

# 자동차 대체연료의 상호호환성 연구

## A Study on Compatibility of Vehicle Using Alternative Fuels

이택희\* · 강승진†  
(Taek-Hee Lee · Seung-Jin Kang)

**Abstract** - The purpose of this study provides the theoretical model for protecting the economic and social loss from the current alternative fuel vehicle which is developed without compatibility and senseless one's own through verifying the statistical significant by method of measuring analysis. The market scale of alternative fuel vehicle depends on customer's and station's expectation about the number of potential vehicle users. It is very difficult for vehicle manufacturer to make a decision on the standard alternative fuel vehicle as it might reduce profit and market share. Accordingly, the development of alternative fuel vehicle should have manufacturer confident on the potential profit in the future. Moreover, if we decide to use the non-standard fuel after we started to use the standard fuel, it would take a huge cost comparing with starting to use the standard fuel only. As a result, once one of companies starts to provide the non-standard fuel service, it is getting more difficult to use the standard fuel going forward. Consequently, we may review the possibility of choice on the standard fuel before the vehicle manufacturer starts service with non-standard fuel.

**Key Words** : Alternative fuel vehicle, Compatibility, Network externality, Non-standard fuel, Standard fuel

### 1. 서론

1885년 독일의 칼 벤츠에 의해 개발된 세계 최초 가솔린 자동차와 1894년 루돌프 디젤의 압축착화기관인 디젤엔진의 발명으로 시작된 자동차의 역사에서 휘발유와 디젤 연료는 현재 120년간 자동차 에너지로 사용되고 있다. 그러나 이제 석유등 화석 연료를 중심으로 했던 에너지자원의 공급 한계는 최근 들어 더욱 가시화되고 있으며, 교토의정서에 기초한 온실가스 감축을 중심으로 기후변화에 따른 지구온난화와 환경오염 문제, 세계 각국의 탄소 배출량 감축 및 배출가스 규제(2014년 유럽연합(EU) 배기가스 배출기준인 '유로6' 시행, 유럽연합집행위원회(European Commission) 2020년 CO<sub>2</sub> 배출량 기준 95g/km로 규제)와 배럴당 150달러에 달했던 초고유가 시대 등을 통해 과거 에너지 사용의 패턴에 대한 근본적인 변화가 각 국가들에 요구되고 있다[1].

현재 중국은 차량 보급 대수가 1억 1,900만대를 기록하고 있으며, 이는 2억 8,500만대인 미국에 이어 두 번째로 많은 수치며 중국 내 100가구 중 20가구가 자가용을 보유하고 있다. 이처럼 중국과 같이 연 1,500만대의 폭발적인 자동차 증가에 따라 기존의 석유 연료의 사용 고갈과 그에 따른 지속 가능한 에너지 확보, 지구 환경 개선, 온실가스와 대기오염이 대두됨으로써 최근 우리나라를 비롯한 세계 각국의 민,

관, 산, 학, 연, 완성차 업체들은 앞 다투어 새로운 미래 대체연료를 이용할 친환경, 고효율 그린카 개발에 박차를 가하고 있다. 이렇듯 자동차 산업은 미래의 환경과 에너지에 대응하기 위해 새로운 기술이 요구되고 있으며, 현재 다양한 연료가 개발 중이다. 하지만 세계적인 자동차 대체연료 개발에 있어서 구분별한 에너지 개발은 기업과 소비자 그리고 정부를 모두 포함하여 커다란 경제적 손실과 비효율적인 대체 에너지 개발을 가져올 수 있다. 그 이유는 대체연료 자동차가 간접적인 외부성을 갖고 있기 때문이다. 즉, 어떤 한 대체연료 자동차의 사용자가 증가할수록 직접적으로 또는 어떠한 매개체를 필요로 하지 않고서 그 가치가 증가한다. 그러므로 해당 대체연료 자동차수의 증가가 대체연료 자동차의 가치를 증가시키는 네트워크 외부성이 존재한다[2].

Katz와 Shapiro(1986)은 몇 개의 주요 시장 안에서 경쟁의 명확한 요소가 무엇인지를 단순한 모델을 개발하여, 네트워크 외부성이 존재하는 시장에서는 소비자의 기대가 가장 중요하다는 것을 증명하고 있다[3]. Oren과 Stephen(1982)은 과점시장에서의 네트워크 외부성이 갖는 소비 외부성과 시장의 상태에 대하여 설명하였다[4]. Farrell과 Saloner(1985)는 기업 간의 완전한 정보와 동일한 환경내에서 소비자와 제품의 표준화에 있어서는 기업에 혜택이 있지만, 정보가 불완전할 때에는 표준화의 혜택이 무용지물이 되거나 열등 표준 산업으로 고착될 수 있으며 이러한 문제는 커뮤니케이션에 의해 극복될 수 있다고 하였다[5]. Bala와 Goyal(2000)은 단방향과 양방향 플로우 관계 모형을 통하여 네트워크 형성의 연구에 대한 단순구조를 제공하고 있다[6].

Brandenburger, Nalebuff(1998)와 Blum(2009)은 자동차 산업을 중심으로 코퍼티션이라 불리는, 협력과 경쟁 사이의 동적 상호 작용을 조사하고 경제 위기와 최종 시장에서의

\* 정회원 : 한국지엠(주)

† 교신저자, 정회원 : 한국산업기술대학교 지식기반기술·에너지 대학원장

E-mail : sjkang@kpu.ac.kr

접수일자 : 2012년 5월 3일

최종완료 : 2012년 5월 15일

치열한 경쟁에도 자동차 제조업체들은 R&D 및 제조 등의 분야에서 서로 협력하는 공동 작업이 증가한다고 하였다. [7,8]. 홍동표와 이원준(2000)은 합리적인 소비자는 네트워크에 가입하기 전에 네트워크를 구성하는 보완제가 개발되어 있는 지 궁극적인 규모를 고려하며 동시에 값싸고 우수한 보완제가 지속적으로 제공될 수 있는가를 고려한다고 분석하였다[9]. 박종국(2002)은 상호호환에 대한 사적 또는 사회적 유인을 분석하고 다른 브랜드간의 상호호환은 표준과 비표준의 한계생산비용이 동일하다면 표준 제품의 선택이 판매량을 증가시키고 동시에 네트워크 규모를 증가시켜 소비자의 잉여가 증가함을 보여주고 있다[10].

이에 본 논문에서는 성공적인 대체연료 자동차의 도입 가능성을 증가시켜 경제적 손실과 비효율적인 개발 및 생산을 미리 방지하고 바람직한 방법을 위한 시사점을 제공하는데 목적이 있다.

## 2. 이론적 배경

### 2.1 이론의 모델화

이 연구의 모델은 한 시스템을 구성하는 두가지 네트워크, 즉 대체연료 주유소 네트워크와 자동차 네트워크의 상호작용을 모델화하고 있다는 것에서 Katz와 Shapiro 모델의 모습을 갖고 있다. 그들의 모델로 대체연료 주유소의 수가 증가할수록 대체연료의 가치가 증가하고, 대체연료 자동차 사용자의 수가 증가할수록 자동차의 가치가 증가하는 것을 모델화할 수는 있다[3,11]. 하지만 중간의 과정이 표현되어 있지는 않다. 즉, 그들의 모델은 어떤 대체연료 사용자가 증가할수록 상호호환이 가능한 자동차의 가치가 증가하고, 자동차의 수가 증가할수록 대체연료의 가치가 증가하는 상호작용은 생략되어 있다. 이러한 간접적 네트워크 외부성에서의 두개 이상의 네트워크간의 상호작용은 Farrell과 Saloner와 같은 이 분야의 기초를 제공하였던 보고서에도 표현되지 않아 간접적인 네트워크 외부성과 직접적인 네트워크 외부성이 동일시되고 있다[12]. 그러나 표준연료 선택의 사회적 유인을 분석하기 위해서는 자동차 사용자와 대체연료 네트워크간의 상호작용을 모델화할 필요가 있다.

먼저 경쟁적인 자동차 대체연료 개발의 효과에 대해 분석한다. 기업의 목표는 제품을 표준화하고 생산을 자동화함과 동시에 생산비용을 최소화하여 가격경쟁력을 확보하고 더 많은 구매를 유도해 이익을 극대화하는 것이다. 그러면, 두개의 기업이 독자적으로 개발한 대체연료가 수평적으로 경쟁하는 과점모형을 생각해 보기로 한다. 간단히 자동차 제조업체들은 자신이 자동차에 사용할 대체연료를 개발한다고 하면 이때 이러한 특정연료와 이를 사용하는 자동차는 서로 보완재로서 기업은 특정 연료를 사용하는 자동차를 소비자에게, 연료를 주유소(가스·전기 충전소등의 개념을 포함한 넓은 개념의 대체에너지)에게 판매한다. 이들 대체연료 간에는 호환성이 없다고 가정하면 특정 대체연료와 이를 특화하여 사용하는 자동차는 하나의 시스템, 즉 플랫폼을 구성하게 되고 위 개발기업들은 플랫폼 제공업자가 된다.

모델화를 위하여 아래와 같이 정의하기로 한다.

$x_i =$  대체연료  $i$ 를 사용하는 자동차의 망 크기

$y_i =$  대체연료  $i$ 를 급유하는 주유소의 망 크기

$x_i^e = x_i$ 에 대한 주유소의 기대치

$y_i^e = y_i$ 에 대한 소비자들의 기대치

$p_i =$  자동차  $i$ 의 가격

$q_i =$  대체연료  $i$ 의 공급가격

$\pi_i =$  기업  $i$ 의 순이익

$m =$  소비자의 소득수준(자동차 보유로부터 얻는 효용)

$w =$  주유소의 자산수준(주유소를 운용하는 것에서 얻는 편익 또는 비용)

개별화된 소비자는 자신이 추구하는 가치와 동일한 상품과 잉여를 극대화하기 위해 행동하는데, 그렇다면 한 종류의 자동차를 구입하거나 그렇지 않으면 구입하지 않는다[4]. 이 연구에서 소비자가 고려하는 상품의 특성은 가격과 네트워크의 크기이다. 즉, 가격이 저렴하지 않는 한 소규모 주유소 네트워크를 가진 자동차를 구입할 이유가 없다. 이렇게 가정하는 이유는 자동차의 차별적 특성을 무시함으로써 네트워크 크기와 소비자의 효용의 관계에 집중하기 위함이다. 자동차  $i$ 를 한 단위 구입할 때의 소비자의 효용을  $U_i(p_i, y_i^e) = m + u(y_i^e) - p_i$ , ( $u(0) = 0, u'(\cdot) > 0$ ),  $m$ 은  $[-\infty, \bar{m}]$  위에 균일분포 되어 있다고 가정하고  $m$ 은 소비자의 유형이라 부르도록 한다. 균일분포라고 가정하는 이유는 모델을 단순화하기 위함이다. 지불의사가 균일분포를 따른다 라는 가정은 자동차 또는 주유소의 수요가 선형임을 의미한다. 이는 네트워크 외부성 즉, 소비자의 효용과 네트워크의 크기의 관계에 집중할 수 있도록 해준다.  $m$ 이 유한한 하계가 없다고 가정하는 것은 모든 소비자가 시장에 참여하는 모서리해가 발생하지 않도록 방지하기 위함이다[3]. 또한, 주유소의 행태를 묘사하기 위한 모델은 소비자의 행태를 묘사하기 위한 모델을 그대로 적용할 수 있다. 이에 따라 주유소 업주도 많아야 하나의 대체연료 급유기를 채택한다. 연료  $i$ 를 취급하는 주유소의 효용을  $V_i$ 라 하면,  $V_i = w + v(x_i^e) - q_i$ , ( $v(0) = 0, v'(\cdot) > 0$ )로 쓸 수 있다.

$w$ 는 주유소의 유형으로서  $[-\infty, \bar{w}]$  위에 균일분포 되어 있다고 가정한다[3]. 특정 대체연료를 이용하는 자동차와 대체연료의 생산비용은 연료의 종류와 무관하게 동일하며 이 비용은  $c_x, c_y$  로 일정한 한계비용을 갖으며 분석을 단순화하기 위해 고정비용은 없다고 가정한다[10].

### 2.2 모델의 연구

#### 2.2.1 대체연료가 상호호환성 없이 표준화되어 있지 않은 경우

유형  $m$ 의 소비자는 자동차의 가격과 주유소의 망크기에 대한 효용을 극대화하기 위하여  $i = \operatorname{argmax}_i U_i(p_i, y_i^e)$ 를 선택한다. 또한, 모든  $i$ 에 대해  $U_i(p_i, y_i^e) < 0$ 이면  $m$ 유형의 소비자는 어떠한 연료의 자동차도 구입하지 않는다. 마찬가지로 유형  $w$ 의 주유소도  $i = \operatorname{argmax}_i V_i(q_i, x_i^e)$ 인  $i$ 를 선택한다. 역시 모든  $i$ 에 대해  $V_i(q_i, x_i^e) < 0$ 이면 아무 연료의 자동차도 구입하지 않을 것이다[3]. 자동차가 차별화되어 있지 않다고 할 때, 기업 1과 2는 식(1)의 조건을 충족해야만 자동차를 판매할 수 있다.

$$p_1 - u(y_1^e) = p_2 - u(y_2^e) \quad (1)$$

여기서  $p_1 - u(y_1^e)$ 는 연료 1의 자동차를 구입함으로써 기대할 수 있는 특성감안 가격이다. 즉 네트워크 규모가 감안된 가격이다. 식(1)에서 두개의 기업이 양의 판매량을 가지고 있을 때, 각 연료의 특성감안 가격은 동일해야 함을 의미한다.  $\varphi$ 를 식(1)에서 특성감안 가격이라고 하면  $\varphi$ 에서,  $m \geq \varphi$ 인 소비자만이 자동차를 구입한다.  $m$ 은 균일분포를 따르므로  $\bar{m} - \varphi$ 만큼의 소비자가 존재한다. 그래서 자동차의 가격은  $\bar{m} - \varphi = x_1 + x_2$ 가 되도록 결정된다.

$$\bar{m} + u(y_i^e) - p_i = x_1 + x_2 \quad i = 1, 2 \quad (2)$$

그러므로 기업  $i$ 의 자동차 가격은

$$p_i = \bar{m} + u(y_i^e) - x_1 - x_2 \quad (3)$$

연료  $i$ 의 자동차가격은 연료  $i$ 의 주유소 네트워크 규모의 기대치인  $y_i^e$ 와 자동차의 총판매량,  $x_1 + x_2$ 에 따른다. 네트워크 외부성이 소비자 잉여에 반영되는 경로는 자동차의 생산량 증가를 통해서이다. 즉, 표준연료의 도입은 자동차 생산량의 증대로 이어지며 소비자잉여  $\frac{(x_1 + x_2)^2}{2}$ 의 증가로 나타난다. 이에 따라 계산해 보면  $m$ 타입의 소비자는 잉여로서  $m + u(y_i^e) - p_i$ 를 가지게 되며,  $p_i = \bar{m} + u(y_i^e) - x_1 - x_2$  이므로, 그 소비자의 잉여는  $m + x_1 + x_2 - \bar{m}$ 이다. 그리고  $m \geq p_i - u(y_i^e)$ 인 소비자만이 자동차를 구입하는데, 가격을 대입하면  $m \geq \bar{m} - x_1 - x_2$ 이다.

그러면 소비자의 잉여는 식(4)와 같이 표현할 수 있다.

$$S(x_1 + x_2) = \int_{\bar{m} - x_1 - x_2}^{\bar{m}} (\rho + x_1 + x_2 - \bar{m}) d\rho = \frac{(x_1 + x_2)^2}{2} \quad (4)$$

한편 연료  $i$ 의 주유소의 특성감안 가격은  $q_i - v(x_i^e)$ 이다.  $w > q_i - v(x_i^e)$ 인 주유소는 기업  $i$ 의 연료를 구입하게 된다.  $w$ 가 균일분포를 따르고 있으므로,  $\bar{w} - (q_i - v(x_i^e))$ 만큼의 주유소가 존재하여 다음이 성립한다.

$$\bar{w} + v(x_i^e) - q_i = y_1 + y_2, \quad i = 1, 2 \quad (5)$$

따라서 각 대체연료의 가격은  $q_i = \bar{w} + v(x_i^e) - y_1 - y_2$ 이며 기업  $i$ 의 연료 가격은 소비자수의 기대치인  $x_i^e$ 와 총연료 매출량인  $y_1 + y_2$ 에 의존한다. 여기서 같은 방법으로 주유소의 잉여는  $T = (y - \bar{w})y$ 로 계산된다 (단,  $y = y_1 + y_2$ ). 그러면, 이제 기업의 의사결정을 보자. 기업  $i$ 의 순이익은

$$\pi_i = (\bar{m} - x_1 - x_2 + u(y_i^e) - c_x)x_i + (\bar{w} - y_1 - y_2 + v(x_i^e) - c_y)y_i \quad (6)$$

일계조건은

$$\frac{\partial \pi_i}{\partial x_i} = \bar{m} - x_1 - x_2 + u(y_i^e) - c_x - x_i = 0,$$

$$\frac{\partial \pi_i}{\partial y_i} = \bar{w} - y_1 - y_2 + v(x_i^e) - c_y - y_i = 0 \quad (7)$$

이제 균형 망 크기인  $x_i^*, y_i^*$ 는 소비자와 주유소가 각 망의 크기에 대해 어떤 방식으로 예상치를 형성해 나가는가에 의해 결정된다. 여기서 Katz와 Shapiro 모델에 따라 모든 예상치가 실제로 실현된다는 균형개념을 사용하면  $x_i^e = x_i^*, y_i^e = y_i^*$ 가 된다[3]. 따라서

$$\bar{m} - x_1^* - x_2^* + u(y_i^e) - c_x - x_i^* = 0, \bar{w} - y_1^* - y_2^* + v(x_i^e) - c_y - y_i^* = 0 \quad (8)$$

를 만족해야 한다. 식(8)로부터  $y_1^* \geq y_2^*$ 인 한  $x_1^* \geq x_2^*$ 임을 유의해야 한다. 또한, 균형이익은  $\pi_i = (x_i^*)^2 + (y_i^*)^2$ 임을 알 수 있다.

### 2.2.2 대체연료가 표준화되어 있는 경우

모든 자동차가 이처럼 독자적으로 개발된 대체연료를 모두 사용할 수 있기 위해서는 대체연료 개발에 추가적인 표준화 비용이 소요될 것이다. 그러면 만약 추가적인 표준화 비용  $a$ 를 지불하여 모든 연료가 상호호환성을 갖게 된 상황을 고려하기로 한다. 연료들이 서로 호환적이면 어떤 연료의 자동차를 보유한 소비자도 어느 주유소로부터도 급유를 받을 수 있으므로 전체 망으로부터의 편익 즉,  $u(y_1^e + y_2^e)$ 를 누리고, 마찬가지로 주유소들도 아무 대체연료만 가지면 어떤 종류의 자동차도 잠재적 고객으로 확보할 수 있게 되므로  $v(x_1^e + x_2^e)$ 를 누리게 된다. 어떤 자동차를 구입하더라도 소비자는 동일한 망효과를 누리기 때문에, 또한 자동차간 제품차별화는 없기 때문에 소비자들은 무조건 가격이 저렴한 자동차를 구입하고자 할 것이고, 따라서 모든 자동차가 양의 수량이 판매되기 위해서는  $p_1 = p_2$ 가 성립해야 한다. 이러한 공통의 가격을  $p^*$ 라고 한다. 이와같이 주유소들도 아무 대체연료만 보유하면 동일한 망효과를 누리 수 있으므로 가격이 낮은 연료를 구입하고자 할 것이고, 그 결과  $q_1 = q_2$ 가 되어야 하고 이 공통 가격을  $q^*$ 라 할 것이다. 소비자는  $m + u(y_1^e + y_2^e) - p^* \geq 0$ 일 때만 자동차를 구입할 것이므로 식(9)가 성립해야 한다.

$$p^* = \bar{m} + u(y_1^e + y_2^e) - x_1^* - x_2^* \quad (9)$$

단,  $x_i^e$ 는 두 자동차가 상호호환적일 때 자동차  $i$ 의 매출량이다. 주유소는  $w + v(x_1^e + x_2^e) - q^* \geq 0$ 일 때만 연료를 구입할 것이므로,

$$q^* = \bar{w} + v(x_1^e + x_2^e) - y_1^* - y_2^* \quad (10)$$

따라서 한 소비자의 잉여는  $u(y_1^e + y_2^e) - p^* = x_1^* + x_2^* - \bar{m}$ 이고 따라서 총 소비자잉여는 식(11)과 같이 표현할 수 있다.

$$S = \int_{\bar{m}-x_1^s-x_2^s}^{\bar{m}} (x_1^s+x_2^s-\bar{m}) = (x^s-\bar{m})x^s \quad (11)$$

같은 방법으로 주유소들의 총잉여도

$$T = \int_{\bar{w}-y_1^s-y_2^s}^{\bar{w}} (y_1^s+y_2^s-\bar{w}) = (y^s-\bar{w})y^s \quad (12)$$

두 개의 기업이 대칭적이므로 기업 1의 입장에서 논의를 전개하고자 한다. (정리 1과 2의 증명에 의해 기업 1의 관점에서 서술된 기업 2의 관점에도 적용된다.) 자동차와 연료를 판매하여 얻는 기업 1의 순이익과 일계조건은

$$\pi_1 = x_1(\bar{m}+u(y_1^e+y_2^e)-x_1-x_2-c_x) + y_1(\bar{w}+v(x_1^e+x_2^e)-y_1-y_2-c_y-a) \quad (13)$$

그러므로 일계조건에 의해

$$\begin{aligned} \frac{\partial \pi_1}{\partial x_1} &= \bar{m}+u(y_1^e+y_2^e)-x_1-x_2-c_x-x_1=0, \\ \frac{\partial \pi_1}{\partial y_1} &= \bar{w}+u(x_1^e+x_2^e)-y_1-y_2-c_y-y_1-a=0 \end{aligned} \quad (14)$$

표준화된 경우의 자동차와 연료 생산량의 해를  $x_i^{**}, y_i^{**}$  라 표현하면,  $x_1^{**}=x_2^{**}$  이어야 하고,  $y_1^{**}=y_2^{**}$  이어야 한다. 즉, 표준화된 경우의 균형은 반드시 대칭적이어야 한다. 여기서 균형에서의 이익은  $\pi_i^{**}=(x_i^{**})^2+(y_i^{**})^2$  이다.

### 2.2.3 상호호환성 없는 비표준화와 표준화의 비교

정리 1: 만약 표준화 비용  $a=0$ 이면,  $x_1^{**}+x_2^{**} > x_1^*+x_2^*$  이고  $y_1^{**}+y_2^{**} > y_1^*+y_2^*$ ,  $i=1,2$  이다.

(증명) 식(8)로부터,

$$x^* = \frac{2\bar{m}+u(y_1^*)+u(y_2^*)-2c_x}{3}, y^* = \frac{2\bar{w}+v(x_1^*)+v(x_2^*)-2c_y}{3} \quad (15)$$

단,  $x^* = x_1^*+x_2^*, y^* = y_1^*+y_2^*$ 이다. 이는 식(15)로부터

$$x^{**} = \frac{2[\bar{m}+u(y^{**})-c_x]}{3}, y^{**} = \frac{2[\bar{w}+v(x^{**})-c_y]}{3} \quad (16)$$

$2u(y^*) > u(y_1^*)+u(y_2^*)$  이고  $2v(x^*) > v(x_1^*)+v(x_2^*)$  이므로, 식 (16)은

$$x^* < \frac{2[\bar{m}+u(y^*)-c_x]}{3}, y^* < \frac{2[\bar{w}+v(x^*)-c_y]}{3} \quad (17)$$

위 세 식을 비교하면 결과를 얻는다.

정리 1에서 만약 표준연료의 한계생산비용이 비표준연료의 비용과 동일하다면, 표준연료의 선택은 자동차의 판매량

과 연료의 네트워크 규모를 증가시킨다. 표준연료가 선택되었을 경우에 자동차의 판매량이 증가하므로 소비자의 잉여는 증가한다.

정리 2: 만약  $a=0$ 이면 소비자잉여  $S^{**} > S^*$  이고, 주유소 잉여  $T^{**} > T^*$  이다. (증명) 정리 1로부터 증명된다.

따라서 이 정리는 표준화비용이 매우 작다면 표준연료의 선택에 의해 소비자잉여와 소매상잉여가 모두 증대된다.

정리 3: 만약  $a=0$ 이면 대칭적 균형에서 기업의 잉여는  $\pi^{**} > \pi^*$  이다. (증명) 정리 2와 같다.

이 정리는 표준화비용이 매우 적다면 기업들은 표준연료를 선택함으로써 이익이 증대된다. 표준화비용인  $a$ 의 증가 효과에 대해서는,

정리 4:  $x^{**}(a), y^{**}(a)$ 는  $a$ 에 대해 증가함수이다.

(증명) 정리 1,2,3으로부터 알 수 있다.

정리 4는 연료가 표준화되는 경우에  $a$ 가 증가함에 따라 기업의 이익 뿐 아니라 소비자잉여와 주유소의 이익도 모두 감소한다는 것을 보여주고 있다. 이 정리들에 의하여 다음과 같은 정책적 시사점을 얻을 수 있다.

첫번째,  $a$ 가 충분히 클 때  $y^{**}(a) < y^*$ 임을 의미하며, 이는 표준연료의 도입이 사회적으로 바람직할지라도 기업들은 자발적인 의사에 의해서는 표준연료를 도입하지 않을 것임을 뜻한다. 이 경우 호환성을 달성하는 방법에는 두 가지가 있을 것이다. 첫째는 정부가 처음부터 기업에게 표준의무를 부과하여 표준연료를 공급하도록 하는 것이고, 둘째는 표준연료를 개발하여 생산하는 기업에게 정부 보조금을 지원하는 방법이다. 여기서 보조금 없는 강제적 표준화는 기업 뿐 아니라 소비자, 주유소 모두의 효용을 감소시킨다. 왜냐하면 이것은 자동차와 연료의 매출액만을 감소시킬 뿐이기 때문이다. 그러나 보조금 정책은 효과가 있다. 보조금을  $a$ 수준과 일치시킴으로써 정부는  $a=0$ 일 때 달성할 수 있었던 효율적 결과를 얻을 수 있다. 따라서 보조금의 총액이 보조금 지급에 따른 편익을 초과하지 않는 한 보조금정책은 장려되어야 한다.

두 번째, 기업들은 표준연료 도입이 연료 시장에서의 이익을 감소시키는 경우에도 표준연료를 도입하는 것이 바람직하다. 왜냐하면 그렇게 함으로써 자동차시장에서의 이익을 얻어낼 수 있기 때문이다[13].

### 2.2.4 자동차와 연료 제조업체가 다른 경우

자동차  $i$ 를 만드는 회사를  $X_i$ 라 하고 연료  $i$ 를 만드는 회사를  $Y_i$ 라 할 때, 위의 분석과 동일하다.

표준화가 되지 않은 경우 기업의 순이익은 식(18)과 같이 표현할 수 있다.

$$\begin{aligned} \pi_{X_i} &= (\bar{m}-x_1-x_2+u(y_i^e)-c_x)x_i, \\ \pi_{Y_i} &= (\bar{w}-y_1-y_2+v(x_i^e)-c_y)y_i \end{aligned} \quad (18)$$

이다[14]. 따라서, 일계조건에 의해

$$\begin{aligned} \frac{\partial \pi_i}{\partial x_i} &= \bar{m}-x_1-x_2+u(y_i^e)-c_x-x_i=0, \\ \frac{\partial \pi_i}{\partial y_i} &= \bar{w}-y_1-y_2+v(x_i^e)-c_y-y_i=0 \end{aligned} \quad (19)$$

이 되어야 하므로, 위 식(7)이 그대로 성립한다. 마찬가지로, 표준연료가 선택되는 경우에도 기업들의 순이익은 식(20)과 같이 표현할 수 있다.

$$\pi_{X_i} = x_i(\bar{m} + u(y_1^e + y_2^e) - x_1 - x_2 - c_x),$$

$$\pi_{Y_i} = y_i(\bar{w} + v(x_1^e + x_2^e) - y_1 - y_2 - c_y - a) \quad (20)$$

$$\frac{\partial \pi_{X_i}}{\partial x_1} = \bar{m} + u(y_1^e + y_2^e) - x_1 - x_2 - c_x - x_1 = 0,$$

$$\frac{\partial \pi_{X_i}}{\partial y_1} = \bar{w} + v(x_1^e + x_2^e) - y_1 - y_2 - c_y - y_1 - a = 0 \quad (21)$$

이 식은 식(14)와 동일함을 알 수 있다. 그러므로 균형가격, 균형량 크기는 위의 경우와 동일한 것을 알 수 있다.

### 3. 실험

#### 3.1 연구대상 및 자료분석

본 연구는 가장 활발하게 대체 연료 차량을 실용화한 미국 연방 에너지국, 'Alternative Fuels & Advanced vehicle'에서 조사한 'Survey of Alternative Fuel Vehicle Suppliers and Users'[15]와 General Motors 기술연구소의 월간 대체 에너지 개발 및 현황 보고서[16]의 1998년~2011년 자료를 이용하여 수집된 자료를 SAS를 이용하여 다음과 같은 분석 과정을 가졌다. 먼저 기술통계를 분석하여 자료의 정상성을 확인하고, 변수들 간의 상관분석을 실시하였으며 설정 모델을 바탕으로 각 대체 연료별 차량의 판매가 각 연료의 소비량, 차량 보유 및 사용 대수, 주유소(충전소)의 인프라, 연료 가격, 차량모델수와와의 변수들 사이에 회귀분석을 통하여 선형적인 상관성을 비교 분석한다. 상관이 높은 변수들의 다중공선성을 검토하여 공차 < 1, 분산팽창계수 < 10 임을 확인하였다.

현재 미국의 대체연료 자동차 시장은 전기와 에탄올 자동차의 판매가 계속 증가하고 있으며 CNG차량은 감소하고 있는 추세이다. 수소자동차는 최근에 판매가 이루어지고 있다.

본 연구에서 대체연료 차량 시장은 아직 시작 단계이기 때문에 개별 연료 및 연료 조합의 분석 결과를 가지고 두 비교 대상의 우위성을 일반화하기에는 현재까진 다소 어려움이 있으므로 그 유의함을 검증하고 종속변수와 각 독립변수(설명변수)를 통하여 관련성을 판단하고 그 결과를 도출한다.

#### 3.2 기술통계

각 변수들의 기술통계치 분석 결과는 표 1과 같다.

#### 3.3 대체연료별 차량판매 대수와 독립변수간의 회귀분석결과

대체연료별 차량판매 대수가 각각의 독립변수인 연료 소비량, 차량 보유 대수, 주유소 및 충전소 인프라, 연료가격, 차량모델의 수에 어떤 연관성을 가지는 지 여부에 대한 회귀 분석 결과는 표 2와 같다.

표 2,3,4에서 보듯이 대체연료별 차량의 판매 대수에 대한 독립변수의 상대적 기여도(표준화 계수)와 통계적 유의성을 분석한 결과, CNG차량과 Ethanol 85차량의 판매대수는 주

### 표 1 기술통계 분석 결과

Table 1 Results of the descriptive statistics analysis

(n=168)

연료유형	연료 소비량	사용 대수	주유소	연료 가격	모델	판매
CNG	-0.2 (-1.6)	-1.6 (1.7)	0.1 (-2.0)	0.2 (-1.8)	-0.6 (-1.5)	0.1 (-1.2)
Ethanol	0.4 (-0.9)	0.5 (-0.5)	1.5 (1.4)	0.5 (-1.7)	-0.1 (-1.1)	-0.2 (-0.4)
Electricity	-0.6 (0.2)	-0.5 (-1.8)	0.8 (-0.6)	0.5 (-1.4)	0.7 (-0.7)	1.5 (1.4)
Hydrogen	-0.6 (0.2)	-0.5 (-1.8)	0.8 (-0.6)	0.5 (-1.4)	0.7 (-0.7)	1.5 (1.4)
E+CNG	-0.3 (-1.6)	-1.5 (1.4)	0.1 (-1.0)	0.3 (-1.9)	-0.6 (-1.6)	0.5 (-0.7)
E+Ethanol	0.2 (-0.9)	0.4 (-0.8)	1.2 (1.3)	0.5 (-1.7)	-0.4 (1.5)	-0.3 (-0.4)

\* 왜도(침도), E:Electricity

변수들의 왜도(Skewness) 및 침도(Kurtosis)의 절대값이 S=0, K=0, 3에 근접한 정규분포를 보이고 있으므로 회귀분석이 가능하다고 볼 수 있다.

### 표 2 CNG용 차량판매 대수에 대한 다중 선형 회귀분석 결과

Table 2 Multiple Linear Regression analysis results on CNG vehicle sales

독립 변수	B	Std.Err.	Beta	t(7)	p-level
절편	-33875.9			-4.0472	0.0049*
주유소	30.6	0.3476	1.9068	5.4857	0.0009*
연료 가격	7721.4	0.2489	0.8020	3.2229	0.0145*
모델	-153.4	0.1763	-0.2767	-1.5689	0.1606

주) \*p < 0.05, B: 회귀계수, Std.Err.: 표준오차, Beta: 표준화된 회귀계수, p: 유의확률, R<sup>2</sup>: 결정계수

	Value
Multiple R <sup>2</sup>	0.958
Adjusted R <sup>2</sup>	0.940
F(3,7)	53.095
p	0.000*

주1) \*표기는 5% 수준에서 유의하다고 할 수 있음.

주2) 독립변수가 모두 나타나지 않는 것은 과적합(overfit) 위험을 방지하기 위해 예측 정확도를 높이는 독립변수 선택기준으로 수정결정계수와 전진선택법을 이용하여 F검증을 실시했기 때문임.

유소의 수와 연료가격 순으로 영향을 받으며, 전기연료 차량의 판매량은 주유소의 수에 의해 유의한 영향을 받는 것으로 판단된다. 자료의 분석에 있어서 CNG, Ethanol 및 전기 차량은 다년간 많은 판매가 이루어졌으며 결과치를 나타내진 않았으나 수소연료(Hydrogen)차량의 경우에는 개발단계로 2003년부터 실험용 대상으로 소량 판매가 시작되어 상용화에 대한 데이터가 충분치 않아 통계적 유의성이 낮게 나타난다.

**표 3** Ethanol 85 차량판매 대수에 대한 다중 선형 회귀 분석 결과

**Table 3** Multiple Linear Regression analysis results on Ethanol 85 vehicle sales

독립 변수	B	Std.Err.	Beta	t(7)	p-level
절편	632770			4.0807	0.0047*
모델	13590	0.3682	0.4566	1.2403	0.2548
주유소	75.2396	1.7101	9.1519	21.929	0.0037*
연료 가격	-20865	0.2096	-0.5186	-2.4742	0.0426*
연료 소비량	13	0.4521	0.9285	2.0537	0.0791

	Value
Multiple R <sup>2</sup>	0.933
Adjusted R <sup>2</sup>	0.904
F(3,7)	32.455
p	0.001*

주1) \*표기는 5% 수준에서 유의하다고 할 수 있음.

**표 4** Electricity용 차량판매 대수에 대한 다중 선형 회귀 분석 결과

**Table 4** Multiple Linear Regression analysis results on Electricity vehicle sales

독립 변수	B	Std.Err.	Beta	t(9)	p-level
절편	-10069.8			-3.2228	0.0104*
주유소	25.819	0.1702	0.8598	5.0519	0.0007*

	Value
Multiple R <sup>2</sup>	0.739
Adjusted R <sup>2</sup>	0.710
F(1,9)	25.522
p	0.001*

주1) \*표기는 5% 수준에서 유의하다고 할 수 있음.

### 3.4 두가지 대체연료차와 독립변수간의 상관관계

각각 두가지 연료 조합의 경우, 종속 변수인 판매량이 독립변수들과 어떤 상관관계 및 유의성을 가지는지 분석해 본다. 주요 자동차 제조업체의 대체연료 개발의 대표적인 추세인 전기 연료 차량을 기반으로 하여 다른 두가지 대체연료(CNG/Ethanol 85)를 조합하여 분석을 실시한 후 그 유의성을 파악하기로 한다. 우선 각 연료 조합의 표본의 편차를 줄이기 위해 각 독립변수 별로 가중치를 부여하였다. 가중치는 독립변수간의 상관분석을 통해 얻어낸 피어슨 상관관계수에 근거하여 계산하였다. 종속변수인 대체연료 자동차의 판매량과 독립변수들 간의 피어슨 상관분석은 표 5와 같다.

표 5에서 보듯이 상기 세개의 개별 연료 별 독립변수와 종속변수 차량 판매 대수의 피어슨 상관분석의 결과를 보면 CNG의 경우 연료 소비량(-0.893), 차량 모델 (0.805), 주유소 수(0.945) 및 연료가격(-0.775)과 상대적으로 높은 상관성을 보이고 있다. 상관관계수에 근거하면 CNG의 차량판매대수는 차량모델, 주유소 수가 증가할수록 증가하고(정비례관계), 연료소비량, 연료가격이 증가할수록 감소하는 것으로 볼 수 있다(반비례 관계). Ethanol 85의 경우 연료 소비량(0.914),

**표 5** 대체연료 차량의 판매 대수와 독립변수 간의 피어슨 상관분석 결과

**Table 5** Pearson correlation analysis results between sales of Alternative fuel vehicles and Independent variables

	Sales		
	CNG	Ethanol 85	Electricity
연료소비량	-.8933 p=.000*	.9141 p=.000*	.5235 p=.098
사용대수	-.6002 p=.051	.9135 p=.000*	-.0217 p=.950
차량모델	.8045 p=.003*	.9328 p=.000*	.1456 p=.669
주유소	.9451 p=.000*	.8233 p=.002*	.8598 p=.001*
연료가격	-.7750 p=.005*	.6590 p=.027*	-.4412 p=.174

주1) \*표기는 5% 수준에서 상관관계수가 유의함을 나타냄

차량 사용 대수(0.914), 차량모델(0.933) 및 주유소 수(0.823)가 상대적으로 높은 상관성을 보이는 것으로 나타났으며, 전기연료의 경우 상기 두개의 대체연료보다 주유소의 수만 제외하고 독립변수가 낮은 상관관계가 있음이 나타났다. 피어슨 상관관계수를 도출한 목적은 두가지 연료의 조합(전기연료/CNG, 전기연료/Ethanol 85)의 통계분석을 실행함에 있어 각각의 독립변수 데이터의 합리성을 갖기 위함에 있다.

### 3.5 두가지 대체연료차와 독립변수간의 회귀분석 결과

표 5에 나타난 세개의 연료별 상관관계수의 절대치를 전체 독립변수 별 상관관계수의 합으로 나눈 값으로 가중치를 부여한 후, 현재 주요 대체연료 자동차 개발의 선두인 전기연료를 기본으로 두가지 연료의 조합(전기연료/CNG, 전기연료/Ethanol 85)의 분석을 시행하여 그 통계적 유의성을 살펴보았으며 그 결과는 표 6, 7과 같다.

표 6과 7에서 보듯이 연료 조합(전기연료/CNG, 전기연료/Ethanol 85)에 대한 회귀분석 결과 대체연료별 차량 판매 대수는 연료 조합중 독립변수인 주유소의 수에 높은 상관관계를 보이는 것으로 나타났다. 또한 분산 분석을 통해 얻어진 P-value 역시 두 연료 조합 모두 귀무 가설을 기각시킬 수 있는 유의 수준(P>0.05) 보다 낮으므로 차량판매에 대한 회귀식은 유의함을 알 수 있다. 분석결과 개별 연료 및 연료조합이 통계적으로 유의함을 검증함으로써, 종속변수인 대체연료별 차량판매 대수가 각각의 독립변수인 연료 소비량, 차량 사용 대수, 주유소의 수, 연료 가격, 차량모델에 어떤 관련성이 있는지를 판단해 보았으며 실험 결과 주유소의 수가 유의한 영향인자로 선정되어 대체연료 자동차의 시장규모는 연료의 선택에 따른 주유소 네트워크의 규모와 가장 연관성이 높음을 알 수 있다. 종합해 보면 모델의 분석에서와 같이 표준 대체연료가 도입된다면 소비자와 자동차 제조업체 그리고 주유소의 네트워크에 대한 기대를 만족시켜 효율과 그로인한 후생이 증가한다는 것을 예측할 수 있다.

**표 6** 대체연료 조합(전기연료/CNG) 다중 선형 회귀분석 결과

**Table 6** Multiple Linear Regression analysis results on combination of Alternative fuel, Electricity and CNG

독립 변수	B	Std.Err.	Beta	t(8)	p-level
절편			-6599.08	-0.8814	0.4038
주유소	54.1567	0.1478	0.7882	5.3316	0.0007*
연료 가격	-12829.0	0.1557	-0.2212	-1.4965	0.1729

	Value
Multiple R <sup>2</sup>	0.903
Adjusted R <sup>2</sup>	0.879
F(2,8)	37.263
p	0.000*

주1) \*표기는 5% 수준에서 유의하다고 할 수 있음

**표 7** 대체연료 조합(전기연료/Ethanol 85) 다중 선형 회귀분석 결과

**Table 7** Multiple Linear Regression analysis results on combination of Alternative fuel, Electricity and Ethanol 85

독립 변수	B	Std.Err.	Beta	t(6)	p-level
절편	376490.93			1.8273	0.1174
연료 소비량	127.4757	1.2633	2.4240	1.9188	0.1034
주유소	47.0279	1.4512	7.7686	16.661	0.0029*
연료 가격	-576277.0	0.1899	-0.4174	-2.1974	0.0704
모델	147906.23	0.1558	0.2215	1.4223	0.2048
사용수	-219.1997	1.2698	-1.3186	-1.0384	0.3391

	Value
Multiple R <sup>2</sup>	0.955
Adjusted R <sup>2</sup>	0.925
F(4,6)	31.874
p	0.001*

주1) \*표기는 5% 수준에서 유의하다고 할 수 있음

#### 4. 결 론

본 논문에서는 자동차 대체연료의 상호호환성에 관하여 연구하였다. 자동차의 시장규모는 주유소 네트워크의 규모에 대한 소비자의 기대와 자동차 사용자의 수에 대한 주유소의 기대에 달려있다. 대체연료의 네트워크 규모에 대한 기대는 승용차, 승합차, 버스, 항공기등 다양한 분야에서 대체연료 사용이 가능한가와 관련이 있다. 대체연료가 세계적으로 사용가능하게 되기 위해서는 각 정부의 가이드가 반드시 필요하다. 정부는 대체연료를 제공하기 위하여 다양한 유형의 교통 서비스 제공업자에게 표준연료의 사용과 설치를 지도할 수가 있다. 그러므로 표준연료에 대한 정부의 비전과 플랜은 소비자와 주유소의 기대에 영향을 미칠 수 있기 때문에 매우 중요하다[17].

자동차 제조업자들 또한 상호호환 가능한 표준연료 선택은 이로 인하여 마켓쉐어와 이익이 감소할 수 있으므로 어

려운 결정이며 동시에 한번 선택하면 다시 바꾸기가 힘들것이기 때문에 기업이 표준연료를 선택하게 하기 위해서는 향후 발생할 이익에 대한 확신을 주어야 한다[18]. 그러므로 정부는 여러 정보를 분석하고 제공함으로써 기업들이 사업계획을 확정하는데 도움을 줄 수 있어야 한다. 대체연료 자동차의 경우 어떤 기업들은 이미 다양한 개발을 하고 있으며 단계적으로 소비자에게 제공하고 있다. 만약 어떤 기업이 먼저 시장 지배적인 사업자가 될 것이라고 생각된다면 그 기업은 표준연료를 선택하지 않을 것이며 대체연료 자동차를 제공하지 않고 있는 기업들은 과연 소비자에게 대체연료 자동차를 계속해서 제공할 수 있을까라는 의문을 가질 수도 있다. 또한, 시장에서 비표준연료가 고착되기 시작한다면 이후에 표준연료로 변환한다는 것은 처음부터 표준연료를 사용하는 것보다 거대한 사회적 비용이 발생할 것이다. 어떤 기업이 비표준연료로 서비스를 시작한다면 표준연료의 사용은 점점 어려워질 것이므로 결국 표준연료의 선택은 기업이 비표준연료를 제공하기 전에 충분한 검토가 필요할 것이다. 더불어 표준연료의 절대적인 우위를 비교하기 위해서는 각 대체 연료 별로 추정 가능한 차량 개발을 위한 제조사의 투자비용, 대체연료 생산, 배급 및 가격 조정을 위한 정유사의 연료선택, 주유소/충전소 구축 및 정부 보조금/세금 등의 정부 주도의 인프라 비용, 차량 구입을 위해 소비자가 지불하여야 할 취득 비용, 유지비용(연료 및 세금)을 계량화된 수치로 추정하여야 하나, 현재의 시장 환경 내에서는 아직 실현 가능하고 유용한 데이터의 수집에 한계가 있으므로 추후 표준대체 연료가 시장에 안정적으로 고착되기까지 다양한 대체연료가 사용된 경우와의 분석을 통해 지속적인 연구가 이루어져야 할 것이다.

#### 참 고 문 헌

- [1] The Internal Energy Agency, Energy Technology Perspectives - Scenario & Strategies to 2050, pp. 459-521, 2010.
- [2] C. F. Chou and O. Shy, "Network effects without network externalities", International Journal of Industrial Organization, vol. 8, no. 2, pp. 15-23, 1990.
- [3] M. L. Katz and C. Shapiro, "Network Externalities, Competition, and Compatibility", American Economic Review, vol. 75, no. 3, pp. 424-442, 1985.
- [4] S. S. Oren and S. A. Stephen, "Nonlinear Pricing and Network Externalities in Telecommunications", Proceedings of the 6th International Conference on Computer Communications, 1982.
- [5] J. Farrell and G. Saloner, "Standardization, compatibility, and innovation", Rand Journal of Economics, vol. 16, no. 1, pp. 70-83, 1985.
- [6] V. Bala, and S. Goyal, "A non-cooperative model of network formation", Econometrica, vol. 68, no5, pp. 1181-1229, 2000.
- [7] A. M. Brandenburger, B. J. Nalebuff, "Co-opetition", Doubleday, pp. 267-282, 1998.
- [8] A. Blum, "Co-opetition in the Automotive Industry:

An Investigation Into the Underlying Causes, Potential Gains and Losses”, Vdm Verlag Dr Muller, 2009.

- [9] 홍동표, 이원준, “디지털경제에서의 기업 및 산업구조와 정책연구”, 정보통신정책연구원, 연구보고 00-12, pp. 117-124, 2000.
- [10] 박종국, 산업조직론, 법문사, pp. 412-445, 2012.
- [11] M. L. Katz and C. Shapiro, “Technology Adoption in the Presence of Network Externalities”, Journal of Political Economy, vol. 94, no. 4, pp. 822-841, 1994.
- [12] J. Farrell and G. Saloner, “Installed Base and Compatibility: Innovation, Product Preannouncement, and Predation”, American Economic Review, vol 76, no 5, pp. 940-955, December 1985.
- [13] S. M. Besen and J. Farrell, “Choosing How to Compete: Strategies and Tactics in Standardization”, Journal of Economic Perspectives, vol 8, no. 2, pp. 117-131, 1994.
- [14] C. Shapiro and H. R. Varian, “Information Rules : A strategic guide to the network economy”, Harvard business school press, pp. 29-51, 1999.
- [15] U.S. Department of Energy, “Survey of Alternative Fuel Vehicle Suppliers and Users”, Energy Efficiency & renewable Energy, 2012.
- [16] General Motors, “Monthly Alternative-fuel vehicles report ”, Institute of technology, 1998-2012.
- [17] M. O. Jackson and A. Wolinsky, “A strategic model of social and economic network”, Journal of Economic Theory, vol. 71, no.1, pp. 48-58, 1996.
- [18] K. Dowd and D. Greenaway, “Currency Competition, Network Externality and Switching Costs: Towards an Alternative View of Optimum Currency Areas”, The Economic Journal, vol. 103, no. 420, pp. 1180-1189, September 1993.

## 저 자 소 개



### 이택희 (李澤熙)

1994년 동국대학교 산업공학과 졸업.  
2003년 연세대학교 경제대학원 졸업(석사).  
2010년 한국산업기술대학교 에너지대학원 에너지정책 박사과정수료.  
현재 한국지엠(주) 근무.  
E-mail : taekhee.lee@gm.com



### 강승진 (姜升振)

1980년 서울대학교 경제학과 졸업.  
1986년 서울대학교 경제대학원 졸업(석사).  
1999년 프랑스 Grenoble 제2대학교 응용경제학 박사.  
현재 한국산업기술대학교 지식기반기술에너지대학원 원장  
E-mail : sjkang@kpu.ac.kr