



미국 수송부문에서의 바이오연료 (1)

백 두 성 / 대전대학교 컴퓨터응용기계설계공학과, 전임강사

지속되는 세계유가와 EPACT2005의 통과로 인해 수송부문에서는 농산물에서 추출한 에탄올과 바이오디젤의 사용을 권장해왔다. 그러나 바이오연료의 계속된 수요 증가와 바이오연료에 대한 장기적인 시장의 잠재성은 바이오연료에 대한 수요와 공급에 영향을 미치는 주요한 이슈의 해결에 의해 좌우된다. 옥수수에서 얻은 에탄올과 셀룰로오스에서 추출한 에탄올 그리고 바이오디젤에 대한 기술적·경제적·법규적인 문제는 미국 내의 바이오연료 개발에 있어서 매우 중요하다.

수송분야에서의 에탄올은 가장 널리 사용되는 액체바이오연료이다. 미국 내에서 거의 모든 에탄올은 E10 혹은 'gasohol(가솔린)'이라 칭하는 연료를 생산하기 위해서 체적으로 10%까지 가솔린과 혼합되고 있다. 2005년 미국의 에탄올 총 생산량은 3조 9,000억 갤런으로 가솔린 총 생산의 2.9%에 해당되며, 2006년에는 5조 4,000억 갤런으로 예측하고 있다. 또한 2005년의 바이오디젤 생산량은 9,100만 갤런이었다(표 1). 1970년 이후 미국시장에서 제조된 모든 차와 경트럭은 에탄올을 혼합한 E10로 운행할 수 있다. 또한 자동차 제조업체는 미국 시장에서 가솔

린과 에탄올의 혼합비를 85% 허용한 E85를 사용할 수 있는 FFV의 제한된 수의 자동차 생산을 계획하고 있다. 자동차 제조업체가 CAFE 요건을 상쇄하기 위해서 FFV 판매를 이용할 수 있기 때문에 500만 대 이상의 FFV가 1992년부터 2005년까지 미국시장에서 생산되었다. E10연료는 많은 주에서 넓게 구입할 수 있으나, E85는 제한되어 중서부주에 밀집되어 있다.

AEO2007 참고의 경우 에탄올 사용은 현재의 수준에서 급격히 증가했다. 가솔린과 혼합한 에탄올은 2007년에는 전체 가솔린 중 4.3%에 육박하고 2012년에는 7.5%, 2030년에는 7.6%로 예상하고 있다. 그 결과 가솔

표 1 미국 모터연료 소비(100만 갤런/연간)

	<i>Gasoline</i>	<i>Ethanol</i>	<i>Percent of gasoline pool</i>
2000	128,662	1,630	1.27
2001	129,312	1,770	1.37
2002	132,782	2,130	1.60
2003	134,089	2,800	2.09
2004	137,022	3,400	2.48
2005	136,949	3,904	2.85
	<i>Diesel</i>	<i>Biodiesel</i>	<i>Percent of diesel fuel pool</i>
2000	37,238	—	—
2001	38,155	9	0.02
2002	38,881	11	0.03
2003	40,856	18	0.04
2004	42,773	28	0.07
2005	43,180	91	0.21

린에 대한 수요는 에탄올 혼합 이전보다 연료의 체적면에서 급격히 증가했다. 전체적으로 2007년부터 2030년까지의 가솔린 소비는 에너지를 기준으로 32% 정도 증가했고, 체적을 기준으로 34% 정도가 증가했다.

에탄올은 많은 천연설탕 혹은 설탕으로 쉽게 변환할 수 있는 전분을 포함하는 어떠한 공급재료에서도 생산이 가능하다. 잘 알려진 재료로는 사탕수수(브라질), 사탕무(유럽), 옥수수(미국) 등이다. 에탄올은 설탕을 발효시켜서 생산한다. 옥수수 알갱이는 여러 과정을 걸쳐 설탕을 얻은 후 설탕이 발효되어 얻어진다. 부산물로는 동물의 먹이 혹은 글루텐밀 옥수수기름, 감미료(sweetener) 등이 얻어진다. 부가적인 과정을 걸쳐 식물과 다른 바이오매스 찌꺼기(산업나무 찌꺼기, 산림 찌꺼기, 종이 펄프액, 농업찌꺼기)는 발효할 수 있는 설탕이 된다. 그러한 낮은 가격의 원료를 통상 셀룰로오스 에탄올이라 한다. 바이오매스 중 셀룰로오스와 헤미셀룰로오스는 산 혹은 효소분해 작용에 의해서 발효할 수 있는 설탕으로 바꿀 수 있다. 혹은 바이오매스는 합성가스(수소, 일산화탄소)로 전환되어 특별한 미생물을 사용하거나 Fischer-Tropsch 과정을 통해서 에탄올로 바꿀 수 있다.

2002년도 국립재활용에너지연구소에 의하면 매년 6,930만 갤런의 규모를 생산하는 셀룰로오스 에탄올공장에 대한 투자비용은 \$2억 정도로 평가했다. 그러한 투자비용은 같은 부류의 초기 공장에 비해서 상당히 높다.

미래 유가가 AEO2007 참고의 경우와 비슷한 경로에 있다면, 석유 연료에 비해서 셀룰로오스 에탄올에 대한 수요가 형성되어 자본금과 운영비용이 상당히 감소될 것이다. 그러나 현재 대규모의 셀룰로오스 에탄올 생산 공장은 건설되지 않고 있다. EPACT

2005는 재정적인 보조금을 제공하여 2010년부터 2015년까지 매년 2억 5,000만 갤런을 생산하는 셀룰로오스 공장 수립을 계획하고 있다. 셀룰로오스 에탄올은 현재 가솔린이나 옥수수를 기반으로 하는 에탄올과 가격면에서 비교되지 않지만 국립재활용에너지연구소나 비슷한 연구소에서 상당한 R&D로 효소 생산의 비용을 감소시켰다. 본질적으로 기술적인 난관은 예측하기는 어렵지만 R&D의 중요한 성공은 미래에 확대될 에탄올 생산에서의 셀룰로오스 에탄올은 중요한 경제적인 선택이 될 수 있다.

바이오디젤은 미국에서 상업시장 발달과 더불어 유럽에서 사용된 대체재생연료이다. 바이오디젤은 식물성오일과 동물성지방에서 나온 긴 체인으로 된 지방산의 모노 알킬 에스테르로 구성되어 있으며 디젤 연료를 추출하는 것과 유사하다. 다만 다른 화학적인, 취급 및 연소특성을 지니고 있다.

바이오디젤은 연료시스템이 혼합연료와 호환성이 있는 재질로 구성되어 있다면 어떤 양이든 석유 디젤과 혼합하여 압축착화엔진에 적용할 수 있다. 바이오디젤의 고윤활성은 낮은 황 농도의 디젤을 취하는 데 따른 영향을 감소시킬 수 있다.

통상 디젤의 혼합은 2%, 5%, 20%(B2, B5, B20)이다. 개개의 엔진 제조업체는 어떤 혼합이 그들의 제품을 사용하기에 적절한지 보증을 하고 있으나 일반적으로 B5혼합이 허용되고 있으며 일부 업체는 B20까지 지원하고 있다. 바이오디젤은 미국에서 이미 판매되고 있다. 일부 주는 강제적으로 바이오디젤의 사용 수준을 규정하고 있다.

바이오디젤 생산에 대한 유력한 공급원료로는 미국에서의 두유, 유럽에서의 유채씨와 해바라기씨 기름, 말레이시아에서의 야자수 기름 등이 있다. 또한 바이오디젤은 다른 원

료에서, 예를 들면 식물성오일, 동물기름, 동물지방과 음식을 찌꺼기, 그리스 등에서 생산이 가능하다. 바이오디젤을 생산하기 위해서는 trans-esterification(트랜스에스테르화)라는 공정에서 화학적인 공정을 적용한다. 바이오디젤의 특성(cloud point, pour point, 세탄값)은 공급연료의 종류에 따라 다르다. 공정 중 주부산물 즉 글리세린은 제약회사, 음식, 화장품회사에 판매할 수 있다.

에너지 함유량과 연료 체적

체적면에서 에탄올과 바이오디젤은 가솔린보다 낮은 에너지 함유량을 보유하고 있다. 표 2에서는 갤런당 Btu를 근거로 한 다양한 연료의 에너지 양과 가솔린에 대해 비교한 에너지를 갤런으로 나타낸 값을 비교했으며, 또한 고위발열량과 저위발열량으로 나타내고 있다.

에탄올과 바이오디젤의 저에너지 양은 일반적으로 가솔린이나 디젤로 가동하도록 디자인된 엔진에 사용될 때 갤런당 마일에 있어서 상응하는 감소를 초래한다. 에탄올과 바이오디젤의 혼합류(E10, B2, B5)에서는 E85 혹은 B20)보다 적은 연비 손실을 초래한다.

요즘 대부분의 에탄올 연료는 가솔린 혼합물에 사용되는데 모든 자동차가 수용할 수 있는 범위는 연료의 10% 정도에 해당한다. 높은 혼합물에서는 체적에 있어서 85% 정도까지 가능하다. 미래의 수송연료로서 에탄올

사용의 증가는 에너지 양에 대한 연료체적의 문제점을 야기시킬 것이다. 에탄올은 가솔린보다 갤런당 적은 에너지를 포함하고 있다. 에탄올의 에너지는 재래식 가솔린 1 갤런 중의 2/3 정도만을 함유하고 있고 연료의 갤런당 주행 마일리지는 연료에 포함된 에너지에 직접적으로 비례한다. E10은 가솔린보다 갤런당 3.3% 적은 에너지를 함유하고 있다. E85는 가솔린보다 갤런당 24.7% 적은 에너지를 지니고 있다. AEO2007은 가솔린, E10, E85를 자동차가 태울 때 엔진 열효율은 일정하다고 가정했다. 정리하면 어떤 자동차가 가솔린 1갤런으로 주행할 수 있는 거리를 E10으로는 1.03갤런이 요구되고 E85로는 1.33갤런이 필요하다는 계산된다. 이러한 차이점이 E10을 구매할 때 심각하게 영향을 주지는 않지만 E85의 경우에는 연비의 문제점을 감안할 필요성이 있다.

가솔린 에너지 함유량에 대한 이슈는 1990년 체적에 있어서 15% MTBE 혹은 7.7% 에탄올을 가솔린과 혼합해서 산화된 가솔린을 도입한 1990년도 초기에 처음으로 대두되었다. 그 이후로 에탄올은 서서히 MTBE를 산화제와 RFG 혼합제로 탈바꿈했다. MTBE로 혼합한 가솔린으로부터 어떤 다른 에탄올 혼합물로 전환할 때 경제적인 영향은 재래 가솔린 연료로부터 전환할 때의 영향보다는 적었다. 예를 들면, 15% MTBE로부터 7.7% 에탄올 혼합으로 전환함으로써 갤런당 1.2%의 에너지 감소를 초래했으며 15% MTBE를 10% 에탄올로 전환할 때

표 2 바이오연료의 에너지 양

Fuel	Btu per gallon (low heating value)	Btu per gallon (high heating value)	Gallons of gasoline equivalent (high heating value)
Conventional gasoline	115,500	125,071	1.00
Fuel ethanol (E100)	76,000	84,262	0.67
E85 (74% blend on average)	---	94,872	0.76
Distillate fuel oil (diesel)	128,500	138,690	1.11
Biodiesel (B100)	118,296	128,520	0.95

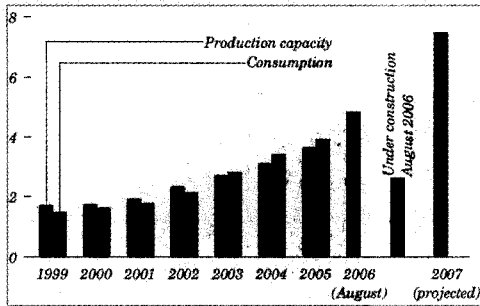


그림 1 미국 내 에탄올 소비와 생산량(조갤런)

1.9% 에너지 감소를 유발했다.

바이오연료 산업의 현황

초기의 미국 바이오연료 산업은 최근에 급속도로 진행되었다. 과거 6년 동안 바이오연료 생산은 가솔린 혹은 디젤에 대한 비율로서 절대적으로 확산되고 있다(표 1). 고세계유가, 지속적인 정부 지원, 문제 시 되는 환경과 에너지 확보 그리고 값싼 옥수수와 콩은 바이오연료에 대해서 시장의 관심을 끌고 있다. 특히 에탄올은 옥탄과 MTBE의 깨끗한 연소 특성을 교체하기 위한 필요성에 의해서 부상되고 있다. 에탄올 약 3조 9,000억 갤런과 바이오디젤 9,100만 갤런이 2005년도에 미국에서 생산되었다. 현재 건설 중인 공장의 수를 감안한다면 에탄올 생산 규모는 2008년까지 7조 5,000억 갤런으로 바이오디젤은 1조 1,000억 갤런으로 상향될 것이다.(그림 1)

미국은 2004년도에 Jobs Creation Act가 설정되어 제조업자의 세금을 감해주었으며 그 결과 순수 에탄올의 판매가격을 갤런당 \$0.51로 낮추었고 바이오디젤의 경우 순수 오일에서는 갤런당 \$1.0로 생산했으며 그리스로부터는 갤런당 \$0.5로 생산이 가능했다. EPACT2005를 법률로 정한 국립 RFS는 2012년까지 해마다 약 7조 5,000억 갤

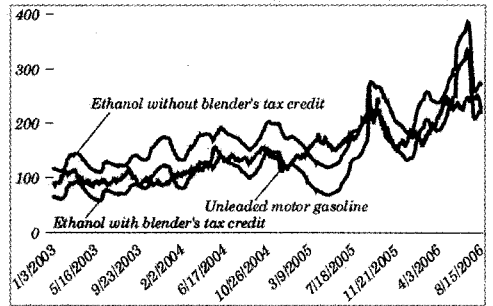


그림 2 미국 내 에탄올과 가솔린 평균 가격(갤런당 센트)

런 정도의 바이오연료를 공급할 것이다. 에탄올 연료 또한 이러한 대부분의 RFS 규정을 만족하리라 기대된다.

AEO2007 참고의 경우, 에탄올 수요는 지금부터 2012년까지 적용할 수 있는 RFS 규정을 만족할 것으로 계획되고 있다. 이는 연방 가솔린 제원을 만족하기 위한 연료 산화제로서 그리고 옥탄가 증가제로서 에탄올의 필요성과 제조자의 세금 크레딧 때문이다. 예상되는 에탄올 소비는 2012년에는 11조 2,000억 갤런으로 늘 것이며, 이는 체적을 기준으로 가솔린의 7.5%에 상당한다. 바이오연료 생산 공장에 가속화된 투자와 현존하는 규모의 빠른 확장은 바이오연료 투자를 매력 있게 한다.

공급연료, 현금 가동비용, 생산자 보조금, 부산물 신용은 포함하나 자본금, 교통비, 세금 면제, 연료 세금은 제외한 단기적인 생산비용은 재료공급과 공장의 규모와 설계에 따라 상당히 달라진다. 옥수수의 가격을 부셸당 2달러로 추정하면 옥수수에서 생산하는 에탄올은 2005년도 달러 기준으로 갤런당 \$1.0~1.06 혹은 100만 Btu당 \$11.9~12.6로 생산이 가능하다. 2006년도의 옥수수 가격은 위의 수준을 상회했는데 이는 농부들이 300만 에이커의 옥수수 땅을 콩 생산으로 전환해서 비롯되는 수요와 공급의 균형에서 비롯되었다. 바이오디젤은 콩에서는 갤런당

\$1.8~2.4(혹은 100만 Btu당 \$15.2~20.3) 이고 예로 그리스에서는 갤런당 \$0.9~1.1 (100만 Btu당 \$7.6~9.3)이다. 순수 콩기름의 공급 원료 가격은 파운드당 \$0.2~0.3 정도로 디젤연료 생산가격의 70~78% 정도이다. 이에 비해서 비순수 공급원의 가격은 0~70%까지 다양하다.

에탄올과 바이오디젤에 대한 제조업자의 세금 신용은 도매가격에서 공제될 때 비로소 바이오연료 가격은 체적면에서 석유연료와 경쟁력이 된다. 그림 2에서는 제조업자의 세금 신용을 포함한 에탄올 도매가격을 무연가솔린 가격과 비교했다.

바이오디젤 산업에서 수익성은 주로 공급원의 비용에 달려 있다. 에탄올에서 옥수수의 가격은 2002년에는 총 생산비 중 57%에 육박했다. 바이오디젤의 경우 콩기름이 총 생산비의 70~78%에 육박했다. 즉 공급재료 가격에서의 변화는 생산비에 심각한 영향을 준다.

미국 내 에탄올 산업은 2006년도 가능한 옥수수 공급의 20%를 소비하면서 전적으로 옥수수에 의존하고 있다. 현재 생산수준으로

옥수수는 에탄올의 공급 원료로 가장 각광을 받고 있다. 에탄올 생산이 증가함에 따라서 연료와 음식과 수출 사이에서 옥수수 공급에 대한 경쟁으로 제조업자 에탄올 생산 가격을 더욱 싸게 부추기리라 기대된다.

미국의 바이오디젤 산업은 공급재료로서 콩기름에 전적으로 달려 있다. 연간 생산수준은 3억~6억 갤런이며 이는 디젤연료 양의 2% 정도에 해당된다. 바이오디젤은 여러 가지의 공급 원료에서 얻을 수 있으나 공급 원료에 대한 제조공정에서는 별 차이가 없다. 다만 지역적인 특수성에서 비롯되는 공급 원료의 조달 성격에 따라 가격 차이가 있다.

관련 웹사이트

- www.iea.org
- www.worldenergy.org/wec-geis/publications/reports/ser/bitumen/bitumen.asp
- www.stevenpublishing.com/stevens/eppub.nsf
- www.chosun.com/politics

▶ 백두성 위원 : dsbaik@daejin.ac.kr

기계용어해설

이중 니켈 도금법(Duplex Nickel Plating)

제1층에 무광택의 니켈 도금을 실시하고, 그 위에 유황을 함유한 광택 니켈 도금을 하는 방법.

동마찰(Dynamical Friction)

물체가 다른 물체와 접촉하면서 움직이고 있을 때, 접촉면에 운동을 방해하는 힘이 작용하는 현상.

위험속도(Critical Speed)

회전축 및 축에 고정되어 있는 회전체는 한 몸이 되어 회전하고 있으나, 진폭이 급증해서 위험한 상태일 때의 회전속도.