

정책 이슈페이퍼 16-17

에너지 효율 리바운드 효과와 온실가스 감축

이 상 준

목 차

- I. 연구배경 및 문제점 / 1
- II. 모형 및 분석 결과 / 3
- III. 결론 및 향후 과제 / 20
- 〈참고자료〉 / 22

I. 연구배경 및 문제점

- 에너지 효율을 높이는 기술이나 기기가 보급될 경우 이전에 비해서 단위 에너지 사용을 낮추게 됨에 따라 에너지 소비는 감소하게 됨.
 - 이러한 논리는 다른 모든 조건이 동일하다는 다소 거친 가정 하에서만 성립한다는 한계가 있음
 - 효율 기기가 도입되었을 경우에도 동 기기의 사용량은 이전의 기기와 동일하며 해당 경제 주체의 소득도 동일하다는 전제하에서만 이와 같은 논리가 성립
- 고효율 기술이나 기기를 도입하는 경제주체의 총에너지소비의 관점에서 에너지 효율 개선의 효과는 논쟁의 대상이 되어왔음.
 - 에너지의 소비를 볼 때 에너지 효율 개선에 따른 소비자의 행태변화가 반드시 수반되기 때문에 에너지 효율 개선에 따른 효과는 직접적으로 계측되는 효과보다 낮을 수 있음.
 - 리바운드 효과는 소비자나 시장에서의 반응을 감안하지 않은 채 예상된 에너지 소비 절감분과 실제 달성된 에너지 소비 감축분의 차이로 나타나게 됨.
 - 리바운드 효과의 크기는 공학적으로 계측된 효율개선에 따른 에너지 절감분에서 손실된(달성되지 못한) 부분의 비율로 표시될 수 있음(이지연, 2014; Gillingham et al., 2014).
- 리바운드 효과가 발생하는 채널에 대해서는 명확한 이론적 배경이 부족한 상황

- 가장 일반적으로 사용되었던 분류는 리바운드 효과를 직접효과(direct effect), 간접효과(indirect effect), 경제전반효과(economy-wide effect)의 세 가지 채널로 분류하는 것임.
- 직접 효과는 에너지 효율을 개선된 상품의 소비와 관련된 효과를 의미하며 간접효과는 기타 상품의 소비에 미치는 효과를 의미하며 경제전반효과는 거시경제적 영향으로 경제전반에 걸친 소비의 변화를 의미
- 이러한 분류는 리바운드 효과가 발생하는 채널에 대한 정보를 제공하고는 있으나 명확한 경제학적 기반을 바탕으로 산출된 것이 아니라는 점에 한계
- 각각의 채널에 대한 정의가 불명확하게 받아들여질 수밖에 없으며 이에 따라 실증분석에서도 연구에 따라 큰 차이를 보이게 됨.

□ 본 연구는 에너지 효율 개선의 리바운드 효과가 일어나는 미시적 채널에 대한 논의를 정리하고 실증 분석 사례를 제시하는 것을 목적으로 함.

- 리바운드 효과에 대한 미시경제 모형을 통해 리바운드 효과의 채널에 대한 명확한 배경을 설명
- 이를 바탕으로 실증분석 사례를 제시하여 리바운드 효과의 크기를 재검토
- 본 연구에서는 평균에너지소비효율제도(평균연비제도, Corporate Average Fuel Economy)를 사례로 리바운드 효과를 반영하여 온실가스 감축효과를 분석 함.

II. 모형 및 분석 결과

1. 에너지 효율 리바운드 효과의 미시적 채널

□ 에너지 효율 개선이 최종 소비의 단계에 일어나는 경우, 에너지 효율 개선의 효과를 소비자의 행태변화를 통해 분석

- 경제에 대표적인 소비자(representative consumer)가 존재하며 에너지 효율 개선의 대상이 되는 최종 소비재를 0으로 표시
- 동 소비자는 대상 최종 소비재에 대한 서비스를 p_0 의 가격에 q_0 만큼 소비
- 에너지 효율 개선의 대상이 되는 재화 이외에도 이 소비자는 N 개의 기타 재화를 소비
 - 각각의 소비량과 가격은 $q_1, \dots, q_N$ 과 $p_1, \dots, p_N$ 으로 표시
- 소비자의 평생소득(lifetime income)의 순현재가치(NPV)를 I 로 표시하면 소비자의 총서비스 지출액은 평생소득과 같아야 함.

$$I = p_0 q_0 + \sum_{n=1}^N p_n q_n \quad (\text{식 1})$$

- 각 재화의 소비에는 에너지 소비가 결부되어 있다고 가정하고 재화의 단위 에너지 소비를 e_n ($n = 0, 1, \dots, N$)으로 표시하면 소비자의 총 에너지소비(E)는 다음의 수식으로 표현

$$E = e_0 q_0 + \sum_{n=1}^N e_n q_n \quad (\text{식 2})$$

□ 앞선 기본 가정을 토대로 에너지 효율 개선에 따른 리바운드 효과의 채널에 대한 미시적 모형을 제시

- 소비자의 소득변화로 인한 사용량 변화는 여기서 고려되는 재화의 소비변화로 완전히 흡수된다고 가정

$$\sum_{n=0}^N \frac{\partial q_n}{\partial I} p_n = 1 \quad (\text{식 3})$$

- 소득의 변화에 따른 소비의 변화로 인한 총 에너지 소비 변화(E_I)는 다음과 같이 표현 가능

$$E_I = \sum_{n=0}^N \frac{\partial q_n}{\partial I} e_n \quad (\text{식 4})$$

- 에너지 효율 개선에 따른 효과를 검토하기 위해 에너지 효율이 높은 재화로 상품이 대체되었을 경우를 가정
 - 여기서는 재화 0이 단위 에너지 소비가 낮은 상품(U)으로 대체된 상황을 고려
 - 고효율 제품으로 대체로 인한 비용 즉 U 의 가격은 p_U 로 표기
 - U 로 교체할 경우 서비스 당 가격은 $\tilde{p}_0$ 로 하락하고 단위 에너지 소비는 $\tilde{e}_0$ 로 하락한다고 가정
 - 고연비 승용차 도입의 경우 단위에너지 소비는 연비에 비례하여 감소하고 단위거리(예, km)당 지불해야 되는 연료비용이 감소하는 것을 의미
- U 라는 고효율 제품으로 개선의 과정에는 에너지 소비가 결부되어 있다고 볼 수 있음.
 - 예를 들어 하이브리드 승용차를 제조하는 데 추가적인 부가가치를 창출하

기 위하여 에너지를 소비하는 것을 의미(e_U 로 표기)

□ 고효율 제품으로의 대체는 소득의 변화를 유발

- 소득의 변화는 첫째는 총 서비스 비용의 감소분과 대체로 인한 비용의 차이에서 유발됨.
 - 동 서비스의 사용량이 유지된다고 가정하면 소비자는 $q_0(p_0 - \tilde{p}_0)$ 만큼의 소득이 증가하는 효과를 누리게 되며 이 재화로 대체에 소요된 비용이 p_U 이므로 총 소득의 변화는 $\Delta I = q_0(p_0 - \tilde{p}_0) - p_U$ 로 계산됨.
- 여기서 소득의 증가는 다른 상품의 소비량 변화로 연결되게 됨.
 - 소득의 변화에 따른 다른 상품의 소비변화는 $\frac{\partial q_n}{\partial I} \Delta I$ 로 표현될 수 있음.

□ 에너지 효율 개선이 이루어진 재화의 서비스 당 가격의 변화에 따른 효과를 감안 필요

- 에너지 효율 개선이 이루어진 재화의 서비스 당 가격이 p_0 에서 $\tilde{p}_0$ 로 감소하였기 때문에 이 소비자는 해당 재화의 상대가격이 하락한 효과를 가지게 됨.
 - 따라서 해당 소비자는 동 재화를 추가적으로 소비하게 됨.
- 앞에서 논의한 소득효과를 제거하고 이 효과를 계측하면 소비자의 보상수요 함수를 통해 소비량의 변화를 표현할 수 있음.
 - 보상수요곡선을 따른 변화를 ∂_c 로 표기한다면 소비자의 소비증가분은

$$\Delta q_0 = \frac{\partial_c q_0}{\partial p_0} (\tilde{p}_0 - p_0) \text{로 표현됨.}$$

□ 다른 재화도 상대가격의 변화에 따라 소비량이 변화하게 됨.

- 상대가격의 변화에 따른 다른 상품의 소비량 변화도 앞서와 마찬가지로 보상수요 함수의 변화로 표현할 수 있음.

$$\Delta q_n = \frac{\partial_c q_n}{\partial p_0} (\tilde{p}_0 - p_0) \quad (\text{식 5})$$

- 이때 예산제약을 만족하기 위해 다음의 관계식이 성립되어야 함.

$$(\tilde{p}_0 - p_0) \frac{\partial_c q_0}{\partial p_0} \tilde{p}_0 + (\tilde{p}_0 - p_0) \sum_{n=1}^N \frac{\partial_c q_n}{\partial p_0} p_n = 0 \quad (\text{식 6})$$

- 좌변의 첫 번째 항은 효율개선 상품의 서비스 소비 증가로 인한 지출의 증가분이며 두 번째 항은 다른 상품의 소비 변화에 따른 지출의 변화분을 의미

□ 소득효과와 대체효과를 분리하여 총 에너지 소비의 변화를 추적하면 다음의 식과 같이 종합하여 정리될 수 있음.

$$\Delta E = [e_U - q_0(e_0 - \tilde{e}_0)] \quad (\text{식 7})$$

$$+ \sum_{n=1}^N e_n \frac{\partial q_n}{\partial I} [q_0(\tilde{p}_0 - p_0) - p_U] + \tilde{e}_0 \frac{\partial q_0}{\partial I} [q_0(\tilde{p}_0 - p_0) - p_U]$$

$$+ \tilde{e}_0 \frac{\partial_c q_0}{\partial p_0} (\tilde{p}_0 - p_0) + \sum_{n=1}^N e_n \frac{\partial_c q_n}{\partial p_0} (\tilde{p}_0 - p_0)$$

- 위의 (식 7)의 첫째 항은 에너지 효율 개선의 직접효과로 소득이나 동 재화의 사용에 아무 변화가 없을 경우의 효과
- 직접효과는 고효율 제품으로 대체하였을 경우 나타나는 효과로 특정 정책

효과 분석이나 기술 도입 효과의 분석에서 가장 손쉽게 계산될 수 있는 효과

- 수식에서 나타나는 바와 같이 직접효과는 항상 음으로 표현되게 되는 바, 에너지 효율 개선에 따라서 소비량이나 대체가 없다면 에너지 효율 개선은 항상 총 에너지 소비의 절감을 의미함.

○ 둘째 항과 셋째 항은 소득증가에 따른 리바운드 효과를 의미

- 둘째 항은 에너지 소비 절감에 따른 소득의 증가로 다른 상품의 소비가 증가하는 소득효과이며,
- 셋째 항은 소득증가에 따라 에너지 효율 개선이 이루어진 상품의 소비가 증가하는 소득효과를 의미
- 수식에서 표현되는 바와 같이 소득의 증가에 따른 리바운드 효과는 항상 양의 값을 가지게 되며 총 에너지 소비를 증가시키는 요인으로 작용하게 됨.

○ 넷째 항은 서비스의 상대가격 변화에 따라 에너지 효율 개선이 이루어진 상품의 소비가 증가하는 효과

- 에너지 효율이 높은 상품으로 대체하였을 경우 동 상품의 상대가격이 낮아지는 효과가 발생하기 때문에 해당 상품의 소비를 증가시키는 효과가 있음.

○ 다섯째 항은 서비스의 상대가격 변화에 따라 다른 상품의 소비가 변화하는 대체효과

- 넷째 항과 상반되게 이 경우 다른 상품은 서비스의 상대가격이 증가하는 효과가 발생하므로 이 경우 소비자는 다른 상품의 소비를 감소시켜야만 함.

2. 리바운드 효과의 실증 사례: 평균에너지소비효율제도 하에서의 리바운드 효과

□ 온실가스 감축을 위한 수송부문의 핵심 정책수단이 2006년부터 시행해오고 있는 평균에너지소비효율제도

- 평균에너지소비효율제도는 판매되는 자동차의 효율수준을 상향하여 에너지 효율을 높이는 동시에 온실가스를 감축하기 위한 정책
- 앞서 거론한 것처럼 에너지 효율이 높아지면 리바운드 효과가 발생하므로 리바운드 효과를 감안하여 온실가스를 감축효과를 계산해볼 필요성이 높은 정책이라고 사료됨.
 - 김대욱과 김종호(2012), 이지연(2014) 등의 연구에서도 평균에너지소비효율 제도를 감안하여 리바운드 효과를 계측한 바가 있음.
- 본 연구에서도 앞선 연구와 궤를 같이 하면서 앞서 논의한 리바운드 효과의 채널에 대한 이론적 모형을 활용하여 평균에너지소비효율제도에서 발생하는 리바운드 효과를 실증 사례로 적용

□ 현재 우리나라에서 시행되고 있는 평균에너지소비효율제도(평균연비제도)는 자동차 제조업체가 연간 판매한 승용차의 평균연비를 기준을 두어 관리하는 제도

- 평균연비는 1년간 판매한 차량의 연비의 합계를 판매량으로 나누어 산출되며 제작사별 연간판매량을 감안하여 가중조화평균으로 산출
- 현재 적용중인 기준은 다음과 같음(한국에너지공단)¹⁾.

1) 시행 중인 내용은 한국에너지공단 관련 웹사이트(<http://bpms.kemco.or.kr>)를 참고하였음.

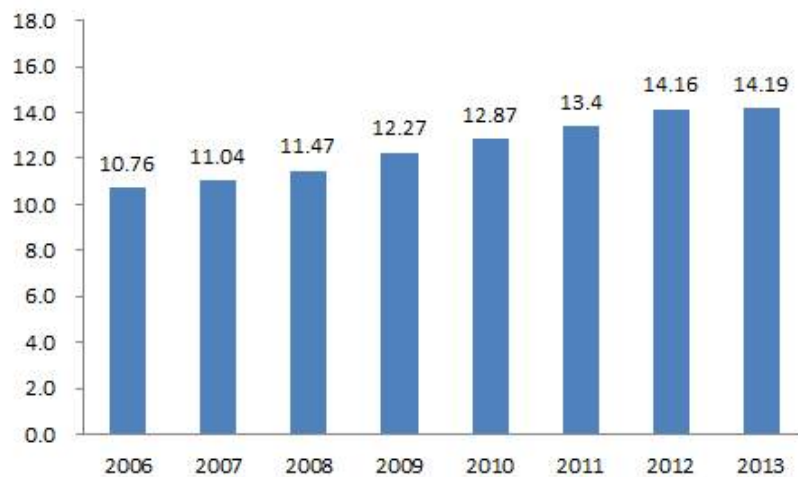
- 적용기간: 2012년~2015년
- 이행기준: 평균연비 17km/l 이상 또는 온실가스 배출 140g/km 이하
- 적용자동차: 승차인원 10인승 이하의 승용자동차 및 승합자동차 중 총 중량이 3.5톤 미만인 자동차(단, 특수목적용을 위한 자동차는 제외)
- 측정방식: 도심주행 모드(FTP-75)+고속도로주행 모드(HWFET) 고려

□ 평균에너지소비효율제도가 시행된 이후 우리나라에 판매된 자동차의 평균연비는 지속적으로 상승하고 있는 것으로 분석

- 다음의 그림은 2006년 이후 우리나라 승용차의 평균연비 추이를 도식화한 것임.
- 2013년 우리나라 승용차의 평균연비는 14.19km/l로 2006년 이후 연평균 4% 증가하는 추세를 보이고 있음.

[그림 1] 우리나라 승용차 평균연비 추이

(단위: km/l)



자료: 에너지관리공단(2013)의 통계를 이용하여 직접 작성

□ 평균에너지소비효율제도 하에서 리바운드 효과를 계측하기 위해 다음과 같은 가정을 하여 분석을 진행

- 기존의 연비가 2013년 평균연비인 14.19km/l인 승용차를 연비기준 20km/l를 충족하는 차량으로 교체하는 상황을 고려
- 아울러 기존의 차량에 대비하여 고연비 차량에는 200만 원의 추가지출이 요구된다고 가정한다.²⁾
- 차량의 주행거리는 연간 평균 15,000km로 설정하고 연료비용은 휘발유 기준 리터당 1,500 원을 가정하였으며 차량은 10년간 운행하는 것으로 설정하고 분석

<표 1> 리바운드 효과 분석을 위한 가정

구분		내용
연비	현재	14.19 km/l
	개선 후	20.00 km/l
추가 비용		200만 원
주행거리		15,000 km/연
연료가격		1,500/l
운행기간		10년

2) 분석의 현실성을 높이기 위해 현행의 연비를 기존 연비로 사용하였다. 다만 현행의 연비기준은 17km/l이나 2016년 이후부터 2단계 연비기준으로 연비기준을 상향할 것으로 예상되는 바, 기존의 기준보다 높은 연비기준을 고려하였다.

□ 앞의 가정 하에서는 개별 소비자의 경우 연간 307리터, 총 3,071리터(2.39toe)의 연료를 절약할 수 있음.

- 이를 온실가스 배출량으로 환산할 경우 총 6.80톤의 온실가스를 저감하는 효과를 거두는 것으로 계산됨.
- 이를 할인율 5%를 적용하여 순현재가치(NPV)로 환산할 경우 373만원의 편익이 도출
 - 고연비 차량의 경우 200만 원의 추가지출이 필요하기 때문에 173만 원의 순편익이 발생

□ 리바운드 효과를 도출하기 위해 우리나라 전반의 에너지원단위와 온실가스 배출원단위에 대한 정보를 이용

- 2013년 기준 우리나라 전반의 에너지 효율수준을 의미하는 에너지원단위는 0.220toe/천달러이고 온실가스 배출원단위는 0.455톤CO₂eq./천달러임.³⁾
- 소비자가 얻게 되는 순편익인 173만원은 소비자의 소득이 증가한 것으로 해석할 수 있음.
- 소비자는 소득의 증가분을 소비한다고 가정하면 효율 개선에 따른 소득의 증가에 따라 에너지는 0.32toe, 온실가스는 0.66톤CO₂eq. 증가할 것으로 계산됨.
- 이를 총 저감량에 대비해서 환산할 경우 리바운드 효과는 에너지 기준 13.3%, 온실가스 기준 9.7%로 산출⁴⁾

3) 계산을 위한 원-달러 환율은 1,200원/\$을 적용하여 계산하였음. 경제전반의 에너지원단위와 온실가스배출원단위를 적용한 것은 소득이 증가할 경우 전반적으로 대체될 상품의 효율을 고려한 것으로 해석할 수 있음.

4) 고효율 차량에 대한 추가 비용에 에너지 소비가 결부되어 있다면 약 0.37toe의 에너지가 소비될 것으로 산출되나 이 수치는 효율개선에 따른 리바운드 효과에는 포함되지 않음.

□ 대체효과를 산출하기 위해서는 연료비용에 대한 차량 운행거리의 탄력치가 필요한 바, 본 연구에서는 국내문헌에서 나타나는 추정치가 다소 높다는 점을 감안하여 0.3의 탄성치를 적용하여 분석을 시행

- 연료비용에 대한 운행거리의 탄력치에 대한 실증분석은 매우 정직한 계량경제 모형을 도입한 엄밀한 분석이 필요하므로 별도로 연구가 필요
- 본 연구에서는 앞선 연구의 결과를 종합하여 하였음.
- 동 탄력치에 대한 계량모형 등을 활용한 추정값들은 다양하게 나타나고 있는 것으로 나타남.
 - 이 분야에 대해 많은 연구가 수행되었던 외국의 연구에서도 아직 추정치들의 범위가 충분히 좁혀졌다고 보기 어렵다고 판단
 - 외국의 연구에서는 이 탄력치는 대체로 0.1~0.3정도의 범위를 가지는 것으로 나타나고 있음(Gillingham et al., 2014; Borenstein, 2015).
 - 우리나라의 경우 외국의 경우보다 다소 높게 추정치가 도출되고 있는 것으로 나타나고 있음.
 - 김대욱과 김종호(2012), 이지연(2014) 등 국내 관련 연구에서는 0.2~0.5의 범위로 외국의 경우보다 다소 높은 추정치들을 제시

□ 연비가 증가할 경우 연료비용의 감소로 인해 차량운행의 단위비용이 하락하여 소비자는 추가적으로 운행거리를 늘리게 될 유인을 가지게 됨.

- 탄성치가 0.3이고 14.19km/l에서 20.00km/l로 연비가 개선될 경우 추가적으로 증가하게 되는 운행거리는 10.84% 또는 16,268km로 환산
 - 이 경우 우선 주행거리를 늘리게 됨에 따라 추가적으로 연료를 소비하게

되며 추가적인 연료소비는 0.63toe로 산출되며 이에 따른 온실가스 배출은 1.8톤이 증가

- 주행거리를 늘리게 되면 소비자는 추가 연료소비에 따라 다른 상품의 소비를 감소시켜야만 함.
 - 다른 상품의 소비는 연료소비에 따른 지출액을 산출한 뒤 에너지원단위와 온실가스원단위를 이용하여 계산할 수 있음.
 - 다른 상품의 소비를 감소시키는 과정에서 에너지는 0.22toe 절감하고 온실가스는 0.46톤이 감축됨.

□ 이러한 결과를 종합하여 에너지와 온실가스로 나누어 리바운드 효과를 계산할 수 있음(표 2)

- 에너지 부문을 살펴보면 에너지 효율의 증가에 따른 리바운드 효과는 소득효과가 13.3%, 대체효과가 17.1%로 총 리바운드 효과는 30.3%로 분석
- 한편 온실가스 감축의 측면에서 분석한 리바운드 효과는 소득효과가 9.7%, 대체효과가 19.7%로 총 리바운드 효과는 29.4%로 분석
- 본 연구의 결과는 에너지나 온실가스 모두에서 리바운드 효과의 크기가 대체효과가 소득효과 보다 크게 도출되고 있음을 보여줌.
 - 연료비용에 대한 차량운행 거리의 탄성치가 높기 때문인 것으로 판단
 - 고효율 승용차를 구매할 경우 상대적으로 총 주행거리가 더 많이 늘어나기 때문에 대체효과가 높게 도출

□ 에너지나 온실가스 측면에서 리바운드 효과의 크기는 큰 차이를 보이지는 않는 것으로 분석됨.

- 온실가스 측면에서는 특히 대체효과가 크게 도출되었는데 고연비 차량을 도입하였을 때 차량운행 거리의 증가로 인한 온실가스 배출 증가로 리바운드 효과가 크게 발생한 것으로 사료됨.
- 고연비 차량의 보급과 함께 차량의 운행을 늘리지 않을 수 있는 정책적 접근이 필요한 부분으로 여겨짐.

<표 2> 리바운드 효과 분석결과

구분	에너지(toe, %)	온실가스(톤, %)
직접절감	2.39	6.80
소득효과(A)	0.32 (13.3)	0.66 (9.7)
대체효과(B)	0.41 (17.1)	1.34 (19.7)
리바운드효과(A+B)	0.73 (30.4)	2.00 (29.4)
순 절감효과	1.66 (69.6)	4.81 (70.6)

□ 본 연구의 분석 결과는 리바운드 효과에 대한 기존의 연구과 다소 차이를 보이는 것으로 보임.

- 우선 리바운드 효과의 크기가 기존의 연구에 비하여 작게 도출
 - 기존의 연구는 리바운드 효과의 크기를 크게는 50% 이상이 될 것으로 예측한 경우가 있으나 본 연구에서는 이런 연구보다 상당히 작은 리바운드 효과의 크기가 도출
 - 일부 연구는 본 연구와 유사한 크기를 추정하기도 하였으나 기존의 연구에

서는 리바운드 효과의 채널이 모두 고려되어 분석된 결과가 아니라는 점을 감안할 필요

- 따라서 본 연구의 수치가 이들 연구보다는 낮은 수준의 리바운드 효과를 가질 것으로 예측되었다고 해석 가능

- 그러나 본 연구의 분석결과는 리바운드 효과가 무시할 정도의 크기는 아니라는 점을 보여주고 있음.

- 본 연구의 분석결과는 리바운드 효과가 정책의 효과를 무력화할 정도의 크기는 아니나 정책의 분석과 시행에서 무시되어서는 안 된다는 점을 시사하고 있음.

□ 리바운드 효과의 크기 변화를 추적하기 위해서 본 연구에서는 민감도 분석을 수행하였음.

- 첫째로 연비기준을 변경하였을 경우, 둘째로 연간 주행거리를 변화시킬 경우, 셋째로 탄성치 수치를 변화시킬 경우, 넷째로 연비기준에 따라 소비자가 부담하는 추가비용이 변화할 경우를 상정하여 분석

□ 첫째로 연비기준이 낮을 때보다 높을 때 리바운드 효과가 증가하는 점을 확인할 수 있음.

- 연비기준을 변경하였을 경우 연비기준이 낮을 때보다 높을 때 리바운드 효과가 증가하는 점을 확인할 수 있음.

- 연비기준이 개선의 효과가 클수록 고연비 차량을 구매하여 발생할 수 있는 수익이 높으므로 소득효과가 빠르게 증가

- 한편 대체효과는 오히려 하락하는 추세를 보이는 데 이것은 연비개선에 따른 대체로 인해 다른 상품의 소비를 감소하는 효과가 크기 때문으로 사료됨.

<표 3> 민감도 분석결과: 연비개선 강도 변화

구분		소득효과(%)	대체효과(%)	리바운드 효과(%)
에너지	17km/l	1.7	18.2	19.9
	18km/l	7.6	17.8	25.4
	19km/l	11.0	17.5	28.5
	20km/l	13.3	17.1	30.4
	21km/l	14.9	16.8	31.7
온실가스	17km/l	1.2	20.9	22.1
	18km/l	5.5	20.5	26.0
	19km/l	8.0	20.1	28.1
	20km/l	9.7	19.7	29.4
	21km/l	10.8	19.3	30.2

□ 둘째로 연간 주행거리를 변화시키면서 민감도 분석을 시행할 경우 연간 주행거리가 길수록 소득효과가 높아져 리바운드 효과의 크기가 증가하는 것이 확인됨.

- 탄성치 수치는 고정되어 있으므로 대체효과의 크기는 동일하게 나타남.
- 그러나 평균 주행거리가 많은 소비자일수록 연비개선으로 인한 직접절감분이 많으므로 소득 증가의 효과가 크게 나타나게 됨.

<표 4> 민감도 분석결과: 연간 주행거리 변화

구분		소득효과(%)	대체효과(%)	리바운드 효과(%)
에너지	10,000	5.6	17.1	22.8
	15,000	13.3	17.1	30.4
	20,000	17.1	17.1	34.3
온실가스	10,000	4.1	19.7	23.8
	15,000	9.7	19.7	29.4
	20,000	12.5	19.7	32.1

□ 셋째로 탄성치 수치를 변화시켜 보면 대체효과의 크기가 빠르게 증가

- 연비가 높아질수록 고연비차량의 운행을 빠르게 증가시키므로 대체효과에 의한 연료소비가 빠르게 증가하는 것이 자연스러운 결과로 판단
- 대체효과의 크기가 탄성치의 크기에 크게 영향을 받는다는 점은 리바운드 효과의 크기를 정확하게 계측하기 위해서는 연료비용에 대한 주행거리의 탄성치를 정확하게 추정할 수 있어야 한다는 점을 의미

<표 5> 민감도 분석결과: 탄성치 변화

구분		소득효과(%)	대체효과(%)	리바운드 효과(%)
에너지	0.1	13.3	5.5	18.8
	0.2	13.3	11.2	24.5
	0.3	13.3	17.1	30.4
	0.4	13.3	23.2	36.5
	0.5	13.3	29.6	42.9
온실가스	0.1	9.7	6.3	16.0
	0.2	9.7	12.9	22.6
	0.3	9.7	19.7	29.4
	0.4	9.7	26.7	36.4
	0.5	9.7	34.0	43.7

□ 넷째로 연비기준에 따라 소비자가 부담하는 추가 비용을 증가시키며 민감도 분석을 행할 경우 소득효과는 점차 감소하는 경향을 보임.

- 고연비 차량을 구매하기 위해서는 많은 추가 비용을 감수하여야하기 때문에 소득이 상쇄되는 효과가 발생하기 때문으로 판단
- 그러나 추가비용이 높을 경우 소비자가 고연비 차량으로 전환을 꺼릴 우려가 발생할 수 있다는 점을 지적할 수 있음.
- 한편 이런 문제를 해결하기 위한 정책의 사례로 고연비차의 가격에 대한 보

조는 소비자의 소득을 높이는 효과가 있게 됨.

- 따라서 리바운드 효과의 여지도 그만큼 높다는 점을 감안할 필요

<표 6> 민감도 분석결과: 추가비용 변화

구분		소득효과(%)	대체효과(%)	리바운드 효과(%)
에너지	1,000천	21.0	17.1	38.1
	1,500천	17.1	17.1	34.3
	2,000천	13.3	17.1	30.4
	2,500천	9.5	17.1	26.6
	3,000천	5.6	17.1	22.8
온실가스	1,000천	15.2	19.7	34.9
	1,500천	12.5	19.7	32.1
	2,000천	9.7	19.7	29.4
	2,500천	6.9	19.7	26.6
	3,000천	4.1	19.7	23.8

Ⅲ. 결론 및 향후 과제

□ 본 연구에서는 에너지 효율 개선이 이루어졌을 경우 그에 따른 리바운드 효과의 채널에 관한 미시적 분석을 수행

○ 리바운드 효과의 측면에서 본 연구는 리바운드 효과의 채널을 미시경제이론에서 폭넓게 활용되는 개념인 소득효과와 대체효과로 구별하여 명확한 이해를 도모

○ 본 연구의 분석결과 기존의 연구에 비해 리바운드 효과는 크지는 않을 수 있다는 점을 제시

- 이 점에서 에너지 효율 개선을 위한 정책이 필요하며 리바운드 효과의 우려로 인해 정책효과가 무력화되기는 힘들 것이라는 점을 지적할 수 있음.

○ 그러나 리바운드 효과가 정책 효과의 분석에서 충분히 고려될 필요가 있다는 점은 주지할 필요가 있음.

- 기존의 연구에 비해서 다소 낮다고 평가되었으나 여전히 상당한 크기의 리바운드 효과가 존재한다고 분석되었다는 점은 리바운드 효과가 대한 고려가 정책분석에서 반드시 필요하다는 점을 시사

○ 정책적인 관점에서는 고효율 제품의 보급을 확대하면서 리바운드 효과를 적절히 통제할 수 있는 정책수단을 고안하는 것이 중요하다는 시사점을 유추 가능

□ 그러나 본 연구에서는 대표적인 소비자의 경우를 가정하고 단일 재화의 효율 개선에 따른 리바운드 효과 계측하는 모형을 제시

○ 이에 따라 소비자의 선택행위가 전체 경제에서 또는 시장에서 어떻게 영향

을 받는지에 대한 정보를 제공하는 데에는 한계가 있을 수밖에 없다.

- 결국 리바운드 효과의 결과를 집계하였을 경우 사회적 효과로 직접적으로 반영되지 않을 수 있다는 점이 한계점으로 지적
- 본 연구의 결과를 집계효과를 반영한 연구로 확장해볼 필요성이 있다고 하겠음.

□ 또한 가격이 한계비용과 일치하지 않는 에너지 시장의 일반적 특성을 고려해볼 필요가 있음.

- 대부분의 에너지 시장에서 가격은 한계비용을 초과하여 설정되는 것이 통상적이라는 점을 고려할 필요
 - 예를 들어 전력이나 천연가스 가격은 고정비용(fixed cost)를 반영하여야하기 때문에 일반적으로 한계비용보다 높은 가격으로 책정
 - 또한 유류가격은 세금이나 보조금 등의 다양한 요인으로 한계비용과 일치하지 않는다고 보는 것이 합리적
 - 만약 가격이 한계비용보다 높을 경우 에너지 효율 개선으로 인한 소비감소 효과가 소득의 상승으로 직결되지 않는다고 볼 수 있는 바, 리바운드 효과의 크기를 감소하는 요인이 될 것이라고 추정할 수 있음.

< 참고자료 >

김대욱·김종호(2010), 「에너지 소비효율 개선과 리바운드 효과: 수송부문을 중심으로」, 『자원·환경경제연구』, 21(2): 321-341.

에너지관리공단(2013), 『2013 자동차 에너지소비효율 분석집』.

이지연(2014), 「수송부문 연료소비의 리바운드 효과」, 『에너지포커스』 2014 여름호, 에너지경제연구원.

한국에너지공단 수송에너지: <http://bpms.kemco.or.kr>

Borenstein, S. (2015), "A microeconomic framework for evaluating energy efficiency rebound and some implications", *Energy Journal*, 36(1): 1-21.

Gillingham, K., D. Rapson, and G. Wagner (2014), "The Rebound Effect and Energy Efficiency Policy", Discussion Paper no. 14-39, Resources for the Future.

정책 이슈페이퍼 16-17

에너지 효율 리바운드 효과와 온실가스 감축

2016년 10월 30일 인쇄

2016년 10월 30일 발행

저 자 이 상 준

발행인 박 주 현

발행처 에너지경제연구원

44543 울산광역시 중가로 405-11

전화: (052)714-2114(대) 팩시밀리: (052)-714-2028

등 록 1992년 12월 7일 제7호

인 쇄 크리커뮤니케이션 (02)2273-1775
