

저공해차량의 최적구매행태 분석모형: 게임이론적 접근

조 인 성

공주대학교 경제통상학부

E-mail :

저공해차량의 최적구매행태를 분석하는 게임이론 모형을 설정하고 이를 분석한다. 현실적으로 적용 가능한 게임이론 모형을 설정하기 위해 게임의 결과(outcome)에 대한 의사결정자의 서수적 선호관계를 현실에서 얻을 수 있는 자료를 이용하여 수치로 나타내는 문제를 고찰하고, 각 시나리오별 게임의 분석에는 게임분석도구인 GAMBIT을 이용하는 방법을 살펴본다.

<색인어>: 부분게임완전균형, 후방귀납법, 저공해차량

I. 서론

경제가 성장하면서 산업이 발전하고 사람들의 생활수준이 향상됨에 따라 차량운행이 빠르게 증가하고 있으며, 이로 인한 대기오염이 심화되고 있다. 대기오염의 주요인으로 지적되고 있는 것은 경유차량의 배출가스이다. 차량의 배출가스로 인한 대기오염문제를 완화시키는 방안 중의 하나는 저공해차량의 보급을 증가시키는 것이다. 현재 국내에서는 대도시 지역을 중심으로 천연가스를 연료로 하는 NGV(Natural Gas Vehicle)버스가 운행되고 있다.¹⁾

정부는 천연가스 버스구입에 대한 보조금을 지급하는 등 저공해차량의 보급을 지원하는 정책을 펴고 있다. 대기오염을 방지하고자 하는 정부정책의 효과를 예측하고 평가하기 위해서는 정부의 정책이 각 의사결정자인 차량소비자의 행동에 어떻게 영향을 미치는가를 이해해야 한다. 왜냐하면, 결국 정부의 정책은 차량수요자들이 저공해차량을 구매함으로써 비로소 그 효과를 거둘 수 있기 때문이다.

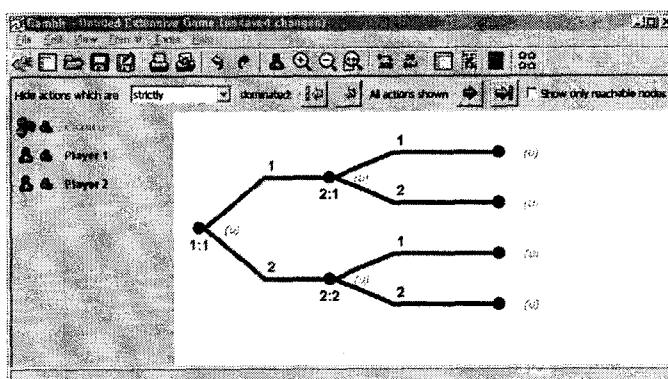
1) A Natural gas vehicle or NGV is a vehicle that uses compressed natural gas (CNG) or, less commonly, liquefied natural gas (LNG) as a clean alternative to other automobile fuels. Worldwide, there are roughly 5 million NGVs as of 2006, with the largest number of NGVs in Argentina, Brazil, India, Pakistan and Italy. They are also popular in Germany (Wikipedia, "Natural gas vehicle," http://en.wikipedia.org/wiki/Natural_gas_vehicle).

정부의 저공해차량에 대한 각종 지원정책은 소비자의 차량구매행위에 영향을 준다. 정부는 각종 지원정책을 결정함에 있어서 정부정책에 대한 소비자의 반응을 고려한다. 이는 소비자의 행동이 정부의 의사결정에 영향을 준다는 것을 의미한다. 즉, 정부와 차량소비자 사이에 상호 의존성이 존재한다. 따라서 이러한 상황은 게임이론적 접근방법으로 모형화하는 것이 적절하다고 하겠다.

이 논문에서는 저공해 차량의 보급을 확산시키고자 하는 정부의 정책하에서 차량 소비자들이 어떻게 구매행위를 나타낼 것인가를 설명하는 게임이론적 모형을 분석한다. 이를 위해 강광규 외 (2002)를 기반으로 저공해 차량의 보급문제를 게임이론적으로 접근하는 틀을 설명하고, 게임분석도구인 GAMBIT을 실제의 분석에 적용하고자 한다.

GAMBIT은 전개형 게임과 전략형 게임을 정의하고 분석하는 소프트웨어이다²⁾. 현재 버전의 GAMBIT이 다룰 수 있는 게임의 범위는 비협조적 유한게임(noncooperative finite game)이다. <그림 1>은 GAMBIT을 이용하여 전개형 게임형식을 표현한 것이다. <그림 1>에서 경기자는 1과 2로 표시되어 있다. [1:1]은 첫 번째 경기자의 첫 번째 정보집합(information set)을 나타내며, [2:1]은 두 번째 경기자의 첫 번째 정보집합, [2:2]는 두 번째 정보집합을 나타낸다.³⁾ 각 경기자는 각 정보집합에서 1과 2로 표시되는 두 개의 행동(action)을 취할 수 있다. 보수(payoff)는 표시되어 있지 않다. 이러한 의미에서, 염밀히 말하면, <그림 1>은 게임형식(game form)이다.

<그림 1> GAMBIT



2) GAMBIT is a library of game theory software and tools for the construction and analysis of finite extensive and strategic games (<http://gambit.sourceforge.net>).

3) GAMBIT으로 전개형 게임을 그리는 방법은 <http://gambit.sourceforge.net/doc/tutorials/poker.pdf>에 자세히 안내되어 있다. 한편 전략형 게임에 대해서는 <http://gambit.sourceforge.net/doc/tutorials/coord.pdf>를 참고하면 된다.

GAMBIT은 임의의 유한게임의 내쉬균형(Nash Equilibrium: NE)을 구해준다. GAMBIT의 메뉴에서 [Tools] → [Dominance]를 선택하면 열등행동을 제거할 수 있는 도구가 나타난다. 이 도구를 이용하여 강열등행동(strictly dominated action)을 단계적으로 제거할 수 있으며, 약열등행동(weakly dominated action)을 제거할 수도 있다.

이 논문에서 다루는 게임은 완전정보게임(perfect information game)이다. 또한 이 논문에서는 순수전략균형(equilibrium in pure strategies)만을 다루고자 한다. 완전정보게임에서 부분 게임완전균형(subgame perfect equilibrium)은 후방귀납법(backward induction)으로 구할 수 있다.⁴⁾ GAMBIT에서 열등행동을 단계적으로 제거하는 기능을 이용하면 SPE를 쉽게 구할 수 있다.

이 논문의 구성은 다음과 같다. II절에서는 모형 설정에 관하여 논의한다. 게임형식(game form)을 설정하고 결과에 대한 선호를 설정하는 문제에 관하여 논의한다. III절에서는 각 시나리오별 게임을 GAMBIT을 이용하여 분석하고 IV절에서 결론을 맺는다.

II. 모형

게임이론적 모형을 구축함에 있어서, 먼저 고려하고자 하는 것은 현실적으로 적용하여 사용할 수 있는 모형을 설정하는 것이다. 이를 위해 (배출가스 저감장치를 부착하지 않은) 경유 차량으로부터 LPG(Liquefied Petroleum Gas) 또는 CNG(Compressed Natural Gas) 등을 연료로 사용하는 저공해차량으로 전환할 때 차량사업자의 수익성을 분석한 자료를 기초로 게임이론적 모형의 설정을 논하고자 한다. 이용가능한 수익성자료를 이용함으로써 현실적으로 적용 가능한 모형을 구축할 수 있으며, 또한 차량소비자의 구매행태의 분석에 집중할 수 있다.

1. 게임형식(Game form)

모형 설정을 위해 먼저 정부와 소비자가 선택할 수 있는 행동을 보자. 정부는 'CNG차량 지원제도'를 유지할 것인가 LPG차량 지원제도를 추가로 시행할 것인지를 선택한다. 'LPG차량 지원제도'는 차량소비자가 LPG차량을 구매할 경우에 CNG차량 지원제도하에서 CNG차량을 구매할 경우에 받는 혜택과 동일한 수준의 혜택을 제공하는 것이다. 현행의 'CNG차량의 지원제도'를 P_1 , 추가로 'LPG차량 지원제도'를 시행하는 것을 P_2 로 나타내기로 하자. 차량소비자

4) SPE와 후방귀납법(backward induction)의 기초적인 논의에 대해서는 Watson(2002) Ch.15를 참조.

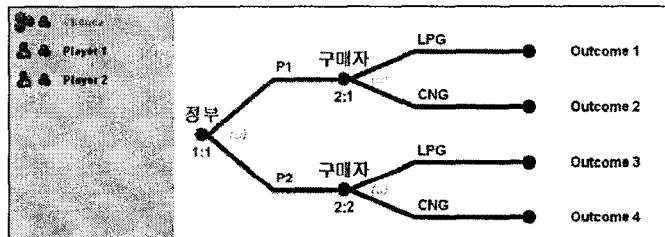
는 정부의 정책을 관찰한 후 LPG차량을 구매하든지 CNG차량을 구매한다.

정부(G)와 차량소비자(C)의 전략선택에 따른 게임의 결과(outcomes)를 O_i 로 나타내기로 하자. 정부와 차량소비자의 전략선택에 따라 모두 네 가지의 결과를 생각해 볼 수 있다. 각 결과 O_i 를 구체적으로 나타내면 다음과 같다.

- O_1 : 정부가 정책 P_1 을 선택하고, 차량소비자가 LPG를 선택하는 경우
- O_2 : 정부가 정책 P_1 을 선택하고, 차량소비자가 CNG를 선택하는 경우
- O_3 : 정부가 정책 P_2 를 선택하고, 차량소비자가 LPG를 선택하는 경우
- O_4 : 정부가 정책 P_2 를 선택하고, 차량소비자가 CNG를 선택하는 경우

이 전개형 게임상황은 <그림 2>와 같은 게임형식(game form)으로 나타낼 수 있다.

<그림 2> 게임형식(game form)



모형의 기술을 완성하기 위해서는 결과(outcome)에 대한 정부와 차량소비자의 선호관계(preference relation)를 명시해야 한다. 정부의 선호관계를 기호 $>^G$ 또는 \sim^G 를 사용하여 나타내고 소비자의 선호관계는 $>^C$ 또는 \sim^C 와 같이 나타내기로 하자.

2. 결과에 대한 선호관계(Preference relations on outcomes)

2.1 소비자의 선호관계

먼저 소비자의 선호관계를 살펴보기로 한다. 정책 P_2 하에서 소비자는 LPG차량의 구매와 CNG차량의 구매로부터 얻는 혜택이 동일하므로 $O_3 \sim^C O_4$ 이다. 또한 정책 P_1 하에서는 LPG차량의 구매에 대한 지원이 없으므로, $O_1 <^C O_2$ 이다. 차량소비자의 이러한 선호관계가

<표 1>에 표시되어 있다. <표 1>에서 각 대각선은 모든 결과는 자기 자신과 무차별하다는 것, 즉 $O_i \sim^C O_i$ 를 나타낸다. 1행 2열은 $O_1 <^C O_2$ 를 나타내고, 그 대칭위치에 있는 2행 1열은 같은 내용인 $O_2 >^C O_1$ 을 나타내고 있다. 마찬가지로 3행 4열은 $O_3 \sim^C O_4$ 인 것을 나타내고 있으며 4행 3열은 그 대칭적인 정보를 나타내고 있다.

<표 2> 차량소비자의 선호

	O_1	O_2	O_3	O_4
O_1	~	<	•	•
O_2	>	~	•	•
O_3	•	•	~	~
O_4	•	•	~	~

차량소비자의 선호관계가 완비적(complete)이라면 <표 1>의 모든 칸이 채워져야 한다. 이 연구에서 다루는 모형은 완전정보게임(perfect information game)이다. 우리가 찾고자 하는 균형개념은 부분게임완전균형(subgame perfect equilibrium: SPE)이다. SPE를 찾기 위해 후방귀납법(backward induction)을 적용할 것이다. 아래의 II.3절에서 설명되듯이 이 게임의 균형분석에 있어서, O_1 과 O_3 그리고 O_4 사이의 소비자의 선호관계는 분석 결과에 영향을 미치지 않는다. 또한 O_2 와 O_3 그리고 O_4 사이의 소비자의 선호관계도 그러하다. 이는 <표 1>에서 점(•)으로 표시된 부분의 선호관계가 어떤 것이어도 게임의 분석결과에는 영향을 미치지 않는다는 것을 의미한다.

2.2 정부의 선호관계

다음으로 정부의 선호관계를 살펴보자. 정부의 선호관계는 조사된 수익성 분석 자료를 이용하여 기술하기로 하자. 강광규 외(2002)에서 중형버스, 대형버스, 대형트럭의 차종별 수익성 분석자료가 제시되어 있으나 여기에서는 대형트럭의 경우만 분석하기로 한다. 다른 차종의 경우도 이 논문의 분석방법을 적용하여 유사하게 분석하면 된다.

<표 2>는 각 정책하에서 차량소비자가 CNG대형트럭 대신 LPG대형트럭을 구매할 때의 대당 순현가(Net Present Value: NPV)의 차이, 즉 $NPV(LPG) - NPV(CNG)$ 를 보여주고

조 인 성

있다. 순현가(NPV)는 차량구매가격, 연료비, 대기오염의 사회적 비용 등을 고려하여 비용편익분석(Cost-Benefit Analysis)을 수행하여 계산한 것이다.⁵⁾

<표 3> CNG차량 대신 LPG차량 구매시의 대당 순현가(NPV)의 차이

(단위: 백만원)			
차 종	정 책	차량소비자	정 부
대형트럭	P_1	-10	13
	P_2	0	4

자료: 한국환경정책·평가연구원, 강광규 외(2002).

주: 순현가(net present value: NPV)법을 사용한 비용편익분석(cost-benefit analysis)을 통하여 분석된 자료임.

<표 2>에 나타난 자료는 LPG차량과 CNG차량의 편익은 일정하다고 가정하고 비용 중 상대적 차이만 고려하였으며, 비용에는 각 정책하의 차량가격과 연료비 그리고 대기오염의 사회적 비용이 고려되었다. 즉, 제시된 자료는 차량단위당 수익성을 계산한 것이므로 게임의 결과(outcome)에 따라 차량의 소비의 대수가 달라진다면 결과에 대한 정부의 상대적인 선호순서가 달라질 수 있다는 제약점을 내포하고 있음을 지적하고자 한다.

<표 2>로부터, 정부의 입장에서는 $O_1 >^G O_2$ 이며 $O_3 >^G O_4$ 임을 알 수 있다. 각 결과에 대한 정부의 선호관계를 정리하면 <표 3>과 같다.

<표 3> 정부의 선호

	O_1	O_2	O_3	O_4
O_1	~	>	?	?
O_2	<	~	?	?
O_3	?	?	~	>
O_4	?	?	<	~

정부의 선호관계가 완비적(complete)이라면 선호관계에 대한 내용이 <표 3>의 모든 칸에

5) 자세한 논의는 강광규 외(2002) IV장을 참조.

표시되어야 한다. 즉 <표 3>에서 (?)로 표시된 부분에 대해서도 모두 선호관계가 표시되어야 한다. 이들에 대한 선호관계는 정부가 실제로 처하게 되는 상황에 따라 달라질 수 있다. 따라서 이 연구에서는 각 상황에 대한 시나리오를 가상하고 시나리오별로 게임을 분석할 것이다.

3. 보수(Payoff: Numerical representation of preference)

의사결정자의 행동을 객관적으로 분석하기 위해서는 기본적으로 선호관계가 합리적(rational)이어야 한다. 즉 선호관계가 완비적(complete)이고 이행적(transitive)이어야 한다. 선호관계가 완비성(completeness)과 이행성(transitivity)을 만족하는 선호관계는 각 결과(outcome)에 숫자를 대입하여 그 대응된 숫자, 즉 보수(payoff)의 크기를 비교함으로써 나타낼 수도 있다.

결과 O_i 에 대한 정부와 차량소비자와의 보수를 각각 u_i 와 v_i 로 나타내자. 즉, 다음과 같이 나타내기로 하자.

$$u_i = \text{정부의 payoff } (O_i)$$

$$v_i = \text{차량소비자의 payoff } (O_i)$$

정부의 입장에서는 $O_1 >^G O_2$ 과 $O_3 >^G O_4$ 이며, 소비자의 입장에서는 $O_1 <^C O_2$ 과 $O_3 \sim O_4$ 이다. <표 1>과 <표 3>에 나타난 선호관계를 보수로 나타내되, <표 2>의 자료를 반영하여 다음과 같이 나타내기로 하자.

$$u_1 = u_2 + 13 > u_2 \quad (\text{이는 } O_1 >^G O_2 \text{를 나타냄})$$

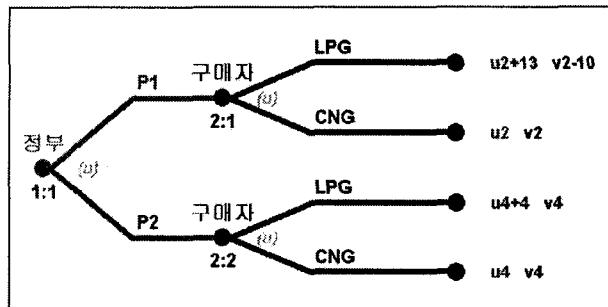
$$u_3 = u_4 + 4 > u_4 \quad (\text{이는 } O_3 >^G O_4 \text{를 나타냄})$$

$$v_1 = v_2 - 10 < v_2 \quad (\text{이는 } O_1 <^C O_2 \text{를 나타냄})$$

$$v_3 = v_4 \quad (\text{이는 정책 } P_2 \text{의 정의에 따라 } O_3 \sim O_4 \text{를 나타냄})$$

서수적 선호관계의 경우, 본질적으로 선호순서가 중요하며 이는 숫자의 대소 관계가 변하지 않는 한 구체적인 숫자의 크기는 중요하지 않다는 것을 의미한다. 따라서 u_2 , u_4 , v_2 와 v_4 에 어느 숫자를 대입해도 분석의 결과는 달라지지 않는다. <그림 3>에는 보수 u_i 와 v_i 가 함께 표현된 전개형 게임이 나타나 있으며, 이 게임이 우리의 분석모형이다.

<그림 3> 전개형 게임



<그림 3>의 전개형 게임은 <표 4>의 전략형(strategic form)으로 나타낼 수 있다.

<표 4> 전개형 게임의 전략형 표현

		소비자			
		$LPG/LPG(LL)$	$LPG/CNG(LC)$	$CNG/LPG(CL)$	$CNG/CNG(CC)$
정부	P_1	$u_2 + 13, v_2 - 10$	$u_2 + 13, v_2 - 10$	u_2, v_2	u_2, v_2
	P_2	$u_4 + 4, v_4$	u_4, v_4	$u_4 + 4, v_4$	u_4, v_4

<표 4>의 전략형 게임은 약열등전략을 가지고 있음을 쉽게 확인할 수 있다. 소비자의 입장에서 LL 과 LC 는 CL 또는 CC 에 의해 약지배(weakly dominated)되므로 LL 과 LC 는 약열등전략이다. 이 약열등전략을 균형전략에서 제외한다면, 게임의 결과는 u_2 와 u_4 의 상대적 크기에 의해서 결정된다. 한편, 소비자의 v_1, v_2 와 v_3, v_4 의 상대적 크기는 게임의 결과에 영향을 미치지 않으므로 <표 1>에서 점(·)으로 나타난 부분이 명시되지 않아도 게임의 분석에는 문제가 없다는 점을 지적해 두고자 한다.

4. GAMBIT 분석을 위한 준비

GAMBIT을 이용하여 게임을 분석하기 위해서는 각 보수가 구체적인 숫자로 나타나야 한다. 먼저 소비자의 보수 v_2 와 v_4 의 크기는 이 게임의 분석의 결과에 영향을 미치지 않는다는 점에 유의하자. 이를 임의로 $v_2 = 10$ 과 $v_4 = 20$ 로 두기로 하자.

정부의 보수 u_2 와 u_4 의 상대적 크기는 게임의 결과에 영향을 미칠 수 있다. 구체적인 숫자

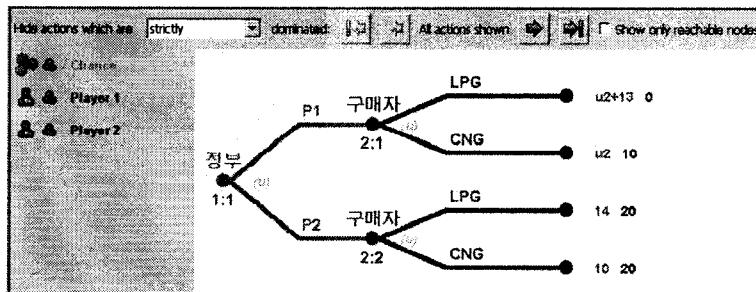
를 배정하기 위해 $u_4 = 10$ 으로 고정시키자. 따라서 $u_3 = u_4 + 4 = 14$ 로 둘 수 있다.

이제까지의 논의를 정리하자. 선호관계를 구체적인 숫자로 비교할 수 있도록 다음과 같이 보수에 숫자를 대응시키기로 한다.

- $v_2 = 10$
- $v_4 = 20$
- $u_4 = 10$
- $u_3 = u_4 + 4 = 14$

숫자 크기의 상대적 순서가 달라지지 않는 한 숫자의 절대적 크기는 게임의 분석에 영향을 미치지 않는다는 점에 유의하자. 위의 보수를 반영하여 전개형 게임을 나타내면 <그림 4>와 같다.

<그림 4> 수치 표현



u_2 의 크기는 $u_4 = 10$ 보다 클 수도 있고 그렇지 않을 수도 있다. 이제 몇 가지 시나리오를 설정하고 각 상황에 적합한 u_2 의 값을 정하여 게임을 분석하기로 한다. 우리가 살펴 볼 시나리오는 다음의 다섯 가지이다.

- Case 1: $O_3 >^G O_4 >^G O_2 \quad (u_2 < u_4 < u_3)$
- Case 2: $O_3 >^G O_4 \sim^G O_2 \quad (u_2 = u_4 < u_3)$
- Case 3: $O_3 >^G O_2 >^G O_4 \quad (u_4 < u_2 < u_3)$
- Case 4: $O_3 \sim^G O_2 >^G O_4 \quad (u_4 < u_2 = u_3)$
- Case 5: $O_2 >^G O_3 >^G O_4 \quad (u_4 < u_3 < u_2)$

균형개념으로는 부분게임완전균형(Subgame Perfect Equilibrium: SPE)을 찾기로 한다.

SPE란 모든 부분게임(subgame)에서 내쉬균형행동이 되는 균형을 말한다. 즉 모든 의사결정순서에서 최선의 행동을 하는 내쉬균형을 말한다.

완전정보게임의 SPE는 후방귀납법(backward induction)으로 찾을 수 있다. GAMBIT은 후방귀납법(backward induction)을 수행하는 기능을 가지고 있다. 최종 의사결정마디(terminal node)로부터 시작점(initial node)로 거슬러 올라가면서 강열등행동(strictly dominated actions)을 단계적으로 제거시켜 나감으로써 후방귀납법을 수행할 수 있으며, 결과적으로 SPE를 찾을 수 있다.⁶⁾ GAMBIT에는 약열등행동(weakly dominated actions)을 차례로 제거시켜 나가는 기능도 제공하고 있다. GAMBIT을 이용한 후방귀납법의 실행에 대한 자세한 방법은 GAMBIT의 매뉴얼을 참고하면 된다. SPE가 여러 개일 때에는 균형의 개수를 줄여 결과에 대한 예측을 더 정확히 할 수 있도록 약열등행동을 제거한 결과를 찾을 수 있는지를 검토하기로 한다.

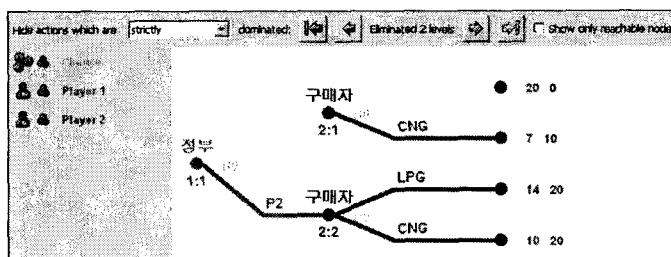
III. GAMBIT을 이용한 분석

먼저, <표 3>에 의하면, $O_1 >^G O_2$ 이고 $O_3 >^G O_4$ 임을 기억하자.

1. Case 1: $O_3 >^G O_4 >^G O_2$

첫째, $u_2 < u_4$ 인 경우이다. $u_4 = 10$ 이므로, $u_2 = 7$ 로 두기로 하자. <그림 5>는 GAMBIT에서 후방귀납법을 적용한 결과를 보여준다.

<그림 5> Case 1: $O_3 >^G O_4 >^G O_2$



6) SPE를 찾기 위해 backward induction을 적용하는 데에는 몇 가지 한계가 있을 수 있다. 이에 대한 자세한 논의는 Osborne(2004) Ch.7을 참조.

소비자의 균형전략은 CL 과 CC 이며, 정부의 균형행동은 P_2 이다. 즉, SPE는 (P_2, CC) 와 (P_2, CL) 이다.

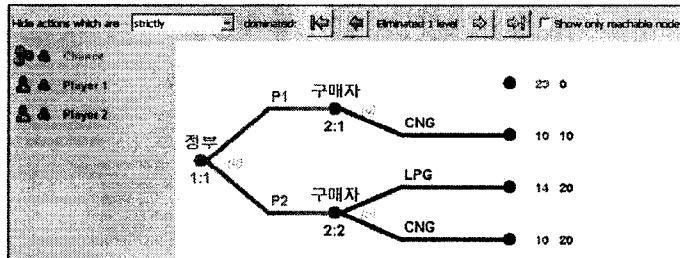
Case 1에서의 균형결과(equilibrium outcome)는 O_3 또는 O_4 이다. 이는 정부가 LPG지원정책(P_2)을 추가로 도입하고, 소비자는 LPG차량을 구매하거나 또는 CNG차량을 구매하는 상황을 묘사하는 것이다. 이는 LPG차량과 CNG차량산업 간에 균형발전을 시사하는 결과로 해석할 수 있다.

2. Case 2: $O_3 >^G O_4 \sim^G O_2$

둘째 $u_2 = u_4 < u_3$ 인 경우를 보자. 이 경우의 보수는 $u_2 = 10 = u_4$ 이다.

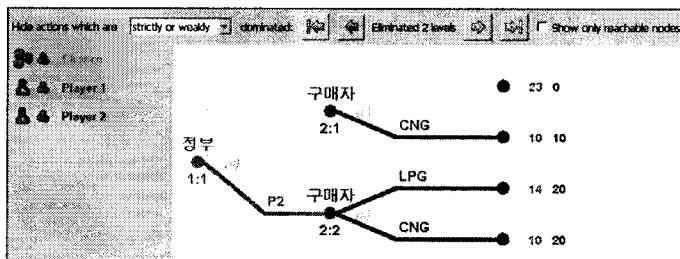
<그림 6>은 SPE가 (P_2, CL) , (P_2, CC) , (P_1, CC) 임을 보여준다. 하지만 균형 (P_1, CC) 에서 정부의 전략 P_1 은 약열등전략으로 제거될 수 있다.

<그림 6> Case 2: strict dominance



<그림 7>은 약열등전략을 제거하는 후방귀납법을 적용한 결과를 나타내고 있다.

<그림 7> Case 2: weak dominance



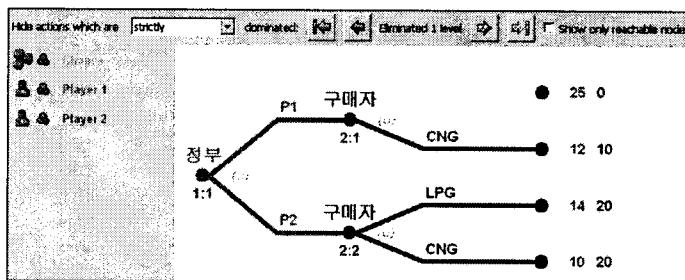
이 경우의 균형은 (P_2, CL) , (P_2, CC) 이며, 이는 균형결과가 O_3 또는 O_4 로 나타나는 상황을 묘사하고 있다. 이는 Case 1의 경우와 마찬가지로 두 산업 간의 균형발전을 시사하는 균형으로 해석할 수 있다.

3. Case 3: $O_3 >^G O_2 >^G O_4$

셋째, $u_4 < u_2 < u_4 + 4$ 인 경우를 보자. $u_4 = 10$, $u_3 = u_4 + 14 = 14$ 이므로, $u_2 = 12$ 로 둘 수 있다.

<그림 8>은 Case 3에서 후방귀납법이 적용된 결과를 보여주고 있다.

<그림 8> Case 3: strict dominance



이 경우 SPE는 (P_2, CL) 과 (P_1, CC) 이며, 균형결과는 O_2 또는 O_3 이다. 즉 정책 P_1 하에서 차량소비자가 CNG차량을 구매하거나 또는 정책 P_2 하에서 소비자가 LPG차량을 구매하는 결과를 묘사하고 있다. 정책 P_2 하에서 소비자가 CNG차량을 구매하는 상황은 균형으로 성립하지 않으므로, 이 경우 O_4 는 균형결과로 나타날 수 없다.

정부와 소비자 모두 O_2 보다는 O_3 를 선호하므로 SPE (P_2, CL) 이 초점(focal point)인 것으로 이해할 수 있다⁷⁾. 하지만 소비자가 어느 정책하에서도 CNG를 구매하는 전략(CC)도 합리적인 선택이며 이 경우 정부는 P_1 을 선택하는 것이 최선이므로 O_2 가 실현될 수 있다는 것을 논리적으로 배제시킬 수는 없는 것이다.

<그림 8>의 결과는 weak dominance로 개선되지 않는다. Case 3에서 결과 O_2 와 O_3 둘 중 어떤 것이 실현될 것인가는 정부의 의지에 달려 있다.

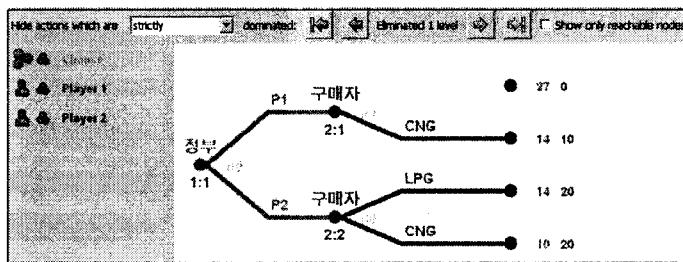
7) 초점(focal point)에 관해서는 Rasmusen(2001) 또는 Gardner(2003) 참조.

4. Case 4: $O_3 \sim^G O_2 >^G O_4$

넷째, $u_4 < u_2 = u_4 + 4$ 인 경우를 보자. $u_4 = 10$ 이므로 $u_2 = u_4 + 4 = 14$ 인 경우이다.

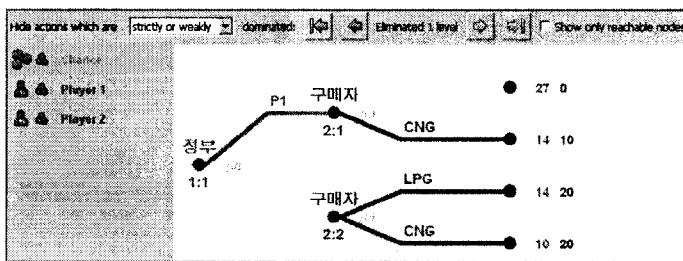
<그림 9>는 후방귀납법을 적용한 결과이다. SPE는 (P_2, CL) , (P_1, CC) , (P_1, CL) 임을 알 수 있다.

<그림 9> Case 4: strict dominance



<그림 9>의 결과는 weak dominance로 개선될 수 있다. GAMBIT으로 약열등전략을 제거하는 후방귀납법을 적용하면 <그림 10>을 얻을 수 있다. 결과적으로 약열등전략을 포함하지 않는 SPE로 (P_1, CC) 와 (P_1, CL) 을 얻을 수 있다. 따라서 이 경우의 유일한 균형결과는 O_2 이다.

<그림 10> Case 4: weak dominance



이 결과를 직관적으로 이해해 보자. Case 4는 정부의 입장에서 P_1 하에서 소비자가 CNG차량을 구매하는 것이나 정책 P_2 를 추가로 채택하여 LPG차량을 구매하도록 유도하는 것이나 무차별하지만, 정부가 정책 P_2 를 추가로 채택한 경우에 차량소비자가 여전히 CNG차량을 구매할 수 있으며, 이 때는 정부가 차라리 정책 P_2 를 추가로 시행하지 않는 것을 선호하는 경

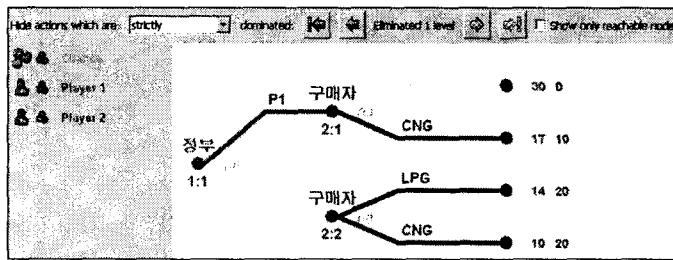
우이다. 따라서, 유일한 균형결과는 CNG차량지원정책(P_1)하에서 소비자들이 CNG차량을 소비하는 상황을 유지하며, LPG차량지원 정책(P_2)을 추가로 채택하지 않는 것이다.

5. Case 5: $O_2 >^G O_3 >^G O_4$

마지막으로, $u_4 < u_4 + 4 < u_2$ 인 경우를 살펴보자. 이 경우 $u_2 = 17$ 로 두어도 된다.

<그림 11>에 GAMBIT으로 후방귀납법을 적용한 결과가 나타나 있다.

<그림 11> Case 5: $O_2 >^G O_3 >^G O_4$



SPE는 (P_1, CC) , (P_1, CL) 이다. 이로부터 유일한 균형결과 O_2 가 실현될 것임을 명확하게 예측할 수 있다. Case 5는 정책 P_2 를 채택할 때 예상되는 효과가 기존의 CNG차량지원정책에 비해 그리 크지 않은 경우를 의미하므로, SPE는 유일한 균형결과(equilibrium outcome)가 O_2 로 귀결되어야 하는 상황과 일치하는 결과를 묘사하고 있는 것으로 해석할 수 있다.

IV. 결론

제공해차량의 최적구매행태를 분석하는 모형을 설정하고 이를 분석하였다. 정부의 정책에 따라 차량소비자의 구매행태가 영향을 받고, 정부는 정책에 대한 차량소비자의 구매행태를 고려하여야 하므로 모형설정은 게임이론적으로 접근하는 것이 가장 적절하다. 이 연구에서는 현실적용가능성이 있는 모형을 구축하기 위해 강광규 외(2002)의 자료를 이용하는 문제를 살펴보았다. 현실의 자료에 따라 의사결정자의 선호관계를 나타낼 수 있다. 이 연구에서는 각 시나리오별로 다양한 모형이 구축될 수 있다는 것과 이를 GAMBIT을 이용하여 편리하게 분석

하는 방법을 살펴보았다.

이 연구의 분석이 가지는 한계로는 사용된 자료가 한 소비자를 가정하고 계산된 순현가 (net present value)라는 점을 지적할 수 있다. 각 정책 하에서 차종별 구매량을 추정한다면 보다 현실적인 결과를 얻을 수 있을 것으로 기대한다.

참고문헌

- [1] 강광규 외 (2002), 『저공해차량의 균형보급 방안 연구』, 한국환경정책연구소.
- [2] Gardner, Roy (2003), *Games for Business and Economics*, second edition, Wiley.
- [3] McKelvey, Richard D., McLennan, Andrew M., and Turocy, Theodore L. (2007), Gambit: Software Tools for Game Theory, Version 0.2007.01.30, <http://gambit.sourceforge.net>.
- [4] Osborne, Martin J. (2004), *An Introduction to Game Theory*. Oxford.
- [5] Rasmusen, Eric (2001), *Games and Information: An Introduction to Game Theory*, third edition, Blackwell.
- [6] Watson, Joel (2002), *Strategy: An Introduction to Game Theory*, Norton.
- [7] <http://gambit.sourceforge.net/doc/tutorials/coord.pdf>
- [8] <http://gambit.sourceforge.net/doc/tutorials/poker.pdf>
- [9] http://en.wikipedia.org/wiki/Natural_gas_vehicle.

A Model to Analyze the Optimal Purchase of the Cleaner Vehicles: A Game Theoretic Approach

In-Sung, Cho

Abstract

This article examines the establishment of the game theoretic model for the cleaner vehicles and analyzes the established model. We discuss the way to represent the players' preferences over the outcomes to make the model applicable in real practice. In this article we employ the real data to represent the preferences. In the analysis of the model we consider various scenarios and discuss how we can use GAMBIT, which is a game theory analysis software, to find solutions in each proposed scenario.

Key Words : subgame perfect equilibrium, backward induction, NGV, GAMBIT