

국산 바이오 에탄올의 적정 공급 믹스 방안

2013년 3월 13일

전남대학교 경제학부 배정환 교수

연구 배경 및 목적

- 2013년 RFS 제도 도입에 앞서 바이오에탄올 공급 방식을 두고 정유사와 주정회사가 상반된 입장에 있음
- 정유사는 경제성만을 도입 기준으로 삼고, 가장 저렴한 브라질산 에탄올의 직수입에 100% 의존하는 방식을 주장
- 주정업계는 경제성뿐만 아니라 에너지 안보, 환경성, 에탄올 관련 중소기업 육성, 농업소득보전 등 다양한 기준을 고려하여 국산 원료+국산에탄올, 수입원료+국산에탄올, 수입 에탄올로 공급 다변화 방식 선호
- 다양한 기준에 입각하여 국산 바이오에탄올용 원료의 적정 믹스 분석

연구 내용

- 수입에탄올, 국산에탄올, 휘발류의 공급가격 추정을 통해 국산에탄올(E3)의 공급 원료별 경제성 및 휘발류 가격인상효과 분석
- 국산 에탄올 생산의 경제적, 환경적 파급효과
- 국산원료+국산에탄올, 수입원료+국산에탄올, 수입에탄올에 대한 국민 선호도 설문조사에 의한 국산에탄올의 지불용의액 추정
- 경제성, 환경성, 에너지 및 농업 안보 등을 감안한 적정 에탄올 공급 믹스 제시
- 국산에탄올 공급 방안 및 정책 제언

국내 에탄올 생산 현황

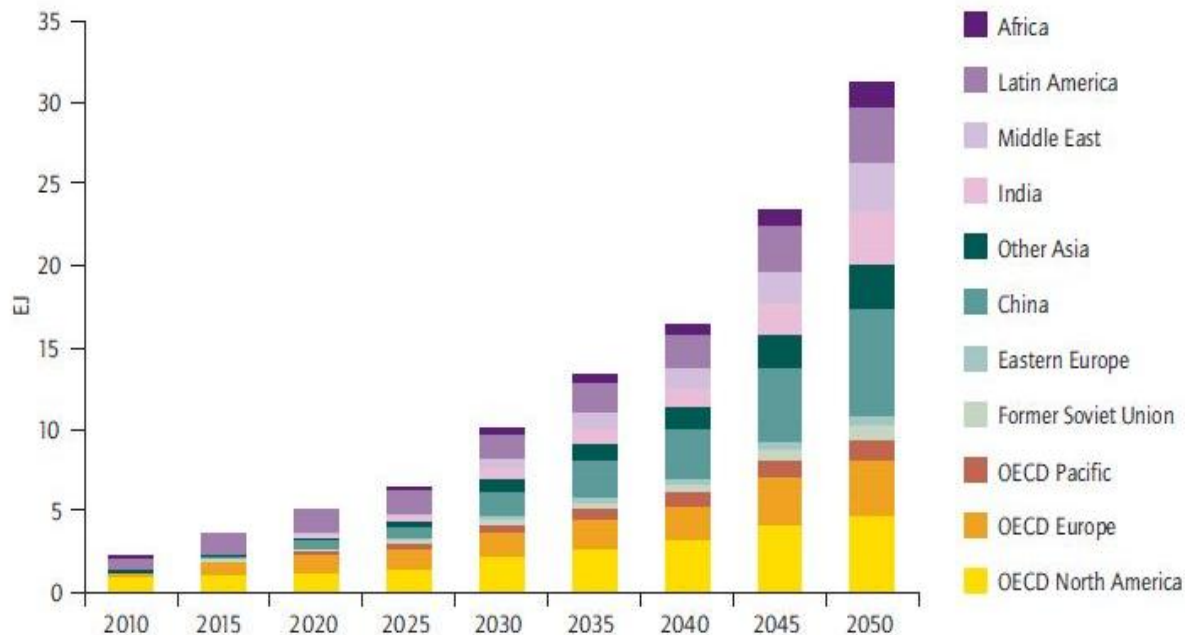
- 주류용으로 생산되는 국산 에탄올은 **2011년 기준 30만 KL**
 - 이 가운데 **15만톤** 가량은 발효주정이고, 나머지는 정제주정임
 - 발효주정용 원료로는 보리, 정부미, 수입 타피오카가 **3등분** 하고 있음
 - 이외에 우리밀과 고구마, 옥수수 등이 일부 사용되고 있음
- 일부 주정업체는 해외농장을 개척하여 에탄올 원료를 공급할 계획
 - 캄보디아, 파푸아뉴기니, 브라질 등지에서 카사바, 타피오카, 사탕수수 등을 이용하여 바이오에탄올 생산 계획

해외 바이오에탄올 시장 동향

- 2011년 전세계 바이오에탄올 생산량은 **8610만KL**로서 미국과 브라질이 각각 **63%**와 **24%**를 차지하고 있음
- 뒤이어 중국, 캐나다, 프랑스, 독일 순으로 생산
- 바이오디젤 및 에탄올을 포함한 바이오연료는 전세계 수송연료의 **3%**를 차지하고 있음
- 지난 **10**년간 바이오에탄올 시장은 **1700만KL**에서 **5**배 가량 팽창함
- 바이오디젤이 **2011년 기준 2140만KL**로 바이오에탄올 시장이 바이오디젤에 비해 **4**배 이상으로 성장함
- 미국과 유럽연합, 일본은 중남미와 동남아시아로부터 바이오에탄올을 대량 수입하고 있음

바이오에탄올 시장 전망

- 향후 10년간은 OECD 국가가 바이오연료의 주요 수요처가 되겠지만, 2030년에 이르면 비OECD 국가가 전세계 바이오연료 수요의 60%, 2050년까지 70%의 비중을 차지할 것으로 전망됨 (REN21)



전 세계의 바이오에탄올 보급 정책

- 대다수의 바이오에탄올 보급 국가들은 보조금 및 면세정책과 바이오연료의무화정책(RFS)을 혼합해왔음
- 19개국이 바이오에탄올에 대한 면세정책과 농업에 대한 생산 보조정책 시행중
- 46개국이 바이오연료의무화정책(RFS)을 시행중임
- 유럽연합과 미국은 바이오에탄올에 대한 지속가능성 기준을 강화하고 있음
- 바이오에탄올 공급 방식별 온실가스 배출량에 대한 생애주기 분석(LCA)을 통해 온실가스 저감 최저기준과 가중치를 부과하고 있음
- 국산에탄올, 셀룰로오스 바이오에탄올의 온실가스 저감 가중치를 높게 부여함

바이오에탄올 공급 방식별 경제성 분석절차

발효주정 생산원가 추정

10개 주정회사의 재무제표 이용

패널회귀분석에 의해 비용함수 추정



국산 무수에탄올 공급가격 추정

발효주정의 무수화 비용 감안

국산보리와 타피오카 사용비중별 시나리오 적용

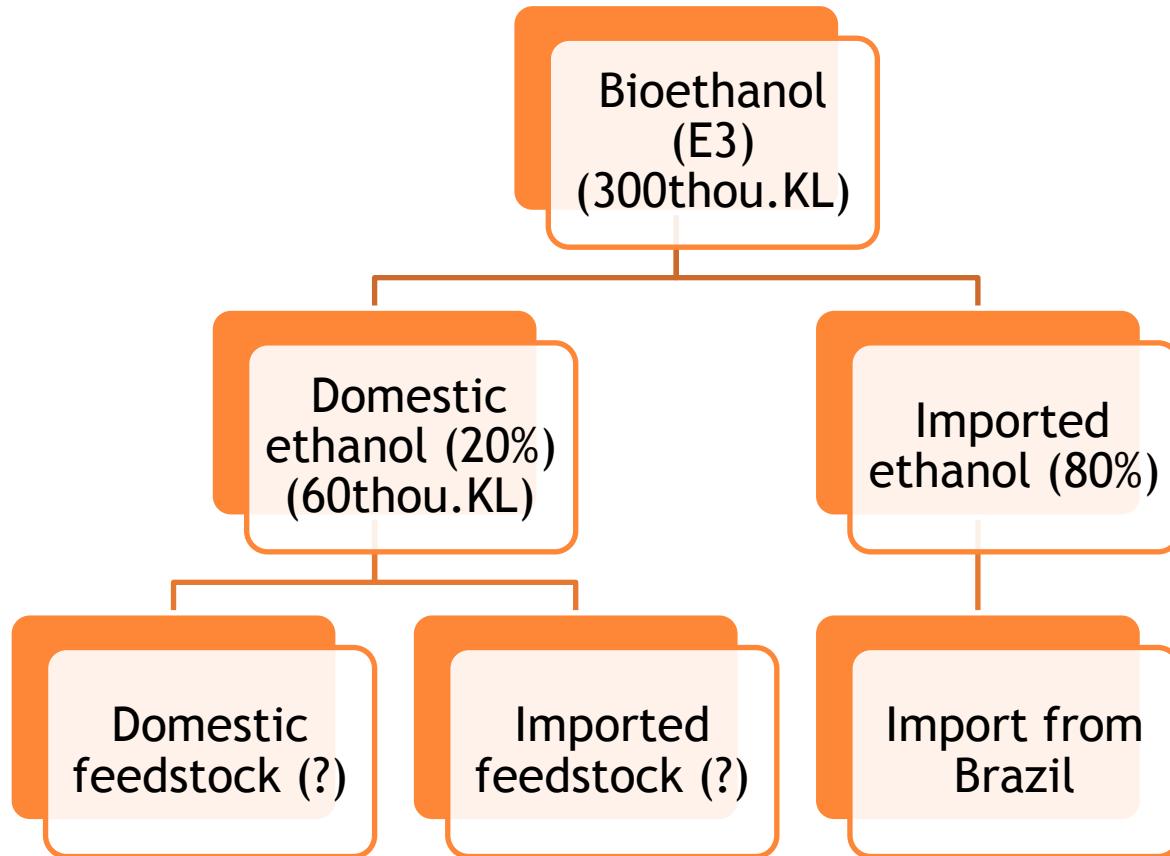


에탄올 직수입 가격 및 휘발류 가격과 비교

브라질산 무수에탄올과 국산에탄올
가격 비교

E3 기준 휘발류 가격 인상 효과 추정

에탄올 공급 믹스 (단기)



발효주정 생산 원가 추정

- 패널분석결과 주정원료단가가 100% 상승시 발효주정단가는 72.8~74.2% 상승하며, 평균탄력성 73.5% 적용

설명변수/모형	고정효과모형	확률효과모형	GLS 모형	동태패널모형
	추정계수/표준오차			
평균노임	0.100***	0.083***	0.065***	0.091***
	0.021	0.018	0.014	0.024
평균연료비	0.051***	0.095***	0.115***	0.043
	0.018	0.013	0.01	0.056
평균공해처리비	0.006	0.004	0.004	0.023***
	0.004	0.004	0.004	0.008
평균자본비	0.058***	0.046***	0.040***	0.061**
	0.009	0.008	0.006	0.025
평균판관노임	0.060***	0.048***	0.042***	0.024
	0.016	0.013	0.011	0.045
평균관리비	0.021	0.004	-0.004	0.061
	0.014	0.014	0.013	0.041
평균원료비	0.738***	0.740***	0.742***	0.728***
	0.009	0.009	0.009	0.017
전기평균생산단가				-0.03**
				0.013

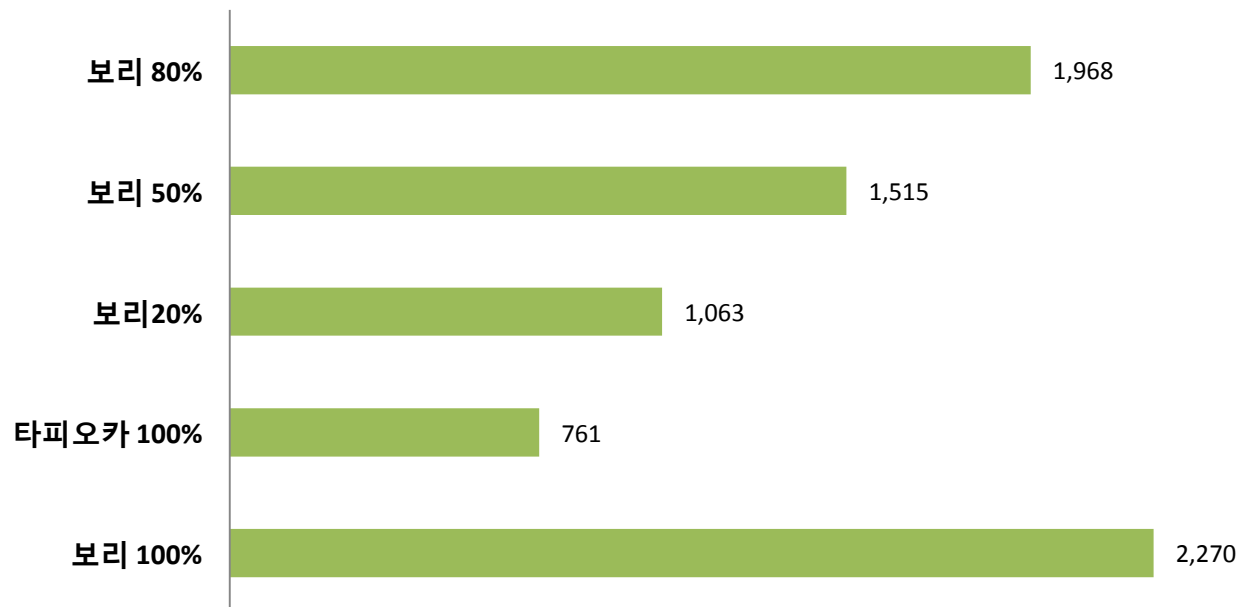
국산 에탄올 공급 가격 추정

- 100% 보리를 이용한 무수에탄올 리터당 비용은 2,270원, 평균 원료비가 1,046원이므로 원료비는 117% 상승
- 원료비의 발효주정 생산비 탄력성이 73.5%이므로 발효주정 생산비는 86% 상승하여 2,652~3,154원으로 상승
- 발효주정의 무수화 가공비는 최저 118원과 최고 150원을 적용
- 국산 보리를 100% 이용한 에탄올 공급 가격은 리터당 2,770~3,304원으로 추정됨

보리와 타피오카 혼합비중별 원료 가격

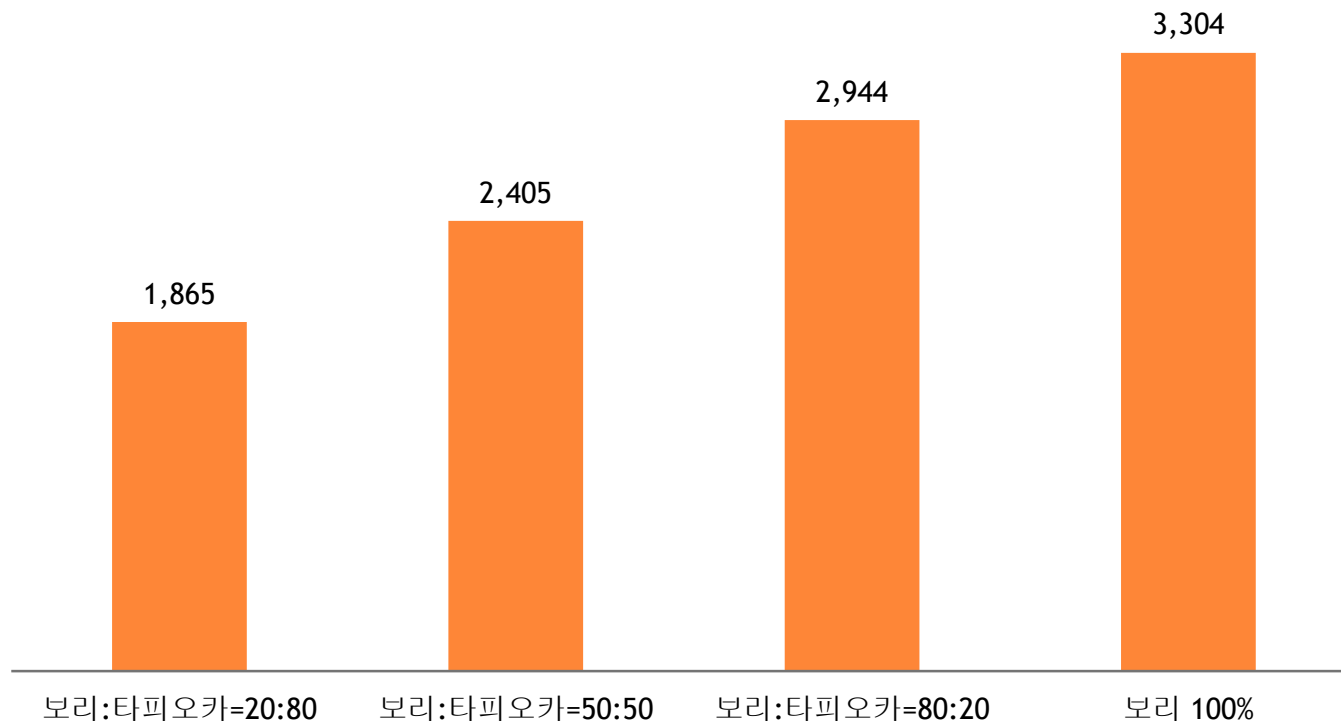
- 보리와 타피오카 비중을 각각 20:80, 50:50, 80:20, 타피오카 100%, 보리 100%인 경우 원료비는 에탄올 리터당 761~2,270원으로 추정됨

2011년 기준 보리와 타피오카 비중별 에탄올 리터당 비용



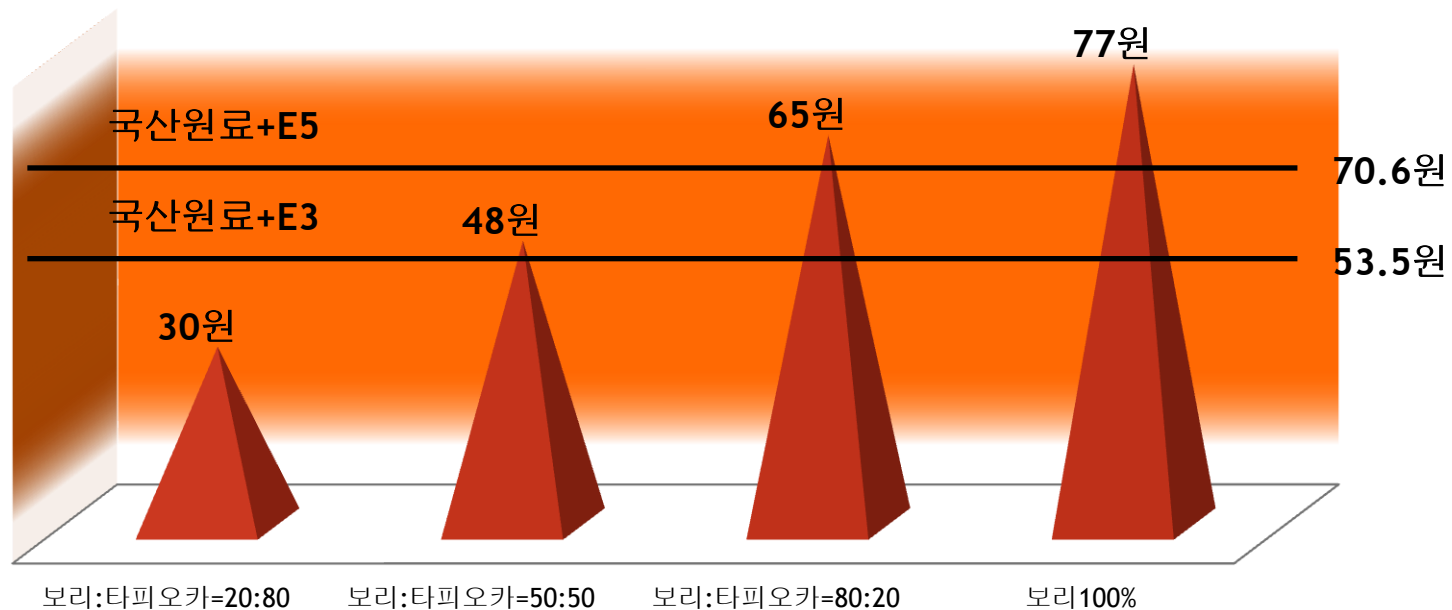
보리와 타피오카 혼합비중별 에탄올 공급 가격 비교

- 혼합방식별 국산에탄올 공급가격을 추정한 결과 리터당 1,865~3,304원으로 추정됨 (무수화 가공비 150원 기준)



휘발류 가격과 E3 가격 비교

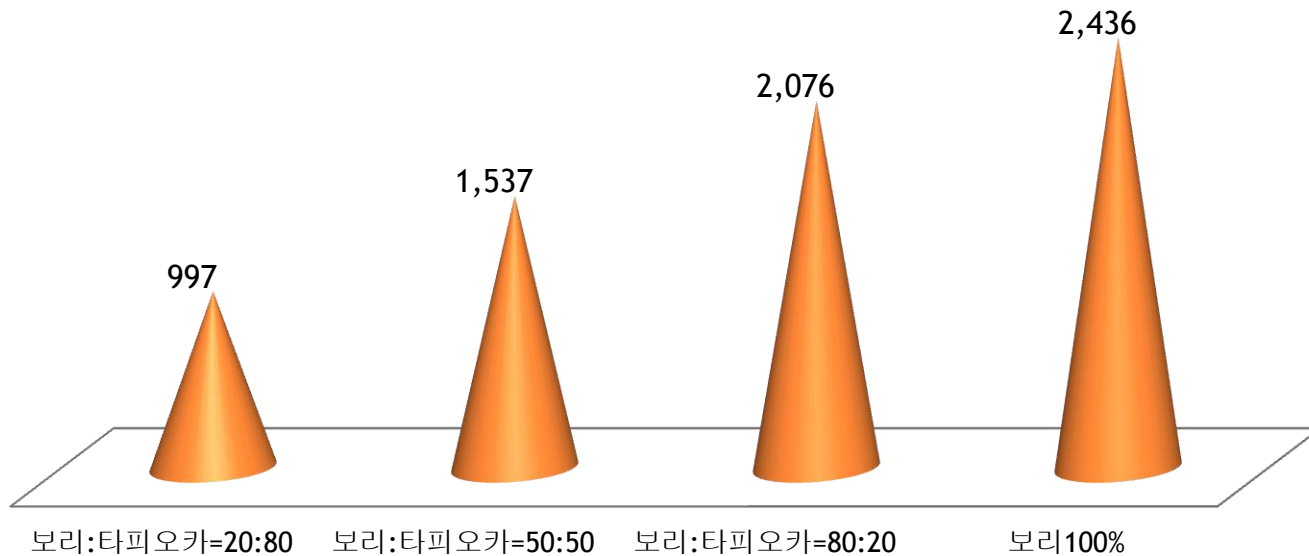
- 2012년 9월 기준 휘발류 가격 (1898원/리터) 대비 E3 가격 인상 효과는 리터당 30~77원으로 추정
- 휘발류 가격 인상율은 1.6~4.1%로 추정됨 (무수화 가공비 150원 기준)



직수입 에탄올과 국산에탄올간 가격 격차 비교

- 브라질산 바이오에탄올 가격을 리터당 **1100원**으로 할 경우, 국산 보리와 타피오카 혼합율에 따라 **997~2436원**의 격차

수입에탄올과 국산에탄올 가격차이



국산 바이오에탄올의 경제적 파급효과

- E3 생산량의 20%를 국산보리를 이용하여 국내 주정회사에서 에탄올을 공급하는 경우 전·후방연쇄효과, 부가가치효과, 고용효과 추정
- 한국은행 2010년 산업연관표 소분류상의 주류산업에서 투입 산출계수 추출

산업파급효과	주류산업
전방연쇄효과	1.459
후방연쇄효과	2.026
영향력계수	0.693
감응도계수	0.499
부가가치유발계수	0.853
취업유발계수(명/10억원)	5.921
고용유발계수(명/10억원)	3.834

국산 바이오에탄올의 경제적 파급효과

- 6만KL의 에탄올 추가 생산에 따른 주정회사의 매출 증가액을 1,677~1,982억원으로 추산
 - 보리 100% 이용, 발효주정 평균생산비 (1,426~1,439원), 발효주정 최근가격 (1,696원) 등 다양한 시나리오 고려
 -
- 시나리오별로 산업연관분석 결과, 전방연쇄효과는 2,425~2,892억원, 후방연쇄효과는 3,368~4,016억원, 부가가치유발효과는 1,418~1692억원으로 추산됨
- 또한 취업유발효과는 984~1,174명, 고용유발효과는 637~760명으로 추산됨

바이오에탄올의 환경적 효과

- E3 기준 온실가스 저감 효과를 추정
- 휘발류 대체량 30만KL를 바이오에탄올로 대체할 경우 온실가스 저감율은 미국 EPA 보고서에 의하면 16~39% 정도인 것으로 추정됨
- 휘발류의 탄소배출계수 $2.12\text{TCO}_2/\text{KL}$ 적용

유형	휘발류대체량 (KL)	온실가스 발생량 (TCO ₂)	온실가스 저감량 (최소)	온실가스저감량 (최대)
E3	300,000	637,362	101,978	248,571
E5	500,000	1,062,270	169,963	414,285
E7	700,000	1,487,178	237,948	579,999

온실가스 저감 편익 추정

- 온실가스 저감 편익 계산을 위해 EU-ETS 2011년 평균 탄소배출권 거래가격 7EUR을 적용함
- EUR 대비 환율 1541원을 적용하면 탄소 1톤당 10,787원임
- E3 기준 에탄올의 온실가스 저감 가치는 11~27억원, E5 기준 18~45억원, E7 기준 25~63억원임

	온실가스 발생량(TCO2)	온실가스 저감량 (최소)	저감 가치 (백만원)	온실가스저감량(최대)	저감 가치 (백만원)
E3	637,362	101,978	1,100	248,571	2,681
E5	1,062,270	169,963	1,833	414,285	4,469
E7	1,487,178	237,948	2,567	579,999	6,256

국산에탄올의 환경적 효과 추정의 한계

- **E3**를 생산하는 데에 필요한 에탄올을 브라질에서 수입할 경우와 국산 보리 혹은 해외농장에서 재배한 원료를 이용한 경우에 대해 상대적인 온실가스 저감 효과를 비교하는 추가적인 연구가 필요함
- 이는 **LCA** 기법을 이용하여 에탄올 수입을 위한 운송과정에서 발생하는 온실가스를 분석해야 함
- 보리 생산 및 연료 이용시 발생하는 온실가스 배출량도 추가 분석 필요
- 이러한 온실가스 배출량 비교 분석은 향후 정부 차원에서 반드시 추진하여 에탄올에 관한 지속가능원칙 기준을 확립할 필요

국산바이오에탄올의 농업소득 보전효과

- 국산 보리를 사용하여 바이오에탄올을 생산하는 경우 농업부문의 보리 생산량을 확대함으로써 농가 소득 향상 효과가 있음
- 이를 위해 E3를 기준으로 에탄올 생산량의 20%, 50%, 80%, 100%를 보리를 이용하여 생산할 경우 보리 소요량, 2011년 보리 전체 생산량과 시장 규모 대비 생산량과 농가수입을 비교함
- 2002~2011년의 10년간 보리 구매 단가는 쌀보리의 경우 1,167원, 겉보리는 1,055원이고 이를 평균하면 1,111원임

국산바이오에탄올의 농업소득 보전효과

- 에탄올 생산을 위해 투입되어야 하는 보리 필요량 계산을 위해 무수에탄올 기준 보리의 수율은 **0.365**를 적용함
- **E3** 생산량의 **20%**를 보리에 의해 생산할 경우 **164,384**톤의 보리가 필요하며, **50%**로 늘리면 **410,959**톤, **80%**는 **657,534**톤, **100%**로 늘리면 필요한 보리는 **821,918**톤으로 추산됨
- 과거 **10**년간 보리평균단가와 **2011**년 기준 보리구매단가를 기준으로 하여 농업소득을 추정해보면 국산 보리를 이용한 바이오에탄올 비중이 **20~100%**로 증가함에 따라 **1,827**억원에서 **1조**원에 이르는 것으로 추정됨

바이오에탄올 공급방식에 대한 국민 선호도 조사 개요

구 분	내 용
조 사 기 간	2012년 11월 19일 ~ 12월 8일 (주말 제외 총 12일간)
조 사 지 역	전국 16개 시.도(제주 포함)
조 사 대 상	휘발유 차량을 운전하는 만 19세 이상 남녀
표 본 크 기	500명
표 본 오 차	95% 신뢰수준에서 최대 $\pm 4.4\%$ point 허용
표 본 추 출	지역.성.연령별 층화추출
조 사 방 법	개별직접면접(Face-to-Face interview)
자 료 수 집	(주)월드리서치

선택 실험법에 의한 설문 조사 주요 내용

- 국산 바이오에탄올이 갖는 다양한 효과를 인지하도록 다음과 같이 중요도 설문을 함

바이오에탄올의 긍정적 효과	매우 중요하 다	약간 중요하 다	보통 이다	별로 중요하 지 않다	전혀 중요하 지 않다
1. 온실가스 배출량을 줄여 지구온난화 문제 해결에 도움이 됨	①	②	③	④	⑤
2. 보리나 고구마 등 국산원료를 이용함으로써 우리나라 농업 보전과 농가소득 향상에 기여함	①	②	③	④	⑤
3. 국내 에탄올 산업 활성화에 기여함	①	②	③	④	⑤
4. 국산에너지를 생산함으로써 석유와 같은 수입 에너지를 대체함	①	②	③	④	⑤

선택 실험법에 의한 설문 조사 주요 내용

- 또한 바이오에탄올 공급 방식별, 공급량별로 경제적, 환경적, 사회적 효과 측면에서의 차이점을 알기 쉽게 설명함

에탄올 공급 유형	국산 원료를 이용한 국산 에탄올 제조	해외농장에서 원료를 수입하여 국산 에탄올 제조	에탄올 해외 직수입
국내농업 활성화 효과	○	X	X
국내 에탄올 산업 활성화 효과	○	○	X
국산에너지 생산 효과	○	△	X
온실가스 저감효과	○	△	△
정부 보조금 투입 필요성	○	△	X

유형	휘발유대체량 (단위: 1,000리터)	온실가스 저감량
바이오에탄올을 휘발유에 3% 혼합	300,000	10만톤 ~ 25만톤
바이오에탄올을 휘발유에 5% 혼합	500,000	17만톤 ~ 41만톤
바이오에탄올을 휘발유에 10% 혼합	1,000,000	24만톤 ~ 58만톤

선택실험법 적용 내용

○ 선택 실험법에 적용된 주요 속성과 속성별 수준도 제시함

속성	설명
바이오에탄올 가격 변화	1) 국내 휘발유 판매 가격 대비 리터당 20원 상승 2) 국내 휘발유 판매 가격 대비 리터당 80원 상승 3) 국내 휘발유 판매 가격 대비 리터당 120원 상승
에탄올 원료 조달 방법	1) 국산원료사용 : 국산 보리, 고구마 등을 국내에서 생산하여 국내에서 에탄올 생산 2) 해외농장조달 : 해외 농장에서 재배한 타피오카, 카사바 등의 원료를 수입하여 국내에서 에탄올 생산 3) 에탄올직수입 : 해외에서 에탄올을 직수입 함
바이오에탄올 혼합비율	1) 바이오에탄올을 휘발유에 3% 혼합 2) 바이오에탄올을 휘발유에 5% 혼합 3) 바이오에탄올을 휘발유에 10% 혼합 ※ 바이오에탄올을 휘발류에 10%까지 혼합하더라도 자동차의 성능이나 주행에는 영향이 없음을 참고하시기 바랍니다.

선택 실험법 설계 내용

- 9개의 선택집합을 구성하고, 각 집합내에 두개의 바이오에탄올 대안을 제시하여 총 18개의 프로파일 생성
- 주요 속성은 에탄올 공급방식(국산원료/해외농장원료를 이용한 국산에탄올, 에탄올 직수입), 에탄올 혼합비중(3,5,10%), 에탄올 혼합 휘발류의 가격 상승정도(20, 80, 120원 증가) 사용
- 질문의 공정성을 위해 선택하지 않을 가능성 부여

문10-1) 제 1 선택형	바이오에탄올 A	바이오에탄올 B	선택하지 않음
리터당 가격	80원 증가	20원 증가	
원료조달방식	해외농장에서 원료수입	에탄올 직수입	
바이오에탄올 혼합비율	3%	3%	
선호하는 유형	①	②	③

바이오에탄올 공급방식에 대한 국민 선호도 추정 결과

- 추정을 위해 패널로짓모형 적용
 - 고정효과 모형과 확률효과모형을 사용
- 국산원료라는 속성이 선택에 가장 큰 영향을 미치며, 다음으로 에탄올 혼합율을 5%로 하였을 경우, 에탄올 혼합율을 3%로 하였을 경우, 그리고 해외농장에서 생산된 원료를 이용한 에탄올의 경우로 나타남
- 에탄올 혼합 휘발류 가격 상승정도가 선택 확률에 미치는 영향이 가장 낮게 나타남
- 국산원료를 이용하여 생산한 에탄올인 경우 에너지 안보 효과, 농업 안보 효과, 바이오에탄올 산업 창출효과, 환경개선효과 등을 수반하며 지불용의액(willingness to pay)이 리터당 52원으로 추정됨

바이오에탄올 공급방식에 대한 국민 선호도 추정 결과

- 국산원료를 이용한 바이오에탄올에는 에너지안보, 농업안보, 경제적, 환경적 효과가 결합되어 있음
- 해외농장에서 생산한 원료를 이용한 국산 바이오에탄올에 대한 지불용의액은 리터당 **0.96~1.2**원으로 상대적으로 낮게 추정됨
- 에탄올 혼합율이 **3%**인 경우에는 지불용의액이 리터당 **0.6~1.5**원에 불과하나 **5%**로 늘어나면 리터당 **17~18**원으로 크게 상승함
- 이는 국민들이 온실가스 저감효과 측면에서 에탄올 혼합율 **3%**보다는 **5%**를 더 선호한다고 해석할 수 있음

패널로짓 고정효과 모형 추정 결과

설명변수	추정계수	WTP
리터당 가격(원)	-0.030*** (-17.990)	-
국산원료	1.552*** (14.560)	52.346
해외농장	0.034 (0.400)	1.153
3% 혼합	0.046 (0.490)	1.538
5% 혼합	0.516*** (5.4)	17.413
로그우도값	-5428.304	

패널로지트 확률효과 모형 추정 결과

설명 변수	추정계수	WTP
리터당 가격(원)	-0.029*** (-17.3)	-
국산원료	1.507*** (14.05)	52.423
해외농장	0.028 (0.33)	0.960
3% 혼합	0.019 (0.21)	0.663
5% 혼합	0.546*** (5.73)	18.985
상수항	0.973*** (2.810)	-
rho	0.226 (0.10)	-
로그우도값	-5489.164	

사회 경제적 이질성 분석 결과

- 연령, 교육수준, 소득, 성별 등 다양한 응답자의 사회, 경제적 특성별로 선호도에 유의한 차이가 있는지 검증
- 이 가운데 소득과 성별에 대한 분석 결과만 요약하면, 국산원료에 대한 지불용의액은 2, 4분위 소득계층에서 1,3분위보다 높게 나타나 소득 수준이 높은 계층의 지불용의액이 더 높음을 알 수 있었음
- 남성보다는 여성이 국산원료에 대한 지불용의액이 더 높은 것으로 분석되었음

국산에탄올의 사회적 순편익 도출

- E3의 20%인 6만KL를 국산보리를 이용하여 국내에서 생산하는 경우 기대할 수 있는 총 사회적 편익은 평균 1,590억원으로 추산됨
 - 국내주류산업에 미치는 부가가치효과가 평균 1,555억원, 에너지 안보효과 31억원, 환경개선편익 3.3억원을 합산한 결과임
 - 에탄올의 국내생산에 따른 전후방연쇄효과나 농업소득증대효과는 이중계산의 소지가 있으므로 제외함
- 브라질산 에탄올을 직수입하는 경우 100% 보리를 이용한 바이오에탄올과의 가격 차이는 리터당 2,172~2,204원으로 6만KL에 대해 1,303~1,322억원
 - 에탄올 직수입 가격 리터당 1100원 기준
- 100% 국산원료를 이용한 에탄올의 사회적 순편익은 286~267 억원으로 추산되어 사회적으로 바람직한 결과 기대

적정 국산원료 에탄올 공급 믹스

- 보리:타피오카=50:50인 경우 E3가 휘발류 가격에 미치는 효과를 보면, 최근 휘발류 가격 기준으로 리터당 48원 인상되고, 보리 비중이 80%인 경우 65원까지 인상되는 것으로 나타남
- E3에 대한 지불용의액이 리터당 54원이므로 보리 비중을 50%로 혼합하여 E3 공급 가능

모형	패널로짓 고정효과	패널로짓 확률효과	평균WTP
국산원료 E3 WTP	52.35	52.42	52.38
해외농장 E3 WTP	1.15	0.96	1.06
E3 WTP	1.54	0.66	1.10
E5 WTP	17.41	18.99	18.20
국산원료+E3 WTP	53.88	53.09	53.49
국산원료+E5 WTP	69.76	71.41	70.58

정책 제언

- 단기적으로 국산 에탄올 비중을 **20%**로 하고, 중장기적으로 국산 원료 생산비 저감을 통해 **E5의 100%**를 국산원료를 이용한 바이오에탄올에 의해 공급할 수 있도록 중장기 마스터플랜을 수립해야 할 것임
 - 중장기에는 초본류나 속성목을 이용한 바이오에탄올, 해조류 바이오매스나 미세조류를 이용한 바이오에탄올 보급 계획 수립 필요
- **RFS** 관련 규정에 국산 바이오에탄올의 일정량을 사용하도록 하는 조항을 포함할 필요
 - 바이오에탄올을 수입에 의존할 경우 수송부문 에너지 자립도를 개선할 수 없을 뿐만아니라, 중장기적으로 에탄올 가격 폭등시 화석연료와 동일한 문제 봉착
 - 미국도 **RFS2**에서 자국 바이오매스 원료를 이용한 에탄올에 쿼터제 적용

정책 제언

- 지경부에서 준비중인 RFS 제도 도입시 바이오연료에 대한 REC (Renewable Energy Certificate) 가중치 설정 필요
 - 미국, 유럽 등은 원료 생산 및 최종 연료 소비에 이르는 전 과정에서 발생하는 바이오연료에 대한 온실가스 배출량을 분석하여 원료 공급 방식별, 기술별로 RFS에서의 가중치를 다르게 적용하고 있음
 - 국산원료를 이용하거나 차세대 기술(셀룰로스 바이오매스 등)을 이용한 바이오에탄올에 대해서는 높은 가중치를 부여하고, 수입 에탄올에 대해서는 낮은 가중치를 부여할 필요가 있음
- 원유는 전량 수입하지만, 정제공정의 국산화로 석유가 수출산업이 되었듯이, 에탄올도 국산화를 통해 산업 고도화를 기대할 수 있을 것임
 - 70년대 중화학공업 육성정책의 지원을 받았다는 점에서 정유산업의 사회적 기여가 필요함
 - 에탄올 국산화를 통해 에너지 안보 강화, 중소기업 육성, 농업소득 보전, 환경개선 등 Co-benefit 기대

경청해 주셔서
대단히 감사합니다!!!