

저공해 승용차 대체연료의 특성 및 연구현황

Characteristic and Research Status of Low-Polution Motors Alternative Fuel

김 문 헌, 홍 종 준, 이 영 우
M. H. Kim, J. J. Hong, Y. W. Lee



金 文 憲

- 1944년 5월생
- 저공해 기관의 개발을 위한 출력성능 및 배기성능에 관한 실험 연구
- 숭실대학교 기계공학과



洪 鍾 俊

- 1934년 11월생
- 저공해 승용차 대체연료 전환 타당성 조사 연구
- 한국에너지 기술연구소 바이오매스 연구팀



李 永 雨

- 1956년 4월생
- 목질계 바이오매스로부터 수송용 연료 에탄올 생산 연구
- 한국에너지 기술연구소 바이오매스 연구팀

11월 현재 400만대를 돌파하였고, 1993년에는 760만대로 증가될 예정이므로 수송용 연료를 100% 수입에 의존하고 있는 우리나라로서는 수송용 연료의 공급원을 다원화하지 않으면 안될 입장에 처해 있다. 또한 미국을 위시한 선진국에서 저공해 자동차의 사용을 점차 의무화하고 있고, 우리의 환경적 측면을 고려해 보더라도 가솔린 대체 저공해 차량의 보급을 위해 저공해 연료의 생산 및 저공해 자동차 제조에 따르는 제반 연구개발이 시급한 일이라 하겠다.

현재까지 가솔린 대체연료로서 사용 또는 개발중인 저공해 연료로는 크게 메탄올, 에탄올, 천연가스, 전기, 수소 및 신규가솔린(Reformulated gasoline)을 들 수 있는데 이중 알콜(메탄올 및 에탄올)연료는 기존 사용되는 내연기관의 구조를 크게 변형시키지 않고도 사용이 가능하며 천연가스와 더불어 가까운 장래에 국내 보급이 가능한 대체연료로 평가되고 있다.

따라서 본 연구는 1차년도 사업으로 저공해 연료 및 저공해 자동차의 특성을 조사하고 국내의 저공해 연료 및 저공해 자동차의 연구개발 동향을 파악하여 문제점을 분석 정리함으로써 궁극적으로 대체연료 자동차의 실용화에 따른 자동차 연료의 다원화 및 탈석유화 실현에 공헌하고자 한다.

1. 서 론

최근의 페르시아만 사태에서 볼 수 있는 바와 같이 안정적인 에너지원의 확보는 정치적 외교적 및 경제적 측면에서 매우 중요한 의미를 갖게 된다.

우리나라도 국민생활 수준의 향상과 더불어 국내 자동차 보유 대수는 이미 1991년

여기서 소개한 내용은 한국에너지 기술 연구소 바이오매스 연구팀이 주관하는 저공해 승용차의 대체연료 전환 타당성 조사연구 (1)의 일부분으로 저공해 승용차 대체연료의 특성 및 연구현황을 소개하고자 한다.

2. 대체연료의 특성

일반적으로 저공해 연료가 가져야 할 특성은 NOx, 탄화수소 및 알데히드의 발생량이 적고, CO, 분진 및 발암성(또는 유해물질)물질과 온난화가스인 CO₂, N₂O, CH₄의 발생량이 적으며 S 나 N 성분을 함유하지 않아야 한다.

대체연료의 장단점을 비교함에 있어서 주의할 점은 대체연료를 사용하게 될 자동차의 제반장치가 계속적으로 변화 발전해가고 있다는 것이다. 또한 대체연료의 공급수요의 변화, 사회 일반인의 대체연료 사용에 대한 인식의 변화 및 정책 입안자와 보급주체의 의지 등에 따라 장기 또는 단기적으로 대체연료 각각에 대한 우열의 평가가 달라질 수 있다.

따라서 본 장에서는 각 대체연료의 일반적인 특성을 가솔린과 비교하는데 초점을 맞추고자 하였다.

2.1 에 탄 율

에탄올은 메탄올과 비슷한 특성을 지니고 있다. 메탄올의 공급이 현 수준에서 용이한데 비해 에탄올은 식품산업과 관련이 깊어 값으로 안정적인 공급을 하는데 문제가 있다. 나무로부터 수송용 에탄올 연료를 제조하는 연구계획이 많이 추진중에 있으나 결과는 좀더 관망해야 할 형편이다.

에탄올은 메탄올에 비해 유독성이 적어 일반 대중이 취급하기에 용이하며 이미 잘 알려진 물질이라 보급상 유리한 점이 있다. 열량은 메탄올에 비해 높지만 가솔린에 비해 1/3 정도 작기 때문에 같은 주행거리에 대한 연료탱크 크기가 커야 한다. 옥탄가는 메탄올과 같은 수준이고 증기압이 낮고 중발열이 커서 시동성에 문제가 있다.

에탄올은 이미 미국과 브라질에서 가솔린과 혼합하여 이른바 gasohol 로 사용되어오고 있으므로 자동차개발 보다는 여하히 저렴한 에탄올을 공급하느냐에 주로 관심이 모아지고 있다. 에탄올은 가솔린에 비해 휘발성이 낮고 발화한계 농도가 높아 쉽게 착화되지 않기 때문에 수송중에 일어날 수 있는 안전사고의 위험이 적다.^{1,2)} 또한 가솔린의 경우 만큼 연소시 불꽃이 잘 보이지 않지만 메탄올과 달리 충분히 육안으로 감지될 수 있다.

식용 에탄올과의 혼돈을 피하고 유통구조(주세... 등등)에 혼선을 빚지 않기 위해서 일반인이 음용할 수 없도록 불쾌한 맛과 냄새가 나는 첨가제를 사용할 필요가 있다.

2.2 메 탄 율

메탄올은 Wood Alcohol 로 알려져 있으며 보통은 천연가스로부터 제조되며 가벼운, 휘발성 알콜이다. 가솔린의 옥탄가가 약 89 정도인데 비해 메탄올의 옥탄가는 101.5 로 고압축 엔진에 사용이 가능하나 가솔린에 비해 체적당 에너지량이 절반이므로 같은 주행거리에 대해 두배에 해당하는 연료탱크가 필요한 단점이 있으며 또한 가솔린 보다 증기압이 낮고, 가솔린에 비해 저온시동성이 현저히 떨어진다.

메탄올은 일반 대중에게 잘 알려져 있는 대체연료이기 때문에 보급이 용이하며 지구상에 풍부하게 부존되어 있는 천연가스, 석탄 및 나무로부터 제조할 수 있기 때문에 장기적인 연료공급이 가능하다.

2.3 그 밖의 대체연료

알콜 이외의 대체연료로서 천연가스가 이미 사용되고 있고 전기 및 수소연료는 아직 시험단계이며 신규격 가솔린은 현재 사용되고 있는 가솔린의 문제점을 보완하는 내용으로 알콜연료와 크게 구별되어 질 수 있다.

천연가스의 주성분은 메탄가스로서 지구상에 풍부하게 부존되어 있으며 옥탄가도 120 ~ 130으로 매우 높으나, 3000 psi 에서 부피당 열량은 가솔린의 1/4 밖에 되지 않는다.

따라서 연료탱크는 고압용이어야 하고 기술된 차량에 비해 같은 주행거리에 4배의 크기를 가져야 한다는 문제점이 있다. 또한 천연가스를 자동차연료로서 사용할 경우 연료공급체계를 기존의 기술된 연료공급체계와 연계시킬 수 없고 연료 충전속도도 느리다.

가벼운 기체인 수소는 연료탱크와 연료공급 체계면에 있어서 천연가스 보다도 더 악조건에 있다. 청정연료이고 연료전지형태로 사용될 수 있다는 잇점도 있으나 자동차 연료로 사용하기에는 아직 상당한 연구가 이루어져야 할 형편이다.

전기의 경우 고밀도 에너지 축전지가 개발된다면 주행거리의 제약문제를 해결할 수 있으리라 평가되나 충전속도가 느리고 기술된 차량 수준의 편리함을 제공하기엔 아직 수준 미달이다.

신규기술의 경우 자동차 연료로서 생산이나 공급 면에서 아무 문제가 없으나, 기술된 공해문제를 경감시키는 것 이외에는 화석 연료원이라는 원칙적인 제약문제가 따르므로 대체연료로 고려하기에는 곤란한 면이 있다 할 수 있겠다.

3. 대체연료의 연구현황

3.1 외국의 연구현황

3.1.1 에 탄 울

에탄올이 수송용 연료원으로 본격적인 주목을 끌기 시작한 것은 1970년대초의 1,2차 오일쇼크 이후로 볼 수 있다. 석유자원이 지구상에 유한한 대표적인 액체 화석연료인 반면 에탄올은 지구상에 풍부하고 재생 가능한 바이오매스 자원으로부터 생산이 가능하다는 면에서 많은 국가들이 야심찬 에탄올 생산계획을 수립하였다. 바이오매스로부터의 에탄올 생산 연구결과는 1980년도 전후의 많은 문헌⁹⁻¹¹⁾에 이미 소개된 바 있으므로 본 장에서는 주로 1980년도 이후 최근까지의 주요한 연구계획에 관해 검토하고자 한다.

1) 일본의 연구현황

우리나라와 같이 석유자원의 해외 의존도가 높은 일본은 일찌기 바이오매스 자원의 이용 개발에 착수하여 이미 파이로트공장의 가동 및 시험운전을 끝낸 상태이다.

1980년 소위 신연료 개발 기술조합(RAPAD : Research Association for Petroleum Alternatives Development)이 결성되어 7개년 계획으로 합성가스로부터 신 연료유 제조기술, 오일, 섀드유 등의 개질경제 및 바이오매스 이용기술의 3개분야에 본격적인 정부 주도하의 종합연구가 시행되었다.⁹⁻¹¹⁾ 이중 바이오매스 이용기술은 크게 물리적 전처리 발효 프로세스, 화학적 전처리 발효 프로세스 분야로 나뉘어져 있다.

(1) 물리적 전처리에 의한 발효 프로세스

이 연구는 총연구비 약 47.2억엔을 투자하여 1981년부터 1987년까지 수행되었는데 주요 개발 목표를 살펴보면 다음과 같다. 즉, 볏짚이나 폐목재와 같은 미이용 셀룰로오스 자원의 각종 전처리 공정을 거쳐 기계발된 미생물 생산용 효소에 의해 당을 생산하고 미생물을 고효율의 당발효를 행하여 에탄올의 분리 및 폐기물 처리를 포함한 저가의 연료용 에탄올을 생산하는 프로세스를 확립하는 것이다. 이를 위해 당화, 효소의 회수, flash 발효, 초입계추출, 막분리 및 증류시설을 갖춘 플랜트의 운전시험을 행하였으며, 플랜트에서 생산된 에탄올의 플랫폼테스터도 행하였다. 공정은 크게 4단계, 즉 전처리, 효소당화, 발효 및 분리농축단계로 나뉘어지는데 하루에 약 720 kg 정도의 섬유성 바이오매스원료를 처리할 수 있으며 에탄올 생산 기준으로 일산 약 150~200 liter의 시설용량에 해당된다.

RAPAD의 에탄올 생산공정은 비록 소규모이긴 하나 셀룰로스로부터 연료용 에탄올을 생산하는 세계 최초의 종합시스템으로 당화와 분리 농축 공정이 병행 연구되었는데 기술적으로 모두 타당성이 있는 것으로 판명되고 있다.

또한 단위공정으로 막여과나 고정화 효모 균을 이용한 플래쉬 발효와 같은 신기술을 도

입한 것이 특징중의 하나로 볼 수 있다. 이 공정에서 생산된 에탄올은 Cosmo Oil Co. Ltd에 의해 기술권과 혼합하여 플리트테스트를 수행하였는데 총 8000km 주행시험중 15% 에탄올 혼합연료에 대하여 특이한 이상이 발견되지 않았으며, 혼합 성질도 시약용 에탄올과 거의 같다고 보고하고 있다.

현 공정기술 수준으로 상업용 공장을 운전한다고 가정하였을 때의 경제성 평가는 당분이나 전분질을 원료로 하는 기존의 에탄올 생산공정에 비해 생산가가 높다고 보고하고 있다.

이 문제의 해결을 위한 기술적 보완으로는 크게 네가지 분야 즉, 경제적인 전처리방법의 개발, 셀룰라제의 효과적인 회수, 펜토스의 효과적인 발효 및 리그린의 활용 등이 있다 할 수 있겠다.

(2) 화학적 전처리에 의한 발효 프로세스

1980년부터 1987년까지 총 연구비 약 8억 5천만엔을 투자하여 9개 연구실이 공동으로 수행한 과제로 물리적 전처리에 의한 발효 프로세스의 연구 배경 및 연구 목표와 대동소이 하나 단지 전처리 과정이 물리적 처리가 아닌 화학적 처리에 의한다는 점이 다르다. 주요 연구 개발 성과로는 셀룰라제 생산균의 탐색 및 개량, 셀룰라제 생산균의 배양연구의 셀룰로스의 화학적 전처리법, 고상 당화방법의 확립, 화학처리 바가스(Bagasse)의 당화발효, 에탄올 발효균의 탐색 및 육종, 에탄올 발효 폐액처리, 에너지 절약형 에탄올 회수 기술 등을 들 수 있다.^{12,13)} 또한 추출 발효법에서 추출제로 tri-decanol을 사용하고 발효균으로서 *K. Fragilis*를 사용하여 프로세스의 타당성 연구를 행한 결과 통상의 에탄올 제조 가격보다 리터당 26엔이 높은 생산가를 나타내었다. 이는 추출상의 수분 함유율이 높아 고농도의 에탄올을 얻기 위해서는 부득불 추출 회수탑에서 에탄올의 증류를 해야 했기 때문이다.

이 공정의 구체적인 기업화 계획은 없지만 셀룰라제를 이용하는 방법으로서의 기업화가 가능할 것으로 보고 있으며 바이오매스의 발효

에 의해 생산되는 알콜의 농축을 위해 이 공정에서 사용된 heat pump 방식이 에너지 절약형의 유력한 중류 수단이 될 것으로 사료된다.

(3) 셀룰로스 분해 신종균체 탐색

셀룰로스계 바이오매스의 효소 분해에 의한 당 생산은 경제성을 갖추고 있는 단계가 아니고, 시판되고 있는 셀룰라제는 의약품이나 식품가공용이 대부분으로 연료용 에탄올 생산공정에 사용되기엔 가격이 너무 비싸다.

이 연구에서는 강력한 셀룰로스 분해능력을 갖는 미생물을 자연계로부터 탐색하고 그 미생물을 개량하여 높은 효소 생산능력을 부여하며, 다량의 효소를 이용하여 저렴한 가격으로 셀룰로스성 물질을 당액화하는 기술의 확립을 목적으로 하였다. 스즈끼연구소(味の素(株)中央研究所)에서 1980~1986년 사이에 총 연구비 2억 2천만엔을 투자하여 수행하였으며, 주요 연구 개발 목표는 발효 배양액의 셀룰라제의 F.P.A(濾紙分解活性)를 10 이상으로 향상시키는 것과 셀룰로스 농도가 20%, 반응시간이 24~36시간인 조건 하에서 당화율 90%, 당농도 18%의 당액을 얻는 기술의 확립에 있다.

2) 미국의 연구 현황

미국은 세계 최고의 바이오매스 전환 기술 보유국이며 동시에 풍부한 바이오매스 자원 보유국으로 이 분야에 선도적 역할을 담당해 오고 있다. 현재 미국에서 소비되고 있는 석유의 50% 가량이 주로 중동으로부터 수입되고 있고 이라크에 의한 쿠웨이트 침공시에 드러난 바와 같이 정치외교적인 석유 의존도 문제와 미국 무역적자의 40%에 달하는 석유 수입에 의한 경제적인 요인 및 날로 심해지는 자동차의 매연 물질에 의한 환경오염 문제가 함께 결부되어 에너지성(DOE) 주도하에 1980년 중반 이후 현재까지도 섬유성 바이오매스로부터의 수송용 에탄올 생산 계획을 꾸준히 진행하고 있다.¹⁴⁻¹⁶⁾

1989년 현재, 옥수수를 원료로 생산되고 있는 수송용 에탄올은 약 8억 갤론(약 3백만

kl)이며 10% 가소홀(10% 에탄올 + 90% 가솔린) 형태로 사용되는데 총 가솔린 소비량의 7%에 해당한다. 옥수수를 원료로 하는 수송용 에탄올 생산은 현 가솔린 시세(도매 시세: 갤론당 0.55~0.75 불)에 비해서 생산가가 높고, 원료가 주요 식품산업의 원료이기 때문에 식품산업의 시장 상황에 따라 원료의 공급에 심한 변화가 있다는 단점이 있다.

이에 비해 섬유성 바이오매스 자원은 가격이 저렴하고 안정적인 공급이 가능한데 미국의 경우 톤당 약 20~70 달러의 공급가로 연간 약 29억톤의 섬유성 바이오매스 자원을 공급할 수 있으며 이것이 모두 에탄올로 전환될 경우 무려 3,000억갤론(약 11.4억kl)의 에탄올에 해당된다.

최근의 종합적인 연구는 주로 SERI(태양에너지연구소: 1991년 9월 16일 국립 재생에너지연구소: NREL로 개칭)를 중심으로 진행되어 왔으며 여기서는 SERI의 주요 연구계획을 정리하고자 한다.

(1) Biofuels program(1988~1992)

바이오매스 자원의 연료화를 위해 DOE(미에너지성)의 주도하에 진행중인 이른바 "Biofuels and Municipal Waste Technology program"의 연구비는 총 7200만불(약 520억원)이며 1989년도의 경우 총투자비는 149만불(약 11억원)에 달한다.

SERI에 의해 추진되고 있는 섬유성 바이오매스의 수송용 에탄올 전환은 SSF(Simultaneous Saccharification and Fermentation) 공정으로 요약할 수 있는데 이는 가수분해와 발효가 동일한 반응기 내에서 진행되므로 공정시간을 단축시키고 설비 투자비를 절감시킬 수 있다는 잇점이 있다.

에탄올 생산 단가는 지난 10년간의 꾸준한 기술 개발로 1980년의 갤론당 3.6불에서 1988년에는 갤론당 1.35불까지 낮아졌다. SERI의 최종 연구목표는 2000년도까지 수송용 에탄올 생산단가를 원유공급가 배럴당 25불에 상응하는 갤론당 0.6달러로 낮추는데 목표를 두고 있다.

(2) 에너지작물 연구

에탄올의 구체적인 기술 개발은 저렴하고 풍부한 섬유성 바이오매스 자원의 안정적인 공급을 전제로 하는 것인 바, 이 분야에 대해서는 ORNL(Oak Ridge National Lab.)에서 바이오매스의 속성재배에 관한 연구를 진행중에 있다. 연구 결과에 의하면 에이커당 연간 평균 수율은 1980년의 2톤에서 1988년엔 6톤까지 증가되었고 최종 목표치는 에이커당 10톤(천평당 8.15톤:km² 당 2.471톤)으로 설정되어 있으며, 원료공급가격은 현재의 \$ 3.25/million Btu에서 \$ 2.0/million Btu로 낮출 계획이다.

속성작물의 재배기간은 약 2년에서 8년 사이로 보통의 임산자원 재배 기간인 30년~60년에 비해 상당히 짧으며, 유망한 수종으로는 포플러와 플라타너스(sycamore) 등이 손꼽히고 있다.

2~3년 내에 일산 1톤 규모의 시범 에탄올 생산공장이 건설될 예정인데 이 공정에 필요한 원료목으로 Hybrid poplar가 사용될 가능성이 크다 한다.

(3) 에탄올 생산공정의 경제성 평가

최근 SERI에서 수행한 섬유성 바이오매스(나무) 자원으로부터 수송용 에탄올 연료 생산공정의 경제성 평가에 의하면 생산단가가 갤론당 1.27불로 가솔린에 비해 경쟁력이 없으나 공장 규모를 일산 1920톤에서 일산 1만톤 처리 규모로 확장하고 공정의 최적화가 성취될 경우 갤론당 0.83불로 경쟁력을 갖게 된다. 이는 ORNL의 에너지작물 공급가 목표치인 톤당 34불을 기준으로 한 것으로 원료목의 공급가는 에탄올 생산가에 직접적으로 영향을 미친다.

에탄올 생산가의 목표치를 갤론당 0.6불선으로 낮추기 위해서는 수율향상 및 공정시간 단축이 필수적인데 SSF 공정의 수율을 90%로 증가시킬 때 갤론당 약 15센트의 인하요인이 발생하는 것으로 분석되어 있다.

나무로부터 에탄올 생산계획의 성공여부에 관해서는 미국내에서도 찬반 양론으로 대립되

어 있지만, 1991년 9월 16일부로 SERI가 국립연구소(National Renewable Energy Laboratory)로 변신한 후 이 분야의 연구지원이 한층 더 강화되었으며, 자세한 내용은 아직 공개되지 않았지만 수천만불의 예산규모로 1997년까지 일산 40톤 처리규모의 상업용 공장건설을 목표로 하고 2~3년내에 일산 1톤규모의 시범공장을 건설할 계획이라 한다.

3) 그밖의 연구상황

(1) 브라질

브라질은 사탕수수를 원료로 생산된 에탄올을 신차량에는 100% 그밖의 대부분의 차량에 20% 가소홀 형태로 수송용 연료화한 유일한 국가이다. 1988년 현재 26억갤론(984만kl)의 에탄올이 생산되고 있는데 생산단가는 갤런당 1.1불 정도이다. 에탄올의 사용은 정부의 지원하에 이루어지고 있는데 사탕수수가 설탕의 원료이기 때문에 설탕시장의 상황 변화에 따라 에탄올의 공급이 원활하지 못한 경우가 있어 문제시 되고 있다.

브라질이 본격적으로 에탄올을 자동차연료로 사용하기 시작한 것은 '국가 알콜계획'이 시작된 1975년 이후이며, 1980년부터 시작된 2차 국가 알콜계획에는 개척지의 사탕수수 생산중대 및 카사바로부터 알콜생산 등이 포함되어 있고, 생산기술면에서 일본의 공업기술원 미생물 공업 기술연구소의 협력하에 고정화 반응기의 도입 및 프랑스에서 개발된 반연속 발효법의 채용 등이 계획되어 있다.

브라질의 에탄올 연료 생산은 사탕수수를 원료로 하는 특이한 상황으로 다른 나라에서 감

히 흉내 낼 수 없는 경우이며, 국제 설탕시장의 영향을 벗어나지 않는다면 최근의 에탄올 연료공급 부족 사태와 같은 혼란을 막을 수 없을 것으로 사료된다.

(2) 기타

석유를 해외에서 수입하고 있는 대부분의 국가에서 바이오매스 자원을 원료로 하는 에탄올 생산계획을 진행해 오고 있는데 그 규모 및 국제 영향력을 고려할 때 미국, 일본과 비교할 바가 아니지만 몇몇 국가의 경우를 표로 정리하면 표1과 같다.¹⁰⁾

3.1.2 메탄올

메탄올은 에탄올에 비해 공급원(주로 천연가스)이 풍부하고 가격도 낮아 메탄올 엔진이 충분히 개발되면 가솔린과 경쟁할 수 있는 저공해 연료이다. 현재 메탄올은 생산량에 있어서 미국의 경우 미국내에서 생산되는 화학제품 중 20위를 차지하는 주요 화학제품의 하나이지만 수송용 연료로는 MTEB(Methyl Tertiary Butyl Ether) 형태의 가솔린 혼합제로 쓰일 뿐이다. 중요한 것은 메탄올 생산공장 규모를 에탄올과 같이 크게 하지 않더라도 현재의 가솔린 가격과 경쟁할 수 있는 수송용 메탄올의 경우 주로 천연가스로부터 메탄올을 제조하는 계획을 추진중에 있다. 메탄올은 천연가스이며 천연가스를 원료로 생산되는 메탄올은 전 세계적으로 연간 약 60억갤론(277만kl)에 달한다.

메탄올의 생산은 이미 공업적으로 잘 정립되어 있기 때문에 에탄올의 경우와 달리 특별한 연구계획은 알려져 있지 않다.

표1 국가별 에탄올 연료 생산계획

국명	사업명	목표
인도네시아	바이오매스 에너지개발연구센터	이주지에 에너지농장 건설
태국	반셀알콜제조 플랜트	1985년 무수알콜, 연간 48만kl 생산
필리핀	알콜가스 계획 (1980)	1985년 14공장 설치, 24만kl/년 생산
뉴질랜드		사탕무우로부터 알콜 생산
프랑스	칼부롤 계획	1990년 가솔린의 50% 대체
과테말라		사탕수수로 부터 30kl/년 생산
기타	니카라과아, 파라과이, 아르헨티나, 인도, 파키스탄, 말레이시아, 짐바브웨	

일본의 경우 천연가스가 풍부한 해외에 메탄을 생산공장을 건립하여 연료용 메탄을 공급할 계획이나 메탄을 자동차의 보급 여부에 따라 가시화될 것으로 전망된다.

미국의 경우 바이오메스로부터 합성 가스를 생산하고 이것으로부터 메탄을 생산하는 계획이 Biofuels program의 일환으로 추진되고 있다.

해외에 현지 공장을 건설하여 생산되는 수송용 메탄올연료를 수요자에게 공급하는 과정에서 가격은 현지공장에서의 메탄을 생산단가를 갤론당 30센트로 할 경우 해양수송비가 갤론당 5센트가 추가되어 항구에서의 가격은 갤론당 35센트가 된다. 이는 육로를 통하면서 수송, 중간상의 이윤 및 세금부과 등으로 소비자 가격은 갤론당 약 55~57센트가 된다. 메탄올을 자동차원료로서 사용할 경우(flexible-fueled 메탄올 차량) 기술린과 같은 주행거리를 갖는 메탄올의 공급가격은 105~109센트가 되어 현 미국의 평균 기술린 가격과 비교할 때 충분한 경제성이 있다고 볼 수 있다.

3.1.3 그밖의 대체연료

비알콜 대체연료로서는 천연가스, 전기, 수소 및 신규격 기술린을 들 수 있는데 신규격 기술린 이외의 연료는 연료개발보다 그 연료를 사용할 수 있는 자동차개발에 주로 계획하고 있기 때문에 에탄올 연료개발과 같은 계획을 구체적으로 열거하기는 어렵다.

천연가스를 연료로 사용하는 자동차는 전세계적으로 70만대 정도이며 이태리가 30만대로 가장 많고, 뉴질랜드가 13만대, 호주 10만대, 미국이 3만대 그리고 캐나다가 1만5천대 정도이다. 천연가스는 주로 메탄올을 생산하는 원료로서 각광을 받고 있고 자동차 연료로는 CNG(Compressed Natural Gas)나 LNG(Liquefied Natural Gas) 형태로 사용되고 있다.

전기를 자동차 에너지원으로서 이용할 경우 주요 개발 부분은 축전지의 개발이다. 공해문제 해결이라는 대전제하에서 전기자동차의 개발이 진행되고 있지만 무엇보다도 값싸고

고용량의 축전지개발이 없이는 전기자동차의 보급이 어렵다고 보여진다. 현재 1990년대 초반을 목표로 개발중인 Chrysler사의 ET Van에는 Eagle Picher Inc.에서 개발된 nickel-iron 축전지가 사용되고 있으나, 유럽에서는 이러한 유형의 축전지개발은 포기한 상태이고 차세대 축전지라 불리는 고성능 metal-air 축전지의 개발에 관심이 모아지고 있으나 구체적인 계획은 알려진 바 없다.

수소의 개발은 자동차 대체연료와는 상관없이 이미 오래전부터 이루어져 왔다. 수소의 생산은 여러가지 방법에 의해 가능한데, 그중 가장 저렴하게 생산이 가능한 것이 천연가스의 수증기 개질(Steam reforming)법이다. 즉, 천연가스와 수증기를 혼합하면 수소와 일산화탄소를 생산하게 되며, 천연가스를 수증기 없이 고온에서 축매를 이용하면 천연가스가 탄소와 수소로 분해된다. 또, 다른 제조방법으로는 고온 고압하에서 석탄(또는 바이오매스)을 수증기와 접촉시켜 일산화탄소와 수소를 생산할 수 있으며, 물의 전기분해 또는 열(또는 열화학)분해에 의해 수소 생산이 가능하다. 그밖에 태양광선에 의한 수소제조 및 생화학적 방법에 의한 수소제조 방법 등이 알려져 있다. 자동차 연료용 수소 생산계획은 알려진바 없고 단지 일반 대체연료 개발계획으로 미국과 일본에서 수행되고 있다.

유럽의 경우 주로 독일을 중심으로 수소의 대량생산, 수송, 저장 및 이용 체계에 관한 연구가 진행되고 있는데 개발의 대표적인 것으로 EQHHPP(Euro Quebec Hydro-Hydrogen Pilot Project)가 있다. 이 PROJECT에는 캐나다와 독일의 주정부, 연구기관 및 기업 등 모두 40개사가 포함되어 있는데 '90년대 중반까지 실증시험을 하는 것으로 되어 있다. 이 계획의 특징은 현 단계에서 실증가능한 기술을 채용한 점인데 1차 에너지로 수력을 이용하고, 수송형태로 액체 수소 및 MCH(Methyl Cyclo Hexane)을 수송선에 담아 옮기며 최종적으로 항공기, 도시버스,

연료전지, 발전용 터빈 및 가스공급용으로 사용되도록 되어 있다.

미국의 경우는 SERI가 중심이 되어 합성 가스 및 메탄올 제조계획의 일환으로 수소가 생산되고 있으며 태양광에 의한 물로부터 수소의 생산연구가 진행되고 있다. 태양광에 의한 수소 생산의 효율은 실험실 규모에서 12~14%인 것으로 알려져 있다.

일본의 경우 선사인 계획의 일환으로 광합성 미생물에 의한 수소의 발생연구가 진행되어 왔으며 RAPAD를 중심으로 일본 서남해 도서의 미생물에 의한 수소 생산계획을 추진중에 있다.

신규적기술린은 엄밀한 의미에서 대체연료로 보기보다는 기술린을 개량한 것으로 간주하는 것이 옳다고 생각된다. 주로 미국에서 대기 오염 방지책으로 매연가스에 대한 규제가 심해지면서 각 정유회사에서 기술린의 기존 혼합물을 바꾸는 방향으로 탈출구를 마련하였다. 미국의 ARCO사의 연구가 대표적인데 본 보고서에는 다루지 않기로 한다.

3.2 국내의 연구현황

3.2.1 에 탄 올

전반적으로 국내의 대체연료 연구는 매우 미흡하여 초보적 기초 연구상태를 크게 벗어나고 있지 못한 실정인데 그런 중에서도 에탄올 분야 연구가 제일 활발한 편이라 볼 수 있다. 비록 늦은 감이 있지만 1987년 대체에너지 개발 촉진법이 제정 공포되어 비로서 국내의 대체연료분야 연구의 본격적인 관심이 현실화되기 시작하였다고 말할 수 있다.

에너지 관리공단 주관으로 진행되어온 에탄올 생산기술 연구과제는 28건이 된다.²⁰⁾

연구과제수는 의견상 많이 보이지만 중복되는 것이 많고 국내의 특수한 역학 관계상 안배의 성격이 짙으며 미국의 Biofuels Program에 비해 세부 과제별 선정에 문제가 있는 것으로 생각된다.

즉, 알콜 관련과제의 연관성 및 연구내용

의 상호이용 가능성이 매우 희박하여 미국이나 일본과 같은 총괄과제 성격을 띠고 있지 못하다. 이 연구과제들을 대분류하여 보면 전처리분야 3건, 알콜 발효기술 12건, 균주분야 7건, 농축 정제분야 5건 및 최적화연구가 1건이다.

에너지관리공단 주도하에 추진될 제2단계 기술개발사업(1992~1996)에서는 이러한 문제점들이 수정 보완되어 종합적인 연구방향이 수립될 것으로 보여진다.

1992년 대체에너지 기술개발 계획서(에너지공단)에 의하면, 기존 수송에너지인 기술린과 상업적 경쟁이 가능한 수준의 저가 알콜 연료를 생산하고 알콜자동차 및 대체 연료자동차 출현에 대비한 사회적 수용대책을 강구하기 위한 목표로 표 2, 3에 나타난 연구개발계획이 수립되어 있고, 당해년도 정부지원 수준은 약 13억원(용자 4억원)으로 추산된다. 이러한 정부의 계획에 발맞추어 한국 에너지 기술연구소의 바이오매스 연구팀을 중심으로 총괄 연구계획서가 준비된 바 있다.

3.2.2 그밖의 대체연료

에탄올을 제외한 대체연료중 자동차 연료용으로 개발계획을 수립하여 본격적으로 연구된 바는 없으나 메탄올의 합성이나, 축전지개발 및 수소생산에 관해 실험적 기초연구로 수행된 바 있다.

메탄올의 경우 D메탄올(주) 회사 등에서 석유화학 제품으로 생산되고 있고, 에너지기술연구소를 중심으로 석탄이나 폐기물로부터 합성에 관한 기본고찰이 이루어진 바 있다. 외국의 경우와 마찬가지로 천연가스로부터의 메탄올 제조가 용이하고 기술의 국내 적용에 큰 문제가 없으므로 메탄올 차량의 보급에 따른 메탄올의 공급에는 별문제가 없을 것으로 사료된다.

축전지개발의 경우도 개발쪽보다는 전기자동차의 시험 제작에 따른 축전지의 적용이 시작된 바 있을 뿐이다.

소수의 경우 다른 대체연료보다 개발쪽의 관심이 높은 편이다. 에너지기술연구소를 중

표 2 제 2 단계 알콜연료생산 개발기간

항 목 / 년 도	'92	'93	'94	비 고
- 전분계 연료용 알콜 제조기술 ○ 1kl/d 급 pp에 의한 운전연구 ○ 도약기술에 의한 지원 연구				'91부터 착수 '94~pp 급 이행 '94~추가검토
- 목질계 연료용 알콜 기술개발 ○ 201/d 급 PDU에 의한 공정선정				
- 수송연료용 알콜 이용 기술개발				

표 3 제 2 단계 알콜연료생산 세부추진과제

기술구분	세 부 과 제 명	주 요 내 용 (R&D방향)
전분계알콜	• 고효율, 고생산성연료 알콜 상업적 제조기술 개발	• 기존 hard 기술을 종합, 기술적 경제적 인 연료용 알콜 제조기술 개발
지원 연구	• 연료용 알콜 제조기술 Break Through를 위한 연구개발	• 우수균검색 육종, 균체고정화, Flash 발효 기술 등 공정지원용 실험장치(PSU) 지원연구
목질계알콜	• 공정개발을 위한 실험장치 (PDU) 운전연구	• PDU급 Total System에 의한 운전연구, 공정선정, 경제성평가 실시
이 용 기 술	• 알콜연료의 저장, Pumping 유통체계, Fleet test 등	• Energy Carrier 취급기술 및 열기관 적용 실험 • 유체유 디젤 대체연료(RME) 적용기술

심으로 수소생산을 위한 기초연구가 진행되어 있고, 미생물 또는 태양광에 의한 수소생산 연구계획도 제안중에 있다.

신규격기술린의 경우 미국과는 달리 자동차 매연규제가 심하지 않아서인지 본격적인 차량적용이 미흡하며 Y정유사를 중심으로 산소가 첨가된 일부 신규격 기술린이 국내시장에 선보이고 있는 정도이다. 대체적으로 에탄올 이외의 대체연료 생산에 대한 국내외 관심 및 수요는 미미한 상태라 볼 수 있다.

4. 맺 음 말

이상과 같이 저공해 승용차 대체연료의 특성을 에탄올, 메탄올, 천연가스, 전기, 수소

및 신규격기술린을 비교하였고, 대체연료의 연구 현황을 검토하였다.

미국, 일본을 중심으로 한 자동차 선진국의 자동차용 대체 연료 개발은 주로 에탄올에 관한 것이며 메탄올 및 천연가스는 이미 충분한 경쟁력을 갖추고 있다고 판단된다.

전기, 수소의 경우도 중장기적으로 경제적인 대체연료로서 개발상의 특별한 장애가 없는 것으로 보여지며 신규격 기술린의 사용은 시한부적인 측면이 있어 대체연료로서 각광을 받지 못할 것으로 평가된다.

에탄올의 개발은 기존의 전분계나 당질계로부터의 생산보다는, 미국의 알콜연료 개발 프로그램과 일본의 PAPAD 프로그램에서 알 수 있는 바와 같이 지구상에 풍부하게 부존

하는 섬유성 바이오매스자원을 이용하는 연구에 관심이 집중되고 있으며, 국내에서도 이 분야에 대한 정부차원의 연구지원이 절실히 요구된다.

에탄올, 메탄올 및 수소중에서 제조기술 면으로 경쟁력을 갖춘 것은 메탄올이며, 메탄올 자동차의 기술적인 문제들이 해결되어 메탄올 자동차의 보급이 증대되면 저렴하고 풍부한 메탄올 연료의 사용은 근시일내에 가능할 것으로 분석된다.

한편 국내의 대체연료 개발 상태는 매우 미미하며 주로 학교나 연구소 일부에서 기초적이고 산발적인 연구가 진행되고 있는 실정이다. 이에 관한 연구를 체계화하고 장기적이고 종합적인 프로그램의 개발이 조속히 추진되어야 할 것으로 평가된다.

참 고 문 헌

1. U.S.EPA Reprot, 1990 Sep., "Replacing Gasoline : Alternative Fuels for Light-Duty Vehicles", PB91-104901.
2. U.S.EPA Report, 1990 Apr., "Analysis of the Economic and Environmental Effects of Ethanol as an Automotive Fuel", PB90-222522.
3. Bloss, W.H. and Pristerer, F., 1987, "Advances in Solar Energy Technology", Pergamon Press Vol.3.
4. Bungay, H.R., 1980, "Energy, the Biomass Options", Wiley, New York.
5. Goodman, L.J. and Love, R.N., 1981, "Biomass Energy Projects : Planning and Management", Pergamon, New York.
6. Klass, D.L., 1987, "Energy From Biomass and Waste X", Elsevier Applied Science Publishers, London.
7. Lowenstein.
7. M.Z., 1985, "Energy Applications of Biomass", Elsevier Applied Science Publishers, London.
8. Tillman, D.A., 1978, "Wood s An Energy Resources", Academic Press, New York.
9. Brochure, "Main Processes Developed by RAPAD", RAPAD.
10. Brochure, "R & D of Synfuels on the Move", RAPAD.
11. RAPAD Report, 1981. June, 1982. Aug., 1982. Sep., 1984. Sep., 1986. Sep., 1987. Sep., "Research and Development on Synfuels", RAPAD.
12. 新燃料油研究開發調査 : 昭和 63 年度報告書の總括, RAPAD.
13. 新燃料油研究開發調査 : 昭和 55-62 年度報告書の總括, RAPAD.
14. Paul, J.K., 1979, "Ethyl Alcohol Production and Use as a Motor Fuel", Noyes Data Co., New Jersey.
15. Shing, M. et al., 1991, "Enhanced Production of Cellulase Using Acidithermus Cellulolyticus in Fed-Batch Culture", Appl. Microbiol. Biotech., 34, 591~597.
16. Sjostrom, E., 1981, "Fundamentals and Applications", Academic Press, New York.
17. Tengerdy, R.P., 1991, "Liquid Fluidized Bed Stater Culture of Trichoderma Reesei for Cellulose Production", Appl. Biochem. & Biotech., 27, 195~203.
18. Torget, R. et al., 1991, "Dilute-Acid Pretreatment of Corn Residues and Short-Rotation Woody Crops", Appl. Biochem. & Biotech., 28/29, 75~86.
19. 本多淳裕, 昭和 61 "バイオマスエネルギー-生物系資源. 廢棄物の有効利用, 財團法人省エネルギー-.
20. Brochure, 1991. 7, "대체에너지 기술개발 사업안내", 에너지관리공단.

〈부록〉 국내 에탄올 관련 대체에너지 기술개발 사업현황

과	제	명	사업주관	총사업기간
고생산성 알콜발효 및 정제기술			과 기 원	88. 11 ~ 91. 12
내당, 내알콜성 발효균주의 개발			연 세 대	88. 11 ~ 91. 12
고생산성 연속 알콜발효 공정개발			연 세 대	88. 11 ~ 91. 12
전분으로 직접 알콜을 생산하는 효모균주의 개발			수 원 대	88. 11 ~ 91. 12
알콜발효기술개발: 수성 2상계에 연속당화 효소 생산 및 알콜 발효의 고농도 배양 컴퓨터 자동제어			서 울 대	88. 11 ~ 91. 12
알콜발효기술(막분리를 이용한 재순환 연속 알콜발효)개발			아 주 대	88. 11 ~ 91. 12
바이오매스 자원의 전처리-당화 신공정 개발			경 북 대	88. 11 ~ 91. 12
알콜흡착 분리공정의 실용화 연구			동 자 연	89. 9 ~ 91. 12
Inulin 을 이용한 알콜생산			서울여대	89. 9 ~ 91. 12
섬유소로부터 고생산성 에탄올 연소발효공정의 개발과 최적화			과 기 원	89. 9 ~ 91. 12
바이오에너지 개발을 위한 무증자전분으로부터 알콜생산			서 울 대	89. 9 ~ 91. 12
Cellulase Xylanase 생산균주의 분리, 개발과 혼합당의 발효공정 개발			연 세 대	89. 9 ~ 91. 12
고온 염기성 알콜발효균주의 개량을 통한 조고온 알콜발효 공정의 개발			과 기 원	89. 9 ~ 91. 12
전분의 직접 알콜발효 및 효모재순환과 에탄올 농축정제의 동시 공정개발			아 주 대	89. 9 ~ 91. 12
Extrusion 공법을 이용한 알콜 발효용 바이오매스의 전처리 기술개발에 관한 연구			고 려 대	89. 9 ~ 90. 12
유기공 폐기물을 이용한 에탄올 생산기술 개발			영 남 대	89. 9 ~ 92. 12
Solid superacid에 의한 Biomass의 전처리 및 Bioenergy 생산 공정의 개발			경 희 대	89. 9 ~ 91. 8
섬유소를 이용한 알콜발효균주의 개발			서 울 대	89. 9 ~ 92. 12
세포융합에 의한 고온성 및 고전분 발효성 효모균주의 육성			충 남 대	89. 9 ~ 91. 12
리그린분해 미생물의 균주탐색과 개발연구			서 울 대	89. 9 ~ 91. 12
Zmobilis 이용한 고생산성 에탄올 발효 공정개발			서 울 대	89. 9 ~ 92. 12
초임계 유체를 이용한 발효알콜의 농축공정 개발			과 기 원	89. 4 ~ 91. 12
세포융합에 의한 에탄올 내성 효모의 균주개발			숙명여대	89. 9 ~ 91. 12
Mylan의 생물학적 분해와 알콜발효			고 려 대	89. 9 ~ 91. 5
투과증발법에 의한 알콜분리 및 농축에 관한 연구			과 기 원	89. 9 ~ 91. 12
섬유성 물질을 원료로 한 알콜생산			경 상 대	89. 9 ~ 91. 12
전분당화 알콜생산 우수균주의 개발			과 기 원	90. 4 ~ 93. 12
고정화 균체반응기에 의한 알콜의 연속생산			수 원 대	90. 4 ~ 93. 12