 대한 압력 등과 같은 환경적 우려가 발생할 가능성이 있다. 통야 비옥토나 수자원의 양과 질에 대한 영향과 농약 사용에 관하여 환경적 우려가 있을 수 있다. 바이오 연료 생산과 식량 생산 사이의 경합을 두고 사회적인 갈등도 있을 수 있다. 이러한 관심사들은 구체적인 조사와 분석을 필요로 하는 것들이다. 조사·분석 결과에 따라서 필요한 경우에는 강력한 규제 틀을 만들어 대처해야 할 것이다. EU의 개발 정책은 개발도상국들이 바이오 연료 개발을 통해 편익을 얻으면서도 그러한 우려에 적절한 방식으로 대응할 수 있도록 지원할 것이다.

라. 바이오 연료 전략: 정책의 7대 축

1) 바이오 연료에 대한 수요 촉진

- (1) EU 집행위원회는 '바이오 연료지침(Biofuels Directive)' 개정을 위해 2006년 안에 보고서를 작성·제출할 계획이다. 이 보고서는 특히 바이오 연료의 국가별 시장 점유율 목표 설정 문제를 다룰 예정이다.
- (2) EU 회원국들이 바이오 연료 관련 법제를 통해 차세대 바이오 연료에 특별히 관심을 기울이도록 촉구할 것이다.
- (3) 청정하고 효율적인 교통수단을 공공 부문에서 공급하려는 목적으로 최급에 채택한 입법 제안을 'EU 이사회(EU Council)'와 '유럽 의회(European Parliament)'가 조속한 시일 내에 승인하도록 촉구할 것이다.

2) 환경적 편익 확보

- (1) 바이오 연료를 이용할 경우, 자동차 부문 이산화탄소 배출량 감축 목표 달성에 얼마나 도움이 될 것인지를 검토한다.
- (2) 바이오 연료를 이용함으로써 최적의 온실 가스 감축 효과를 보장하기위한 정책 수단을 탐색하고 제안한다.
- (3) EU와 제3국들에서 바이오 연료 원료작물 재배의

- 지속가능성을 확보하기 위해 노력한다.
- (4) 정유에 포함될 수 있는 에탄올, 에테르, 증기 함량과 경유 안의 바이오 디젤 함량에 대한 제한 문제를 검토한다.
- 3) 바이오 연료 생산 및 유통
- (1) EU 회원국들이 각 국가별로 기준을 준비하면서 바이오 연료와 기타 바이오 에너지의 편익에 대해서 검토하도록 권장한다. 그리고 유럽 통합 정책과 농촌개발 정책 하에서 실행 계획을 검토하도록 권장한다.
- (2) 국가 농촌개발 정책 프로그램 안에서 바이오 연료와 관련된 농촌개발 기회의 문제를 포함하여 광범위한 바이오매스 관련 문제들을 검토하도록, 특별 작업반을 구성한다.
- (3) 바이오 연료 도입을 가로막는 장벽으로 가능하는 활동들에 대해서 관련 산업체들이 그 기술적 정당성을 소명하도록 요구하며, 그 산업체들의 형태가 바이오 연료에 대해 차별적이지 않도록 감시한다.
- 4) 원료작물 공급 확대
- (1) 휴경지에서의 비식용 작물 재배 시에 지급되는 보조금 기준과 에너지 작물 재배 시 지급되는 보조금 기준에 바이오에탄올 생산을 위한 사탕 작물도 해당되도록 제도를 정비한다.
- (2) 공공부문이 비축하고 있는 기존의 곡물 재고분을 가공하여 바이오 연료로 전환하는 문제에 대해 그 타당성을 평가한다. 이는 또한 수출환급금을 지급해야 하는 곡물 재고량을 줄이는데도 기여할 것이다.
- (3) 2006년 말까지 에너지 작물 정책을 시행한다.
- (4) 바이오 연료 수요가 상품 및 부산물 가격에 어떤 영향을 주는지 모니터링한다. EU와 개발도상국들에서 바이오 연료 수요의 변화가 식품 수급 및 가격에 어떤 영향을 줄 수 있는지에 대해서도 검토한다.
- (5) 농업인과 산림 소유자들에게 에너지 작물의 특성과 에너지 작물 재배가 가져올 수 있는 경제적 기회에 대해 정보를 제공하는 캠페인을 재정 지원한다.
- (6) 임산물을 에너지 용도로 사용하도록 하는 내용이 중요한 비중을 차지하는 '산림행동계획(Forestry Action Plan)'을 준비한다.
- (7) 바이오 연료 생산을 위한 대안적 가공기술로서 동물 부산물 처리를 촉진하도록 관련 법규를 어떻게 개정할 수 있는지 검토한다.
- (8) 폐기물의 2차 사용을 위한 기준을 명백하게 하려는 목표를 제안되어 있는 현재의 정책 메커니즘을 실행한다.
- 5) 교역 기획 증진
- (1) 바이오 연료에 적용되는 별도의 무역상품 분류를 제안하기에 앞서 그 장점, 단점, 법률적 합의 등에 대해 평가한다.
- (2) 현재 발효 중인 무역협정보다 더 우호적인 수준으로 바이오에탄올의 시장접근 기회를 유지한다.
- (3) 에탄올 생산국과의 향후 무역협상에 있어 균형 잡힌 접근방법을 추구한다. EU는 역내 바이오에탄올 생산자와 무역 상대국의 이해를 모두 존중할 것이다.
- (4) 바이오디젤 생산을 위해 보다 광범위한 종류의 유지류 작물을 활용할 수 있도록 바이오디젤 기준 개정안을 제안한다. 그리고 바이오디젤 생산에 있어 메탄올을 에탄올로 대체하는 것을 허용한다.
- 6) 개발도상국 지원
- (1) EU의 설탕 부문 개혁에 영향을 받는 국가들에 적용될 예정인 '설탕 프로토콜(Sugar Protocol)'이 바이오 연료 생산을 돕도록 한다.
- (2) 바이오 연료 생산 잠재력을 갖춘 개발도상국에서 활용될 수 있는 '바이오 연료지원 패키지(Biofuels Assistance Package)'를 마련한다.

- (3) 국가 수준에서의 바이오 연료 플랫폼 발전과 지역(region) 수준에서의 친환경적으로 그리고 경제적으로 지속가능한 바이오 연료 행동계획을 EU가 가장 잘 지원할 수 있는 방안을 검토한다.

7) 연구개발 지원

- (1) '제7차 기본 틀 프로그램(the 7th Framework Programme)'에 따라 이루어지는 바이오 연료 개발 및 바이오 연료 산업 경쟁력 강화 지원 사업을 지속적으로 추진한다.
- (2) 식물 원료에서 바이오 연료를 정제 추출하는 기술과 차세대 바이오 연료 개발에 관한 연구에 우선순위를 둔다.
- (3) 산업체들이 주도하는 바이오 연료 기술 플랫폼 개발을 지속적으로 장려하고, 여타의 유관 기술 플랫폼을 동의한다.
- (4) 그러한 기술 플랫폼들이 준비하는 '전략적 연구 의제(Strategic Research Agendas)' 실행을 지원한다.

참고문헌

1. Y. Ishida, K. Hata, K. Tanifuji, T. Hasegawa, and K. Kitagawa, "Effective and Selective Hydrogen Formation from Biomass Through Hydrothermal Reaction," Proceeding of the 3rd International Energy Conversion Engineering Conference, AIAA-2005-5542, 2005.
2. Y. Ishida, H. Taki, H. Oyama, K. Kitagawa, and K. Matsumoto, "Discriminative Determination of Hydrogen Gas Formed from Tandem CO₂ Reforming of Methane and Shift Reaction by Isotope labeling Followed by Cryogenic Gas Chromatography," Fuel, under review, 2006.
3. N. Sugimoto, Y. Ishida, Y. Shimizu, K. Kitagawa, and T. Hasegawa, "Analytical Chemistry Study on Hydrogen Formation from Biomass by Hydrothermal Process," Proceeding of the 4th International Energy Conversion Engineering Conference, under review, 2006.
4. Y. Ishida, K. Kitagawa, H. Ueno, and H. Ohtani, "Characterization of Polyphenols in Wood by MALDI-MS," 53th Annual Meeting of The Japan Society for Analytical Chemistry, September, Chiba.
5. K. Wakamatsu, and M. Fukayama, "Study on Wet Combustion Under High Temperature and Pressure Conditions," T. Hasegawa, 42nd Symposium (Japanese) on Combustion, December, Gifu.
6. M. Fukayama, K. Oryoji, and T. Hasegawa, "Simulation of Wet Combustion Under High Temperature and Pressure Conditions," 42nd Symposium (Japanese) on Combustion, December, Gifu.
7. Y. Ishida, K. Kitagawa, A. Nakayama, and H. Ohtani, "Direct Analysis of Bacterial Lipids by Reactive Pyrolysis GC and MALDI-MS," Asia Young Analytical Chemist Sessions-Tokyo Conference 2004-, August 31-September 3, International Conference Hall, Makuhari Messe.
8. H. Mishima, Y. Ishida, K. Kitagawa, and T. Hasegawa, "Gasification of Fuels Through Hydrothermal Reaction," The 42nd National Heat Transfer Symposium, June, Sendai.
9. M. Fukayama, K. Wakamatsu, K. Oryoji, and T. Hasegawa, "Thermal Energy Generation by Hydrothermal Oxidation," The 42nd National Heat Transfer Symposium, June, Sendai.
10. Y. Ishida, K. Hata, K. Tanifuji, T. Hasegawa, and K. Kitagawa, "Effective and Selective Hydrogen Formation from Biomass Through Hydrothermal Reaction," The 42nd National Heat Transfer Symposium IECEC2005 Pre-symposium, June, Sendai.
11. N. Sugimoto, Y. Ishida, T. Hasegawa, and K. Kitagawa, "Study on Hydrothermal Gasification Mechanism of Biomass by Isotope Labeling Followed by Cryogenic GC," 54th Annual Meeting of The Japan Society for Analytical Chemistry, September, Nagoya.
12. Y. Ishida, K. Kitagawa, H. Ueno, H. Ohtani, Y. Honma, and A. Inai, "Correlation Analysis Between Structures and Antioxidant Property of Tannins," 54th Annual Meeting of The Japan Society for Analytical Chemistry, September, Nagoya.
13. M. Fukayama, K. Hirotsuka, K. Tsuchida, Y. Ishida, K. Kitagawa, and T. Hasegawa, "Acquirement of Thermal Energy from Hydrothermal Oxidation," 43nd Symposium (Japanese) on Combustion, December, Tokyo.
14. H. Tang, Y. Ishida, T. Hasegawa, and K. Kitagawa, "Supercritical Water Gasification of Biomass: Lumped Kinetics," International Symposium on EcoTopia Science 2005 ISETS2005, August, Nagoya University.
15. M. Fukayama, K. Wakamatsu, K. Oryoji, and T.

- Hasegawa, "Thermal Energy Production by Hydrothermal Oxidation," International Symposium on EcoTopia Science 2005 ISETS2005, August, Nagoya University.
16. H. Mishima, Y. Ishida, K. Kitagawa, and T. Hasegawa, "Gasification of Fuel by Hydrothermal Reaction," International Symposium on EcoTopia Science 2005 ISETS2005, August, Nagoya University.
 17. Y. Ishida, K. Hata, K. Tanifuji, T. Hasegawa, and K. Kitagawa, "Effective and Selective Hydrogen Formation from Biomass through Hydrothermal Reaction," The 3rd International Energy Conversion Engineering Conference, August, San Francisco.
 18. N. Sugimoto, K. Tanifuji, Y. Ishida, T. Hasegawa, K. Kitagawa, "Study on Mechanisms for Hydrothermal Gasification of Biomass by GC with a Cryogenic Separation Column," 7th World Congress on Recovery, Recycling and Re-integration, September, Beijing, China.
 19. T. Hasegawa, K. Wakamatsu, M. Fukayama, and K. Hirosaka, "Energy Production by Hydrothermal Oxidation of Ethanol," 7th World Congress on Recovery, Recycling and Re-integration, September, Beijing, China.
 20. H. Tang, Y. Ishida, T. Hasegawa, Y. Xie, and K. Kitagawa, "Supercritical Water Gasification of Glucose: An Investigation of Thermodynamics and Kinetics," 7th World Congress on Recovery, Recycling and Re-integration, September, Beijing, China.
 21. N. Sugimoto, Y. Ishida, T. Hasegawa, and K. Kitagawa, "Study on Mechanisms for Hydrothermal Gasification of Biomass by GC with a Cryogenic Separation Column," 11th International Symposium on Advanced Techniques and Applications (ATA 2005), November, Kyounghnam University, Masan, Korea.
 22. 이상필, 강현무, 박동운, 바이오매스, 한국과학기술정보연구원, 2002.
 23. EU, White Paper on Renewable Energy, 1999.
 24. <http://www.eufors.org/index.php?id=28>
 25. europa.eu.int/comm/energy/res/biomass_action_plan/index_en.htm - 22k -biomass action plan
 26. <http://www.euractiv.com/Article?tcmmuri=tcm:29-151318-16&type=News>
 27. European Environment Agency. 2001.
 28. Renewable energies: success stories.
 29. Environmental issue report No 27 pp. 66~89.
 30. European Biomass Industry Association.
 31. Bioenergy: Diversified Systems to Convert Biomass Resources into Heat, Power and Transportation Fuels. EUBLA
 32. International Energy Agency.
 33. Task 29: Socioeconomic Aspects of Bioenergy System. IEA pp. 6~7.
 34. 이종식, 고문환, 박우균, 안중웅. EU의 Biomass를 이용한 에너지 생산. 한국국제농업개발학회지 15(3) 172-178, 2003.

이상천



- 일리노이 주립대학 화학 석사
- 일리노이 주립대학 물리화학 석사
- 일리노이 주립대학 분석화학 박사
- 미국 Ames 국립연구소 연구원
- 경남대학교 공과대학 나노공학과 교수
- 전국 과학영재교육원 협의회 회장
- 한국질량분석학회 부회장
- 국가연구개발사업 평가조정위원회 평가조정 위원