

농촌지역 농가 에너지소비 모델 개발

Developing an Energy Consumption Model of Household Unit in Rural Area

리신호^{*,†} · 왕 군^{**} · 윤성수^{*}

Rhee, Shinho^{*,†} · Wang, Jun^{**} · Yoon, Seong Soo^{*}

Abstract

As the price of traditional fossil fuels continue to increase, more people attach importance to the pollution of the environment caused by fossil fuel's burning, developing and using renewable energy resources has become a very important project all over the world. Also, the rural energy planning which is another method to improve energy utilization ratio and reduce environment pollution, is also regarded as a very effective way to reduce the energy consumption. There is a quantity of renewable energy resources and natural tribes in rural area, which is both feasible to develop the renewable energy and the regional energy planning. To carry out this, it is needs to know the area's quantity of renewable energy resources and the total energy consumption. This paper is to find out the relationship between rural energy consumption and rural conditions, and to found a energy consumption model which can conjecture the energy consumption in rural family. and the cost of rural family's energy consumption was founded to conjecture how much money dose it cost in rural family's energy consumption. The energy consumption model was concluded using the surveys of 76 families in 14 villages at the area of Chungcheongbuk-Do(province). The main factors to energy consumption was selected out which were number of family members, acreage of house, acreage of farmland and family's annual income.

Keywords : Energy Consumption Model, Factor of Energy Consumption, Rural Area

1. 서 론

인류는 이제까지 사회적 편익과 물질적 풍요를 누리기 위해 에너지원을 이용하고 통제해왔으며, 에너지 소비는 산업화의 세계적 진전과 더불어 늘어나고

있다. 현재 인류가 의존하고 있는 화석연료와 원자력 에너지는 재생이 안 되는 에너지이기 때문에, 에너지원의 고갈이란 문제와 함께 여러 가지 경제, 환경, 사회 문제도 발생할 수 있다.¹²⁾ 우리나라의 에너지 소비 속도는 세계 평균보다 더 빠르게 증가되고 있다. 2005년의 에너지 소비 증가율은 3.7%로 세계 2위이다. 특히 농업부문의 에너지 소비가 전체 산업생산부문의 에너지 소비량 보다 크지 않지만, 농업부문에서 사용되는 각종 에너지의 절대량이 꾸준히 늘어나고 있지만 다른 생산부문 비하여 총생산량 증가율은 낮아지고 있다.(1992년~2001년간 에너지소비 증가율 7.9%, 생산량증가율 0.8%, 다른 부문 에너지

* 충북대학교 농업생명환경대학 지역건설공학과

** 충북대학교 대학원 지역건설공학과

† Corresponding author. Tel.: +82-43-261-2574

Fax: +82-43-271-5922

E-mail address: rhee2574@cbnu.ac.kr

2008년 7월 11일 투고

2008년 7월 15일 심사완료

2008년 7월 23일 게재확정

소비 증가율 5.6%, 생산량 증가율 7.7%) 이와 같은 산업부문 총생산량의 증가율에 비하여 아주 낮은 증가율을 보인 농업부문의 생산체계가 에너지 소비에 있어서 비효율적이라는 사실을 보여준다. 이런 상황 이므로 바이오에너지 개발과 에너지 효율성을 높일 필요가 있는 것이다.²⁾

바이오에너지는 다른 형태의 에너지보다 공해가 적고, 생태학적인 요인들을 균형 있게 하는 데 적합하여 건강에 더 좋은 환경을 이룬다. 농촌지역에 살고 있는 주민들은 고립된 공동사회에서 살고 있으며, 그것은 대부분의 바이오에너지를 현재의 기술을 사용하여 활용하는 데 최적의 방법인 분산된 동력자원의 사용에 적합하다. 지역의 연료자원을 사용해서 만든 바이오에너지 시스템의 사용은 농촌부문에 궁극적인 동력과 에너지 자원에 있어서 어떤 독립된 형태를 제공할 수 있다.

농촌은 지속가능한 에너지 개발에 적합한 공간이다. 농촌은 자연 에너지 자원이 풍부하고, 재생 에너지 개발을 위한 자원을 지속적으로 공급할 수 있으며, 마을 단위의 지역 에너지 개발이 가능하다. 그러나 농촌에 분포하고 있는 자원에 관한 자료가 부족하고, 농촌에 위치한 가구의 에너지 소비량 및 형태에 따른 연구가 미흡한 실정이다.

이 연구는 농촌에 대한 에너지 사용 현황과 에너지 자원 현황을 조사하고, 다변량분석을 통해서 농촌 가구 에너지 소비량과 각 영향 요소의 관계를 분석하며, 농촌 가구 에너지 소비 모델과 에너지 소비 비용 모델을 개발함을 목적으로 한다.

II. 기본이론 및 방법

1. 지속가능한 에너지

지속가능한 발전은 성장일변도로 치달아온 산업화로 인해 환경오염 및 파괴가 심각해지는 상황을 타개해나가는 전략적 대응방안을 논의하기 위해 1987년 세계환경발전위원회(world commission on environment and development : WCED)가 '우리공동의 미래(our common future)'라는 보고서를 내면서 확산되었다. WCED는 지속가능한 발전이란 '미래 세

대의 욕구를 충족시킬 수 있는 능력을 위태롭게 하지 않으면서 현 세대의 욕구를 충족시키는 발전'(1987)이라고 정의했는데, 이는 많은 이론의 여지에도 불구하고 가장 보편적으로 받아들여지고 있다. 여기서 지속가능한 발전의 핵심요소는 환경이 갖는 부양능력의 한계를 인식하는 지속가능성(sustainability)의 원칙이다. 지속가능한 발전 개념은 에너지의 생산, 소비와 긴밀히 연결되어 있다. 에너지의 생산, 소비는 지속가능한 발전이 추구하는 사회, 경제, 환경적 목적을 달성할 수 있도록 지속가능성과 형평성의 원칙을 실현하는 방향으로 이루어져야 한다.

지속가능한 에너지 체계(Fig. 1)는 에너지의 자율적인 이용과 통제를 중시하여 소규모의 지역 분산적인 에너지 체계를 지향하며 에너지의 생산과 소비가 갖는 환경적 영향을 고려하여 환경적 부양능력에 민감하게 에너지 소비 수준을 조절하고 에너지 사용의 외부 효과를 아주 적게 한다.¹³⁾

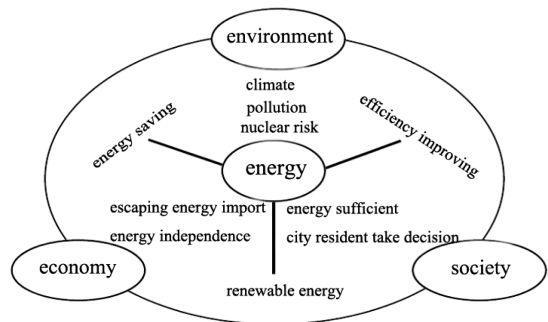


Fig. 1 Sustainable energy system

2. 농촌지역의 에너지 소비 구조 및 발전방향

농촌지역의 에너지 소비원은 주로 기름과 전기이지만 화석에너지 가격이 계속 증가함에 따라 농촌 주민들의 경제 부담이 커져 기름 에너지 소비는 줄어들고, 나무는 구하기 쉽고 다시 생산되기 때문에 나무 에너지 소비는 많아지고 있다. 생태, 경제, 환경 등 측면에서 농촌지역의 미래 에너지는 원래 있던 바이오에너지가 될 것이다. 그러나 나무를 연료로 사용하는 방식은 에너지 효율성이 너무 낮아서 기술 개발이 필요하다. Fig. 2에서는 농촌마을의 현재와 미래의 에너지 수급에 대한 비율을 개념으로 나타내었다.

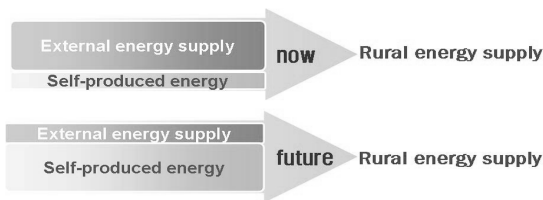


Fig. 2 Rural energy supplying tendency

농촌에 풍부한 바이오에너지 자원이 있지만 아직 개발되지 않고 있다. 사용가능한 에너지원이 풍부하여 필요한 에너지 량을 충분히 공급할 수 있으므로, 바이오 에너지를 사용하지 않았기 때문이다. 바이오 에너지 기술의 발전과 화석 에너지 가격의 증가에 따라 미래 농촌지역의 에너지 소비는 바이오에너지로 바뀔 것이다.

농촌의 농가들은 대부분 자연 마을의 형태로 구성되어 있고, 에너지 소비 형태가 명확하여 지역의 에너지 계획을 세우는 데 적합하다. 농촌지역에서 생산될 수 있는 에너지를 직접 소비하는 것이 이상적이다. 자급형 농촌 에너지 소비 체계가 될 수 있으며 농촌 지역의 생태 환경 보호, 에너지 효율성 상승, 농민 경제 부담 감소 등의 효과가 있다. 다시 정리하면 Fig. 3과 같이 에너지 부족 문제의 해결은 재생에너지의 개발과 에너지 효율의 증진의 두 가지 방식으로 나누어지는데, 농촌에서는 바이오에너지의 개발과 자연에너지를 최대한으로 이용할 수 있는 농촌계획의 문제로 나누어 진다. 이를 통해 궁극적으로 에너지 독립형 마을을 조성함을 목적으로 한다.

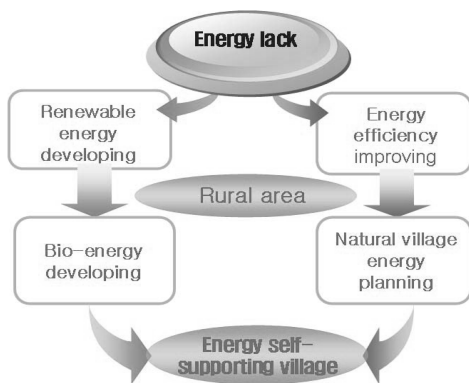


Fig. 3 Methods to resolve rural energy problem

3. 농촌지역의 가구 에너지 소비 모델

농촌지역의 가구 에너지 소비량은 영향요소의 변화에 따라 결정된다. 농촌 가구 에너지 소비와 각 영향요소의 선형관계식은 식(1)과 같이 가정하였다.

$$y = \sum_{i=1}^n a_i x_i + \epsilon \quad (1)$$

where,

y : energy consumption

a_i : influence coefficient

x_i : affecting factor

ϵ : constant

농촌 가구 에너지 소비에 영향을 미치는 후보 인자를 결정하고 다변량분석을 통해 요소들을 결정한다.

III. 농촌 에너지 소비 조사

1. 조사방법

조사방법은 충청북도에 있는 농촌마을을 선정하여 현장조사를 한다. 대상지역은 전형적인 농촌지역을 대상으로 전수 조사하기 위해 충청북도내 자연부락을 대상으로 하였다.

2. 조사내용

조사내용은 에너지 소비 부분과 에너지 소비 영향요소 부분으로 나누어진다. 에너지 소비 부분은 농촌지역의 가구에너지 소비 중 각 에너지 자원의 소비 현황과 에너지 자원 소비의 필요한 비용이며, 에너지

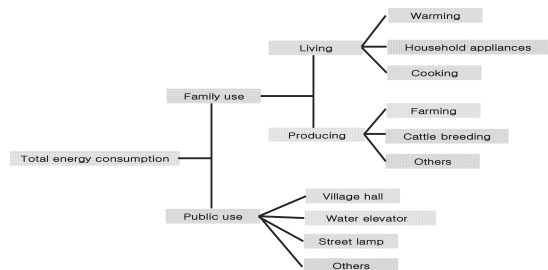


Fig. 4 Rural energy consumption system

소비 영향요소 부분은 에너지 소비에 미치는 영향요소의 현황이다.

농촌지역에서 에너지의 자세한 사용 체계를 파악해야 에너지 소비의 영향 요소를 선정할 수 있다. 농촌 마을의 에너지 소비는 크게 가정용과 공공용으로 나누어지며, 가정용은 생활용과 생산용으로 나누어진다. 상세한 에너지 소비 계통도는 Fig. 4와 같다.

이를 통해 먼저 가구별 에너지 조사를 위한 조사 항목을 선정하고, 조사표를 작성한 다음, 조사를 실시하였다.

3. 조사대상

충청북도에 있는 마을 14개 총 76 가구를 선정하였고, 대상마을의 현황은 Table 1과 같다.

4. 조사결과 및 분석

현장 조사 결과 가구당 평균 에너지소비는 $152 \times 10^3 \text{MJ}$ 로 나타났고, 평균 에너지 소비 비용 169만원으로 나타났으며, 평균 가족 수가 1.9명, 평균 주택 면적이 21평, 년평균 수입이 837만원으로 나타났다. 조사 대상지역은 주로 전기, 기름, 가스, 나무에서 에너지를 얻고 있고, 연탄 에너지를 쓰는 가구는 적은

것으로 나타났다. 조사대상 지역에서는 태양, 풍력, 메탄가스 등 재생에너지는 전혀 쓰지 않은 것으로 나타났다. 전체 조사 대상 지역의 에너지소비 구성비 및 에너지소비 비용 구성비는 Fig. 5와 같다.

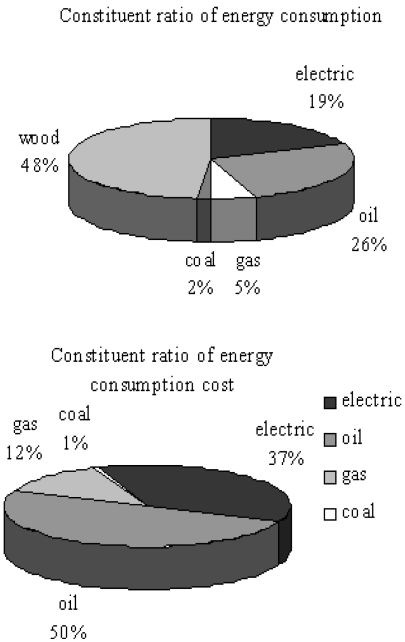


Fig. 5 Constituent ratio of energy consumption and cost

Table 1 Situations of surveyed villages

No.	Village name	Number of familys	Terrain	Population	Farming area (pyung)
1	Cheongwongun Hyeondomyeon Nosanri Dongchoun	8	upland	20	67,100
2	Cheongwongun Hyeondomyeon Nosanri Saochoun	6	plain	14	19,600
3	Cheongwongun Hyeondomyeon Hasaokri Nobong	8	penepplain	35	13,400
4	Cheongwongun Hyeondomyeon Hasaokri Jizangoer	5	upland	7	2,500
5	Cheongwongun Hyeondomyeon Hasaokri Zyeongdyeom	6	penepplain	14	5,400
6	Jincheongun Munbaekmyeon Okseongri Nyeoggoer	6	upland	10	1,000
7	Jincheongun Munbaekmyeon Okseongri Kerhokzhae	3	penepplain	8	9,500
8	Jincheongun Munbaekmyeon Pyeongsanri Anyeong	6	penepplain	14	8,000
9	Jincheongun Munbaekmyeon Okseongri Baeti	5	penepplain	12	21,300
10	Eumseonggun Wonnammyeong Samrhongri Mueraondaok	4	penepplain	9	9,000
11	Eumseonggun Wonnammyeong Chochonri Danwoer	6	penepplain	17	12,900
12	Eumseonggun Wonnammyeong Samrhongri Hyengdae	4	plain	10	5,500
13	Eumseonggun Wonnammyeong Samrhongri Eonghennamugoer	6	penepplain	12	15,500
14	Eumseonggun Wonnammyeong Chochonri Hyeongchon	3	plain	7	11,400

Table 2 Particulars of energy consumption

Classification		Electric(kWh)	Oil(L)	Gas*(bottle)	Coal(sheet)	Wood(ton)
Amount	Total	610,987	80,392	600	2,700	255
	Average	8,039	1,058	8	35	3.4
Energy(MJ)	Total	2,199,553	2,998,640	604,296	187,650	5,599,000
	Average	28,941	39,456	7,951	2,469	73,671
Cost(million)	Total	48.12	64.31	15.58	0.72	-
	Average	0.63	0.84	0.21	0.01	-

* LPG 20kg gas bottle

Table 3 States of energy consumption in different energy resource

Energy resource	Amount	Energy	Constituent ratio(%)	Cost	Constituent ratio(%)
Electric(kWh)	8039	28,941	18.9	63	37.3
Oil(L)	1058	39,456	25.8	84	49.7
Gas(bottle)	8	7,951	5.2	21	12.4
Coal(sheet)	35	2,469	1.6	1	0.6
Wood(ton)	3.4	73,671	48.5	0	0.0
Total	-	152,488	100.0	169	100.0

조사지역 전체의 에너지 소비 구성비는 나무-전기-기름-가스-연탄 순이었으며, 에너지 소비 비용은 기름-전기-가스-연탄-나무의 순이었다.

가. 에너지 자원별 소비 현황

전기는 주로 일상생활의 가전제품과 취사에 쓰이고, 심야전기 난방의 열원으로도 쓰인다. 기름은 주로 난방과 농기계에 쓰인다. 가스는 모두 LPG를 사용하며 취사에만 쓰이고, 연탄은 난방으로만 쓰인다. 나무는 난방과 취사에 쓴다. 대상 지역의 에너지원별 소비 상황은 Table 2와 같다. Table 2에서는 전기, 기름, 가스, 연탄, 나무에 대한 에너지 소비를 조사한 다음 이를 비교하기 위해 에너지로 변환하였고, 다시 가격으로 산출하였다.

Table 3에서 에너지 소비는 나무로 공급되는 비중이 큰 것으로 나타났지만, 나무로 에너지를 소비하는 가구 비율은 높은 편이었다.(76가구에서 29가구). 이것은 나무의 효율성이 낮은 것으로 판단된다.

나. 난방종류별 구성비

농촌지역의 난방 종류 별 구성비는 Fig. 6과 같다.

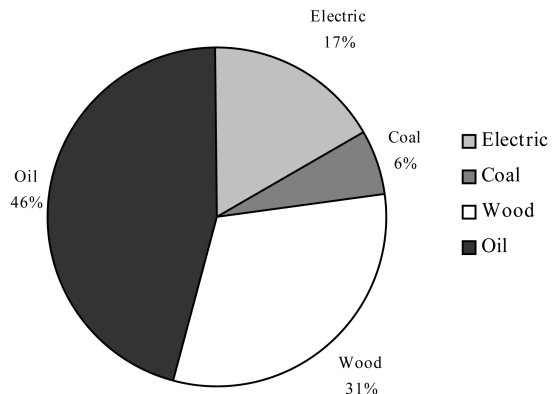


Fig. 6 Constituent ratio of heating system types

여기서 농촌지역의 난방 형식은 기름을 사용하는 경우가 46%로 가장 많았으며, 나무를 사용하는 경우는 31%로 나타났다. 나무를 사용한 가구 중 50%는 기름에서 바꾼 것으로 조사되었으며, 기름 값이 비싼 것이 원인으로 나타났다.

Table 4는 나무 에너지 소비가 증가할 것으로 판단된다. 2005년의 에너지 통계연보에 의하여 1995년~2004년의 가정 부문 에너지원별 소비구조 변화는 석유에너지 소비 비율이 급격히 감소하는 동시에 가스, 전력, 임산연료의 에너지 소비 구성비는 계속 증가되는 것으로 나타났다. 석탄 에너지는 경제성이 높지만, 편리성이 낮고 위험성이 높기 때문에 1995년에서 2001년까지 석탄 에너지 사용량이 계속 줄었지만, 석유 가격이 높아져 석탄 에너지 소비량이 조금 증가되고 있는 것으로 나타났다.

Table 5에서 1995년~2004년 전국의 가정용 에너지 소비량 증가율이 가장 큰 자원은 가스(1995년 20.3%, 2004년 42.6%)이지만, 조사 대상 지역의 가스 에너지 사용 비중이 불과 5%이다. 농촌지역에서

Table 4 Statistics about energy consumption

Types of resource	1995 (KToe)	Ratio (%)	1998 (KToe)	Ratio (%)	2001 (KToe)	Ratio (%)	2004 (KToe)	Ratio (%)
Coal	1,417	6.6	329	1.8	137	0.7	198	1
Oil	13,139	61.4	8,089	45.3	8,325	41.3	6,259	29.8
Gas	4,343	20.3	5,819	32.5	7,234	35.9	8,804	42.6
Electric	2,477	11.6	2,817	15.7	3,359	16.7	4,196	20.3
Heat	-	-	829	46	1,074	5.3	1,295	6.3
Wood	23	0.1	20	0.1	25	0.1	27	0.1
Total	21,399	100	17,903	100	20,154	100	20,779	100

Table 5 Contrast about energy resources' constituent ratio and price

Types of resource	Price(won)	Energy	Constituent ratio(%)	100MJ energy consumption's cost(won)
Wood	-	-	43.0	-
Oil	800/L	37.3MJ/L	23.9	2,144
Electric	-	3.6MJ/kWh	19.1	1,388
Coal	270/sheet	69.5MJ/sheet	8.6	1,227
Gas	26,000/bottle	10,080MJ/bottle	5.4	2,579

(investigation data 2006)

도시가스가 없어서 가스통으로 사용하고 있기 때문에, 도시가스보다 편리성이 크게 낮고 가격도 비싸다. 그러므로 농촌지역에서 가스 에너지 소비 비중은 낮은 것으로 판단된다.

다. 가족 수에 따른 에너지 소비

에너지는 사람을 위하여 소비된다. 한 가구에 가족 수의 증가에 따라 난방, 취사용 에너지가 증가되는 것을 알 수 있으므로, 한 가구의 가족 수는 가구 에너지 소비의 중요한 영향 요소이다. 회귀 분석을 통해서 가족 수에 따른 에너지 소비 및 에너지 소비 비용변화를 나타내면 Fig. 7과 같다.

Fig. 7에서 가족 수가 1~3명과 5~7명의 경우 가족의 증가에 따라 에너지 소비량이 증가되는 것으로 나타났다. 농촌지역에서 가족이 1명~3명의 가구는 대부분 수입이 없는 노인들이 살고 있기 때문에, 주요 에너지 소비 방식은 구하기 쉬운 나무를 사용한다. 나무를 사용하여 에너지를 얻는 것은 열 효율성이 낮아 에너지가 많이 소비되기 때문에 가족 수 1~3명의 에너지 소비량이 가족 수 5~6명의 에너지 소비

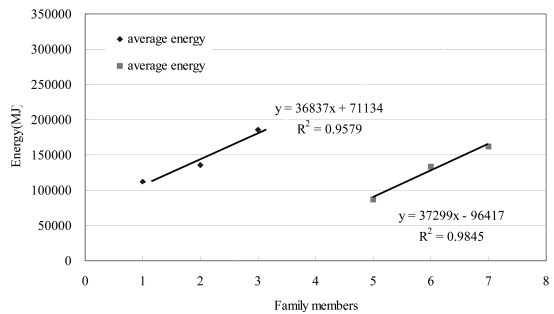


Fig. 7 Energy consumption changes based on family members change

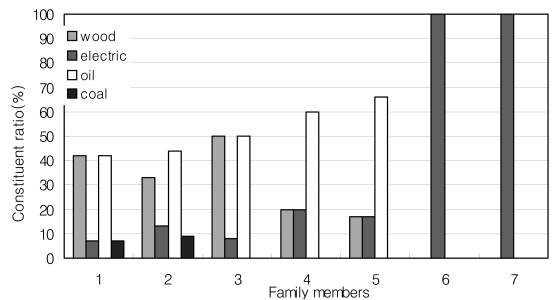


Fig. 8 Constituent ratio of types heating system based on number of family members

량보다 상대적으로 많은 것을 알 수 있다. 가족 수에 따른 에너지 소비 변화 중에 두 회귀 식의 기울기가 대략 동일한 것으로 보아 가족 수가 1~3명과 5~7명의 가구 에너지 소비의 영향정도가 같을 것으로 판단된다.

가족 수에 따른 난방방식의 구성비는 Fig. 8과 같은데 나무 난방은 주로 가족 수가 1~3명인 가구가 사용하는 것을 알 수 있다. 전체적으로 기름 난방을 가장 많이 사용하는 것으로 나타났다.

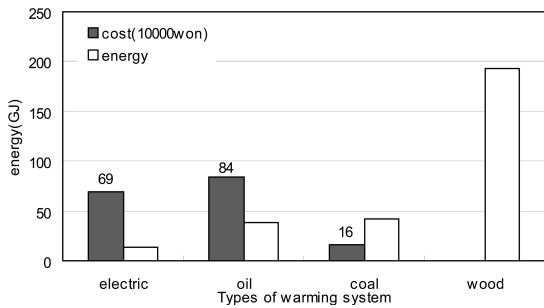


Fig. 9 Energy consumption and cost of energy consumption based on types of heating system

Fig. 9는 난방용 에너지 소비 및 비용의 비교이다. 에너지 소비는 나무-기름-연탄-전기 순으로 나타났고, 에너지 소비 비용 쪽은 기름-전기-연탄-나무의 순으로 나타났다. 나무 에너지 소비는 경제적이지만 에너지 소비량이 전기보다 10배 이상의 차이가 나타나 에너지 효율성이 아주 낮은 것을 알 수 있다. 에너지 소비 비용을 보면 기름 난방이 가장 많이 드는 것으로 나타났고, 비용이 가장 적게 드는 것으로 나무로 나타났다. 연탄 난방은 비용이 적고 에너지의 열 효율성도 높지만 사용 가구가 적은 것은 편리하지 않기 때문인 것으로 보인다.

라. 집 면적에 따른 에너지 소비

집 면적은 가구 난방 에너지 소비의 중요한 요소이며, 농촌 가구 에너지 소비 중에 큰 비중을 차지하고 있다. 에너지 용도별 구성비는 Fig. 10과 같고, 집 면적에 따른 에너지 소비 변화는 Fig. 11과 같다. 에너지는 영농(44%)과 난방(32%)에 주로 쓰이고,

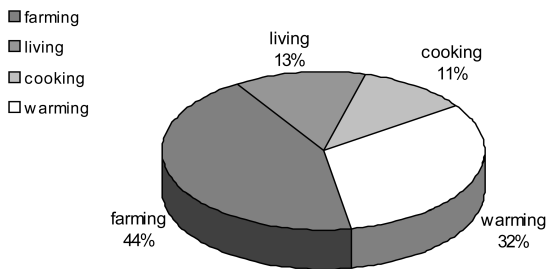


Fig. 10 Constituent ratio of energy consumption based on application of energy

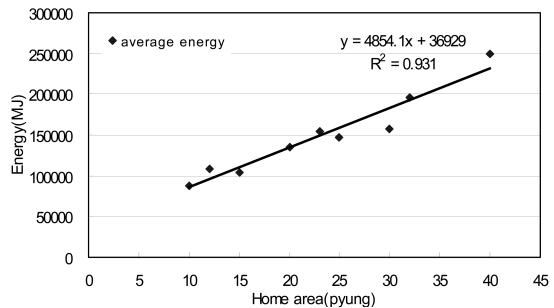


Fig. 11 Energy consumption changes based on home area's change

다음은 생활, 취사의 순이었다. 집 면적에 따라 난방 에너지는 선형적으로 증가하며 25평에서 30평은 선형의 아래쪽에 있어 약간 적게 드는 것으로 보인다.

IV. 농촌 가구 에너지 소비 모델 개발

1. 모델 설정

에너지 소비와 그 영향요소의 분석 결과, 에너지 소비 비용은 에너지 소비보다 농촌지역의 에너지 소비 상황을 더 잘 설명하는 것으로 나타났다. 에너지 소비 모델을 개발하기 위하여 농촌 가구 에너지 소비(q)와 에너지 소비 비용(c)을 유도하고자 한다. q 와 c 의 값은 가족 수(P), 집 면적(S), 경지면적(A), 연간 수입(M), 상수(ϵ) 등의 변량으로 결정하고 선형관계로 가정하면 식(2), (3)과 같다.

$$q = a_1P + a_2S + a_3M + a_4A + \epsilon \quad (2)$$

where, P : family
 M : annual yield (0.01million)
 a_i : influence coefficient ($i=1,..4$)
 S : home area (pyung)
 A : farming area (pyung)
 ϵ : constant

$$c = b_1P + b_2S + b_3M + b_4A + \epsilon \quad (3)$$

where, P : family

M : annual yield (0.01million)
 b_i : influence coefficient (i=1,..4)
 S : home area (pyung)
 A : farming area (pyung)

where, P : family
 M : annual yield (0.01million)
 S : home area
 A : farming area

2. 가족 에너지 소비 및 에너지 소비 비용 모델 작성

가족 수에 따른 에너지 소비와 에너지 소비 비용은, 가족 수 1~3명과 5~7명 일 때 단순 선형관계이므로, 에너지 소비 모델과 에너지 소비 비용 모델도 1~3명과 5~7명으로 SPSS를 통해서 분석하고자 한다. 분석 결과는 식(4), 식(5)와 같다. 식 (4)의 R^2 는 각각 0.232, 0.730이었고, 식 (5)의 R^2 는 각각 0.953, 0.980으로 회귀되었다.

① 가족 수 1~3명

$$\begin{aligned} q_1 &= 2426P + 817S + 12.07A + 22.1M + 76940 \\ c_1 &= 45.48P + 0.434S + 0.026A + 0.016M - 8.12 \end{aligned} \quad (4)$$

② 가족 수 5~7명

$$\begin{aligned} q_2 &= 63983P + 509S + 14.14A + 26.16M - 334954 \\ c_2 &= 25.45P + 0.903S + 0.036A + 0.075M - 169 \end{aligned} \quad (5)$$

where, P : family
 M : annual yield (0.01million)
 S : home area
 A : farming area

③ 가족 수 4명

가족 수가 4명일 경우는 자료가 부족하므로 직접 4인 가족의 자료를 분석하기 보다는 1~3명과 5~7명의 회귀선 평균으로 정했다.

$$\begin{aligned} q_3 &= 663S + 344A + 24.3M - 73131 \\ c_3 &= 0.669S + 0.031A + 0.046M + 53.3 \end{aligned} \quad (6)$$

3. 모델의 적합성 검토

조사 자료에 의하면 가족이 1명에서 3명인 가구가 총가구의 83%이고, 2명인 가구는 전체의 49%이다. 따라서 농촌지역의 가구 에너지 소비 및 에너지 소비 비용 현황은 1명에서 3명인 가구의 모델이 잘 반영된다고 판단된다.

4. 모델 검증

가. 민감도 분석

민감도 분석(sensitivity analysis)이란 ‘한 모형에서 변수(parameter)가 불확실할 때, 이 변수가 취할 수 있는 가능한 값들을 모두 대입하여 변수의 변화에 따라 결과가 어떻게 되는가를 분석하는 것’이다. 민감도 분석은 한 모델의 적합 정도와 그 모델의 예측 값의 믿을 수 있는 정도를 검토할 수 있다. 민감도 분석의 방법은 주로 간접 분석(interferometric analysis)을 사용한다. 모델은 계산할 때, 변수 값을 미소하게 변화시키고 다른 값을 고정하면, 이렇게 산출되는 값 y 와 y_0 의 비율을 민감도(I)라고 한다.

$$I = \frac{\Delta y / y_0}{\Delta x / x_0} = \frac{(y - y_0) / y_0}{(x - x_0) / x_0} \quad (7)$$

where, y : predictor variable(q, c),
 x : independent variable(P, S, A, M)

여기서, 민감도 I 가 크면 그것에 대응한 변수 x 의 변화에 따라 y 의 변화가 크다.

모델의 타당성을 검증하기 위해서 각 요소의 민감도를 분석하고자 한다. 식(7)에서 x 의 미소 변화를 1로 하면, 민감도 I 는 식(8)로 구할 수 있다.

$$I = \frac{\Delta y / y_0}{1 / \chi_0} = \frac{(y - y_0) / y_0}{1 / \chi_0} \quad (8)$$

민감도 계수는 Table 6과 같다.

Table 6 Sensitivity of effecting factor

Component	Family		Home area		Annual yield		Farming area	
	Energy	Cost	Energy	Cost	Energy	Cost	Energy	Cost
I	0.034	0.621	0.132	0.064	0.136	0.097	0.131	0.277

Table 6에서 에너지 소비 모델의 경우에는 가족 수의 민감도가 가장 낮고 다른 영향요소의 민감도는 비슷하게 나타났으므로, 가족 수의 변화는 다른 영향요소보다 가구 에너지 소비의 영향이 적은 것으로 판단되었다. 에너지 소비 비용의 경우에는 가족 수의 민감도가 가장 높고, 집 면적이 가장 낮은 것으로 나타났다.

나. 자료 검토

조사된 자료 중 모델 작성에 이용하지 않은 참값 7개와 작성된 모델을 이용해서 산출된 추정 값을 비교하고자 한다. 그 비교 결과는 Fig. 12, Fig. 13과 같다.

Fig. 12와 Fig. 13에서 x 축은 조사 값이고, y 축은 모델을 통해서 산출된 추정 값이다. 분포도를 보면 농촌 가구 에너지 소비 모델보다 농촌 가구 에너지 소비 비용 모델이 더 잘 일치하는 것을 알 수 있다.

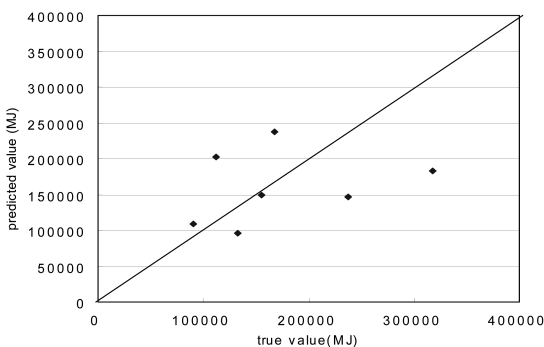


Fig. 12 Contrast between true value of energy consumption and predicted value calculated by model

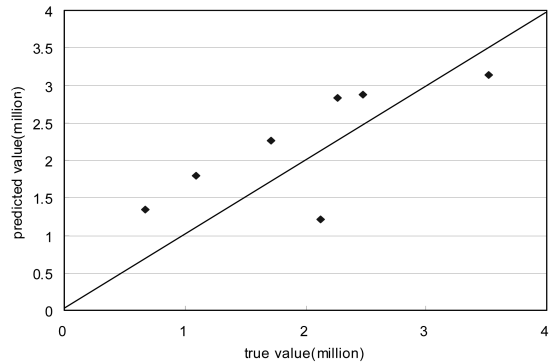


Fig. 13 Contrast between true value of energy consumption cost and predicted value calculated by model

5. 에너지 소비 및 에너지 소비 비용 추정 예

일반적인 농촌 지역에 한 가구가 가족 수(P) 2명, 집 면적(S) 20평, 경지면적(A) 1,000평, 연간수입(M) 1,000만원이라면, 작성된 모델을 사용한 이 가구의 연간 에너지 소비 및 에너지 소비 비용은 식(9), 식(10)과 같다.

$$q = 2426 \times 2 + 817 \times 20 + 12.07 \times 1000 + 22.1 \times 1000 + 76940 = 132302(MJ) \quad (9)$$

$$c = 45.48 \times 2 + 0.434 \times 20 + 0.026 \times 1000 + 0.016 \times 1000 - 8.12 = 133.5 \quad (10000won) \quad (10)$$

이 가구의 에너지원 별 필요량 및 비용을 비교하면 Table 7과 같다. 에너지 소비 비용은 가스-기름-전기-연탄-나무의 순으로 크게 나타났다. 전기가 지금은 비용 발생이 가스와 기름보다 적지만 상황에

Table 7 Predicting rural family energy consumption and energy consumption cost calculated by model

Materials	Electric	Oil	Gas	Coal	Wood
Usage Amount	22,582 (kWh)	2,161 (L)	80 (bottle)	1,159 (sheet)	6,013 (kg)
Cost (million)	1.51	1.72	2.07	0.31	-

따라 언제든지 증가할 가능성이 크다. 비용을 최대한 줄일 수 있는 방법은 나무를 많이 사용하는 것이다.

V. 결 론

충청북도의 농촌지역에 있는 자연 마을은 대상으로 에너지 소비 조사를 통해서 에너지 소비에 영향을 주는 주요 요소를 파악하였다. 각 요소 별로 에너지 소비에 주는 영향을 분석하였으며, 농촌 가구 에너지 소비 모델 및 농촌 가구 에너지 소비 비용 모델을 작성하였다.

1. 가구당 평균 에너지 소비는 $152 \times 10^3 \text{MJ}$ 로 나타났고, 년평균 에너지 소비 비용은 169만 원으로 나타났으며, 평균 가족 수가 1.9명, 평균 집 면적 21평, 평균 연간 수입 837만 원 등으로 나타났다.
2. 에너지원별 사용 현황은 나무-기름-전기-가스-연탄 순으로 나타났고 에너지 소비 비용 현황은 기름-전기-가스-연탄-나무로 나타났다. 농촌지역의 난방 종류 구성비 및 에너지원별 사용량의 추세를 보면 기름의 가격 상승에 따라 나무 사용량이 최근 증가되고, 앞으로 급격히 증가될 것으로 판단된다.
3. 다변량분석을 통해서 농촌 에너지 소비와 각 영향 요소의 상관성을 분석하였다. 가족 수에 따른 에너지 소비 현황은 가족 수 1~3명과 5~7명에서 선형관계가 나타났다. 가족 수 1~3명인 가구는 거의 노인들이기 때문에 수입이 없어서 공짜로 구할 수 있는 나무를 많이 사용하는 것으로 나타났다.
4. 모델의 타당성을 검토하기 위하여 모델의 각 영향 요소의 민감도를 평가 하였다. 조사된 자료 중 모델 작성에 이용하지 않은 7개의 참값과 작성된 모델을 이용해서 산출되는 추정값을 비교하였다. 그 결과 에너지 소비 모델보다 에너지 소비 비용 모델이 더 잘 맞는 것으로 나타났다.
5. 작성된 모델을 이용하여 농촌 한 가구의 예를 통해, 가구의 에너지 소비 및 에너지 소비 비용을 산출하였으며, 구체적인 비교를 위하여 산출된 에너지가 각 재료 별로 공급할 때 필요량 및 비용을 비교하였다. 에너지 소비 비용이 큰 순으로 가

스-기름-전기-연탄-나무로 나타났다.

6. 이 연구는 충청북도의 농촌지역을 대상으로 하여 모델 사용에 제한이 있으므로, 앞으로 전국 단위의 조사를 통하여 일반적인 모델이 개발되어야 한다.

이 논문은 2007년도 충북대학교 학술연구지원 사업의 연구비지원에 의하여 연구되었음. (This work was supported by the research grant of the Chungbuk National University in 2007)

References

1. Choi, K. R., 1992, A study on the appropriate role of solar energy considering unstability of depletable energy market, Solar Energy, 12(2), pp.79-86 (in Korean).
2. Jung, I. W. and S. C. Ko, 2004, A study on policy alternatives for major changes in the Korea's agricultural energy system, Korean J. of Extension, 11(2), pp.251-265.
3. Kim, J. K., H. M. Kim and S. J. Cho, 2004, A study on the principle of rural village planning process based on rural resources, Rural planning, 10(4), pp.29-37 (in Korean).
4. Kim, J. B., 1980, Analysis of rural energy consumption structure, Rural Economy, 5(3), pp.44-56 (in Korean).
5. Kim, J. S., 1980, Changes about agricultural energy consumption, Rural Economy, 3(4), pp.127-133 (in Korean).
6. Kim, K. H., Z. Louis., K. L. Don, H. K. Chin and S. S. Byung, 1995, Basic studies for the development of bioenergy, J. Kor. For. En, 15(1), pp.37-43 (in Korean).
7. Kyung, J. B., 2006, A national vision of the hydrogen economy and action plan, Journal of Energy Engineering, 5(2), pp.83-95 (in Korean).

8. Lee, J. S., M. H. Koh, W. K. Park and J. W. Ahn, 2003, Energy production using biomass in the EU, *Kor. J. Intl. Agri*, 15(3), pp. 172-178 (in Korean).
9. Jang, W. L., H. Yang, J. H. Hyo and K. L. Chang, 1993, A programme to build and to drive the regional energy planning system (REPS), *Society of Korea energy*, pp.64-68 (in Korean).
10. Rhee, G. H., J. J. Park and S. H. Rhee, 2006, Numerical analysis for variation of temporal temperature in traditional Ondol, *International Society of Ondol*, 5, pp.226-230 (in Korean).
11. Rhee, S. H., 2004, Korean traditional Ondol's present status and modernization view, *International Society of Ondol*, 3, pp.47-57 (in Korean).
12. Sang, S. L., K. L. Deok and U. P. Soo, 2004, Investigation analysis for transfer & induction of energy Conservation Technology, *Energy Engg, J.*, 13(1), pp.40-50.
13. Sun, J. Y., 2002, Sustainable development and energy policy in the 21st century, *J. Korea administration*, 36(3), pp.147-166 (in Korean).
14. Wang, J., S. H. Rhee and S. S. Yoon, 2006, A study about energy load of heating system in rural area, *International Society of Ondol*, 5, pp.305-311 (in Korean).
15. 에너지 통계 연보 <http://www.mocie.go.re.kr>
16. 한국 에너지 신문 <http://koenergy.co.kr>
17. 온실가스 관련 주요 통계 <http://www.me.go.kr>