

농업부문 에너지 소비량 및 탄소배출량 조사를 위한 표본설계 연구

은종호*, 양성준*, 최창환**, 김연중***, 김배성*

*제주대학교 산업응용경제학과

**베스트사이트

***한국농촌경제연구원 농산업혁신연구부

e-mail:ejh87@daum.net

A Research on the Sampling Design for Energy Consumption and Greenhouse Gas Emissions Survey in Agricultural Sector

Jong-Ho Eun*, Seong-Jun Yang*, Chang-Hwan Choi**, Yean-Jung Kim***, Bac-Sung Kim*

*Dept. of Applied Economics in Jeju National University

**BESTCite.

***Korea Rural Economic Institute

요 약

우리나라는 국가 온실가스 감축목표를 달성하기 위해 농림어업부문 감축목표를 5.2%로 할당하였다. 이를 위해서는 작물의 재배 또는 축종 사육 시 발생하는 온실가스 배출량 수준을 파악하는 것이 우선이 되어야 할 것이다. 본 연구는 이와 관련하여 농업부문 에너지 소비량과 탄소 배출량 현황을 파악하기 위한 신규 통계를 구축하기 위해 표본설계방법을 논의한다. 2016년에도 이와 같은 연구를 시행한 바 있지만, 본 연구는 2020년 새롭게 업데이트된 농업총조사 자료를 바탕으로 하였다는 데서 이전 연구와 차별성이 있으며, 각 연구들의 결과를 비교해보는 것도 의미가 있다. 총 5개 부문의 30개 품목을 대상으로 표본을 설계하였으며, 본 연구의 목적에 맞게 일부 품목에 대해서는 재배방식별로 구분하여 각각 표본설계를 시행하였다. 또한 모집단 내에서 경작면적이나 사육두수를 기준으로 총계에서 차지하는 비중이 적은 농가의 경우 통계적으로 유의한 수준 내에서 절사하였다. 이어 재배면적과 사육두수를 총화변수로 하여 품목별로 총 47개의 층으로 구분하였으며 네이만 할당법으로 품목별 총 표본 수를 결정되면 이를 다시 각 층별로 할당한다. 본 연구는 경기 지역의 배추 품목을 예로 들어 표본설계 방법을 제시하였으며, 이 표본을 이용한 추정결과를 2020 농업총조사의 추정결과와 비교해본 결과, 95% 신뢰수준 내에서 유의한 것으로 나타났다.

1. 서론

본 연구는 농업분야에서 작물의 재배 또는 축종 사육 시 발생하는 에너지소비량 파악에 있다. 농가수의 변동, 재배 및 사육규모, 에너지소비 등과 직접적으로 관련이 있는 변수들이 큰 작용을 하였다. 모집단은 2020년 농업총조사를 기준으로 하였기 때문에 2016년의 연구와 서로 다른 결과를 비교하는 것에 의미가 있다. 농업부문에서 에너지 소비는 농업·농촌의 소득 등에 직접적으로 연결되기 때문에 공급과 가격이 안정적으로 확보되어야 한다. 농업부문의 에너지 수급을 파악하고, 합리적인 정책을 제안하는 연구를 수행하기 위해서는 농가단위 에너지 소비량을 자세하게 파악할 필요가 있다. 또한 온실가스 감축이 국제적인 아젠다로 설정되어 국제협약을 통해 의무적으로 온실가스를 감축하고자 한다. 우리나라도 2020년까지 온실가스 배출량을 배출전망치 대비 30% 감축하

기로 하고 있다. 우리나라는 국가 온실가스 감축목표를 달성하기 위해 농림어업부문 감축목표를 5.2%로 할당하였다. 농업부문 온실가스 배출량은 작물의 생산 및 에너지 소비와 연관되어 있어, 농업부문 온실가스 배출량 감축 의무를 합리적으로 수행하기 위해서는 작물별 및 에너지원별 온실가스 배출량 수준을 파악할 필요가 있다. 따라서 본 연구는 농업부문 에너지 소비량과 이산화탄소 배출량 수준을 파악하기 위해 표본설계를 기준으로 삼고, 추정치의 오차를 줄이고, 신뢰수준을 높일 수 있는 방법을 제시하고자 한다.

2. 농업분야의 품목 및 축종별 표본설계

2022년 농업부문의 에너지 소비실태 조사를 위한 모집단은 2020년에 진행한 농업총조사 자료를 기준으로 하였다. 본 연구의 목적인 농업분야 에너지 소비와 관련하여 영향이 큰 변수는 계절 요인이라 할 수 있으나, 조사가 연단위로 이뤄지고 있어 봄, 고랭지, 가을, 월동 등 작형별로는 구분하지 않았다.

그러나 에너지 활용과 보다 직접적으로 관련이 있는 시설과 노지 구분하여 기준으로 삼았다. 본 연구에서 가장 직접적으로 사용한 원자료는 2020년 농업총조사 자료이며, 한국농촌경제연구원, 농림축산식품부, 통계청 등의 국가 기관에서 발표한 최신 자료를 보조자료로 이용하였다.

[표 1] 표본설계 대상 품목 또는 축종

곡물	밭	콩
채소	배추(시설), 배추(노지) 무(시설), 무(노지) 고추(시설), 고추(노지) 당근 양배추	감자 양파 마늘 대파(노지) 버섯(시설), 버섯(노지)
과일	사과 배 복숭아	포도(시설), 포도(노지) 감귤(시설), 감귤(노지) 단감
과채	오이(시설), 오이(노지) 수박(시설), 수박(노지) 딸기(시설)	호박(시설), 호박(노지) 참외(시설) 토마토(시설)
축산	한우 젓소 돼지	육계 산란계 오리

본 연구대상인 품목 및 축종별로 모집단에 대한 정의를 확정한 후, 다음으로 직접적으로 접근이 가능한 집단인 표집추출틀(Sampling Frame)을 설정하였다. 최종 응답을 통해 자료로 활용되는 표본들은 이 표본추출틀로부터 추출하는 것이다. 좋은 표본추출틀은 모집단과 동일한 것이 가장 이상적이거나 조사를 위한 표본의 접근가능성 등 여러 이유로 동일하게 설정하기가 쉽지 않다. 2020년 농업총조사 자료를 분석한 결과 왜도가 심한 품목은 통계적으로 유의한 범위 내에서 규모를 절사하였고, 또한, 광역을 기준으로 비중이 낮은 지역은 제외하고, 주산지를 중심으로 설정하였다.

2.1 규모를 기준으로 한 절사

2020년 농업총조사 결과자료를 각 작물의 재배 면적을 기준으로 살펴보면 소규모 농가의 수가 많은 것으로 나타났다. 따라서 응답의 효율성과 대표성 등을 고려하여 모집단 내의 경작면적이나 사육두수를 기준으로 총계에서 차지하는 비중이 적은 농가를 통계적 유의수준 범위 내에서 절사하였다.

본 연구의 대상 품종인 30개 품목 중 배추(노지)를 예로 들어 설명하면 다음과 같다. 전체 배추 재배농가의 모집단 수는 $N=138,394$ 농가이며, 총재배 면적은 22,236.50ha로, 배추 경작농가당 평균 경작면적은 0.1607ha로 조사되었다. 배추 경작농가의 최소 재배면적인 0.0001ha부터 최대 재배면적인 100.00ha까지 크기순으로 정렬했을 때 하위 누적 25%에 해당하는 농가가 0.0165ha 이하를 재배한다는 것을 의미한다. 배추 재배면적을 기준으로 가장 농가수가 많은 최빈치는 0.0331ha, 농가수는 32,300농가로 나타났다. 전체 배추 재배농가의 23.3%에 해당하는 것이다. 그러나 이를 재배면적을 기

준으로 살펴보면 0.0331ha를 재배하는 32,300농가들의 경작면적이 총 1,069.13ha로 우리나라 배추 전체 경작면적 22,236.5ha의 4.8%에 해당한다. 즉, 농가수로는 23.3%가 되지만 경작면적으로는 4.8%에 지나지 않는다. 따라서 모집단의 총계 추정이 연구의 목적인 경우 이들 소규모 재배 농가를 조사 모집단에서 제외한다고 해도 추정에는 큰 무리가 없다. 이와 같은 관점에서 경작 면적을 누적한 결과 경작면적 0.0332ha 미만을 절사할 경우 조사모집단의 크기는 목표모집단의 91.5%에 해당하는 반면 조사모집단의 농가수는 138,394 가구에서 51,023가구로 크게 감소된다. 이는 모집단의 수치를 통계적으로 추정하는 목적에도 부합하고, 표본의 크기를 줄일 수 있을 뿐만 아니라 배추 재배의 신규 혹은 폐업 가능성이 상대적으로 높은 소규모 경작 농가들의 조사 무응답 발생을 사전에 배제하는 효과를 줘 비표본오차를 줄일 수 있다. 다른 작물이나 축산 품목을 살펴볼 때, 농가수 감소와 농가인구의 고령화로 인해 이들 농가들의 평균 면적이 점진적으로 증가하고 있으며, 일반 제조업 시장처럼 양극화가 이루어지고 있다. 다시 말해서 재배면적 또는 사육두수가 적은 농가는 점점 폐업하거나 재배 품목을 쉽게 변경할 수 있고, 그 면적이나 규모를 확대하여 기업화되어 대형화되어 가고 있다.

3. 품목의 층 결정

본 연구의 목적은 농축산부문의 에너지 사용량의 총계 추정으로, 이는 재배면적 또는 사육두수와 절대적 관계가 있기 때문에 이 변수를 층화 변수로 이용하였다. 각 품목별 층의 크기는 4개에서 7개로 결정하였다. 이러한 절차는 농촌경제연구원의 농업관측 품목별 표본농가의 표본설계를 참고로 하였다. 각 층의 크기는 신뢰구간의 적절한 수준과 실제적으로 조사를 진행할 수 있는 표본수를 결정하는데 최적의 층 수로 결정하였다. 각 층의 경계는 $CUM\sqrt{f(y)}$ 의 방법을 이용하였다. 층의 경계를 수식으로 표현하면 다음과 같다.

$$L_1 = \frac{\sum_{i=1}^k \sqrt{f_i}}{L} \quad L_2 = \frac{2\sum_{i=1}^k \sqrt{f_i}}{L} \quad \dots \quad L_{L-1} = \frac{(L-1)\sum_{i=1}^k \sqrt{f_i}}{L}$$

(여기에서 L 은 층의 수, L_1 은 첫 번째 층과 두 번째 층의 경계점임.)

배추의 층 경계를 구하기 위해 재배면적 0.0332ha 미만의 농가를 절사하였고, 배추의 0.0332ha 이상의 농가 수는 51,023 농가이며, 총 재배면적은 20,339,742.3ha이다. 배추의 재배면적이 0.0332ha인 경우 각 재배면적별 농가수의 제곱근을 구하면 이들의 총합($\sum_{i=1}^k \sqrt{f_i}$)이 3691.637이 된다. 이를 7개의 층으로

구분하면 다음과 같다. 층 1과 층 2의 경계는 다음과 같으며,

$$L_1 = \frac{\sum_{i=1}^k \sqrt{f_i}}{7} = \frac{3,691.637}{7} = 527.337$$

층 2와 층 3의 경계는 다음과 같이 구할 수 있다.

$$L_2 = \frac{2 \sum_{i=1}^k \sqrt{f_i}}{7} = 2 * \frac{3691.637}{7} = 1054.753$$

한편, 마지막 층 6과 층 3의 경계는 다음과 같이 구하게 된다.

$$L_6 = \frac{6 \sum_{i=1}^k \sqrt{f_i}}{7} = 6 * \frac{3,691.637}{7} = 1,582.130$$

층 1과 층 2의 경계점(527.337)을 살펴보면 농가수의 누적 제곱근 526.535와 527.535 사이에 있음을 알 수 있다. 따라서 정확한 층 1과 층 2의 경계점은 527.337이 조금 더 가까운 527.535(0.0608ha 미만)로 정했다. 또한, 층 2와 층 3의 경계점은 1054.674로 누적제곱근 1051.841과 1127.703의 사이에 존재하게 되는데, 1054.674가 좀 더 가까운 1051.841을 경계로 하여, 2층의 급간0.0608~0.0991ha로 정했다. 이와 같은 방법으로 나머지 층의 경계선도 결정하였다. 재배 면적을 기준으로 절사한 후 0.0332ha부터 국내 최대의 배추 재배 면적까지 층을 구분할 수 있다.

4. 네이만의 최적할당

본 연구의 대상 품목 또는 축종별로 한국농촌경제연구원의 과거 연구를 참고하여 층의 수와 각 층별 경계를 결정한 후, 표본설계에서 일반적으로 사용되는 신뢰수준(95%)과 허용오차(±0.05)를 활용하여 품목별 층 표본수를 네이만의 할당방식에 따라 정했다. 표본크기 결정은 네이만 할당법을 이용하여 다음과 같은 결정식에 의해 진행하였다.

$$n = \frac{(\sum_{h=1}^L N_h S_h)^2}{N^2 D + \sum_{h=1}^L N_h S_h^2}$$

식에서 n 은 총 표본의 크기이며, n_h 는 h 층의 표본 크기이고, N_h 는 h 층의 부모집단 크기이고, W_h 는 h 층의 가중치이며, S_h 는 h 층의 모표준편차이고, N 은 모집단의 크기이다.

표본의 결정식에 의해 경기지역 배추 재배 농가의 표본수를 구하면 다음과 같다.

$$n = \frac{275.822^2}{915.392^2 \times 0.00065077 + 555.6011} = 69 \text{개 표본결정}$$

경기지역 배추의 층 표본의 수가 결정되었으므로 각 층별로 표본 수에 대한 할당을 정해야 한다. 본 연구의 관심변수가 면적으로 한 가지이고, 층별 크기와 층별 분산이 서로 다르기 때문에 네이만의 최적할당방법이 표본의 변동계수를 감소하는 효율적인 방법이 된다. 네이만의 층별 최적할당식을 이용할 때, 층별 표본크기 n_h 은 다음과 같다.

$$n_h = n \times \frac{W_h S_h}{\sum_{h=1}^L W_h S_h} = n \times \frac{N_h S_h}{\sum_{h=1}^L N_h S_h}$$

여기에서 n_h 는 h 층의 표본 크기이며, n 은 총 표본의 크기이며, W_h 는 h 층의 가중치이며, S_h 는 h 층의 모표준편차이고, N_h 는 h 층의 부모집단 크기이다. 각 층별로 위의 계산식을 적용하게 되면 다음과 같다.

$$n1 = 69 * \frac{5.460}{275.822} = 1 \text{개의 표본농가}$$

$$n2 = 69 * \frac{15.425}{275.822} = 4 \text{개의 표본농가}$$

$$n3 = 69 * \frac{20.138}{275.822} = 5 \text{개의 표본농가}$$

$$n4 = 69 * \frac{22.486}{275.822} = 5 \text{개의 표본농가}$$

$$n5 = 69 * \frac{22.960}{275.822} = 6 \text{개의 표본농가}$$

$$n6 = 69 * \frac{27.495}{275.822} = 7 \text{개의 표본농가}$$

$$n7 = 69 * \frac{161.858}{275.822} = 41 \text{개의 표본농가}$$

[표 2] 배추(노지) 재배 표본농가의 최적할당(경기지역)

층	초 배재면적	S_h	N_h	$N_h S_h$	할당 표본수
1	53.494	.00	1099	5.460	1
2	179.803	.01	2655	15.425	4
3	152.717	.01	1435	20.138	5
4	143.932	.03	794	22.486	5
5	121.318	.07	335	22.960	6
6	92.0286	.26	105	27.495	7
7	172.097	3.37	48	161.858	41
계	915.392		6471	275.822	69

5. 추정

본 연구에서 표본추출을 위해 주로 사용한 배추를 이용하여 농업총조사의 결과와 추정결과를 비교해 보려한다. 특정 지역내 재배면적을 추정하기 위해 경기지역의 배추 재배면적

을 예로 추정해보면 다음과 같다. 경기지역의 총 배추 농가 중에서 0.0332ha미만의 부모집단 수는 6,741농가이다. 이들이 재배하고 있는 총 면적은 915,392ha이며, 호당 평균 재배면적은 0.1415ha이다. 경기지역의 배추 표본을 층별로 살펴보면, 1층 1농가, 2층 4농가, 3층 5농가, 4층 5농가, 5층 6농가, 6층은 5농가, 마지막으로 7층은 41농가이다. 임의로 표본농가를 선정하여 재배면적을 조사한 후 경기지역의 총 재배면적이 어떻게 되는지 추정할 수 있다. 표본추출된 경기지역의 배추 농가의 층별 평균 재배면적을 실제 농가수를 적용하는 방식으로 총 재배면적을 추정하면 933,516ha로 나타났다. 이는 실제 자료에서의 총 재배면적인 915,393ha보다 1.98% 증가된 수치이다. 이를 바탕으로 계산한 변동계수 역시 0.76으로 크지 않은 것으로 나타났다. 전국의 배추(노지) 재배면적 추정은 경기 지역 재배면적 추정과 같이 지역별로 계산한 후 더하면 된다. 결과적으로 새로 설정된 표본조사를 통해 추정된 배추 재배면적 추정치는 신뢰수준 95% 하에 허용오차 5%의 유의성을 보인다.

6. 결론 및 시사점

2010년 대비 2020년의 농가수, 영농규모의 변화를 살펴보면 쌀의 경우 2010년 조사결과 777,453농가에서 538,929농가로 약 238,524농가 감소한 것으로 나타났고, 재배면적도 2010년 830,037.5ha에서 2020년 596,408.7ha로 감소한 것으로 나타났다. 농가수는 30.7%, 재배면적은 28.1% 감소한 것으로 나타났는데 이는 소규모 경작농가가 비 재배를 여러 가지 이유로 포기하는 경우가 더 많다고 해석할 수 있다. 이러한 농가수나 영농규모의 감소는 쌀, 콩 등의 곡물, 채소, 과일, 축산 등 거의 모든 작물, 축종에서 나타나는 현상이다. 대부분 농가수, 영농규모가 축소되는 상황에서 오히려 고추(시설), 감귤(시설)의 경우는 농가수가 증가한 것으로 나타났으며, 육계의 경우는 2010년 대비 2020년 사육두수가 크게 늘어난 것으로 나타났다.

표본설계 시 고려할 농가나 지역의 영농규모 기준도 2020년 농업총조사 자료를 활용하여 재설정하였다. 영농규모 절사기준으로 설정한 5%이하의 소규모 농가, 1%이하의 지역(광역시도)에 대한 적용을 초기 설정 기준에 보다 정확하게 최대한 부합시키고자 하였으며, 결과적으로는 어떤 품목에서는 절사기준이 2010년보다 낮아기도 하였고, 때로는 높아진 결과를 보였다. 따라서 쌀의 경우 최종 표본설계결과 2010년 표본수가 2,017표본에서 이번 설계에서는 1,817표본으로 축소된 결과를 보였으며, 배추의 경우는 2010년 기준 1,089표본에서 2020년 기준 1,535표본으로 증가된 결과를 보였다.

농업부문 에너지 소비량을 조사하기 위해 2020년의 자료를

이용하였고, 2010년 비교하였다. 이는 앞서 결과에서 보는 바와 같이 서로 다른 연도를 비교 분석하는 것은 상당한 의미가 있는 것으로 보인다. 그러나 표본조사에서 발생하는 오차와 무응답 관리 등은 여전한 숙제로 남고 있어 합리적인 표본 설계 및 오차를 줄이는 연구가 지속적으로 진행되어야 할 것으로 보인다.

참고문헌

- [1] 이해정, 오미애, 이민경, 손창균, 박승환, 진재현, 염아림, 전국 단위 실태조사 표본설계 효율화 방안 연구-장애인 실태 조사를 중심으로, 한국보건사회연구원, 10월, 2020년.
- [2] 박재우, 신기일, “층화표본추출법에서 층별 표본규모 결정에 관한 연구”, 통계연구, 제 25권 3호, pp. 32-53, 2020년.
- [3] 이인규, 박민규, “층화표본에서의 표본 배분에 대한 연구”, 응용통계연구, 제 28권 6호, pp. 1047-1061, 2015년.
- [4] 이상은, 조민지, 신기일, “절사표본에서 최적 절사점에 관한 연구”, 응용통계연구, 제 27권 3호, pp. 501-512, 2014년.
- [5] 류제복, 한근식, 이기성, “농촌통계조사를 위한 복합 표본 설계”. 한국자료분석학회, 제 9권 3호, pp. 1485-1500, 2007년.