

바이오에탄올의 CO₂ 저감 효과에 대한 경제성 분석

1. 머리말

에탄올은 옥탄가가 높고, 산소화합물로서 엔진 내 휘발유의 연소를 도와 배출가스 중 일산화탄소와 탄화수소의 배출을 감소시키는 효과가 있어, 1970년대 이전부터 휘발유 배합기제로 사용되어 왔다. 그러나, 에탄올은 극성이 높은 물질로서 자동차 및 물류 시스템의 제질 영향 등을 고려하여, 기존 차량용 휘발유에 에탄올 함량을 국가별로, 일본은 Max. 3%, 유럽은 Max. 5%, 미국은 Max. 10%로 제한하고 있다.

근래에는 전 세계적으로 에너지안보강화, 기후변화협약 하의 지구온난화 대책, 농업경제활성화 등을 목적으로 바이오연료의 사용확대를 추진하고 있다. 특히 미국, 브라질, 캐나다, 호주, 프랑스, 중국, 인도 등 바이오매스가 풍부한 국가를 중심으로 에탄올의 자동차 연료 사용이 점차적으로 확대되고 있는 추세이다.

바이오연료를 사용함에 따라 CO₂ 배출 저감 효과가 있으나, 우리나라와 같이 거의 전량 수입에 의존해야 하는 경우는 에너지 안보 강화나 농업경제 활성화와 같은 추가적인 효과는 기대하기 어렵다. 이 글에서는 한국이 에탄올을 자동차연료로 도입할 경우, 바이오에탄올의 CO₂ 배출 감소와 그에 따른 경제적 효과를 에탄올 도입에 필요한 유통 인프라 개조 비용과 휘발유 생산원가 상승 비용과 비교하여, 경제성을 분석해 보고자 한다.

2. 바이오 에탄올의 CO₂ 저감효과

바이오매스는 성장과정 동안 광합성을 통해 이산화탄소를 흡수하기 때문에, 바이오매스를 원료로 하여 생산된 바이오연료의 연소과정(Tank -



글 · 신 동 현 | SK 주식회사 석유Lab 부장



글 · 김 은 경 | SK 주식회사 석유Lab 과장

to-Wheel)에서 발생하는 CO₂는 국가 배출 총량에 가산되지 않는다.

아래 표-1은 일본 자원에너지청 연료정책소위원회의 휘발유와 에탄올의 CO₂ 배출량에 대한 Well-to-Wheel 평가결과를 정리한 것이다. 휘발유의 Well-to-Tank CO₂ 배출량은 원유 채굴에서 수송, 정제, 자동차 연료 주입까지의, 연소 이외 전 과정 동안 발생하는 CO₂ 발생량을 의미하며, 바이오에탄올의 Well-to-Tank CO₂ 배출량은 바이오매스 재배 또는 폐건축 자재 수집에서 에탄올 생산, 운송 등, 에탄올의 연소 이외의 전 과정에서 발생하는 CO₂ 량을 산정한 것이다. 일본의 경우 바이오에탄올의 CO₂ Net 배출량은 휘발유 대비 TOE 당 1.8~2.9 톤 배출 저감 효과가 있는 것으로 평가되었다.

표-1} 휘발유와 바이오에탄올의 CO₂ 배출량

(단위 : 톤 CO₂/TOE)

	휘발유	바이오에탄올
Well-to-Tank	0.47	0.43~1.47 ¹ (0.67~0.77) ²
Tank-to-Wheel	2.81	3.08
Net 배출량	3.28	0.43~1.47
ΔCO ₂	1.8~2.9	

- 1) 일본의 폐건축자재를 이용하여 생산하는 경우
- 2) 브라질, 인도로부터 수입하는 경우

그림-1} 탄소배출권 가격 추이

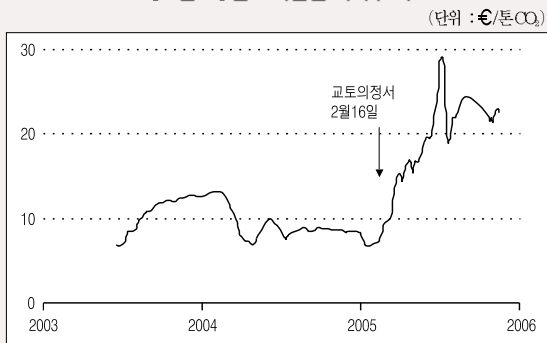


그림1은 Pointcarbon사에서 제공하는 유럽의 탄소 배출권 가격 추이이다. 2005년 2월 16일 교토의정서가 발효되면서 탄소배출권 가격이 거의 두 배로 상승하였다.

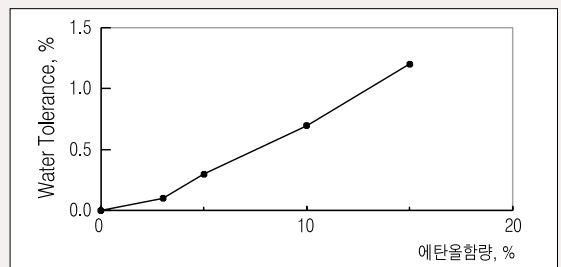
바이오에탄올 1 TOE 당 CO₂가 2.35톤 감축하고, 한국의 기존 휘발유에 배합하던 MTBE 10% 제외하고, 동일 산소함량과 유사한 발열량 수준이 되는 에탄올 5%를 대신 배합한다고 가정하면, 연간 약 50 만톤의 CO₂ 감축 효과가 있게 된다. 이는 2005년 9월 초 유럽의 탄소배출권 가격(€24.5/Ton CO₂)과 환율 ₩1,276/€ 을 기준으로 하면, 배출권 구매 비용을 연간 약 153억원 절감하는 경제적 효과가 있는 것으로 평가할 수 있다.

3. 에탄올 도입에 따르는 비용

(1) 휘발유 물류 인프라 변경

에탄올의 가장 큰 문제점 중의 하나는 친수성으로 인한 수분과의 상분리 현상이다. 아래 그림 2에서와 같이 산소화합물이 들어 있지 않은 Base 휘발유에 에탄올을 3%, 5%, 10% 배합하여 시험한 결과, 수분이 각각 0.1%, 0.3%, 0.7% 이상 오염되면 에탄올이 수분과 함께 휘발유 층으로부터 상분리되었다. 에탄올이 휘발유 층으로부터 분리되면 휘발유의 품질 저하와 폐수량 증가에 따른 환경오염 심화를 초래할 수 있다. 미

그림-2} 에탄올이 혼합된 휘발유의 Water Tolerance



국과 브라질에서는 이와 같은 문제를 방지하기 위해 물류센터 출하단계에서 에탄올과 Base 휘발유를 탱크 로리에 In-Line Blending 하여 주유소에 공급하고 있다.

물류센터 출하단계에서 Base 휘발유와 에탄올을 혼합하기 위해서 휘발유 물류 인프라 변경이 필요하다. 이를 위해서는 정유공장 및 물류센터에 에탄올 저장탱크, 배합 설비, 배관 등을 추가로 설치해야 하며, 에탄올의 양하/출하 설비와 정유공장의 Debutanizer 신설도 검토하여야 한다.

일본 석유산업활성화센터와 자원에너지청의 자료에 따르면, 에탄올이 5% 이상 함유된 휘발유에서 알루미늄과 아연의 부식이 관찰되었고, 알코올 함량이 높을수록 고무, 수지의 체적, 경도, 인장강도의 물성 변화가 심화되는데, 에탄올 10%가 함유된 휘발유에 의해 주유기 내부 팩킹 재질의 변형과 주유기 위부 고무재질이 용해되는 현상이 관찰되었다.

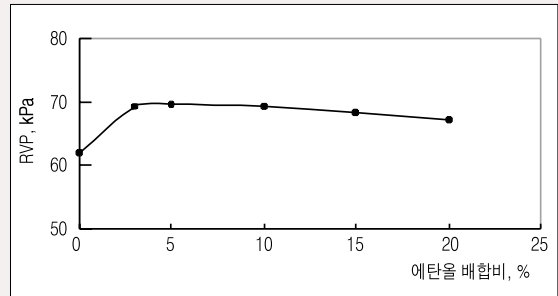
에탄올의 혼합된 휘발유를 공급하기 위해서는 주유소의 지하 저장탱크를 청소해야 하며, 저장탱크 환기 관 개조, 주유기 호스와 팩킹 등 부속품 교환이 필요하게 된다. 일본에서는 저장탱크 부지 확보 등 기타 항목까지 포함하면 유통구조 변경에 대략 3,570억엔이 소요된다고 추산하였다.

일본은 주유소 약 5만개, 정유공장 약 30개, 물류센터 약 240개가 있으며, 한국은 주유소 만 천여 개, 정유사 5개, 물류센터 대략 60 여 곳이 있다. 따라서 한국의 정유공장, 주유소, 물류센터 수는 일본의 1/5 규모로서, 한국의 경우 휘발유 유통 인프라 변경에 대략 6,600 억원이 소요될 것으로 추정할 수 있다.

(2) 휘발유 생산원가 상승

기존 휘발유의 MTBE 10%를 동일 산소함량 기준인

[그림-3] 에탄올 혼합에 따른 휘발유 증기압 변화



에탄올 5%로 대체 한다면, 증기압, 옥탄가 변화와 물량 보정을 고려해야 한다.

순수 에탄올은 수소결합으로 인해 증기압이 14.8 kPa로 낮으나, 아래 그림3에서와 같이 휘발유에 에탄올이 3~10% 배합되면 에탄올의 분자간 수소결합이 끊어 지면서 휘발유의 증기압을 약 8kPa 증가시킨다.

이와 같은 증기압 상승 영향으로 기존 휘발유 배합 성분 중 부탄, 펜탄의 배합을 줄여야 하는데, 부탄의 경우 배합비를 2~3% 감소하여야 한다. 따라서, 기존의 휘발유 MTBE 10%를 에탄올 5%로 대체하면서, 기존의 휘발유 내수 물량대로 공급하려면, 전체 물량의 7~8%을 충당하기 위한 다른 반제품 물량이 추가적으로 더 필요하다.

옥탄가 영향을 살펴보면, 에탄올의 Blending Octane Number는 RON 125~130이며, MTBE는 RON 115~120으로, 에탄올의 옥탄가가 MTBE 보다 10정도 더 높다. 그리고, 에탄올은 산소함량이 34.7%이고, MTBE는 18.2%로, 동일 산소함량을 기준으로 하면 에탄올은 MTBE의 절반만 배합하면 된다. 옥탄가가 92인 Base 휘발유에 MTBE 10%를 배합하면 RON이 2.7 상승하는데 반해, 동일 산소함량인 에탄

을 5% 를 배합하면 RON이 1.6 상승한다. 따라서, 동일 산소 함량을 기준으로 하면 에탄올은 MTBE에 비해 옥탄가 1.1 이 감소하므로, 고옥탄 유분의 추가 배합이 요구된다.

물량보정과 RON 1.1 저하를 보정하기 위해서 옥탄가가 높으면서 방향족 및 올레핀 성분이 없는 Alkylate를 7~8% 추가 배합해야 한다. Alkylate, MTBE에 비해 상대적으로 저가인 부탄의 배합비를 줄이고, 고가 유분인 Alkylate와 에탄올 배합을 증가 시킴으로써, 휘발유의 생산원가가 \$1~2.5/Bbl 상승하게 된다. 2004년 한국의 휘발유 내수 5천8백만 배럴을 감안하면, 한국의 전체 휘발유 생산에 580~1,450억 원의 비용이 매년 추가 발생하게 된다.

(3) CO₂ 배출 저감 효과와 비교

그렇다면, CO₂ 저감효과에 따른 경제적 효과와 에탄올 도입에 따라 발생하는 제반 비용을 비교해 보면 어떻게 될까? 기후변화협약 이행기간인 5년과 새로 투자되는 물류 인프라의 감가상각을 고려하여 20년을 기준으로 정리하면 표2와 같이 된다. E5 전환 시, 5년간 765억의 탄소 배출권 구매 감소 효과가 있는 반면, 에탄올 도입에 따른 휘발유 물류인프라 변경과 휘발유 생산원가 상승으로 12~18배 더 많은 비용이 소요되며, 20년을 기준으로 하여도 탄소배출권 구매 비용 보

다 4~10배 더 큰 비용이 소요된다. 결국, 탄소 배출권이 현재 수준의 4~10배 이상 상승하는 경우여야 에탄올의 연료 도입이 기후변화 협약 이행 방안으로서 경제성이 있다고 할 수 있겠다.

4. 맺음말

본문에서는 바이오에탄올의 CO₂ 저감효과의 경제성에 대하여, 에탄올 도입시 물류 인프라 변경 비용과 휘발유 생산원가 상승과 비교하여 분석하여 보았다.

에탄올은 미량의 수분 오염시 에탄올이 수분과 함께 휘발유로부터 상분리되며, 에탄올 혼합시 휘발유의 증기압을 상승시켜 휘발유 배합 유분인 부탄, 펜탄의 배합 제약을 초래한다. 또한, 물류 시스템의 저장, 공급 계통의 금속 재질의 부식과 고분자 재질의 열화를 심화시키는 문제점이 있다. 이와 같은 특성 때문에, 에탄올을 연료용으로 도입하는 경우 휘발유 물류 인프라 변경과 휘발유 생산원가 상승에 막대한 비용이 소요된다.

바이오매스로부터 생산되는 에탄올은 CO₂ 배출 감소효과가 있어 기후변화협약 이행 수단이 될 수 있으나, 한국의 경우 에탄올 도입에 따른 CO₂ 감소 효과보다 물류 인프라 변경과 휘발유 생산에 12~18배 더 많은 비용이 소요된다. 이상과 같이 언급된 여러 가지 측면에서 에탄올의 연료 도입은 현실적으로는 비경제적인 방안이라 할 수 있다.

에너지를 다양화하여 국가에너지 안보를 강화하고, 지구온난화 문제를 해결하고자 하는 차원에서 바이오연료의 도입은 검토되어야 할 과제임에는 분명하나, 국가 경제적으로 손실이 발생하지 않는 범위에서 도입되어야 하겠다. ☺

표-2 에탄올 도입비용 및 CO₂ 배출 절감효과비교

	소요 비용	CO ₂ 배출 저감 효과
E5 도입시	*생산원가증가: 580~1,450억원/년 *인프라 구축: 6,640억원	*TOE당 2.53톤 감축가정 *50만톤/년배출량 감소 *배출권 153억원/년 절감효과
5년* 기준	0.89~1.39조원	765억원
20년 기준	1.19~2.93조원	3,060억원

*5년: 료토프로 토틀이행기간, 2008~2012년