



연비 향상에 의한 온실가스 배출 감축과 미시적 리바운드 효과 분석¹⁾

이 상 준 에너지경제연구원 부연구위원 (sjlee@keei.re.kr)

1. 서론

에너지효율을 높이는 기술이나 기기가 보급될 경우 이전에 비해서 단위 에너지사용을 낮추게 됨에 따라 에너지소비는 감소할 것으로 기대할 수 있다. 그러나 이러한 논리는 다른 모든 조건이 동일하다는 다소 거친 가정 하에서만 성립한다는 한계가 있다. 고효율 기기가 도입되었을 경우에도 동 기기의 사용량은 이전의 기기와 동일하며 해당 경제주체의 소득도 동일하다는 전제 하에서만 이와 같은 논리가 성립하는 것이다.

고효율 기술이나 기기를 도입하는 경제주체의 총에너지 소비의 관점에서 에너지효율 개선의 효과는 논쟁의 대상이 되어왔다. 즉, 총에너지의 소비를 볼 때 에너지효율 개선에 따른 소비자의 행태 변화가 반드시 수반되기 때문에 에너지효율 개선에 따른 효과는 직접적으로 예측되는 효과보다 낮을 수 있다는 것이다. 이러한 관점에서 리바운드 효과는 소비자나 시장에서의 반응을 감안하지 않은 채 예상된 에너지소비 절감분과

실제 달성된 에너지소비 감축분의 차이로 나타난다. 따라서 리바운드 효과의 크기는 공학적으로 예측된 효율 개선에 따른 에너지 절감분에서 손실된(달성되지 못한) 부분의 비율로 표시될 수 있다(이지연, 2014; Gillingham et al., 2014).

구체적인 설명을 위해서 연간 1,000ℓ의 연료를 소비하는 승용차를 예로 들어보자. 여기서 20%의 연비가 개선된 승용차를 구매한다고 가정하면, 다른 조건이 동일할 때 공학적 계산에 의한 연료절감은 연간 200ℓ 정도일 것이다. 그런데 이 소비자가 추가적인 여가활동을 위해 연간 50ℓ의 연료를 더 소비한다면, 이 소비의 증가는 고연비에 의한 연료절감 효과를 상쇄하게 된다. 결국 이 경우 리바운드 효과는 25%²⁾로 계산된다.

리바운드 효과가 커서 효율 개선으로 인한 효과를 상쇄하고 총에너지 사용은 오히려 증가하게 되는 경우가 있을 수 있다. 리바운드 효과가 100%를 상회하는 경우인데 이를 별도로 역화(backfire)효과라고 칭하기

1) 본고는 이상준, 에너지효율 리바운드 효과와 온실가스 감축, 에너지경제연구원(2015)의 내용을 부분적으로 수정·보완한 것임.

2) 리바운드 효과 = 행태변화로 인한 상쇄분 / 공학적으로 예측된 절감분.



도 한다. 역화효과는 리바운드 효과에 대하여 최초로 문제 제기를 하였던 제본스(Jevons)의 가설 이후 폭넓게 논쟁이 이어져 왔다(이지연, 2014).

앞서 제기한 리바운드 효과의 정의에 대해서는 이론의 여지가 많지 않으나 리바운드 효과가 발생하는 채널에 대해서는 명확한 이론적 배경이 부족한 것이 사실이다. 가장 일반적으로 사용되었던 분류는 리바운드 효과를 직접효과(direct effect), 간접효과(indirect effect), 경제전반효과(economy-wide effect)의 3가지 채널로 분류하는 것이다. 직접효과는 에너지효율을 개선된 상품의 소비와 관련된 효과를 의미하며 간접효과는 기타 상품의 소비에 미치는 효과를 의미하며, 경제전반효과는 거시경제적 영향으로 경제전반에 걸친 소비의 변화를 의미한다. 이지연(2014)은 기존의 논의를 정리하여 직접효과를 소득효과와 대체효과로 분리하고 간접효과를 파생효과와 내재효과로 분리하는 분류를 제시하였다.

이러한 분류는 리바운드 효과가 발생하는 채널에 대한 정보를 제공하고는 있으나 명확한 경제학적 기반을 바탕으로 산출된 것이 아니라는 점에 한계가 있었다. 즉, 이론적 모형을 바탕으로 도출된 것이 아니라서 각각의 채널에 대한 정의가 불명확하게 받아들여질 수밖에 없으며 이에 따라 실증분석에서도 연구에 따라 큰 차이를 보이게 되는 것이다.

리바운드 효과의 채널에 관한 보다 명확한 논의는 Gillingham et al.(2014)에서 제시되었다. 이 연구에서는 리바운드 효과를 크게 미시적(microeconomic) 채널과 거시적(macroeconomic) 채널로 구분하고, 미시적 채널은 다시 소득효과와 대체효과로 분리하고 거시적 채널은 다시 가격효과와 성장효과로 분리하여 리바운드 효과의 채널에 대한 배경을 설명하고 있다. Borenstein(2015)의 연구는 리바운드 효과의 미시적

채널에 집중하여 소비자 이론을 적용하여 리바운드 효과의 소득효과와 대체효과를 명확하게 분리하여 설명하고 있다.

본고에서는 에너지효율 개선의 리바운드 효과가 일어나는 미시적 채널에 대한 논의를 정리하고 실증 분석결과를 제시하는 것을 목적으로 한다. 기존의 연구에서는 리바운드 효과에 대한 실증분석의 사례 중심으로 분석이 이루어졌다는 점을 고려하여, 리바운드 효과에 대한 미시경제 모형을 통해 리바운드 효과의 채널에 대한 명확한 배경을 설명하도록 할 것이다. 이를 바탕으로 실증 분석결과를 제시하여 리바운드 효과의 크기를 재검토할 것이다. 리바운드 효과 분석을 위한 다양한 사례가 있으나 본 연구에서는 평균에너지소비효율제도(평균연비제도, Corporate Average Fuel Economy)를 사례로 미시적 리바운드 효과를 반영하여 온실가스 배출 감축효과를 분석할 것이다.

본고의 구성은 다음과 같다. 우선 2절에서는 에너지효율 리바운드 효과의 미시적 채널에 관한 모형을 제시한다. 이를 바탕으로 3절에서는 승용차 평균에너지소비효율제도 하에서 미시적 리바운드 효과를 계측하는 실증 분석결과를 제시할 것이다. 4절에서는 본고의 결과를 정리하고 향후 연구가 확장될 수 있는 여지를 탐구하도록 할 것이다.

2. 에너지효율 리바운드 효과의 미시적 채널

가. 모형의 설정

에너지효율 개선은 여러 가지 단계에서 나타날 수 있다. 예를 들어 제품의 생산과정에서 공정의 효율개



선으로 에너지효율을 개선할 수 있으며, 효율이 높은 소비재의 공급으로 에너지효율이 개선되는 효과가 나타날 수 있다. 여기서는 에너지효율 개선이 최종소비의 단계에 일어나는 경우를 다루기로 한다. 이 경우 에너지효율 개선의 효과는 소비자의 행태를 탐구하여 분석할 수 있다.³⁾

우선 모형의 설정을 위해 기본 가정을 논의하도록 하겠다. 경제에 대표적인 소비자(representative consumer)가 존재하며 에너지효율 개선의 대상이 되는 최종소비재를 0으로 표시하도록 하자. 동 소비자는 대상 최종소비재에 대한 서비스를 p_0 의 가격에 q_0 만큼 소비하고 있다. 또한 동 소비재는 이미 소유한 상태라고 가정한다. 좀 더 친근한 설명을 위해 자동차를 소유하고 있는 소비자를 예로 들 수 있다.⁴⁾ 자동차를 소유하고 있는 소비자는 일정 가격(유가)에 일정거리(평균 주행거리)를 주행하는 것으로 자동차가 제공하는 서비스를 소비하는 것이다.

에너지효율 개선의 대상이 되는 재화 이외에도 이 소비자는 N 개의 기타 재화를 소비하고 있다. 여기서 각각의 소비량과 가격은 $q_1, \dots, q_N$ 과 $p_1, \dots, p_N$ 으로 표시된다. 자동차를 소유하고 있는 소비자가 자동차뿐만 아니라 TV, 핸드폰, 컴퓨터 등 다양한 제품을 소비하고 있는 상황을 상상하면 될 것이다.

여기서 논의되는 재화는 단순히 순간에 걸쳐서 소비된다고 보기는 어렵다. 특히 에너지효율 개선의 논의는 장기에 걸쳐 사용되는 내구재에 초점을 맞추는 것이 더욱 합리적이다. 여기서는 논의의 편의를 위해 동태적 모형을 1기의 모형으로 단순화하여 논의한다. 소비자의 평생소득(lifetime income)의 순현재가치(NPV)를 I 로 표시하면 소비자의 총서비스 지출액은 평생소득과 같아야 할 것이다. 이러한 관계는 다음의 예산제약으로 표시될 수 있다.

여기서 각 재화의 소비에는 에너지소비가 결부되어 있다고 가정한다. 재화의 단위 에너지소비를 e_n ($n = 0, 1, \dots, N$)으로 표시하면 소비자의 총에너지 소비(E)는 다음의 식(1)~식(4)로 표현된다.

나. 리바운드 효과의 채널

이제 본격적으로 리바운드 효과가 발생하는 채널을 분석하여 보도록 하자. 우선 소비자의 소득변화로 인한 사용량 변화는 여기서 고려되는 재화의 소비변화로 완전히 흡수된다고 가정하자. 이는 식(3)으로 표현될 수 있다.

그러면 소득의 변화에 따른 소비의 변화로 인한 총 에너지 소비 변화(E_I)는 다음과 같이 표현 가능할 것이

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

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

3) 본 연구의 방법론은 Borenstein(2015)의 논의를 기초로 하였음. 이에 따라 변수와 표기는 동 연구에서 같은 방식으로 기술되었음.

4) 이 예는 후에 제시될 실증분석의 설명을 위해서도 유용하다고 판단됨.



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

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

다. 에너지효율 개선에 따른 효과를 검토하기 위해 에너지효율이 높은 재화로 상품이 대체되었을 경우를 가정하자. 여기서는 재화 0이 단위 에너지소비가 낮은 상품(U)으로 대체된 상황을 고려한다.

앞서 제시한 예에 대비하여 설명하자면 기존의 승용차를 대체하여 고연비 승용차를 구매한 경우를 상상하면 될 것이다.⁵⁾ 고효율 제품으로 대체로 인한 비용, 즉 U 의 가격은 p_U 로 표기하자. 또한 U 로 교체할 경우 서비스당 가격은 $\tilde{p}_0$ 로 하락하고 단위 에너지소비는 $\tilde{e}_0$ 로 하락한다고 가정하자. 고연비 승용차 도입의 경우 단위 에너지소비는 연비에 비례하여 감소하고 단위 거리(예, km)당 지불해야 되는 연료비용이 감소하는 것을 의미한다. U 라는 고효율 제품으로 개선의 과정에는 에너지소비가 결부되어 있다고 볼 수 있다. 이를 테면, 하이브리드 승용차를 제조하는 데 추가적인 부가 가치를 창출하기 위하여 에너지를 소비할 것이기 때문이다. 이를 e_U 로 표기하자.

이에 따라 고효율 제품으로의 대체는 소득의 변화를 유발하게 될 것이다. 소득의 변화는 첫째는 총 서비스비용의 감소분과 대체로 인한 비용의 차이에서 유발된다. 우선 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 총소득의 변화는

$\Delta I = q_0(p_0 - \tilde{p}_0) - p_U$ 일 것이다. 여기서 소득의 증가는 앞서 거론한대로 다른 상품의 소비량 변화로 연결된다. 소득의 변화에 따른 다른 상품의 소비변화는 $\frac{\partial q_n}{\partial I} \Delta I$ 로 표현될 수 있다.

다음으로 에너지효율 개선이 이루어진 재화의 서비스당 가격의 변화에 따른 효과를 감안해야 한다. 에너지효율 개선이 이루어진 재화의 서비스당 가격이 p_0 에서 $\tilde{p}_0$ 로 감소하였기 때문에, 이 소비자는 해당 재화의 상대가격이 하락한 효과를 가지게 된다. 따라서 해당 소비자는 동 재화를 추가적으로 소비하게 된다. 연비가 높은 차량으로 대체하였을 경우를 다시 예로 들면, 소비자들이 기존의 운행거리보다 운행거리를 늘리게 되는 것을 의미한다. 구체적으로 평균 연료비용이 하락하면 레저활동 등 추가로 차량의 운행을 증가시키는 소비가 발생한다거나 기존에 차량운행을 하지 않던 구간에서 차량운행을 하는 등의 행위가 발생하게 되는 것을 의미한다. 앞서 논의한 소득효과를 제거하고 이 효과를 계측하면 소비자의 보상수요함수를 통해 소비량의 변화를 표현할 수 있다. 보상수요곡선을 따른 변화를 ∂_c 로 표기한다면, 소비자의 소비증가분은 $\Delta q_0 = \frac{\partial_c q_0}{\partial p_0} (\tilde{p}_0 - p_0)$ 로 표현된다.

다른 재화도 상대가격의 변화에 따라 소비량이 변화하게 된다. 상대가격의 변화에 따른 다른 상품의 소비

5) 물론 고연비승용차로의 대체는 연비만이 요인은 아님. 여기서는 고연비 외에 다른 서비스의 특성은 같다고 가정함.



량 변화도 앞서와 마찬가지로 보상수요 함수의 변화로 표현할 수 있다.

이때 예산제약을 만족하기 위해 다음의 관계식이 성립되어야 한다.

좌변의 첫 번째 항은 효율개선 상품의 서비스 소비 증가로 인한 지출의 증가분이며 두 번째 항은 다른 상품의 소비 변화에 따른 지출의 변화분이다. 앞서 논의한 소득효과와 대체효과를 분리하여 총에너지 소비의 변화를 추적하면 다음의 식과 같이 정리될 수 있다.

식(7)의 첫째 항은 에너지효율 개선의 직접효과로 소득이나 동 재화의 사용에 아무 변화가 없을 경우의 효과이다. 직접효과는 고효율 제품으로 대체하였을 경우 나타나는 효과로 특정 정책효과 분석이나 기술 도입효과의 분석에서 가장 손쉽게 계산될 수 있는 효과이다. 수식에서 나타나는 바와 같이 직접효과는 항상 음으로 표현된다. 즉 에너지효율 개선에 따라서 소비량이나 대체가 없다면, 에너지효율 개선은 항상 총에너지 소비의 절감을 의미하게 되는 것이다.

둘째 항과 셋째 항은 소득증가에 따른 리바운드 효과를 의미한다. 둘째 항은 에너지소비 절감에 따른 소득의 증가로 다른 상품의 소비가 증가하는 소득효과이며,

셋째 항은 소득증가에 따라 에너지효율 개선이 이루어진 상품의 소비가 증가하는 소득효과를 의미한다. 수식에서 표현되는 바와 같이 소득의 증가에 따른 리바운드 효과는 항상 양의 값을 가지게 된다. 즉, 총에너지 소비를 증가시키는 요인으로 작용하게 되는 것이다.

넷째 항은 서비스의 상대가격 변화에 따라 에너지효율 개선이 이루어진 상품의 소비가 증가하는 효과이다. 앞서 논의한 대로 에너지효율이 높은 상품으로 대체하였을 경우 동 상품의 상대가격이 낮아지는 효과가 발생하기 때문에 해당 상품의 소비를 증가시키는 효과가 있게 된다. 결국 이 항은 양의 값을 가지게 된다.

반대의 효과는 다음의 항에서 나타나게 된다. 다섯째 항은 서비스의 상대가격 변화에 따라 다른 상품의 소비가 변화하는 대체효과이다. 넷째 항과 상반되게 이 경우 다른 상품은 서비스의 상대가격이 증가하는 효과가 발생한다. 이 경우 소비자는 다른 상품의 소비를 감소시켜야만 한다. 따라서 총에너지 소비는 감소하게 되는 효과를 기대할 수 있다. 만약 대체가 이루어지는 상품에 에너지소비가 결부되어 있지 않다면 이 항은 0의 값을 가지게 된다.

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

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

$$\begin{aligned} \Delta E = & [e_U - q_0(e_0 - \tilde{e}_0)] \\ & + \sum_{n=1}^N e_n \frac{\partial q_n}{\partial I} [q_0(\tilde{p}_0 - p_0) - p_U] + \tilde{e}_0 \frac{\partial q_0}{\partial I} [q_0(\tilde{p}_0 - p_0) - p_U] \\ & + \tilde{e}_0 \frac{\partial q_0}{\partial p_0} (\tilde{p}_0 - p_0) + \sum_{n=1}^N e_n \frac{\partial q_n}{\partial p_0} (\tilde{p}_0 - p_0) \end{aligned} \quad \text{식(7)}$$



3. 미시적 리바운드 효과의 실증 분석결과: 평균연비제도 하의 리바운드 효과

우리나라는 에너지효율 개선과 온실가스 감축을 위해 이미 다양한 제도를 도입하여 시행하고 있다. 온실가스 감축을 위한 수송부문의 핵심 정책수단이 2006년부터 시행하고 있는 평균에너지소비효율제도이다. 평균에너지소비효율제도는 판매되는 자동차의 효율수준을 상향하여 에너지효율을 높이는 동시에 온실가스를 감축하기 위한 정책이라고 하겠다. 그러나 앞서 거론한 것처럼 에너지효율이 높아지면 리바운드 효과가 발생하므로 리바운드 효과를 감안하여 온실가스를 감축효과를 계산해 볼 필요성이 높은 정책이라고 사료된다.

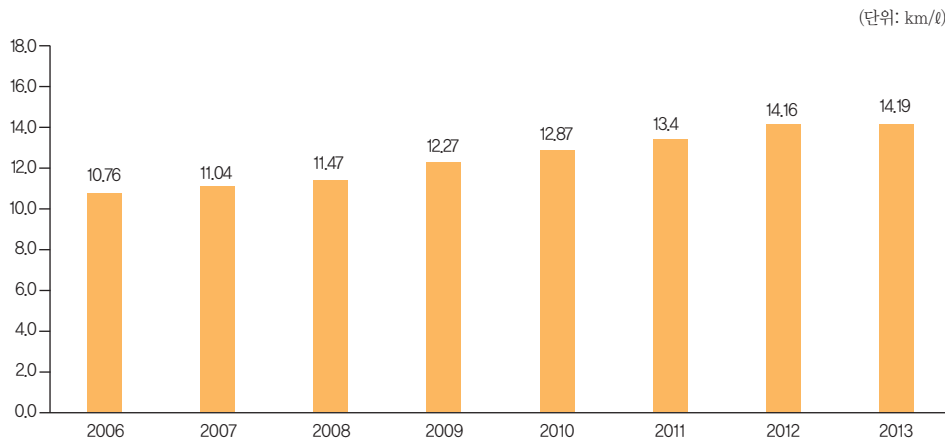
김대욱과 김종호(2012), 이지연(2014) 등의 연구에서도 평균에너지소비효율제도(평균연비제도)를 감안하

여 리바운드 효과를 계측한 바가 있다. 본고에서도 앞선 연구와 궤를 같이 하면서 앞서 논의한 리바운드 효과의 채널에 대한 이론적 논의를 활용하여 평균에너지소비효율제도에서 발생하는 리바운드 효과를 실증 사례로 적용해보기로 한다.

현재 우리나라에서 시행되고 있는 평균에너지소비효율제도는 자동차 제조업체가 연간 판매한 승용차의 평균연비 기준을 두어 관리하는 제도이다. 구체적으로 평균연비는 1년간 판매한 차량의 연비의 합계를 판매량으로 나누어 산출되며 제작사별 연간판매량을 감안하여 가중조화평균으로 산출된다. 현재 적용중인 기준은 다음과 같다(한국에너지공단).⁶⁾

- 적용기간: 2012년~2015년
- 이행기준: 평균연비 17km/ℓ 이상 또는 온실가스 배출 140g/km 이하

[그림 1] 우리나라 승용차 평균연비 추이



자료: 에너지관리공단(2013)

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



연비 향상에 의한 온실가스 배출 감축과 미시적 리바운드 효과 분석

- 적용자동차: 승차인원 10인승 이하의 승용자동차 및 승합자동차 중 총중량이 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 분석되고 있다. [그림 1]은 2006년 이후 우리나라 승용차의 평균연비 추이를 도식화한 것이다. 이는 우리나라 에너지소비효율·등급 표시대상 자동차의 평균연비를 나타내고 있다. 2013년 우리나라 승용차의 평균연비는 14.19km/ℓ로 2006년 이후 연평균 4% 증가하는 추세를 보이고 있다.

평균에너지소비효율제도 하에서 리바운드 효과를 계측하기 위해 <표 1>과 같은 가정을 하여 분석을 진행하기로 한다. 본 연구에서는 기존의 연비가 2013년 평균연비인 14.19km/ℓ인 승용차를 연비기준 20km/ℓ를

충족하는 차량으로 교체하는 상황을 고려하였다. 아울러 기존의 차량에 대비하여 고연비 차량에는 200만원의 추가지출이 요구된다고 가정한다.⁷⁾ 차량의 주행거리는 연간 평균 15,000km로 설정하고 연료비용은 휘발유 기준 ℓ당 1,500원을 가정하였으며 차량은 10년간 운행하는 것으로 설정하고 분석하기로 한다.

앞의 가정 하에서는 개별 소비자의 경우 연간 307ℓ, 총 3,071ℓ(2.39toe)의 연료를 절약할 수 있다. 이를 온실가스 배출량으로 환산할 경우 총 6.80톤의 온실가스를 저감하는 효과를 거두는 것으로 계산된다. 이를 할인율 5%를 적용하여 순현재가치(NPV)로 환산할 경우 373만원의 편익이 도출된다. 고연비 차량의 경우 200만원의 추가지출이 필요하기 때문에 173만원의 순편익이 발생하게 되는 것이다.

본격적으로 리바운드 효과를 도출하기 위해 2절에서 논의한 우리나라 전반의 에너지원단위와 온실가스 배출원단위에 대한 정보를 이용할 수 있다. 2013년 기준 우리나라 전반의 에너지효율 수준을 의미하는 에너지

<표 1> 리바운드 효과 분석을 위한 가정

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

자료: 에너지경제연구원

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



원단위는 0.220toe/천달러이고 온실가스 배출원단위는 0.455톤CO₂eq./천달러이다.⁸⁾ 앞서 계산하였듯 소비자가 얻게 되는 편익인 173만원은 소비자의 소득이 증가한 것으로 해석할 수 있다. 앞서 논의한 대로 소득의 증가분을 소비한다고 가정하면, 효율 개선에 따른 소득의 증가에 따라 에너지는 0.32toe, 온실가스는 0.66톤CO₂eq. 증가할 것으로 계산된다. 이를 총저감량에 대비해서 환산할 경우 리바운드 효과는 에너지 기준 13.3%, 온실가스 기준 9.7%로 나타난다.⁹⁾

대체효과를 산출하기 위해서는 연료비용에 대한 차량 운행거리의 탄력치가 필요하다. 이 탄력치에 대한 실증분석은 매우 정직한 계량경제 모형을 도입한 엄밀한 분석이 필요하므로 별도로 연구가 필요한 부분이다. 따라서 본 고에서는 앞선 연구의 결과를 종합하여 활용하였다. 아직 이 탄력치에 대한 계량모형 등을 활용한 추정값들은 다양하게 나타나고 있는 것으로 보인다. 이 분야에 대해 많은 연구가 수행되었던 외국의 연구에서도 아직 추정치들의 범위가 충분히 좁혀졌다고 보기 어렵다고 판단된다. 외국의 연구에서는 이 탄력치는 대체로 0.1~0.3정도의 범위를 가지는 것으로 나타나고 있는 것으로 정리되고 있다(Gillingham et al., 2014; Borenstein, 2015).

그러나 우리나라의 경우 외국의 경우보다 다소 높게 추정치가 도출되고 있는 것으로 나타나고 있다. 김대욱과 김종호(2012), 이지연(2014) 등 국내 관련 연구에서는 0.2~0.5의 범위로 외국의 경우보다 다소 높은 추정치들을 제시하고 있다. Borenstein(2015)의 연구

에서는 외국의 사례를 참고하여 0.2의 탄성치를 적용하여 분석하고 있으나 본 고에서는 국내 문헌에서 나타나는 추정치가 다소 높다는 점을 감안하여 0.3의 탄성치를 적용하여 분석을 행하였다.

연비가 증가할 경우 연료비용의 감소로 인해 차량운행의 단위비용이 하락하여 소비자는 추가적으로 운행거리를 늘리게 될 유인을 가지게 된다. 탄성치가 0.3이고 14.19km/ℓ에서 20.00km/ℓ로 연비가 개선될 경우 추가적으로 증가하게 되는 운행거리는 10.84% 또는 16,268km로 환산된다. 이 경우 우선 주행거리를 늘리게 됨에 따라 추가적으로 연료를 소비하게 되며 추가적인 연료소비는 0.63toe로 환산된다. 이에 따른 온실가스 배출은 1.8톤이 증가한다. 그러나 주행거리를 늘리게 되면 추가 연료소비에 따라 다른 상품의 소비를 감소시켜야만 한다. 다른 상품의 소비는 연료소비에 따른 지출액을 산출한 뒤 에너지원단위와 온실가스원단위를 이용하여 계산할 수 있다. 다른 상품의 소비를 감소시키는 과정에서 에너지는 0.22toe 절감하고 온실가스는 0.46톤이 감축된다.

이러한 결과를 종합하여 에너지절감과 온실가스 감축으로 나누어 리바운드 효과를 계산하면 <표 2>와 같이 정리될 수 있다. 우선 에너지부문을 살펴보면, 에너지효율의 증가에 따른 리바운드 효과는 소득효과가 13.3%, 대체효과가 17.1%로 총 리바운드 효과는 30.3%로 분석되었다. 한편 온실가스 감축의 측면에서 분석한 리바운드 효과는 소득효과가 9.7%, 대체효과가 19.7%로 총 리바운드 효과는 29.4%로 분석되었

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

9) 고효율 차량에 대한 추가 비용에 에너지소비가 결부되어 있다면 약 0.37toe의 에너지가 소비될 것으로 산출됨. 그러나 이 수치는 효율개선에 따른 리바운드 효과에는 포함되지 않음.



다. 본 연구의 결과는 에너지나 온실가스 모두에서 리바운드 효과의 크기가 대체효과가 소득효과 보다 크게 도출되고 있음을 보여준다. 이것은 연료비용에 대한 차량운행 거리의 탄성치가 높기 때문인 것으로 판단된다. 즉, 고효율 승용차를 구매할 경우 상대적으로 총 주행거리가 더 많이 늘어나기 때문에 대체효과가 높게 도출된 것이다.

에너지절감이나 온실가스 감축측면에서 리바운드 효과의 크기는 큰 차이를 보이지는 않았다. 온실가스 감축측면에서는 특히 대체효과가 크게 도출되었는데 고연비 차량을 도입하였을 때 차량 운행거리의 증가로 인한 온실가스 배출 증가로 리바운드 효과가 크게 발생한 것으로 사료된다. 고연비 차량의 보급과 함께 차량의 운행을 늘리지 않을 수 있는 정책적 접근이 필요한 부분으로 여겨진다.

본 연구의 분석결과는 리바운드 효과에 대한 기존의 연구와 다소 차이를 보이는 것으로 판단된다. 우선 리바운드 효과의 크기가 기존의 연구에 비하여 작게 도출되었다. 기존의 연구는 리바운드 효과의 크기를 크게는 50% 이상이 될 것으로 예측한 경우가 있으나, 본 연구에서는 이런 연구보다 상당히 작은 리바운드 효과의 크기가 도출되었다. 일부 연구는 본 연구와 유사한 크기를 추정하기도 하였으나 기존의 연구에서는 소득효과와 대체효과 등 본 연구에서 제기한 리바운드 효과의 채널이 모두 고려되어 분석된 결과가 아니라는 점에서, 본 연구의 수치가 이들 연구보다는 낮은 수준의 리바운드 효과를 가질 것으로 예측되었다고 해석하는 것이 맞는 것으로 여겨진다.

그러나 본 연구의 분석결과는 리바운드 효과가 무시할 정도의 크기는 아니라는 점을 보여주고 있다. 본 연구의 분석결과는 리바운드 효과가 정책의 효과를 무력화할 정도의 크기는 아니나 정책의 분석과 시

행에서 무시되어서는 안 된다는 점을 지시하고 있다고 하겠다.

리바운드 효과의 크기 변화를 추적하기 위해서 본 연구에서는 민감도 분석을 실시하였다. 우선 연비기준을 변경하였을 경우 연비기준이 낮을 때보다 높을 때 리바운드 효과가 증가하는 점을 확인할 수 있다. 연비개선의 효과가 클수록 고연비 차량을 구매하여 발생할 수 있는 수익이 높으므로 소득효과가 빠르게 증가한다. 한편 대체효과는 오히려 하락하는 추세를 보이는 데 이것은 연비개선에 따른 대체로 인해 다른 상품의 소비를 감소하는 효과가 크기 때문으로 사료된다.

둘째로 연간 주행거리를 변화시키면서 민감도 분석을 시행할 경우 연간 주행거리가 길수록 소득효과가 높아져 리바운드 효과의 크기가 증가하는 것이 확인된다. 탄성치 수치는 고정되어 있으므로 대체효과와 크기는 동일하게 나타나지만 평균 주행거리가 많은 소비자일수록 연비개선으로 인한 직접절감분이 많으므로 소득 증가의 효과가 크게 나타날 것이기 때문이다.

셋째로 탄성치 수치를 변화시켜 보면 대체효과와 크기가 빠르게 증가한다. 연비가 높아질수록 고연비차량의 운행을 빠르게 증가시키므로 대체효과에 의한 연료 소비가 빠르게 증가하는 것이 당연하다고 생각된다. 대체효과와 크기가 탄성치의 크기에 크게 영향을 받는다는 점은 리바운드 효과의 크기를 정확하게 계측하기 위해서는 연료비용에 대한 주행거리의 탄성치를 정확하게 추정할 수 있어야 한다는 점을 의미한다. 향후 이 부문에서 연구가 폭넓게 진행되어야 함을 짐작할 수 있다.

넷째로 연비기준에 따라 소비자가 부담하는 추가 비용을 증가시키며 민감도 분석을 행할 경우 소득효



〈표 2〉 리바운드 효과 분석결과

구분	에너지절감(toe, %)	온실가스 감축(톤, %)
직접절감	2,39(100,0)	6,80(100,0)
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)

자료: 에너지경제연구원

〈표 3〉 민감도 분석결과: 연비개선 강도 변화

(단위: %)

구분		소득효과	대체효과	리바운드 효과
에너지 절감	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 감축	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

자료: 에너지경제연구원

과는 점차 감소하는 경향을 보이게 된다. 고연비 차량을 구매하기 위해서는 많은 추가 비용을 감수하여야하기 때문에 소득이 상쇄되는 효과가 발생하기 때문이다. 그러나 추가 비용이 높을 경우 소비자가 고연비 차량으로 전환을 꺼릴 우려가 발생할 수 있다는 점을 지적할 수 있다. 한편 이런 문제를 해결하기 위한 정책의 사례로 고연비차의 가격에 대한 보조는 소비자의 소득을 높이는 효과가 있게 된다. 따라서 리바운드 효과의 여지도 그만큼 높다는 점을 감안할

필요가 있을 것이다.

4. 결론 및 향후 연구과제

본고에서는 에너지효율 개선이 이루어졌을 경우 그에 따른 리바운드 효과의 채널에 관한 미시적 분석을 행하였다. 우선 리바운드 효과의 측면에서 본고는 리바운드 효과의 채널을 미시경제이론에서 폭넓게 활용



연비 향상에 의한 온실가스 배출 감축과 미시적 리바운드 효과 분석

〈표 4〉 민감도 분석결과: 연간 주행거리 변화

(단위: %)

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

자료: 에너지경제연구원

되는 개념인 소득효과와 대체효과로 구별하여 명확한 이해를 도모하였다. 본 연구의 분석결과 기존의 연구에 비해 리바운드 효과는 크지 않을 수 있다는 점을 제시하였다. 이 점에서 에너지효율 개선을 위한 정책이 필요하며 리바운드 효과의 우려로 인해 정책효과가 무력화되기는 힘들 것이라는 점을 지적할 수 있다. 그러나 리바운드 효과가 정책효과 분석에서 충분히 고려될 필요가 있다는 점은 주지할 필요가 있다. 기존의 연

구에 비해서 다소 낮다고 평가되었으나 여전히 상당한 크기의 리바운드 효과가 존재한다고 분석되었기 때문이다. 정책적인 관점에서는 고효율 제품의 보급을 확대하면서 리바운드 효과를 적절히 통제할 수 있는 정책수단을 고안하는 것이 중요하다는 시사점을 유추할 수 있을 것이다.

본고에서는 대표적인 소비자의 경우를 가정하고 단일 재화의 효율개선에 따른 리바운드 효과를 계측하는

〈표 5〉 민감도 분석결과: 탄성치 변화

(단위: %)

구분		소득효과	대체효과	리바운드 효과
에너지 절감	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 감축	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

자료: 에너지경제연구원



〈표 6〉 민감도 분석결과: 추가비용 변화

(단위: %)

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

자료: 에너지경제연구원

모형을 제시하였다. 이에 따라 소비자의 선택행위가 전체 경제에서 또는 시장에서 어떻게 영향을 받는지에 대한 정보를 제공하는 데에는 한계가 있을 수밖에 없다. 결국 리바운드 효과의 결과를 집계하였을 경우 사회적 효과로 직접적으로 반영되지 않을 수 있다는 것이다. 본 연구의 결과를 집계효과를 반영한 연구로 확장해볼 필요성이 있다고 하겠다.

또한 가격이 한계비용과 일치하지 않는 에너지시장의 일반적 특성을 고려해 볼 필요가 있다. 대부분의 에너지시장에서 가격은 한계비용을 초과하여 설정되는 것이 통상적이다. 예를 들어, 전력이나 천연가스 가격은 고정비용(fixed cost)을 반영하여야 하기 때문에 일반적으로 한계비용보다 높은 가격으로 책정된다. 또한 유류가격은 세금이나 보조금 등의 다양한 요인으로 한계비용과 일치하지 않는다고 보는 것이 합리적일 것이다. 만약 가격이 한계비용보다 높을 경우 에너지효율 개선으로 인한 소비감소 효과가 소득의 상승으로 직결되지 않는다고 볼 수 있는 바, 리바

운드 효과의 크기를 감소하는 요인이 될 것이라고 추정할 수 있다.

참고문헌

〈국내 문헌〉

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

에너지관리공단, 2013 자동차 에너지소비효율 분석집, 2013

이지연, “수송부문 연료소비의 리바운드 효과,” 『에너지포커스』, 2014 여름호, 에너지경제연구원, 2014

〈외국 문헌〉

Borenstein, S., “A microeconomic framework for evaluating energy efficiency rebound



연비 향상에 의한 온실가스 배출 감축과 미시적 리바운드 효과 분석

and some implications,” Energy Journal,
36(1), 2015, 1–21

Gillingham, K., D. Rapson, and G. Wagner, “The
Rebound Effect and Energy Efficiency
Policy,” Discussion Paper, no.14–39,
Resources for the Future, 2014