

바이오에탄올 생산이 국제옥수수 가격에 미치는 영향분석

미국 옥수수 시장을 중심으로

윤범석*

키워드

바이오에탄올(bio-ethanol), 미국 옥수수 가격(US corn price), 3단계 최소자승법(3SLS)

요약

본 연구의 목적은 미국 옥수수 가격 변화에 대한 바이오 에탄올 생산의 영향 정도를 규명하고 향후 미국 옥수수 가격 변화를 전망하는 데에 있다. 이를 위해 13개 방정식으로 구성된 미국 옥수수 가격 모형을 구축하고 추정된 모형을 통해 장·단기 탄력성 추정치 분석, 에탄올 생산 변동에 따른 미국 옥수수 가격의 동태적 변화 분석 및 2012년 4분기까지의 미국 옥수수 가격 예측치 전망이 수행되었다. 연립방정식 추정을 위해 3단계 최소자승법(3SLS: three-stage least squares)이 사용되었고, 분석 자료로서 1995년 2분기(9월~11월)부터 2008년 2분기(9월~11월)까지 13년간(53분기) 분기별 자료가 사용되었다. 연구결과 에탄올 생산은 미국 옥수수 시장 내 여러 변수들에 유의미한 영향을 미치고 있었으며 그 영향정도는 과거보다 증가한 것으로 나타났다. 또한, 미국 옥수수 가격은 2010년 이후부터 높은 수준의 균형가격이 형성될 것으로 전망되었다. 본 연구의 결과는 미국 옥수수 가격 예측 설명변수로서 에탄올 생산 변수가 활용될 수 있도록 하는 이론적 근거와 시사점을 제공한다.

차례

- | | |
|------------------|------------|
| 1. 서론 | 4. 분석 결과 |
| 2. 분석 모형 | 5. 요약 및 결론 |
| 3. 분석 자료 및 추정 방법 | |

* 서울대학교, 현재 한국농촌경제연구원 연구원.

1. 서론

옥수수를 원료기반으로 하는 에탄올은 온실가스 감축을 위한 새로운 대체에너지원으로 미국을 중심으로 생산이 해마다 크게 증가하여 왔다. 2008년 미국의 생산량은 79억 갤런(gallon)으로 전년도에 비해 30% 증가하였고, 2000년 생산량 16억 갤런에 비해서는 무려 4.5배나 증가하였다. 연료용 옥수수 소비량은 2008년 현재 23억 부셸로 2000년 대비 약 4배 증가하였으며, 그 결과 미국 전체 옥수수 소비량의 약 25.4%를 차지하고 있는 상황이다. 더욱이 미국 연방차원에서는 재생에너지 최소 의무 사용을 규정¹하면서 향후 에탄올 생산에 사용되는 옥수수 소비는 더욱 증가할 것으로 전망되고 있다(RFA: Renewable Fuel Association, 2008).

한편, 에탄올 생산 증가, 이에 따른 연료용 옥수수 소비 증가는 미국 옥수수의 가격 상승으로 이어져 국내 배합사료 산업 및 축산업계에 큰 어려움을 주고 있다². 미국 옥수수 가격³은 2005년 1분기 부셸당 1.89달러에서 2008년 2분기⁴ 현재 3.62달러까지 상승하였고 2007년 4분기에는 6달러까지 상승한 바 있다. 따라서 에탄올 산업 및 생산 변화를 예측하고 이에 대한 미국 옥수수 시장 변화를 분석하는 일은 미국 옥수수 가격 변화의 조기 감지를 통해 국내 배합사료 산업 및 축산업계의 대책마련에 신속을 기할 수 있다는 점에서 그 중요성이 크다고 볼 수 있다.

본 연구는 미국 옥수수 가격 변화에 대한 바이오 에탄올 생산의 영향 정도를 규명하고 향후 미국 옥수수 시장을 전망하는 것을 목적으로 한다. 이를 위해 미국 옥수수 가격모형을 구축하고, 추정된 모형을 바탕으로 바이오 에탄올 생산이 미국 옥수수 시장에 미치는 영향을 분석함과 동시에, 향후 미국 옥수수 시장 및 가격을 전망하는데 초점을 둔다.

바이오 연료 생산 증가가 전 세계적인 이슈가 되면서 에탄올 생산에 초점을 두며 미국 옥수수 시장에 대한 영향을 분석한 연구도 최근 늘어나고 있다. Ferris and Joshi(2004)는 2010년까지 에탄올 생산을 46억 갤런이라 가정할 때 2007년 옥수수 가격은 18% 증가할 것이라 예상하였고, Taylor et al.(2006)은 시뮬레이션 모델을 통해 에너지 법안(2005 Energy Bill)에 기초한 2014년 바이오 에탄올 70억 갤런 생산량을 가정

1 신재생에너지 연료 사용기준(RFS: the renewable fuel standard)과 이를 수정·확장한 에너지 독립 및 안보법(the Energy Independence and Security Act of 2007)

2 한국농촌경제연구원, 농협경제연구소 등등

3 시카고 선물거래소 Yellow Corn 2등급

4 2008년 12월~2009년 2월

하면 옥수수 가격은 부셸당 2.46달러에 이를 것이라 예측하였다. Elobeid et al.(2006)은 에탄올 산업의 수지 균형점을 고려할 때 에탄올 사업자가 옥수수 원료에 대해 지불할 수 있는 가격은 부셸 당 4.05달러라고 보았고, Tokgoz et al.(2007)은 바이오 에탄올 생산을 반영하더라도 미국 농업의 유연성에 의해 2011년 옥수수 가격은 3.40달러에 형성될 것이라 전망하였다. Fortenbery and Park(2008)은 에탄올 생산이 증가함에 따른 미국 옥수수 가격의 변화율을 탄력성 추정을 통해 분석하였는데, 계측된 옥수수 가격의 에탄올 생산 탄력성은 0.16으로 현재의 옥수수 가격 변화를 설명하기에는 도출된 수치가 미미하며 오히려 투기적 수요가 최근의 곡물가 상승의 주요 원인이라 설명하고 있다.

하지만 2008년 현재 바이오 에탄올은 이미 79억 갤런이 생산되었고 2007년 에너지 독립 및 안보법은 2022년까지 바이오 연료 소비량을 연간 360억 갤런으로 규정하여 과거 연구에 사용된 에탄올 생산량에 대한 가정이나 이에 따른 옥수수 가격 전망은 다시 이루어질 필요가 있다. 이에 본 연구는 최근의 미국 에탄올 산업 정책 및 에탄올 생산에 영향을 미치는 제반 요인들을 모형에 반영하여, 에탄올 생산 가정 및 미국 옥수수 시장 분석·전망에 좀 더 현실성을 가하도록 하였다.

연구 범위는 옥수수를 주원료로 하는 에탄올은 거의 전량 미국에서 생산되고, 국내 사료용 옥수수 대부분이 미국에서 수입되고 있다는 점에서 미국 바이오 에탄올 산업 및 미국 옥수수 시장에 한하여 분석을 실시하였다. 수요측면에서는 크게 사료용, 연료용, 수출용, 기타 수요 등으로 구분하여 접근하였고, 미국 축산업 및 축산물 시장, 바이오 에탄올 산업 및 관련 정책변수 등을 고려하여 기존의 연구 범위를 보다 확장하였다.

본고의 구성은 다음과 같다. 제2장에서는 분석에 활용할 에탄올 생산-미국 옥수수 가격 결정 모형을 구축하고 제3장은 추정에 사용된 자료 및 추정방법을 설명한다. 제4장은 추정 및 분석 결과에 대해 설명하며, 제5장은 분석결과를 요약하고 결론을 내린다.

2. 분석 모형

본 장에서는 영향 분석 및 전망의 기초가 되는 미국 옥수수 가격 구조 모형을 구축한다. 장기 전망에는 주로 연도별 자료와 함께 시계열(Time series)분석이 사용되고 있으나 변수 간 인과관계 계측, 탄력성 측정 및 단기 예측에는 구조 계량 모형이 더 적당하다고 볼 수 있다. 옥수수는 연간 1회 수확되기 때문에 연도별(annual) 자료를 사용하는 것이 일반적이지만 이 경우 통계적으로 신뢰할 수 있는 결과를 얻기 위해서는 비교적

긴 기간의 자료가 필요하다. 에탄올 연료용 옥수수 수요가 급증하기 시작한 것은 2005년도 이후부터로 에탄올 수요에 민감하지 않은 오래 전 자료를 사용할 경우, 현재 옥수수 시장 구조에는 적합하지 않을 수 있다. 따라서 본 연구는 1995년 이후의 비교적 최근 자료를 모형 추정에 사용하였고, 분기별 모형을 통해 부족한 표본 크기의 문제를 해결하였다.

본 연구에 사용된 자료와 모형은 Fortenbery and Park(2008)의 연구를 기초로 한다. 그러나 이들 연구에서 외생 변수(exogenous variable)로 처리된 에탄올 생산량과 가축 사육량 변수를 내생 변수(endogenous variable)화 하였고, 기대(expectation) 등 농산물 가격결정 이론을 도입하여 옥수수 공급함수, 사육량 함수를 구축하였다. 또한 탄력성 계측과 함께 옥수수 가격 전망도 가능하도록 로그 변환 자료 대신 변수들 간의 선형함수관계를 분석하였다. 이들 연구보다 더 최근 자료까지 반영하였으며, 그 외 몇 가지 구체적인 변수 사용방식에 있어서도 Fortenbery and Park(2008)와는 차이가 있다.

2.1. 미국 옥수수 공급함수

매 분기 옥수수 공급량은 전기 재고 이월량과 이번 기 생산량의 합으로 구성된다. 옥수수 수확은 연간 1회, 미국 곡물연도의 1분기(9월~11월)에만 이루어지기 때문에 1분기 공급량은 전기 재고 이월량과 생산량의 합이 되고, 나머지 분기의 공급량은 전기 재고 이월량이 그대로 각 분기의 공급량이 된다.

옥수수는 1년을 주기로 매년 1분기에 수확이 이루어지므로 분기별 옥수수 공급량은 당해 연도 옥수수 생산량에 의해 크게 결정되며, 매년 옥수수 생산 계획량은 수확될 시점의 옥수수 기대가격(P_t^e)에 따라 결정된다. 옥수수 기대가격은 t-1기에 형성된 t기 인도분 옥수수 선물가격 자료가 활용될 수 있고(Subotokik and Houck, 1982), 거미집 모형(Cobweb model)에 근거하여 단순히 전기 가격 P_{t-1} 이 활용될 수도 있다(Fortenbery and Park, 2008). 선물가격의 경우, Spot 자료가 아닌 과거자료는 얻기가 어려우며, 다양한 선물 가격자료들이 있기 때문에 대표가격 선정의 어려움이 존재한다. 그렇다고 해서 공급량이 전기의 절대적 가격 수준만 결정된다고 보기도 어렵다. 따라서 본 연구에서는 거미집 모형에 비해 좀 더 정교하고 농산물 공급량 추정에 널리 사용되고 있는 적응적 기대모형(adaptive expectation model)을 사용하여 매 분기 옥수수 공급량을 추정하였다.

$$S_t = \alpha\gamma + \beta\gamma P_{t-4} + (1-\gamma)S_{t-4} + u_t - (1-\gamma)u_{t-1}^5$$

(단, $\beta > 0$, $0 < \gamma < 1$, u_t 는 확률변수)

적응적 기대모형의 기본적인 틀은 위와 같으며, γ 가 0에 가까울수록 기대가격으로 P_{t-4} 에 가중치가 주어져 거미집 모형에 접근하는 구조를 가지고 있다. 또한 분기별 모형이기 때문에 4분기 후 가격을 예상하고 옥수수 생산량을 계획하므로 이전 가격으로서 P_{t-1} 대신 P_{t-4} 를 사용하였다.

또한 옥수수 가격 결정 모형에서 고려해야 할 변수로 국제유가(P^{oil})가 있다. 국제유가는 크게 두 가지 경로로 옥수수 시장에 영향을 준다(배정환, 2008). 첫째는 공급측면에서 농약, 화학비료, 농기계 연료 가격 등 생산비를 변동시키고, 둘째는 수요측면에서 대체 연료인 에탄올 생산에 변동을 주어 옥수수 소비에 영향을 주게 된다. 본 연구에서도 양 측면에 의한 영향을 모두 모형에 반영하였고, 공급함수에 있어서도 4분기 전 국제유가(P_{t-4})가 당해 연도 옥수수 생산량에 영향을 준다고 가정하고 모형을 구축하였다.

한 가지 더 고려해야 할 점은 미국 옥수수 공급은 미국 농업 정책에 의해 큰 영향을 받고 있다는 점이다. 1990년대에는 1985년 식량안전보전법(Food Security Act)에 의해 시장이 활성화되고 옥수수 시장가격은 수급상황에 따라 결정되었다. 그러나 2002 농업법을 통해 목표가격과 가격보전직접지불제도 등이 도입되면서 이후부터의 옥수수 수급은 시장수급상황보다 많은 양의 공급이 이루어지게 되었다. 더욱이 2008 농업법에서는 농가소득 안정화 정책기조를 더욱 강화하게 되면서 생산성, 생산비 등 공급측면의 다른 요인에 변동이 없다면 생산자들의 과다공급 경향은 앞으로도 지속될 것으로 보인다. 따라서 본 연구에서는 더미변수인 정책변수를 도입하여 과다공급 문제를 해결하고자 하였다. 생산량 측면에서 영향을 받게 되는 시점인 2004년 1분기부터 현재까지는 자료 값을 1로 처리하였고 그 이전 기간은 0으로 처리하였다.

이상의 의견을 종합하여 다음과 같은 공급함수를 추정하였다.

$$(1) \quad S_t = \alpha_{s0} + \alpha_{s1}P_{t-4} + \alpha_{s2}S_{t-4} + \alpha_{s3}P_{t-4}^{oil} + \alpha_{s4}SP_t + \alpha_{s5}D_1 + \alpha_{s6}D_2 + \alpha_{s7}D_3 + \epsilon_{st}$$

(단, SP_t 는 정책변수, D_i 는 i 번째 분기를 나타내는 더미변수이고, ϵ_{st} 는 확률변수.)

⁵ $P_t^e - P_{t-1}^e = \gamma(P_{t-1} - P_{t-1}^e)$ 를 가정하고, 이를 공급방정식 기본 형태인 $S_t = \alpha + \beta P_t^e + u_t$ 에 대입하여 도출된 결과임.

1년 전 옥수수 가격(P_{t-4})이 오르면 당해 연도 옥수수 생산이 늘어 옥수수 공급(S_t)은 증가하고($\widehat{\alpha}_{s1} > 0$), 1년 전 국제유가가 오르면 생산비 증가로 공급량은 줄어들 것이다($\widehat{\alpha}_{s3} < 0$). 또한 지원정책(SP_t)을 통해 t기 옥수수 공급량은 늘어날 것이고($\widehat{\alpha}_{s4} > 0$), 적응적 기대 모형의 구조상 1년 전 공급량 변수(S_{t-4})의 추정계수의 값은 0과 1사이가 될 것이다($0 < \widehat{\alpha}_{s2} < 1$). 미국 옥수수 공급함수는 1개의 내생변수(S_t)와 7개의 외생변수(P_{t-4} , P_{t-4}^{oil} , S_{t-4} , SP_t , D_t)로 구성된다.

2.2. 미국 옥수수 수요함수

미국 옥수수 소비량 자료는 축산사료용 소비(F_t), 수출용 소비(EX_t) 그리고 에탄올 생산용 소비가 포함된 식품·주류·산업용 소비(FAI: food, alcohol and industrial use) 등 3가지 형태로 집계되며, Fortenbery and Park(2008)의 연구에서도 3가지 변수를 통해 옥수수 수요를 설명하였다. 하지만 본 연구에서는 연료용 소비 전망을 직접적으로 살펴볼 수 있도록 식품·주류·산업용 소비(FAI)를 연료용 소비($Fuel_t$) 그리고 기타소비(Etc_t)로 나누어 총 4가지 변수로 옥수수 수요함수를 설명하였다.

2.2.1. 사료용 옥수수 수요(F_t)함수

사료용 옥수수 투입량과 기타 투입물 사용량을 각각 F_t , X_t , 축산물 가격을 P_t^A , 그리고 생산함수를 $f^A(F_t, X_t)$ 라 하면, 그 이윤은 $P_t^A f^A(F_t, X_t) - P_t F_t - P_t^X X_t$ 로 나타낼 수 있으며, 다음과 같은 축산 농가 및 기업의 이윤극대화 모형으로부터 미국 사료용 옥수수 수요함수를 도출할 수 있다.

$$\max_{F_t, X_t} P_t^A f^A(F_t, X_t) - P_t F_t - P_t^X X_t$$

따라서 사료용 옥수수 소비량(F_t)은 옥수수 가격, 축산물 가격 등에 의해 결정되며, 본 연구에서는 축산물의 가격을 반영하는 변수로서 소(CA_t), 돼지(H_t), 닭(B_t)의 사육두 수 자료를, 사료용 옥수수 대체 투입요소로서 대두박(soybean meal) 가격(P_t^{SM}) 자료를 모형 구축에 활용하였다. 미국 사료용 옥수수 수요함수 추정식은 다음과 같다.

$$(2) \quad F_t = \alpha_{f0} + \alpha_{f1} P_t + \alpha_{f2} P_t^{SM} + \alpha_{f3} CA_t + \alpha_{f4} H_t + \alpha_{f5} B_t + \alpha_{f6} D_1 + \alpha_{f7} D_2 + \alpha_{f8} D_3 + \epsilon_{ft}$$

옥수수 가격(P_t)이 오르거나, 사료용 곡물 대체제인 대두박 가격(P_t^{SM})이 내리면 사료용 옥수수 소비량(F_t)은 줄어들 것이며($\hat{\alpha}_{f1} < 0, \hat{\alpha}_{f2} > 0$), 가축 사육량이 늘어나면 옥수수 소비량은 늘어날 것이다($\hat{\alpha}_{f3} > 0, \hat{\alpha}_{f4} > 0, \hat{\alpha}_{f5} > 0$). 미국 사료용 옥수수 수요함수는 5개의 내생변수(F_t, P_t, CA_t, B_t, H_t)와 4개의 외생변수(P_t^{SM}, D_t)로 구성된다.

가축 사육량 함수

사료 곡물용 옥수수 투입량과 기타 투입물 사용량을 각각 F_t, X_t , 축산물 가격을 P_t^A , 기타 투입물 가격을 P_t^X , 그리고 가축 사육량을 $Q_t^A = f^A(F_t, X_t)$ 라 하면, 그 이윤은 $P_t^A Q_t^A - P_t F_t - P_t^X X_t$ 로 나타낼 수 있으며, 앞서 살펴본 축산 농가 및 기업의 이윤극대화 모형으로부터 다음과 같은 미국 가축 사육량 함수를 도출할 수 있다.

$$Q_t^{A*} = f^Q(P^A, P_t, P^X)$$

따라서 축산농가에서 t기의 가축 사육두수는 사육을 통한 비용과 미래 수익에 의해 결정된다. 비용과 관련된 변수로는 t-1기 사료가격이 있으나 사료가격은 그 원료가 되는 곡물 가격에 크게 영향을 받고 있으며, 또한 미국 사료곡물 가운데 옥수수가 차지하는 비중이 90% 이상이므로 본 연구에서는 비용과 관련된 변수로 전기 옥수수 가격자료(P_{t-1})를 사용하였다.

미래 수익은 쇠고기, 돼지고기, 닭고기 등 축산물 기대가격에 따라 결정되므로 사육량 함수는 앞서 구축한 옥수수 공급함수와 같이 적응적 기대모형(adaptive expectation model)을 기초로 구축될 필요가 있다. 또한 가축의 경우는 연중 어느 때라도 도축과 어린 가축의 유입이 가능하므로 축산업자는 기대 시점의 기대 공급량을 목표로 실질 공급량을 조절할 수 있다는 점을 고려해야 한다. 따라서 가축 사육량 함수는 실질공급량에 대한 다음과 같은 가정이 포함될 필요가 있다.

$$S_t - S_{t-1} = \delta(S_t^* - S_{t-1}) + u_t$$

(단, $0 < \delta < 1$, S_t 는 t기 실질 공급량, S_t^* 는 t기 기대 공급량 수준을 의미함.)

기대가격 가정에 관한 적응적 기대모형과 위와 같은 공급량 가정이 동시에 고려된 공급함수 모형을 널로브 공급모형(the Nerlove Supply Model)이라 하며, 그 기본 형태는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$S_t = \alpha\delta\gamma + [(1-\delta) + (1-\gamma)]S_{t-1} - (1-\delta)(1-\gamma)S_{t-2} + \beta\delta\gamma P_{t-1} + u_t - (1-\gamma)u_{t-1}$$

(단, $0 < \delta < 1$, $0 < \gamma < 1$)

미국 사료곡물은 소, 돼지, 닭 등 3종류 가축에 의해 주로 소비되므로 본 연구는 소, 돼지, 육계 사육량(CA_t , H_t , B_t)만을 모형에 반영하였다. 이외에도 분기별 더미변수를 모형에 추가하였고, 소 사육량(CA_t)과 닭(B_t) 사육량 함수에는 추세를 반영한 시간 지수(t)를 포함하였다. 위의 내용을 반영한 각 가축들의 사육량 함수 모형은 다음과 같다.

$$(3) CA_t = \alpha_{ca0} + \alpha_{ca1}P_{t-1} + \alpha_{ca2}P_{t-1}^{beef} + \alpha_{ca3}CA_{t-1} + \alpha_{ca4}CA_{t-2} + \alpha_{ca5}t + \alpha_{ca6}D_1 + \alpha_{ca7}D_2 + \alpha_{ca8}D_3 + \epsilon_{ca9}$$

$$(4) H_t = \alpha_{H0} + \alpha_{H1}P_{t-1} + \alpha_{H2}P_{t-1}^{pork} + \alpha_{H3}H_{t-1} + \alpha_{H4}H_{t-2} + \alpha_{H5}D_1 + \alpha_{H6}D_2 + \alpha_{H7}D_3 + \epsilon_{H8}$$

$$(5) B_t = \alpha_{B0} + \alpha_{B1}P_{t-1} + \alpha_{B2}P_{t-1}^{broiler} + \alpha_{B3}B_{t-1} + \alpha_{B4}B_{t-2} + \alpha_{B5}t + \alpha_{B6}D_1 + \alpha_{B7}D_2 + \alpha_{B8}D_3 + \epsilon_{B9}$$

t-1기 옥수수가격이 상승하여 사료가격이 상승하면 t기의 가축 사육량은 줄어들 것이고($\widehat{\alpha_{ca1}} < 0$, $\widehat{\alpha_{H1}} < 0$, $\widehat{\alpha_{B1}} < 0$), t-1기 축산물 가격이 상승하면 t기의 가축 사육량은 늘어날 것이다($\widehat{\alpha_{ca2}} > 0$, $\widehat{\alpha_{H2}} > 0$, $\widehat{\alpha_{B2}} > 0$). 널로브 공급모형의 구조상 t-1 사육량 계수 추정값은 0과 2 사이가 되고($0 < \widehat{\alpha_{ca3}} < 2$, $0 < \widehat{\alpha_{H3}} < 2$, $0 < \widehat{\alpha_{B3}} < 2$), t-2기 사육량 계수 추정값은 -1과 0 사이가 될 것이다($-1 < \widehat{\alpha_{ca4}} < 0$, $-1 < \widehat{\alpha_{H4}} < 0$, $-1 < \widehat{\alpha_{B4}} < 0$). 소, 돼지, 닭 사육량 함수는 각각 2개의 내생변수(CA_t , H_t , B_t , P_{t-1}^{beef} , P_{t-1}^{pork} , $P_{t-1}^{broiler}$)와 7개(P_{t-1} , CA_{t-1} , CA_{t-2} , t , D_i), 6개(P_{t-1} , H_{t-1} , H_{t-2} , D_i), 7개(P_{t-1} , B_{t-1} , B_{t-2} , t , D_i)의 외생변수로 구성된다.

축산물 수요 함수

본 연구에서는 각 방정식 간 연결이 편리하도록 각 품목별 수요함수를 역수요함수 형태로 설정하였다(Enrique R. Arzac and Maurice Wikinson, 1979). 따라서 축산물 수요 함수는 축산물 가격을 설명하는 함수 구조를 갖는다. 축산물 가격은 각 축산물 수요, 대체재 축산물 가격, 소득, 분기별 더미변수, 그리고 수요의 변화경향을 나타내는 시간지수(t)의 함수로 설정된다.

소득변수는 쇠고기 수요에만 영향을 주는 것으로 나타나 돼지고기·닭고기 수요함수에서는 이를 제외하였으며, 미국 실질GDP($USGDP_t$)를 변수로 활용하였다. 또한 t-1기 자기가격 역시 t기 축산물 가격에 영향을 미칠 것이나, 미국 쇠고기 가격은 대체재 가격에 의한 영향이 크므로 쇠고기 수요함수에서는 전기 쇠고기 가격을 제외하였다.

$$\begin{aligned}
 (6) \quad P_t^{beef} &= \alpha_{bf0} + \alpha_{bf1}C_t^{beef} + \alpha_{bf2}P_t^{pork} + \alpha_{bf3}P_t^{broiler} + \alpha_{bf4}USGDP_t + \alpha_{bf5}t \\
 &\quad + \alpha_{bf6}D_1 + \alpha_{bf7}D_8 + \alpha_{bf8}D_3 + \epsilon_{bf9t} \\
 (7) \quad P_t^{pork} &= \alpha_{pk0} + \alpha_{pk1}C_t^{pork} + \alpha_{pk2}P_t^{beef} + \alpha_{pk3}P_t^{broiler} + \alpha_{pk4}P_{t-1}^{pork} + \alpha_{pk5}t + \alpha_{pk6}D_1 + \alpha_{pk7}D_2 + \alpha_{pk8}D_3 + \epsilon_{pkt} \\
 (8) \quad P_t^{broiler} &= \alpha_{ch0} + \alpha_{ch1}C_t^{broiler} + \alpha_{ch2}P_t^{beef} + \alpha_{ch3}P_{t-1}^{broiler} + \alpha_{ch4}t + \alpha_{ch5}D_1 + \alpha_{ch6}D_2 + \alpha_{ch7}D_3 + \epsilon_{cht}
 \end{aligned}$$

위의 추정식에서 축산물 수요는 자기가격의 감소함수이므로 $\widehat{\alpha}_{bf1}$, $\widehat{\alpha}_{pk1}$, $\widehat{\alpha}_{ch1}$ 모두 음(-)일 것을 기대하며, 마찬가지로 대체재 가격이 오르면 해당 축산물 가격은 상승하므로 $\widehat{\alpha}_{bf2} > 0$, $\widehat{\alpha}_{bf3} > 0$, $\widehat{\alpha}_{pk2} > 0$, $\widehat{\alpha}_{pk3} > 0$, $\widehat{\alpha}_{ch2} > 0$ 값은 모두 양(+)이 될 것이다. 쇠고기, 돼지고기, 닭고기 수요함수는 각각 3개(P_t^{beef} , P_t^{pork} , $P_t^{broiler}$), 3개(P_t^{pork} , P_t^{beef} , $P_t^{broiler}$), 2개($P_t^{broiler}$, P_t^{beef})의 내생변수와 6개(C_t^{beef} , $USGDP_t$, t , D_i), 6개(C_t^{pork} , P_{t-1}^{pork} , t , D_i), 6개($C_t^{broiler}$, $P_{t-1}^{broiler}$, t , D_i)의 외생변수로 구성된다.

2.2.2. 옥수수 수출 수요(EX_t)함수

미국 옥수수 수출은 전 세계 수출량의 65.5%, 미국 옥수수 소비의 약 15%를 차지하여 국내외 옥수수 수급에 있어 모두 큰 비중을 차지하고 있다⁶. Chambers and Just(1981)는 미국 옥수수 수출에 미국 옥수수 가격, 환율, 다른 주요 옥수수 수출국에서의 재고량, 미국을 제외한 세계 밀 생산량, 전기 수출량 등의 변수가 영향을 준다고 밝힌 바 있다. Fortenbery and Park(2008)은 다른 국가들에서의 곡물 생산량, 그중 밀 생산량(W_i)도 미국 옥수수 수출에 영향을 주는 요인으로 사용한 바 있다.

수요측면의 경우 미국은 현재 전 세계 옥수수 수출을 주도하고 있으므로 다른 주요 수출국 재고량을 미국 옥수수 수출 설명변수로 사용하기에는 어려움이 따른다. 오히려 미국을 제외한 세계 옥수수 소비량(WCU_i) 변수가 미국 옥수수 수출 수요에 영향을 미칠 것이다. 본 연구는 미국 옥수수 수출 설명변수로 미국 옥수수 가격(P_i), 환율($Dollor_i$), 미국을 제외한 다른 국가들에서의 밀 생산량(W_i) 및 옥수수 소비량(WCU_i), 전기 수출량(EX_{i-1}) 등을 활용하였다.

환율의 경우, 그 지표로 달러당 특별인출권(SDR: the Special Drawing Rights) 등 여러 가지가 있으나, 세계 주요 6개국 통화 간 환율의 가중평균을 통해 산출됨으로써 다른 지표에 비해 미국 달러 가치의 대표성이 높다고 볼 수 있는 미국 달러 지수(U.S. Dollar Index)를 본 연구의 환율지표로 활용하였다.

⁶ USDA-FAS, World Markets and Trade, 2007/2008

미국 옥수수 수출수요(EX_t) 추정모형은 다음과 같다.

$$(9) \quad EX_t = \alpha_{ex0} + \alpha_{ex1}P_t + \alpha_{ex2}Dollor_t + \alpha_{ex3}W_t + \alpha_{ex4}WCU_t + \alpha_{ex5}EX_{t-1} + \epsilon_{ext}$$

미국 옥수수 가격(P_t), 미국 달러 지수($Dollor_t$), 그리고 다른 국가들의 밀 생산(W_t)이 증가하면 수출은 줄어들고($\widehat{\alpha_{ex1}} < 0$, $\widehat{\alpha_{ex2}} < 0$, $\widehat{\alpha_{ex3}} < 0$), 다른 국가들의 옥수수 소비량(WCU_t), t-1기 수출량(EX_{t-1})이 증가하면 t기 수출량은 높아질 것이다($\widehat{\alpha_{ex4}} > 0$, $\widehat{\alpha_{ex5}} > 0$). 미국 옥수수 수출 수요함수는 2개의 내생변수(EX_t , P_t)와 4개의 외생변수($Dollor_t$, W_t , WCU_t , EX_{t-1})로 구성된다.

2.2.3. 미국 연료용 옥수수 수요함수($Fuel_t$)

미국 연료용 옥수수 수요함수($Fuel_t$)

미국 연료용 옥수수는 전량 에탄올 연료 생산에 이용되고 있으며 2000년도부터 소비량이 급증하고 있다⁷. 옥수수 원료비는 에탄올 생산비의 60%에 이를 정도로 에탄올 생산에 큰 비중을 차지하고 있으므로 옥수수 가격 상승은 에탄올 생산에 대해 원료비 부담을 주게 될 것이다. 이론적으로는 옥수수 가격 변동이 에탄올 생산에 영향을 주어야 할 것이다. 그러나 연료용 옥수수 수요는 그동안 옥수수 가격 요인보다 대체재인 국제 원유가와 정부의 면세정책과 바이오연료 의무화 정책(RFS) 등 정책적 요인에 의해 지속적으로 증가하여 왔다(배정환, 2008). 또한 모형에 옥수수 가격을 반영할 경우, 추정 계수의 부호(sign)가 반대로 도출되어 인과관계 설명 및 에탄올 생산·옥수수 가격 전망에 한계가 있게 된다. 따라서 연료용 옥수수 수요 함수($Fuel_t$)는 에탄올 생산량(Eth_t)과 계절을 나타내는 분기별 더미변수의 함수로 구성되며 옥수수 가격 변수는 모형에서 제외되었다.

$$(10) \quad Fuel_t = \alpha_{fuel0} + \alpha_{fuel1}Eth_t + \alpha_{fuel2}D_1 + \alpha_{fuel3}D_2 + \alpha_{fuel4}D_3 + \epsilon_{fuelt}$$

에탄올 연료 생산량이 늘어나면 원료인 옥수수 수요량 역시 늘어나게 될 것이다($\widehat{\alpha_{fuel1}} > 0$). 미국 연료용 옥수수 수요함수는 2개의 내생변수($Fuel_t$, Eth_t)와 3개의 외생변수(D_i)로 구성된다.

⁷ Renewable Fuel Association, 2008.

미국 에탄올 생산함수(Eth_t)

에탄올 생산의 결정 요인분석과 관련된 연구로는 Henry and Joe(2006)의 연구가 대표적이다. 이들 연구에서는 대체재인 미국 가솔린 연료가격, 에탄올 정제과정에서 투입되는 천연가스(natural gas) 가격, 산업구조를 반영하는 현재 생산능력(the current production capacity) 등의 변수가 에탄올 생산을 설명하기 위해 사용되었다. 또한 미국 에탄올 산업이 급성장하게 된 데에는 미국 주·지방정부의 강력한 정책의지가 밑바탕을 이루고 있으므로 에탄올 생산 시 공제되는 기업면허세(the excise tax exemption)수준, 연방 수준 신재생 연료 의무화 정책⁸(RFS: the Renewable Fuel Standard) 등의 정책변수도 에탄올 생산 설명변수로서 사용되었다.

면허세 공제의 경우, 그 자체로 기업의 생산비를 실질적으로 낮출 수 있다는 점에서 에탄올 생산량 증대에 큰 영향을 미쳐왔다(Henry and Joe, 2006). 그러나 1984년 이래 꺾린 당 0.60에서 2009년부터 0.45 달러까지 그 지원 수준이 지속적으로 감소되고 있어 증감의 진행방향이 현재의 에탄올 생산 증가 추세와 반대로 이루어지고 있다. 또한, 현재의 생산능력 변수는 RFS와 에너지 독립 및 안보법(이하 H.R.6) 등과 같은 정책변수에 의해 크게 좌우된다. 따라서 본 연구는 Henry and Joe의 연구에서 활용된 변수들을 기반으로 하되 면허세 공제 변수와 기업의 생산능력 변수를 제외하고 최근 RFS를 확장한 H.R.6 정책변수($HR6_t$), 에탄올 생산의 경향을 나타내는 시간변수(t)를 에탄올 생산함수 모형에 추가하였다. 에탄올 생산함수 추정식은 다음과 같다.

$$(11) \quad Eth_t = \alpha_{eth0} + \alpha_{eth1}P_t^{ngas} + \alpha_{eth2}P_t^{oil} + \alpha_{eth3}RFS_t + \alpha_{eth4}HR6_t + \alpha_{eth5}t + \epsilon_{eth}$$

천연가스 가격(P_t^{ngas})이 하락하거나 대체재인 국제유가(P_t^{oil})가 오를 경우, 에탄올 생산은 늘어날 것이고($\widehat{\alpha_{eth1}} < 0$, $\widehat{\alpha_{eth2}} > 0$), 정책변수들(RFS_t , $HR6_t$)은 에탄올 생산에 기여할 것이다($\widehat{\alpha_{eth3}} > 0$, $\widehat{\alpha_{eth4}} > 0$). 미국 에탄올 생산함수는 1개의 내생변수(Eth_t)와 5개(P_t^{ngas} , P_t^{oil} , RFS_t , $HR6_t$, t)의 외생변수로 구성된다.

⁸ 2005년에 수립된 에너지 정책법(the Energy Policy Act of 2005)의 한 파트로서 규정됨.

2.2.4. 기타 옥수수 수요함수(Etc_t)

기타 옥수수 소비는 FAI 소비에서 에탄올용 옥수수 소비를 뺀 나머지 소비를 말하며, 식품·주류·각종 산업적 용도로 사용되는 소비를 의미한다. 기타 옥수수 소비는 옥수수 가격(P_t)과 인구(Pop_t), 분기별 더미 등의 변수에 의해 결정될 것이며(Fortenbery and Park, 2008), 그 함수 추정식은 다음과 같다.

$$(12) \quad Etc_t = \alpha_{etd} + \alpha_{etd1}P_t + \alpha_{etd2}Pop_t + \alpha_{etd3}D_1 + \alpha_{etd4}D_2 + \alpha_{etd5}D_3 + \epsilon_{etd}$$

기타 옥수수 수요 함수는 옥수수 가격(P_t)의 감소함수($\widehat{\alpha_{etd1}} < 0$), 미국 인구(Pop_t) 증가함수($\widehat{\alpha_{etd2}} > 0$)의 형태를 보이게 될 것이며, 2개의 내생변수(Etc_t , P_t)와 4개의 외생변수(Pop_t , D_i)로 구성된다.

2.3. 미국 옥수수 가격 함수(P_t)

옥수수는 저장이 가능하기 때문에 공급량 가운데 소비되지 않은 것은 다음 기로 이월되며, 이로 인해 매 기마다 공급량과 수요량은 일치하지 않는다. 따라서 옥수수 가격은 균형수량에 의해 영향을 받는 것이 아니라 공급량과 수요량 모두에 의해 동시적으로 결정된다.

옥수수 공급량(S_t)는 전기 재고 이월량과 생산량을 합한 것과 같으며, 옥수수 수요량(D_t)은 $D_t = F_t + EX_t + Fuel_t + Etc_t$ 와 같이 네 가지 수요량의 합이다. 또한 가격의 동태적 변화에 영향을 미치는 기타 요인들에 의해 전기의 가격(P_{t-1}) 및 분기별 더미변수를 모형에 추가하였으며, 그 추정식은 다음과 같다.

$$(13) \quad P_t = \alpha_0 + \alpha_1 S_t + \alpha_2 D_t + \alpha_3 P_{t-1} + \alpha_4 D_1 + \alpha_5 D_2 + \alpha_6 D_3 + \epsilon_t$$

Fortenbery and Park(2008)은 본 연구와 달리 설명변수와 종속변수 모두 로그 변환된 변수를 사용하였는데, 로그 값은 그 합이 의미가 상실되므로 3가지 용도별 소비량(F_t , EX_t , FAI_t) 로그값 각각을 가격 방정식의 설명변수로 포함하였다. 그 결과 사료용 소비량(F_t) 변수의 통계적 유의성 확보 없이 분석을 실시하였다는 문제가 발생하였다. 따라서 본 연구에서는 각 용도별 변수들을 합한 전체 옥수수 소비량을 설명변수로 도입하

여 용도별 옥수수 소비량의 내생성(endogeneity)을 살리면서도 가격과 소비량 사이의 통계적 유의성을 확보할 수 있도록 하였다.

수요법칙과 공급법칙에 의해 양(+)¹의 $\hat{\alpha}_1$ 과 음(-)²의 $\hat{\alpha}_2$ 를 예상할 수 있으며, 전기의 가격(P_{t-1})이 오르면 이번 기의 가격도 오를 것이다($\hat{\alpha}_3 > 0$). 미국 옥수수 가격함수는 3개의 내생변수($P_t, S_t, D_t = F_t + EX_t + Fuel_t + Etc_t$)와 4개의 외생변수(P_{t-1}, D_i)로 구성된다.

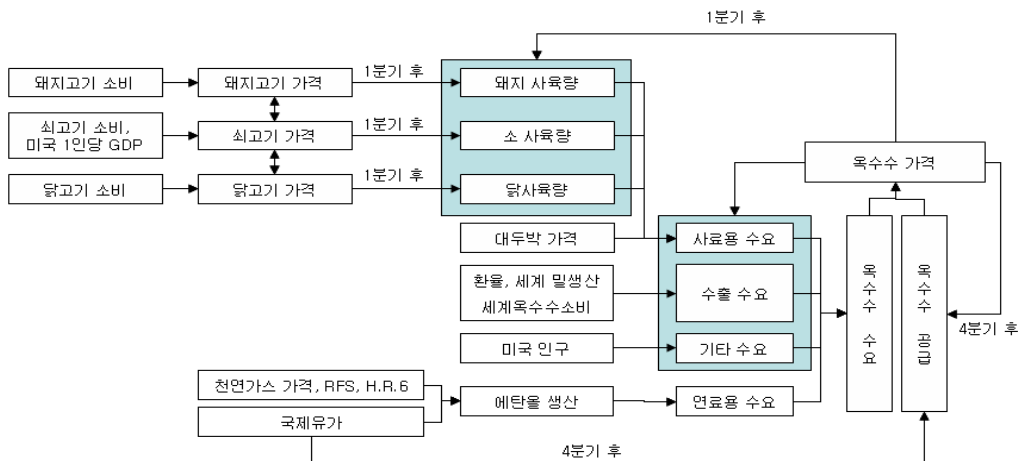
2.4. 미국 옥수수 가격 모형의 구성

본 연구의 미국 옥수수 가격 모형은 13개 방정식, 13개 내생변수들($P_t, S_t, F_t, EX_t, Fuel_t, Eth_t, Etc_t, CA_t, H_t, B_t, P_{t-1}^{beef}, P_{t-1}^{pork}, P_{t-1}^{broiler}$)과 30개의 외생변수들($P_{t-1}, P_{t-4}, P_t^{SM}, SP_t, P_t^{ngas}, P_t^{oil}, P_{t-4}^{oil}, RFS_t, HR6_t, Pop_t, EX_{t-1}, Dollar_t, W_t, WCU_t, CA_{t-1}, H_{t-1}, B_{t-1}, CA_{t-2}, H_{t-2}, B_{t-2}, P_{t-2}^{pork}, P_{t-2}^{broiler}, C_{t-1}^{beef}, C_{t-1}^{pork}, C_{t-1}^{broiler}, USGDP_{t-1}, t, D_i$)로 구성되며,

이는 5개 방정식, 5개의 내생변수, 12개의 외생변수들로 구성된 Fortenbery and Park(2008)의 모형보다 많은 방정식과 변수들을 포함하며, 미국 옥수수 시장 뿐 아니라 그를 둘러싼 축산물 시장, 바이오 에탄올 시장 등의 상황이 총체적으로 반영되어 미국 옥수수 가격 및 시장 분석에 활용되는 모형의 현실성을 높일 수 있다는 데에 의의가 있다.

본 연구의 미국 옥수수 가격 모형 흐름도를 그림 1. 같이 정리하였다.

그림 1. 미국 옥수수 가격 모형 흐름도



3. 분석자료 및 추정방법

3.1. 분석자료⁹

본 연구에 사용된 자료들은 Fortenbery and Park(2008)가 확보한 방법을 토대로 1995년 2분기부터 2008년 2분기까지 13년간(53분기) 자료가 분기별로 구축되었다. 미국 곡물연도를 반영하여 1분기는 9월~11월, 2분기는 12월~2월, 3분기는 3월~5월, 4분기는 6월~8월로 구성되며, 전년도 식부된 옥수수는 1분기에 수확된다고 가정한다.

월별 자료는 분기별 자료로 변환하였고, 연간 자료는 곡물연도 동안 일정하다고 가정하였다. 모든 가격 자료는 분기별 US GDP 디플레이터를 이용해 경상가격을 2005년 실질가격으로 변환하여 활용하였다.

곡물·가축들의 자료 대부분은 미국 농무부(USDA)의 여러 보고서들을 통해 구할 수 있었으며 바이오 에탄올과 관련된 자료는 미국 에너지 정보관리국(EIA: Energy Information Administration)의 관련 보고서들을 통해 확보하였다. IMF로부터 미국 인구 및 실질 GDP 자료를, 미국의 연방준비제도(FRS: Federal Reserve System)로부터 달러지수(Dollar_t) 자료를 구축하였다.

3.2. 추정방법

M개의 구조 방정식 모형 가운데 i 번째 방정식을 나타내면 다음과 같다.

$$(14) \quad y_i = Y_i\gamma_i + X_i\beta + e_i = Z_i\delta_i + e_i$$

(단, Y_i 는 i 번째 방정식에 포함된 내생변수 벡터,
 X_i 는 i 번째 방정식에 포함된 외생변수 벡터, e_i 는 오차항)

X 를 외생변수와 lagged된 내생변수가 포함된 전체 모형에서 나타나는 모든 설명변수들의 행렬이라 할 때, 위의 모형은 다음과 같이 변형될 수 있다.

⁹ 미국 옥수수 가격 모형 추정에 사용된 자료에 대한 설명은 부록에 정리함.

$$(15) \quad X'y_i = X'Y_i\gamma_i + X'X_i\beta_i + X'e_i = X'Z_i\delta_i + X'e_i$$

최소자승법(OLS: Ordinary Least Square Method)에 의한 추정치가 일치추정치 (consistent estimator)가 되기 위해서는 설명변수와 오차항이 서로 독립이라는 가정이 필요하다. 즉, $E[X'e_i]=0$ 의 가정이 필요하지만 설명변수에 내생변수(endogenous variable)가 존재하는 선형 모형에서는 설명변수가 오차항과 상관관계를 갖게 되면서 동시에 종속변수에 영향을 미치는 구조를 갖게 된다.

위 식의 교란항 $X'e_i$ 의 분산 $var(X'e_i) = E[X'e_i e_i' X] = \sigma_{ii}E[X'X]$ 는 일정하지 않고 X 에 따라 달라지기 때문에 OLS보다는 일반최소자승법(GLS)으로 추정해야 한다. 연립방정식 추정을 위한 GLS 방법으로는 2단계 최소자승법(2SLS: the two step Least Square Method)와 3단계 최소자승법(3SLS: the three step Least Square Method)이 많이 사용된다. 2SLS의 경우 각 방정식의 추정치는 전체 모형 내에 있는 외생변수들과 이미 결정된 변수들에 대한 정보를 이용하여 결국 일치성(consistency)를 갖는 추정치를 도출하지만, i 번째 방정식에 있는 Y_i^* 에 관한 정보와 각 방정식 사이의 오차항 covariance 즉, $E[e_i e_j'] = \sigma_{ij}I$ ($i \neq j$) 정보를 무시하기 때문에 점근적 효율성(asymptotic efficiency)을 갖는 추정치를 도출하지는 못한다.

따라서 본 연구는 연립방정식 추정 시 보다 효율적인 추정치를 도출할 수 있는 3SLS를 사용하여 모형 내에 있는 모든 방정식을 동시에 추정하도록 한다. 3SLS는 각 방정식의 오차항의 상호 관련성 정보도 고려하기 때문에 항등행렬 I 를 이용하여 식 (15)을 다음과 같이 확장한다.

$$(16) \quad (I \otimes X')y = (I \otimes X')Z\delta + (I \otimes X')e$$

(단, $Z = \begin{bmatrix} Z_1 & & & \\ & Z_2 & & \\ & & \ddots & \\ & & & Z_M \end{bmatrix}$, $y = \begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \\ \vdots \\ y_M \end{bmatrix}$, $\delta = \begin{bmatrix} \delta_1 \\ \delta_2 \\ \vdots \\ \delta_M \end{bmatrix}$, $e = \begin{bmatrix} e_1 \\ e_2 \\ \vdots \\ e_M \end{bmatrix}$)

X 는 외생변수이고 오차항 e 와 서로 독립이라 가정되므로 교란항 $(I \otimes X')e$ 의 분산은 다음과 같이 표현된다.

$$(17) \quad E[(I \otimes X')ee'(I \otimes X)] = E[(I \otimes X')E[ee'|X](I \otimes X)] \\ = E[(I \otimes X')(\Sigma \otimes I)(I \otimes X)] = \Sigma \otimes E[X'X]$$

$(X'X/T)$ 가 비확률적인 극한값으로 수렴한다고 가정하면 일치성(consistency)을 갖는

$T^{-1}E[X'X]$ 의 추정치는 $T^{-1}X'X$ 가 되므로 교란항 $(I \otimes X')e$ 의 분산값은

$$(18) \quad E[(I \otimes X')ee'(I \otimes X)] = \Sigma \otimes X'X$$

이 된다. 결국 GLS 추정법을 적용하면 다음과 같은 3SLS의 전체 추정 파라미터를 도출 할 수 있다.

$$(19) \quad \delta_{3SLS} = \{Z(I \otimes X')'[\Sigma^{-1} \otimes (X'X)^{-1}](I \otimes X)Z\}^{-1}Z(I \otimes X')'[\Sigma^{-1} \otimes (X'X)^{-1}](I \otimes X')y \\ = \{Z[\Sigma^{-1} \otimes X(X'X)^{-1}X']Z\}^{-1}Z[\Sigma^{-1} \otimes X(X'X)^{-1}X']y$$

3SLS 추정치 δ_{3SLS} 를 구하기 위해서는 먼저 2SLS 추정법을 이용하여 각 방정식의 오차항 e_i 을 구해 Σ 의 추정치 $\hat{\Sigma}$ 를 구하고 이를 식 (16)에 대입해야 하므로 2SLS에 비해서 한 단계 더 필요한 과정이다.

4. 분석결과

추정결과 각 방정식 자체의 적합성은 13개 방정식 모두 높은 것으로 나타났으며 설명력도 옥수수 수출 수요(EX_t) 함수를 제외하고는 모두 높은 것으로 나타났다.¹⁰ 추정 계수의 부호(sign)도 기대방향과 일치하는 것으로 나타났으며, 주요 변수들의 통계적 유의성도 확보할 수 있었다.

본 연구에서는 에탄올 생산의 가격을 비롯한 옥수수 시장에 대한 영향을 살펴보기 위해 세 가지 방법을 실시한다. 첫째로 탄력성 계측을 통해 변수 간 장·단기 영향을 분석하고, 둘째로 에탄올 생산량 변화 시 이루어지는 각 변수들의 동태적 변화를 살펴 본다. 마지막으로 향후 에탄올 생산량 변화를 예측함과 동시에 그 결과 수반되는 미국 옥수수 시장 내 각 변수들의 예측치를 전망해 본다.

¹⁰ 13개 방정식 추정결과 부록 참조.

4.1. 탄력성 계측을 통한 분석

구조계량모형의 장점은 종속변수와 설명 변수 간 탄력성 계측을 통해 그 영향정도를 파악할 수 있다는 점이다. 한 예로 옥수수 가격(P_t)의 대한 에탄올 생산량 탄력성을 구하는 식을 나타내면 다음과 같다.

$$\frac{\partial P_t}{\partial Eth_t} \cdot \frac{Eth_t}{P_t}$$

Eth_t/P_t 값은 측정값이므로 탄력성을 구하기 위해서는 옥수수 가격(P_t)에 대한 에탄올 생산량(Eth_t)의 편미분 값($\partial P_t/\partial Eth_t$)을 먼저 구해야 한다. 이는 식(1)~식(12)의 여러 방정식들을 옥수수 가격 방정식에 대입하여 축약형 방정식(the reduced form equation)을 만든 후, 그 축약형 방정식을 탄력성을 측정하고자 하는 설명변수, 여기서는 에탄올 생산량(Eth_t)으로 편미분하면 그 값을 구할 수 있다. 따라서 옥수수 가격의 에탄올 생산량 탄력성은 다음과 같으며, 나머지 탄력성도 마찬가지로 구할 수 있다.

$$\frac{\partial P_t}{\partial Eth_t} \cdot \frac{Eth_t}{P_t} = \frac{\alpha_2 \alpha_{fuel1}}{1 - \alpha_2(\alpha_{f1} + \alpha_{ex1} + \alpha_{etcl})} \cdot \frac{Eth_t}{P_t}$$

또한 장기에는 t기 변수 값과 t-1 등 지난 기들의 변수 값이 같다는 점을 이용하면, 다음과 같은 장기 탄력성도 도출할 수 있다.

$$\frac{\partial P_t}{\partial Eth_t} \cdot \frac{Eth_t}{P_t} = \frac{\alpha_2 \alpha_{fuel1}}{1 - \alpha_1 - \alpha_3 \alpha_{s1} - \alpha_2(\alpha_{f1} + \alpha_{ex1} + \alpha_{etcl} + \alpha_{f3} \alpha_{ca1} + \alpha_{f4} \alpha_{fl} + \alpha_{f5} \alpha_{bl})} \cdot \frac{Eth_t}{P_t}$$

과거에는 에탄올 생산이 국제유가에 의해 크게 좌우되었기 때문에 국제유가를 외부 충격의 출발점으로 하여 옥수수 시장 영향분석을 실시해 왔다. 본 연구에서는 옥수수 시장에 대한 국제유가의 직접적인 영향이 줄고 있음을 확인하고자 에탄올 생산과 마찬가지로 국제유가 탄력성 추정치도 함께 도출하여 분석하였다. 특히 에너지 독립 및 안보법이 실시된 2007년을 기준으로 전·후 탄력성 추정치를 도출·비교함으로써 양 기간 사이의 영향 정도의 변화추이를 살펴볼 수 있도록 하였다. 가격 및 수요·공급 측면의 각 변수들에 대한 에탄올 생산량 및 국제유가 탄력성 추정치 도출 결과는 표 1과 같다.

표 1. 각 변수들에 대한 에탄올 생산량 및 국제유가 탄력성 추정치

구 분			Eth_t	P_t	S_t	수 요 측 면			
						F_t	$Fuel_t$	EX_t	Etc_t
에탄올 생산 (eth_t) 탄력성	단 기 (short-term)	2007년 이전	-	0.079	0.009	-0.017	0.997	-0.017	-0.005
		2007년 이후	-	0.181	0.022	-0.052	0.997	-0.050	-0.018
		최근 값	-	0.253	0.024	-0.057	1.008	-0.081	-0.021
	장 기 (long-term)	2007년 이전	-	0.186	0.043	-0.042	0.997	-0.069	-0.012
		2007년 이후	-	0.425	0.105	-0.130	0.997	-0.208	-0.041
		최근 값	-	0.592	0.113	-0.144	1.008	-0.336	-0.050
국제유가 (P_t^{oil}) 탄력성 ¹¹	단 기 (short-term)	2007년 이전	0.930	0.166	-0.142	-0.031	0.926	-0.031	-0.009
		2007년 이후	0.615	0.250	-0.231	-0.063	0.613	-0.061	-0.021
		최근 값	0.256	0.145	-0.104	-0.029	0.258	-0.041	-0.011
	장 기 (long-term)	2007년 이전	0.930	0.265	0.042	-0.076	0.926	-0.133	-0.039
		2007년 이후	0.615	0.400	0.069	-0.154	0.613	-0.264	-0.092
		최근 값	0.256	0.232	0.031	-0.071	0.258	-0.178	-0.046

에탄올 생산량의 국제유가 탄력성 추정치를 살펴보면, 2007년 이전 평균값 기준 0.930, 이후 평균값 기준 0.615, 최근 값 기준 0.256으로 시간이 지남에 따라 그 값이 감소하고 있음을 볼 수 있다. 연료용 옥수수 소비량에 대한 국제유가 탄력성 추정치 역시 같은 추세를 보이고 있다. 이는 에탄올 생산 및 연료용 옥수수 수요에 대한 국제유가의 영향이 과거에 비해 감소하였음을 나타내며, 최근에는 그 영향이 더욱 감소하였음을 의미한다.

반면, 각 변수들에 대한 에탄올 생산량 탄력성 추정치는 시간이 지날수록 점차 증가하고 있음을 알 수 있으며, 이를 통해 에탄올 생산량이 옥수수 가격을 비롯한 공급 및 수요 측면에 미치는 영향이 커져 가고 있음을 볼 수 있다.

특히 옥수수 가격에 대한 에탄올 생산 단기 탄력성은 2007년 이후 평균값 기준 0.181로 Fortenbery and Park (2008)가 도출한 추정치 0.16과 비슷함을 알 수 있다. Fortenbery and Park(2008)은 0.16의 추정 탄력치를 두고 최근의 가격 변화를 감안할 때 낮은 추정치라 해석하였다. 하지만 P_{t-1} 등 t-1기의 값들을 일정한 값으로 보고 도출한 추정치이므로 모형의 동태성을 감안한다면 여러 기간에 걸친 장기 탄력성 추정치는 단기 탄력성 추정치보다 훨씬 클 수 있다. 장기 탄력성 분석결과, 가격에 대한 에탄올

¹¹ 국제유가 변동 시 에탄올 생산 및 옥수수 수요 변동을 통한 금기 변화 분과 옥수수 생산비 변동을 통한 4기 후 변화분과의 합을 의미함.

생산량 탄력성 추정치는 2007년 이전 평균값 기준 0.186, 2007년 이후 평균값 기준 0.425, 최근 값 기준 0.592로 단기 탄력성에 비해 2배 이상 큰 값이 도출되었다.

옥수수 가격 상승은 이후의 옥수수 공급 및 소비 측면에 영향을 주게 되는데 소비측면의 경우 수출 및 사료용 소비에 큰 감소요인으로 작용하고 있었다. 특히 수출에 대한 장기 탄력성은 2007년 이전 기준 -0.069, 2007년 이후 기준 -0.208, 최근 값 기준 -0.336으로 에탄올 생산 증가는 다른 소비측면에 비해 수출을 크게 감소시키고 있었다.

4.2. 동태적 영향분석

2008년 1분기 에탄올 생산량은 2007년 4분기에 비해 약 5% 증가한 상황이다. 본 절에서는 에탄올 생산량 및 국제유가가 5% 변하였을 때, 변하지 않았을 때의 기준 값들로부터 옥수수 시장 내 각 변수들은 어떻게 변화해 가는지 시간에 따른 동태적 변화를 살펴보기로 한다.

표 2. 에탄올 생산량 및 국제유가 5% 변화 시 각 변수의 동태적 변화

단위: %

구분	변수	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	평균	최대변화	
에탄올 생산량 (Eth_t) 5% 변화 시	P_t	0.83	3.32	3.39	3.06	2.88	2.84	2.81	2.79	2.98	3.70(6)	
	S_t	0.00	0.00	0.17	0.27	0.30	0.30	0.29	0.29	0.24	0.30(7)	
	수 요 측 면	소계	0.00	0.75	0.62	0.64	0.65	0.65	0.64	0.64	0.64	1.31(1)
		F_t	-0.21	-0.75	-0.83	-0.83	-0.84	-0.88	-0.92	-0.96	-0.88	계속 감소
		$Fuel_t$	2.49	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	-
		EX_t	-0.28	-1.16	-1.23	-1.11	-1.03	-0.99	-0.96	-0.94	-1.04	-1.26(6)
		Etc_t	-0.06	-0.20	-0.20	-0.18	-0.17	-0.16	-0.16	-0.15	-0.17	-0.22(4)
국제 유가 (P_t^{oil}) 5% 변화 시	Eth_t	1.34	1.34	1.34	1.34	1.34	1.34	1.34	1.34	1.34	1.34(1)	
	P_t	1.15	2.01	2.33	2.40	2.40	2.39	2.37	2.35	2.18	2.54(15)	
	S_t	0.00	-0.34	-0.45	-0.48	-0.48	-0.49	-0.49	-0.50	-0.46	-1.20(18)	
	수 요 측 면	소계	0.17	0.03	-0.05	-0.08	-0.10	-0.11	-0.12	-0.13	-0.05	-
		F_t	-0.24	-0.44	-0.55	-0.61	-0.66	-0.69	-0.73	-0.76	-0.59	-1.39(22)
		$Fuel_t$	1.34	1.34	1.34	1.34	1.34	1.34	1.34	1.34	1.34	1.34(1)
		EX_t	-0.36	-0.65	-0.78	-0.81	-0.81	-0.79	-0.77	-0.76	-0.72	-0.82(18)
Etc_t		-0.07	-0.11	-0.13	-0.13	-0.13	-0.13	-0.13	-0.13	-0.12	-0.14(16)	

주1: 해당 값은 에탄올 생산량 및 국제유가의 변화가 없을 때 기준 값으로부터의 변화율을 의미하며, 괄호 안의 숫자는 외부충격 후 최대변화까지 걸린 분기 수를 의미함.

분석 결과 국제유가 5% 변화 시 에탄올 생산은 1.34% 변화하는 것으로 나타났다. 이는 앞서 살펴본 탄력성 수치로 변환하면 약 0.268 정도되며, 2007년 이후 평균값 기준 탄력성 0.930, 2007년 이전 평균값 기준 탄력성 0.613을 감안할 때, 에탄올 생산량에 대한 국제유가의 영향은 최근 크게 감소하였음을 다시 한 번 확인할 수 있다.

에탄올 생산량 5% 변화 시, 2016년까지 평균 변화율은 옥수수 가격 2.98%, 옥수수 공급량 0.24%, 전체 옥수수 수요량 0.64%, 사료용 소비량 -0.88%, 연료용 옥수수 소비량 5.00%, 옥수수 수출 -1.04%, 기타 옥수수 소비 -0.17%인 것으로 나타났다. 에탄올 생산 변화에 따른 최대 변화율 및 소요 시간을 살펴보면, 옥수수 가격 및 수출은 6분기 후 각각 3.70%, -1.26%, 옥수수 공급량은 7분기 후 0.3%, 기타 소비는 4분기 후 -0.22%인 것으로 나타났다. 대부분의 변수들은 변화율 절대값이 시간이 지날수록 감소하나 사료용 소비 변화 정도는 시간이 지남에 따라 계속 증가하고 있음을 알 수 있다.

4.3. 미국 옥수수 시장 전망

구조계량모형에서 어떤 한 내생변수의 전망치를 측정하기 위해서는 설명변수 특히 외생변수들의 값이 미래에 어떻게 될 것인지에 대한 가정이 필요하다. 이러한 문제로 구조모형의 추정결과는 주로 단기(short-term) 예측에 사용되며, 장기(long-term) 예측에는 시계열 모형이 더 유용할 수 있다. 따라서 본 절에서는 앞서 추정된 13개의 구조방정식을 이용하여 2008년 3분기(2009년 3~5월)부터 2012년 4분기(2013년 6~9월)까지 18분기 간 옥수수 시장과 관련된 변수들의 단기 예측치를 전망하는 데 초점을 둔다.

본 연구에 사용된 외생변수들에 대한 구체적인 가정은 USDA 2009년 농업전망 보고서¹² 및 미국 정부기관 각종 보고서 내용¹³을 토대로 하였다. 각종 보고서에서 얻은 가정들은 분기별 전망이 아닌 연간 전망치이기 때문에 분기별 예측치는 연간 일정한 값으로 처리하였다¹⁴.

국제유가(P_t^{oil})는 2008년 말 기준, 2008년 중반 최고치에서 약 70% 하락한 상황으로 2009년부터 다시 회복되어 배럴당 62.0달러(2005년 가격 기준)를 시작으로 계속 상승할 것을 가정하였다. 천연가스 가격(P_t^{ngas})은 최근 에너지 가격 하락 추세로 2009년

¹² USDA, USDA Agricultural Projections to 2018

¹³ EIA, Forecast & Analysis reports

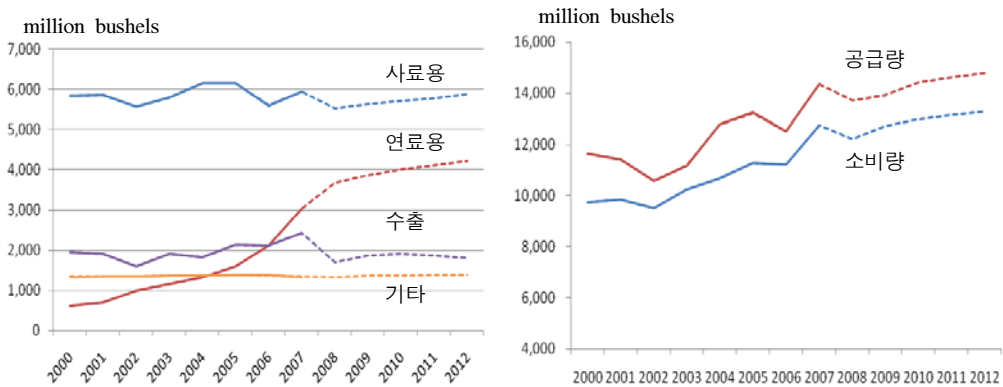
¹⁴ 본 연구에서 옥수수 수요 및 가격 전망을 위한 설명변수들 예측치는 부록에 표로 정리함.

27.6% 하락하나 이후에는 가정용 수요 증가로 2012년까지 회복세를 가정하였다. 미국 GDP($USGDP_t$)는 현재 경제 위기를 반영하여 2009년 0.5% 감소하나 2010년에는 2.5%로 증가하고 이후부터는 매년 약 3% 성장할 것을 가정하였다. 미국 달러 가치($Dollar_t$)는 연간 0.7%씩 상승하는 것으로 가정하였지만 2000년대 초반에 비하면 낮은 수준으로 전망기간 내내 미국 옥수수 수출을 촉진하는 요인으로 작용하였다. 미국 인구(Pop_t)는 현재의 인구 증가율인 0.9%를 감안하였다.

쇠고기, 돼지고기, 닭고기 가격(P_t^{beef} , P_t^{pork} , $P_t^{broiler}$)은 사료가격 상승으로 매년 상승할 것을 가정하였다. 쇠고기 소비(C_t^{beef}), 돼지고기 소비(C_t^{pork})는 축산물 가격 상승으로 줄어들 것을 가정하였고, 닭고기($C_t^{broiler}$) 소비도 2011년까지는 마찬가지로 줄어드나 이후부터는 수출증가로 점진적인 상승세를 가정하였다. 대두박 가격(P_t^{SM})은 늘어나는 작물 공급량 추세를 반영하여 2012년까지 매년 감소할 것을 가정하였고, 세계 옥수수 소비량(WCU_t)은 현재의 옥수수 수요 추세를 반영하여 2012년까지는 조금씩 증가할 것을 가정하였다. 세계 밀 생산(W_t)은 1995년부터 현재까지 연평균 증가율인 2.5%를 적용하였다.

2002년 농업법 이래 안정적인 농가 소득 지원정책(SP_t)는 그대로 유지되고, 바이오에탄올 정책도 마찬가지로 그대로 유지될 것을 가정하였다. 분기별 더미변수(D_i)는 분기별로 정해진 값을 그대로 사용하면 되고, 이전 기를 나타내는 외생변수 (P_{t-1} , P_{t-4}^{oil} , CA_{t-1} , H_{t-1} , B_{t-1})의 값은 전기 예측치를 이용하여 축차적으로 구하였다.

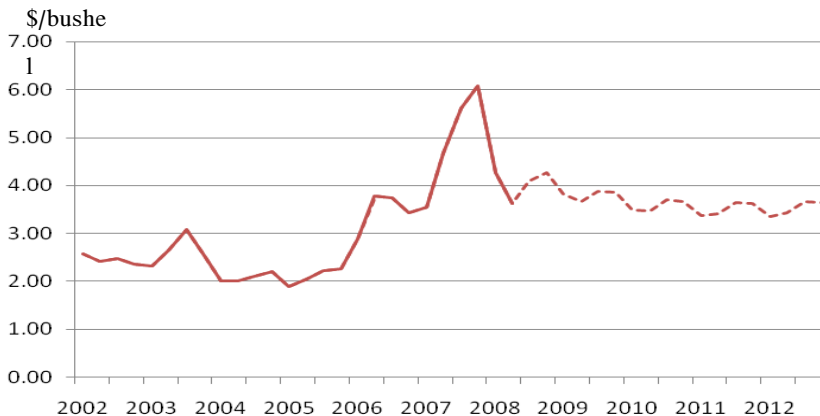
그림 2. 미국 옥수수 공급 및 소비 전망(~2013.8)



바이오 에탄올 생산량은 2012/13년 4분기에 현재 수준인 58,007천 배럴보다 약 20% 증가한 69,920천 배럴에 달할 전망이다. 2011/12년도에는 연간 271,362천 배럴, 2012/2013년에는 277,682천 배럴이 생산되며 갤런 단위로 환산하면 각각 약 114억 갤런, 117억 갤런에 달할 전망이다. 이는 USDA 전망치인 2010까지 120억 갤런에는 다소 못 미치는 수준이나, Baker and Znhniser(2007)의 전망치인 회기연도 2011년까지 연간 약 110억 갤런에는 훨씬 상회하는 수준이다. 마찬가지로 연료용 옥수수 수요도 2008/09년 2분기 현재 8억 7,180만 부셸에서 2012/13년 4분기 10억 6,524만 부셸로 약 22.2% 증가하고, 2012/13년 연간 소비량은 42억 1,110만 부셸에 달할 전망이다. 이는 전체 옥수수 소비의 31.7%를 차지하며, 2008년 현재 25.4%에서 약 6% 증가된 수준이다. 사료용 소비는 사료 원료인 옥수수 가격 상승으로 줄어드나 2009년 이후 점차 증가하고, 수출은 2010년부터 감소할 것으로 전망되며, 기타 소비는 거의 변함이 없을 것으로 보인다. 전체 옥수수 소비량과 공급량은 2009년 이후에는 모두 완만한 증가 추세를 보일 것으로 전망된다.

옥수수 가격은 2008/09년 2분기 현재 부셸당 3.62달러에서 단기적으로는 4.20달러까지 상승하나 2010년 이후부터는 3.60달러 수준에서 균형을 이룰 것으로 전망된다. 이는 2007년 말~2008년 초에 형성된 가격에 비해서는 낮은 수준이나 2000년대 초반에 비해서는 약 1.5배 정도 높은 수준이다.

그림 3. 미국 옥수수 가격 전망(~2013.8)



5. 요약 및 결론

본 연구는 최근의 옥수수 가격의 변화에 바이오 에탄올 생산이 어떻게 영향을 미치고 있는지 분석하고 향후 미국 옥수수 시장을 전망하는 것을 목적으로 한다. 이를 위해 미국 옥수수 시장 구조 계량 모형을 구축하여 추정하였고 탄력성 계측 및 동태적 변화 분석을 통해 바이오 에탄올 생산이 미국 옥수수 시장에 미치는 영향을 규명하였으며, 모형을 통한 예측치와 여러 변수들의 가정을 기초로 향후 에탄올 생산 변동에 따른 미국 옥수수 시장 변화를 단기적으로 전망하였다. 다음과 같은 분석결과를 도출할 수 있었다.

첫째, 옥수수 시장에 대한 바이오 에탄올 생산의 영향은 과거보다 증가한 것으로 나타났다. 탄력성 측정 결과, 옥수수 공급 및 수요측면 각 변수들에 대한 에탄올 생산량 탄력성 추정치는 시간이 지날수록 점차 증가하고 있음을 알 수 있었으며, 이를 통해 에탄올 생산량이 옥수수 시장에 미치는 영향이 점차 증가하고 있음을 알 수 있었다. 또한 에탄올 생산에 대한 국제유가의 영향이 과거에 비해 줄어들고 있음을 알 수 있었는데, 이는 바이오 에탄올이 더 이상 국제유가의 대체제로서만 생산되지는 않음을 의미하며 에탄올 생산 변동이 직접적으로 옥수수 시장에 전해지는 영향이 증가하였음을 의미한다. 에탄올 생산은 옥수수 가격에 대해 과거에 비해 큰 상승요인으로 작용하고 있었으며, 수출 및 사료용 수요에도 큰 감소요인으로 작용하고 있었다.

둘째, 모형 추정결과 에탄올 생산은 가격 등 옥수수 시장에 유의미한 영향을 미치고 있었다. 옥수수 시장 각 변수들에 대한 에탄올 생산량의 장기 탄력성 측정결과, 최근 값 기준 옥수수 가격 0.592, 옥수수 공급량 0.113, 사료용 소비 -0.144, 수출 -0.336, 기타 소비 -0.050의 결과가 도출되었다. 에탄올 생산량 변동에 따른 동태적 변화를 살펴본 결과, 에탄올 생산량 5% 변화 시, 옥수수 가격은 2016년까지 평균 2.98%, 6분기 후에는 최대 3.70%까지 변하는 것으로 나타났고, 수출은 평균 -1.04%, 6분기 후 최대 -1.26%까지 변하는 것으로 나타났으며, 사료용 소비는 평균 -0.87%로 변화율이 음(-)의 방향으로 계속 증가하는 것으로 나타났다.

셋째, 곡물연도 2012/13년까지의 향후 옥수수 시장을 전망한 결과, 미국 옥수수 가격은 2010년 이후부터 높은 수준의 균형가격이 형성될 것으로 전망되었다. 에탄올 생산은 앞으로도 지속적으로 증가하여 옥수수 소비를 계속 증가시키고, 이로써 수출은 줄어드나 사료용 소비는 지속적으로 증가될 것으로 전망되었다. 연료용 소비, 사료용 소비 증가로 전체 옥수수 소비는 증가할 것이나, 옥수수 가격이 높게 형성되고 농가 소득

안정화 정책이 강화되면서 옥수수 공급 역시 지속적으로 증가할 전망이다. 따라서 미국 옥수수 가격은 2010년 이후에는 2000년 초반에 비해 높은 수준인 부셸당 3.60달러 수준에서 균형을 이룰 것으로 전망되었다.

본 연구의 모형과 관련된 한계점과 다음 연구를 위한 제언은 다음과 같다. 첫째, 옥수수 시장 전망 시 바이오 연료 산업의 기술 진보를 고려하지 못한 한계를 지닌다. 기술이 진보하게 되면, 동일한 양의 에탄올 생산에 필요한 옥수수 원료량은 줄어들 것이고, 옥수수 가격이 계속 고가에 형성된다면 대체 원료 개발 및 옥수수 원료의 효율성 개선 노력을 지속적으로 기울일 것이다. 실제로 미국 내에서는 옥수수를 대신하는 셀룰로오스 에탄올 개발에 노력을 기울이고 있으며, 각 기업마다 생산 공정에서 옥수수 원료의 효율성을 높이기 위한 노력을 계속해서 경주하고 있다. 현재 E-85(에탄올 85% 함유) 활용에 관한 논의가 진행 중이나 E-85의 경우 자동차나 기관 엔진구조를 바꾸어야 하는 구조적인 어려움이 존재하여 연료용 옥수수의 새로운 수요 창출은 당분간 힘들 것으로 보인다. 따라서 기술진보로 인한 연료용 옥수수 소비 감소분은 옥수수 가격을 낮추는 방향으로 작용하게 될 것이다.

둘째, 모형에 투기적 수요를 고려하지 못하였다는 점이다. 옥수수 전체 수요량과 공급량 증가율이 비슷한 양상을 보이고 있음에도 2008년 8월부터 급격히 하락한 옥수수 가격은 본 모형으로부터는 설명될 수 없는 부분이다. 2006년 이후부터 크게 유입된 투기적 자본에 대한 영향은 통계상으로 확인할 수 없으므로 이를 설명변수화하여 모형에 반영하기에는 어려움이 따른다. 따라서 영향분석 시 활용된 탄력성 측정치들은 다소 과대평 되어 있을 수 있다.

우리나라 축산업은 사료용 옥수수를 거의 전량 미국에서 수입하는 실정이므로 미국 옥수수 가격을 예측하고 갑작스런 변동을 조기에 감지하는 일은 국내 축산업의 경쟁력 차원에서 상당히 중요한 과제이다. 본 연구 결과는 미국 옥수수 가격 예측 연구에 사용되는 설명변수 선정과 관련하여 큰 시사점을 준다. 옥수수 시장에 대한 에탄올 생산의 직접적인 영향이 최근 크게 증가하고 있음은 국제유가와 더불어 에탄올 생산도 옥수수 가격 예측에 유용한 설명변수로 활용될 수 있도록 하는 이론적 근거가 될 수 있다.

참고 문헌

- 김남일. 2007. 「최근 미국 에너지 정책 기조변화의 의미와 우리나라에 대한 시사점」. 에너지경제연구원.
- 김한호, 임정빈. 2008. 「미국의 새로운 농가소득 지원제도: 더 충분히 그러나 더 엄격히」. GSNI.

- 노재선 등. 2008. 「국제 곡물가격 상승 등 축산환경 변화에 대한 사료사업 대응방안 연구」. 서울대학교.
- 박현태 등. 2008. 「주요국의 바이오에너지 개발 및 보급동향」. 한국농촌경제연구원.
- 배정환, 차경수. 2008. 「바이오 에너지 산업 육성을 통한 FTA 대응전략 연구 (제1차연도) - 바이오 연료공급 확대가 농산물 시장에 미치는 영향 분석 -」. 에너지경제연구원.
- 성명환 등. 2008. 「사료곡물 안정적 확보 및 곡물가격 조기경보 시스템 도입 방안」. 한국농촌경제연구원.
- 송주창. 2008. 「사료곡물을 잡아라 : 일본의 경우」. GSnJ.
- 유찬희. 2008. 「세계 바이오 연료 전망」. 한국농촌경제연구원.
- 이관용, 송두한 등. 2008. 「국제 곡물 수급요인 분석과 향후 가격 전망」. 농협경제연구소.
- 임송수. 2006. 「미국의 농가소득안정제도 : 발전경과와 실태」. GSnJ.
- 현의송 등. 2007. 「한·일 농협의 수입사료곡물 구매방식에 대한 비교연구」. 농협대학 농협경영연구소.
- Arzac, E.R. and M. Wilkinson. 1979. "A quarterly Econometric Model of United States Livestock and Feed Grain Markets and Some of Its Policy Implications." *American Journal of Agriculture Economics* 61(2): 297-308.
- Board of Governors of the Federal Reserve System. Available at <<http://www.federalreserve.gov/>>.
- Chambers, R.G. and R.E. Just. 1982. "An investigation of the effect of monetary factors on agriculture." *Journal of Monetary Economics* 9(2): 235-247.
- Economic Research Service. USDA. various reports and issues. Available at <<http://www.ers.usda.gov/>>.
- Elobeid, A., S. Tokgoz, D.J. Hayes, B.A. Bobcock and C.E. Hart. 2006. "Long-Run Impact of Corn-Based Ethanol on the Grain, Oilseed, and Livestock Sectors: A Preliminary Assessment." Food and Agricultural Policy Research Institute (FAPRI) at Iowa State University.
- Energy Information Administration. Available at <<http://www.eia.doe.gov/>>.
- Ethanol Across America. 2008. *The impact of Ethanol Production on Food, Feed, and Fuel*.
- Ferris, J. and S. Joshi. 2004. "Evaluating the Impacts of an Increase in Fuel-ethanol Demand on Agriculture and the Economy." Michigan State University.
- Foreign Agricultural Service. USDA. various reports and statistics. Available at <<http://www.fas.usda.gov/>>.
- Fortenbery, R.R. and H. Park. 2008. "The Effect of Ethanol Production on the U.S." University of Wisconsin-Madison.
- Henry, B. and O. Joe. 2006. "US Ethanol Production and Use Under Alternative Policy Scenarios." Texas A&M University.
- International Monetary Fund. Available at <<http://www.imf.org/>>.
- Lowrt, M., J. Glauber, M. Miranda and P. Helmberger. 1987. "Pricing and Storage of Field Crops

- : A Quarterly Model Applied to Soybeans.” *American Journal of Agricultural Economics* 69.
- National Agricultural Statistics Service. USDA. various reports and issues. Available at <<http://www.nass.usda.gov/>>.
- National Corn Price. University of Wisconsin-Madison. *Department of Agricultural & Applied Economics* 523.
- OECD. various reports and issues. Available at <<http://www.oecd.org/>>.
- Renewable Fuels Association, Available at <<http://www.ethanolrfa.org/>>.
- Renewable Fuels Association, Ethanol Industry Outlook 2008.
- Subtonik, A. and J.P. Houck. 1982, “A quarterly Econometric Model for Corn: A Simultaneous Approach to Cash and Futures Markets in G. C. Rausser ed., *New Directions in Econometric Modeling and Forecasting in U.S. Agriculture.*” North-Holland.
- Taylor, R., J. Mattson, J. Andino and W. Koo. 2006. “Ethanol’s impact on the U.S. Corn Industry.” North Dakota State University.
- Tokgoz, S. and A. Elobeid. 2007. “Understanding the Underlying Fundamentals of Ethanol Markets: Linkages between Energy and Agriculture.” Paper presented at the annual meetings of the American Agricultural Economics Association.
- Tomek, W.G. 1997. “Commodity Futures Prices as Forecasts.” *Review of Agricultural Economics* 19: 23-44.
- Tomek, W.G. and R.J. Myers. 1993. “Empirical Analysis of Agricultural Commodity Prices: A Viewpoint.” *Review of Agricultural Economics* 15: 181-202.
- USDA. 2009. “USDA Agricultural Projection to 2018.”
- USDA-FAS. 2009. “World Markets and Trade 2007/2008.”

부표 1. 미국 옥수수 가격 모형 분석에 사용된 자료

구 분	변 수 명	내 용	출 처
P_t	옥수수가격 ¹⁵	월별 가격 분기별 평균	USDA, ERS ¹⁶
P_t^{SM}	대두박 가격 ¹⁷	월별 가격 분기별 평균	USDA, ERS
S_t	옥수수 공급량	시점 재고량	USDA, ERS
F_t	사료용 옥수수 소비	분기별 자료	USDA, ERS
EX_t	수출용 옥수수 소비	분기별 자료	USDA, ERS
$Fuel_t$	연료용 옥수수 소비	분기별 자료	USDA, ERS
Etc_t	기타 옥수수 소비	분기별 자료	USDA, ERS
W_t	미국을 제외한 세계 밀 생산	연간 일정	USDA, ERS
WCU_t	미국을 제외한 세계 옥수수 소비	연간 일정	USDA, ERS
CA_t	소 사육량	월별 자료 분기별 평균	USDA, NASS ¹⁸
B_t	닭 사육량	월별 자료 분기별 평균	USDA, NASS
H_t	돼지 사육량	시점 · 종점 사육량 평균	USDA, NASS
P_t^{beef}	쇠고기 가격	월별 자료 분기별 평균	USDA, ERS
P_t^{pork}	돼지고기 가격	월별 자료 분기별 평균	USDA, ERS
$P_t^{broiler}$	닭고기 가격	월별 자료 분기별 평균	USDA, ERS
C_t^{beef}	쇠고기 소비량	연간 일정	USDA, ERS
C_t^{pork}	돼지고기 소비량	연간 일정	USDA, ERS
$C_t^{broiler}$	계란 소비량	연간 일정	USDA, ERS
P_t^{ngas}	천연가스 가격	월별 자료 분기별 평균	EIA
P_t^{oil}	국제 원유가	월별 자료 분기별 평균	EIA
Eth_t	에탄올 생산량	월별 자료 분기별 합산	EIA
$Dollar_t$	미국 달러지수	월별 자료 분기별 평균	FRS
$USGDP_t$	미국 GDP	연간 일정	IMF
Pop_t	미국 인구	연간 일정	IMF

15 시카고 선물시장, Yellow Corn, 2등급

16 Economic Research Service

17 일리노이주 40~50% 도매가격

18 National Agricultural Statistics Service

부표 2. 미국 옥수수 모형 추정결과(2)

<p><u>축산물 및 관련 산출물 수요함수($P_t^{beef}, P_t^{pork}, P_t^{broiler}$)</u></p>					
$P_t^{beef} = 723.5815 - 0.0043254C_t^{beef} + 0.6081066P_t^{pork} + 0.355327P_t^{broiler} - 6.032363USGDP_t$					
(3.78)	(-0.87)	(4.59)	(1.65)	(-5.58)	
$+ 4.854369t - 15.26916D_1 + 4.266798D_2 + 3.299599D_3$					
(6.33)	(-3.58)	(1.00)	(0.77)		
$R^2=0.6459$	RMSE = 11.76119	F-value = 13.38	P = 0.0000		
<p><u>P_t^{pork}</u></p>					
$P_t^{pork} = 45.47736 - 0.0031685C_t^{pork} + 0.2691783P_t^{beef} + 0.1330589P_t^{broiler} + 0.641747P_{t-1}^{pork} - 0.2017541$					
(1.05)	(-1.50)	(4.67)	(1.40)	(6.87)	(-2.41)
$+ 4.414831D_1 - 7.584728D_2 - 6.29588D_3$					
(2.11)	(-3.42)	(-3.10)			
$R^2=0.8735$	RMSE = 5.832288	F-value = 51.43	P = 0.0000		
<p><u>$P_t^{broiler}$</u></p>					
$P_t^{broiler} = 49.72227 - 0.0029992C_t^{broiler} + 0.2156484P_t^{beef} + 0.6654497P_{t-1}^{broiler} + 0.3409219t$					
(2.21)	(-2.82)	(4.73)	(9.84)	(1.74)	
$+ 3.653165D_1 - 6.475861D_2 - 2.966268D_3$					
(2.25)	(-3.81)	(-1.79)			
$R^2=0.7128$	RMSE = 5.258	F-value = 26.87	P = 0.0000		
<p><u>옥수수 수출 수요함수(EX_t)</u></p>					
$EX_t = 1007.957 - 35.84248P_t - 3.3883948Dollar_t - 0.0266589W_t + 0.4321917EX_{t-1} + 0.74554WCU_t$					
(4.85)	(-3.64)	(-4.18)	(-3.43)	(4.76)	(3.23)
$R^2=0.5068$	RMSE = 54.79626	F-value = 20.90	P = 0.0000		
<p><u>연료용 옥수수 수요함수($Fuel_t$)</u></p>					
$Fuel_t = 5.746125 + 0.0454588Eth_t - 7.246512D_1 - 8.36079D_2 - 3.970233D_3$					
(3.66)	(321.79)	(-4.01)	(-4.67)	(-2.20)	
$R^2=0.9995$	RMSE = 5.254236	F-value = 25872.03	P = 0.0000		
<p><u>에탄올 생산 함수(Eth_t)</u></p>					
$Eth_t = -473.282 - 420.9903P_t^{ngas} + 130.4781P_t^{oil} + 1410.25RFS_t + 8696.357HR6 + 111.0463t$					
(-1.37)	(-5.33)	(11.91)	(3.30)	(13.57)	(7.11)
$R^2=0.9635$	RMSE = 993.809	F-value = 308.07	P = 0.0000		

부표 2. 미국 옥수수 모형 추정결과(3)

기타 옥수수 수요함수(Et_{c_t})

$$Et_{c_t} = 225.0452 - 7.433646P_t + 0.5026879Pop_t - 26.60484D_1 - 40.26172D_2 + 13.63858D_3$$

(10.96) (-8.53) (6.98) (-12.48) (-18.94) (6.33)

$R^2 = 0.9352$ RMSE = 5.95602 F-value = 165.79 P = 0.0000

미국 옥수수 가격함수(P_t)

$$P_t = -0.7330218 - 0.0002485S_t + 0.0011262(F_t + EX_t + Fuel_t + Et_{c_t}) + 0.7588169P_{t-1}$$

(-1.77) (-2.49) (3.47) (13.60)

+ 0.466868 D_1 + 0.6066301 D_2 + 0.4067099 D_3

(0.86) (1.67) (1.89)

$R^2 = 0.8121$ RMSE = 0.4003243 F-value = 40.27 P = 0.0000

부표 3. 옥수수 수요 및 가격 전망에 가정된 설명변수 예측치¹⁹

변 수	단 위	예 측 치				예 측 증 가 율			
		'09	'10	'11	'12	'09	'10	'11	'12
P_t^{oil}	\$/barrel	62.0	64.8	66.3	67.4	-37.9	13.5	4.5	2.4
P_t^{ngas}	\$/million BTU	71.8	75.0	76.8	78.0	-27.6	1.7	-0.6	2.1
$USGDP_t$	2007=100	120.6	123.9	127.6	131.3	-0.5	2.7	3.0	2.9
Pop_t	millions	307.1	309.9	312.7	315.5	0.9	0.9	0.9	0.9
$Dollar_t$	1997=100	97.9	98.5	99.2	99.9	0.7	0.7	0.7	0.7
C_t^{beef}	million pounds	26817.7	26200.9	25650.7	25009.4	-1.0	-2.3	-2.1	-2.5
C_t^{pork}	million pounds	18892.2	18608.9	18069.2	18033.1	0.7	-1.5	-2.9	-0.2
$C_t^{broiler}$	million pounds	29701.5	29553.0	29375.6	29904.4	-0.8	-0.5	-0.6	1.8
P_t^{SM}	\$/ton	257.0	252.0	249.5	248.1	-8.8	-1.9	-1.0	-0.6
P_t^{beef}	cent/pound	217.5	219.1	230.6	239.6	3.8	0.7	5.2	3.9
P_t^{pork}	cent/pound	116.6	124.0	135.4	139.8	4.2	6.3	9.2	3.3
$P_t^{broiler}$	cents/LB	71.6	74.2	77.2	78.4	5.9	3.7	4.0	1.5
WCU_t	million bushels	525.9	532.7	539.1	545.0	1.5	1.3	1.2	1.1
W_t	million bushels	23066.4	23558.4	24060.8	24573.9	2.1%	2.1	2.1	2.1

¹⁹ 모든 가격 자료는 2005년 기준 실질가격임.