

에너지 가격과 농산물 가격 사이의 연계성: 분위별 교차 스펙트럴 방법을 이용한 실증연구*

이윤정** · 이연정*** · 윤성민****

요약

본 연구에서는 분위별 교차-스펙트럴 방법을 이용하여 에너지 시장과 농산물 시장 가격 움직임 사이의 상호 연계성을 분석하였다. 본 연구의 분석 대상은 에너지 상품(원유, 에탄올), 바이오 에너지의 원료 작물(옥수수, 대두), 비원료 식량 작물(쌀, 귀리), 비식량 작물(면화, 커피)로 총 8가지이다.

본 연구의 주요 결과는 다음과 같다. 첫째, 식량 작물 간 수익률 상관관계는 식량 작물과 타 작물 간의 수익률 상관관계보다 상대적으로 높게 나타났다. 특히 바이오 연료의 원료 작물인 옥수수와 대두 수익률 간의 유사도는 단기, 중기, 장기의 모든 시간 주기에서 상대적으로 높게 나타났다. 둘째, 원유의 경우 바이오 연료의 원료 작물인 옥수수, 대두와 전반적으로는 뚜렷한 연계를 보이지 않았다. 하지만 장기에서는 극단적으로 낮은 시장수익률 상황에서 쌀과 귀리 등 비원료 식량 작물과의 연계성이 확인되었다. 셋째, 에탄올의 경우 바이오 연료의 원료 작물인 옥수수, 대두와 연계성이 존재하는 것으로 나타났다. 특히 바이오 에탄올의 원료 작물인 옥수수와 옥수수와의 연계성은 단기, 중기, 장기에서 모두 뚜렷하게 확인되었다. 넷째, 에탄올과 원유 시장수익률 간의 직접적인 연계가 존재한다고 보긴 어렵다.

주요 단어 : 에너지 가격, 바이오 연료, 농산물 가격, 시간척도, 분위별 교차-스펙트럴 방법
경제학문헌목록 주제분류 : Q21, Q42, C40

* 이 논문은 2020년 대한민국 교육부와 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임 (NRF-2020S1A5B8103268).

** 부산대학교 경제통상연구원 전임연구원(주저자) (e-mail: leeyj01@pusan.ac.kr)

*** 부산대학교 경제통상연구원 전임연구원(공동저자) (e-mail: yeonjeong@pusan.ac.kr)

**** 부산대학교 경제학부 교수(교신저자) (e-mail: smyoon@pusan.ac.kr)

I. 서 론

한 국가의 농업 잠재력은 경제성장의 원동력일 뿐 아니라 빈곤 감소에 중요한 역할을 하기 때문에 국가의 경제 수준과 관계없이 중요한 경제적 요소이다. 지난 수십 년간 농산물은 상당한 가격 상승과 변동을 보였다. FAO의 세계식량가격지수(2002 ~ 2004년 식량 가격의 평균치=100)는 2007년과 2008년에 각각 161.4와 201.4로 급격히 증가한 바 있으며, 2009년에는 160.3으로 급락하였다가 2011년에는 다시 229.9로 급등하였다. 이후 많은 연구에서 농산물의 가격과 변동성에 영향을 주는 요인으로 에너지 시장과의 연계에 주목하고 있으며, 당시 원유 가격의 상승이 2001년에서 2008년까지의 식량위기를 야기한 주요 원인 중 하나인 것으로 추측한 바 있다(Harri et al., 2009; Du et al., 2011; Ji and Fan, 2012; Mokni and Youssef, 2020).

농업과 에너지 시장과의 연계는 기본적으로 농업의 에너지 집약적인 특성에서 기인한다고 볼 수 있다(Ji and Fan, 2012; Beckman et al., 2013) 농업에서 에너지는 농산물의 생산에서 가공, 수확, 저장에서 유통과 소비에 이르기까지 모든 단계에서 사용된다. 여기에는 각 단계에서 에너지를 직접적으로 투입한 경우 뿐만 아니라, 기계, 비료 등을 통해 간접적으로 에너지가 투입된 것을 포함한다. 이러한 농업의 에너지 집약적인 특성 때문에 원유 가격의 상승은 농산물의 생산비용 증가에 직접적인 영향을 미칠 수 있다(Mitchell, 2008; Nazlioglu, 2011).

그리고 화석 에너지의 대체재로 바이오 에너지의 사용이 증가함에 따라 원유 시장과 농산물 시장 간에 또 다른 연계가 나타날 수 있다(Beckman et al., 2013). 예를 들어, 바이오 에탄올이나 바이오 디젤과 같은 바이오 연료는 옥수수나 대두 등을 식량 작물을 원료로 사용하기 때문에 유가 상승은 대체재인 바이오 연료에 대한 수요를 증가시켜 해당 식량 작물의 가격 상승을 초래할 수 있다(Chen et al., 2010; Tyner, 2010; Vacha et al., 2013). 이러한 화석 에너지와 바이오 에너지 작물 간의 관계에 관한 연구

는 지난 10여 년 동안 활발히 진행되었으며, 금융시장의 투자자들로부터 상당한 관심을 끌었다(Jebabli et al., 2014).

한편 세계 주요 국가들의 에너지 전환정책이 과거보다 농업과 에너지 시장 간의 관계가 긴밀해지는 것에 영향을 미치고 있다는 주장도 제기되고 있다(Chang and Su, 2010). 특히 바이오 에탄올 시장은 브라질, 미국 등 주요 생산국 정부의 정책적 주도로 빠르게 성장하고 있다. 바이오 에탄올은 주로 전분, 설탕 등의 원료를 발효시켜 생산되는데, 미국과 브라질에서 생산된 바이오 에탄올은 각각 옥수수과 사탕수수를 주 원료로 사용하여 생산하고 있다. 에너지 전환에 따른 바이오 연료의 생산 증대는 식량 작물의 가격에 영향을 줄 수 있으며, 식량 공급 대신 바이오 연료를 생산하기 위해 옥수수, 대두 등의 식량 작물을 사용하는 것은 세계 식량 안보 및 식량 불안과도 관련된다(Koirala et al., 2015).

이처럼 농업과 에너지 시장 간의 다양한 연계를 엄밀하게 파악하는 것은 학술적 및 현실적으로 매우 중요한 문제다. 만약 에너지 가격과 농산물 가격 간에 강한 연계성이 확인된다면, 에너지 가격의 변화는 정부의 농산물 가격안정정책 수립에 매우 중요한 지표로 고려될 수 있다. 특히 대두, 옥수수, 쌀 등의 식량작물이 에너지 시장과 강하게 연계되어 있다면, 정책 당국은 식량안보 측면에서 에너지 시장의 변화에 민감하게 대응해야 할 것이다. 그리고 정책당국의 대응 혹은 개입은 일반적인 시장 상황보다는 가격변동이 매우 높거나 낮은 극단적 상황에서 더욱 필요로 할 수 있다. 따라서 본 연구에서는 투자 기간과 시장 상황에 따른 에너지 시장과 농산물 시장 간의 연계를 긴밀히 파악하기 위해 Baruník and Kley(2015)의 분위별 교차-스펙트럴 분석을 이용하고자 한다. 본 논문의 구성은 다음과 같다. 제II장에서는 에너지 시장과 농산물 시장의 연계성에 관한 선행연구를 제시한다. 제III장에서는 분위별 교차-스펙트럴 분석 모형에 관해 설명하며, 제IV장에서 분석 모형을 활용한 본 연구의 실증분석 결과를 제시한다. 마지막으로 제V장은 분석 결과를 통해 도출한 종합적인 결론을 제시한다.

II. 선행연구 검토

에너지 가격과 농산물 가격 간의 연계성에 관한 연구는 다양한 방식으로 진행되어 왔으며, 원유와 바이오연료가 대표적인 에너지 상품으로 이들과 농작물 간의 연계성을 분석한 연구들이 주를 이루고 있다. 우선 원유 가격과 농작물 가격 간의 상관관계를 분석한 연구들 중 일부는 농산물의 생산과 운송 과정에서 에너지가 집약적으로 이용되기 때문에 두 시장 간의 연계가 나타날 수 있음을 설명하고 있다(Mitchell, 2008; Nazlioglu, 2011; Ji and Fan, 2012; Beckman et al., 2013; Mokni and Youssef, 2020). 이들은 주로 농업에 투입되는 에너지의 가격 상승이 직접적으로 농산물의 생산과 운송 단가를 높이게 되어 에너지 가격과 농산물 가격 간의 양의 상관관계 혹은 장기 균형관계가 나타날 수 있음을 보이고 있다. 그리고 원유 시장에서 농업 시장으로의 가격 전이효과가 ‘식량위기’로 알려진 2001년에서 2008년까지의 식량 가격의 급격한 상승의 원인으로 파악한 연구들도 있다(Hamilton, 2009; Du et al., 2011; Ji and Fan, 2012). Mokni and Youssef(2020)는 다양한 시간척도를 이용하여 석유와 농산물 시장 간의 의존성을 분석하였다. 분석결과에서 두 시장 간의 의존성은 동시적 관점 뿐만 아니라 시차를 고려한 경우에도 성립하였다. 특히 대두시장이 석유시장과 가장 관련이 있는 것으로 나타났으며, 분포의 중앙보다 꼬리 부분에서 두 시장 간의 의존성이 더 강했다. 이와 유사하게 Balcombe and Rapsomanikis(2008), Zhang and Qu(2015), Rafiq and Bloch(2016) 등의 연구에서도 원유 가격과 농산물 가격 간의 비대칭적 의존성이 존재한다는 것을 밝혔다. Du et al.(2011), Ji and Fan(2012), Mokni and Youssef(2020) 등은 오일 쇼크(유가 폭등)나 유가 폭락, 식량위기 등의 위기 동안에 두 시장 간 상관관계의 지속성이 증가하였다고 분석했다.

일부 연구들은 바이오 연료와 농산물 시장 간의 관계에 주목하고 있다. 바이오 연료는 주로 옥수수, 대두 등과 같은 식량 자원을 이용하여 에너지를 생산하기 때문에

바이오 에탄올과 바이오 디젤 등의 바이오 연료 생산이 증가함에 따라 두 시장의 가격 사이에 연계가 나타날 수 있다. 즉, 원유 가격이 상승함에 따라 바이오 연료에 대한 수요가 증가하게 되면, 농민들은 바이오 연료 추출에 사용되는 농산물 위주로 생산을 대체하기 때문에 전반적인 식량 가격의 상승을 초래할 수 있다고 설명한다(Tyner, 2010; Chen et al., 2010; Vacha et al., 2013; Su et al., 2019). 그리고 최근 정부 주도로 바이오 연료의 생산이 큰 폭으로 증가하여 과거보다 바이오 연료와 농산물 가격 간에 양의 상관관계가 더욱 강해진 것으로 분석한 결과들도 있다(Thompson et al., 2009; Beckman et al., 2012; Hertel and Beckman, 2011; Koirala et al., 2015). 이 중에서 Koirala et al.(2015)은 copula 모형을 이용하여 에너지 선물과 농산물 선물 가격 간의 관계를 분석하였으며, 천연가스, 원유, 가솔린, 디젤, 바이오 디젤 등 에너지 가격이 상승할 때 옥수수, 대두, 소의 선물 가격도 상승한다는 것을 확인하였다. 그리고 옥수수 선물 가격보다 대두 선물 가격이 상대적으로 바이오 디젤 가격과 더 높은 상관관계를 가지고 있다고 분석하였다. 또한 Ciaian and Kanacs(2011)와 Kristoufek et al. (2012) 등은 바이오 연료와 농산물 가격 간의 관계가 2006~2008년 식량위기 기간 전보다 식량위기 기간 이후에 훨씬 강해졌다고 분석하고 있다.

그리고 거시경제적 측면에서 에너지와 농산물 시장 간의 관계를 분석한 연구들도 있다(Vincent et al., 1979; Hanson et al., 1993; Gohin and Chantret, 2010). 특히 Gohin and Chantret(2010)는 CGE 모형을 이용한 분석을 통해 에너지 가격의 상승이 세계 농산물 생산비용에 대한 압력으로 작용하여 두 부문 간 양(+)의 관계를 보일 수 있다고 설명하면서도 실질 소득효과를 고려하는 경우 두 부문 간의 음(-)의 관계가 나타날 수 있음을 주장하였다.

원유나 바이오연료와 같은 에너지 가격이 농작물 가격에 어느 정도 영향이 있는 것으로 분석한 연구들과는 달리 일부 실증분석 연구에서는 원유 가격과 농산물 가격 간에 유의한 상관관계가 나타나지 않는다고 주장한다(Zhang et al., 2010; Reboredo, 2012; Fowowe, 2016). Zhang et al.(2010)은 원유나 에탄올 같은 에너지 상품 가격이 농산물 가격에 직접적인 장기 상관관계가 없으며, 제한적으로 단기적 상관관계만이 존재함을 보였다. 설탕의 가격이 쌀을 제외한 다른 농산물 가격에 단기적인 영향을 미

치며, 이는 에탄올 생산 증가에 따른 것이라고 설명하고 있다. Reboredo(2012)의 연구에서는 코플러 모형을 이용하여 원유와 식품 간 의존도가 약하며 극단적인 시장 의존성이 없음을 보였으며, 이는 원유 가격의 농산물 시장의 영향에 대한 중립성을 뒷받침 하는 결과이다.

지금까지 살펴본 바로는 다수의 연구 결과에서 에너지 가격이 농작물 가격에 영향을 주고 두 시장이 연계되어 있다는 주장이 주를 이루고 있다. 하지만 에너지 가격과 농산물 가격 간의 이론적 연계에 관해 반론을 제기한 연구도 발표되고 있으며, 두 시장 간 연계성의 강도, 지속성, 대칭성 등에 관한 실증분석 결과도 연구에 따라 다소 차이를 보인다. 그러므로 에너지 시장 상황이나 장기 및 단기적인 관점에 따라 에너지 가격과 농작물 가격간의 상관관계가 어떻게 변하는지에 대해 다각적인 분석이 필요할 것이다.

Ⅲ. 연구방법

본 연구에서는 Barunik and Kley(2015)의 분위별 교차-스펙트럴(quantile cross-spectral) 방법을 이용하여 에너지 시장과 농산물 시장 가격 사이의 연계를 분석하였다. 분위별 교차-스펙트럴 방법은 다중 시계열 간의 의존성을 추정할 수 있는 통합적 체계로 주파수 영역(frequency domain)에서 결합분포의 분위별로 나타나는 전체적인 의존성 구조를 포착할 수 있도록 고안되었다(Baruník and Kley, 2019).

분위별 교차-스펙트럴 방법에서 $(X_t)_{t \in Z}$ 는 $X_{t,j}, j = 1, \dots, d$ 인 d -변량 정상시계열로 $X_t = (X_{t,1}, \dots, X_{t,d})$ 이다. 본 논문에서는 원유, 에탄올 및 6개 농작물의 수익률 시계열을 나타낸다. 분위별 유사성은 두 시계열(X_{t,j_1})와 (X_{t,j_2})의 동적 의존성을 정량적으로 측정하는 것으로 다음과 같이 정의된다.

$$R^{j_1 j_2}(\omega; \tau_1, \tau_2) = \frac{f^{j_1 j_2}(\omega; \tau_1, \tau_2)}{(f^{j_1 j_1}(\omega; \tau_1, \tau_2) f^{j_2 j_2}(\omega; \tau_1, \tau_2))^{1/2}} \quad (1)$$

여기서 $j \in \{1, \dots, d\}$ 이고 $\tau \in [0, 1]$, f^{j_1, j_2} , f^{j_1, j_1} 와 f^{j_2, j_2} 는 분위수 교차-스펙트럴과 분위수 스펙트럴 밀도로 분위수 교차-공분산 커널 $\Gamma(\tau_1, \tau_2) := (\gamma_k^{j_1, j_2}(\tau_1, \tau_2))_{j_1, j_2=1, \dots, d}$ 행렬의 푸리에 변환으로 얻어진다.

$$\gamma_k^{j_1 j_2}(\tau_1, \tau_2) := Cov(I\{X_{t+k, j_1} \leq q_{j_1}(\tau_1)\}, I\{X_{t, j_2} \leq q_{j_2}(\tau_2)\}) \quad (2)$$

여기서 $k \in \mathbb{Z}$, $\tau_1, \tau_2 \in [0, 1]$, 그리고 $I\{A\}$ 는 사건 A 의 지시함수이다. 이 값은 분위수를 나타내는 두 변수 τ_1 과 τ_2 의 함수로 나타나므로 전통적인 상관관계 분석 방법에 비해 더 많은 정보를 제공한다. 또한 Baruník and Kley(2015)가 설명한 것처럼, 시차 k 를 변화시킴으로써 선형 의존성에 관한 중요한 정보를 얻을 수 있으며, $j_1 \neq j_2$ 로 선택함으로써 우리는 교차 스펙트럴 의존성에 관한 중요한 정보를 얻을 수 있다. 주파수 영역에서는 분위별 교차 스펙트럴 밀도 커널 행렬을 생성한다.

$$F(\omega; \tau_1, \tau_2) := (f^{j_1 j_2}(\omega; \tau_1, \tau_2))_{j_1 j_2=1, \dots, d} \quad (3)$$

$$f^{j_1 j_2}(\omega; \tau_1, \tau_2) := (2\pi)^{-1} \sum_{k=-\infty}^{\infty} \gamma_k^{j_1 j_2}(\tau_1, \tau_2) e^{-ik\omega}$$

분위별 유사도는 평활화된 분위별 교차-주기로도 평가된다(분위별 교차 스펙트럴 방법론에 대한 더 자세한 설명은 Baruník and Kley(2015)를 참고하기 바란다).

본 연구에서는 분위수 τ 에 해당하는 값을 0.1와 0.5, 0.9로 선정하여 각각 10분위와 50분위, 90분위 간의 의존성을 분석한다. 또한 2일, 약 1개월, 약 3개월 주기에 대한 유사도 행렬을 추정한다. 그리고 분위별 유사도 행렬을 추정하기 위해 Kley(2016)의 ‘quantspec’ 패키지, 유사도 행렬의 시각화를 위해 Wei and Simko(2017)의 ‘corrplot’

패키지를 사용하며, 이 패키지들은 R에서 수행된다.

IV. 실증분석 결과

1. 분석 자료

국제 에너지 가격과 농산물 가격 간의 상관관계를 분석하기 위해 원유(Oil)와 에탄올(Ethanol), 옥수수(Corn), 대두(Soybean), 쌀(Rice), 귀리(Oat), 면화(Cotton), 커피(Coffee)의 가격 데이터를 이용하였다. 원유 데이터는 WTI 현물 가격을 사용하였고, 원유를 제외한 나머지 상품은 CME 선물 가격 데이터이다. 분석대상 데이터 중 에너지 관련 상품으로는 원유와 에탄올을 포함하였으며, 6개의 농업 상품은 식량 작물이면서 바이오 연료의 원료 작물인 옥수수와 대두, 대표적인 식량 작물인 쌀과 귀리, 비식량 작물인 커피와 면화로 구성하였다. 분석기간은 2006년 4월 3일부터 2020년 3월 31일까지로 각 상품의 일별 거래 가격으로 환율의 영향을 피하고 시장 간 비교가 용이하도록 미국 달러로 표시된 자료를 이용하였다. 에너지 상품과 농업 생산물 데이터의 기초 통계량은 <표 1>에 정리되어 있다. <표 1>에서 level 항목은 수준변수로 각 상품의 가격을 나타내며, returns 항목은 각 상품의 로그 수익률로 $r_t = [\log(p_t) - \log(p_{t-1})] \times 100$ 으로 계산된다. 여기서, p_t 는 t 시점에서 각 상품의 가격을 의미한다. 본 논문에서는 로그 수익률을 표현의 편의상 ‘수익률’이라는 용어로 사용하며, 이는 가격변화율에 해당한다. 분석 기간 중 에너지 관련 상품인 원유와 에탄올은 평균 수익률이 각각 -0.032와 -0.028로 음(-)의 수익률을 보였으며, 농업 생산물 중 면화를 제외한 5개 상품은 모두 양(+)의 평균 수익률을 보였고, 면화는 -0.001로 작지만 음(-)의 평균수익률을 보였다. 분석 대상 중 쌀의 평균 수익률이 0.013으로 가장 높게 나타났다. 표준편차는 원유가 2.553으로 가장 높게 나타나 원유 시장의 변동성이 다른 상품에 비해 높은 것을 볼 수 있다. 귀리 수익률의 표준편차는 2.160으로 원유 다음으로

높게 나타났다. 한편 Jarque-Bera 검정 결과에서는 “시계열의 확률분포가 정규분포를 따른다”는 귀무가설이 1% 유의수준에서 모두 기각되어 분석대상 8가지 상품의 가격 및 수익률 분포가 정규분포와 다를 수 있다.

〈표 1〉 기초 통계량

Variables	Obs.	Mean	St.Dev.	Skewness	Kurtosis	Jarque-Bera test	
Level	Oil	3,652	72.863	22.520	0.309	2.381	116.2 ***
	Ethanol	3,652	1.886	0.475	0.745	3.182	342.9 ***
	Corn	3,652	444.044	135.272	1.077	3.036	706.7 ***
	Soybean	3,652	1073.889	249.800	0.384	2.541	121.8 ***
	Rice	3,652	12.844	2.509	0.813	3.912	530.2 ***
	Oat	3,652	286.779	67.763	0.404	2.490	138.5 ***
	Cotton	3,652	75.345	24.884	2.665	12.361	17,680.0 ***
	Coffee	3,652	142.355	41.603	1.550	5.078	2,121.1 ***
Returns	Oil	3,651	-0.032	2.553	-0.310	18.958	38,850.5 ***
	Ethanol	3,651	-0.028	2.038	-2.823	36.508	175,865.4 ***
	Corn	3,651	0.010	1.896	-0.770	16.299	27,304.4 ***
	Soybean	3,651	0.012	1.615	-0.919	25.781	79,561.5 ***
	Rice	3,651	0.013	1.496	-0.029	9.281	6,011.2 ***
	Oat	3,651	0.012	2.160	-0.347	9.249	6,023.4 ***
	Cotton	3,651	-0.001	1.897	-0.853	30.116	112,436.0 ***
	Coffee	3,651	0.002	1.938	0.104	4.938	579.7 ***

Note: ***, ** and * indicate rejection of unit root null hypothesis at the 1%, 5% and 10% levels, respectively.

다음으로 분석 시계열 데이터의 정상성 확인을 위해 단위근 검정을 수행하였다. 단위근 검정은 ADF(augmented Dickey-Fuller)와 PP(Phillips, Perron) 검정방법을 이용하였고, 절편항과 추세항 둘 다 있는 경우에 대하여 각각 검정하였다(Dickey and Fuller, 1979; Phillips and Perron, 1988). ADF와 PP 검정방법의 귀무가설은 “시계열은 단위근을 가진다”이다. 실험 데이터의 가격과 수익률 시계열에 대한 단위근 검정 결과는 <표 2>와 같다.

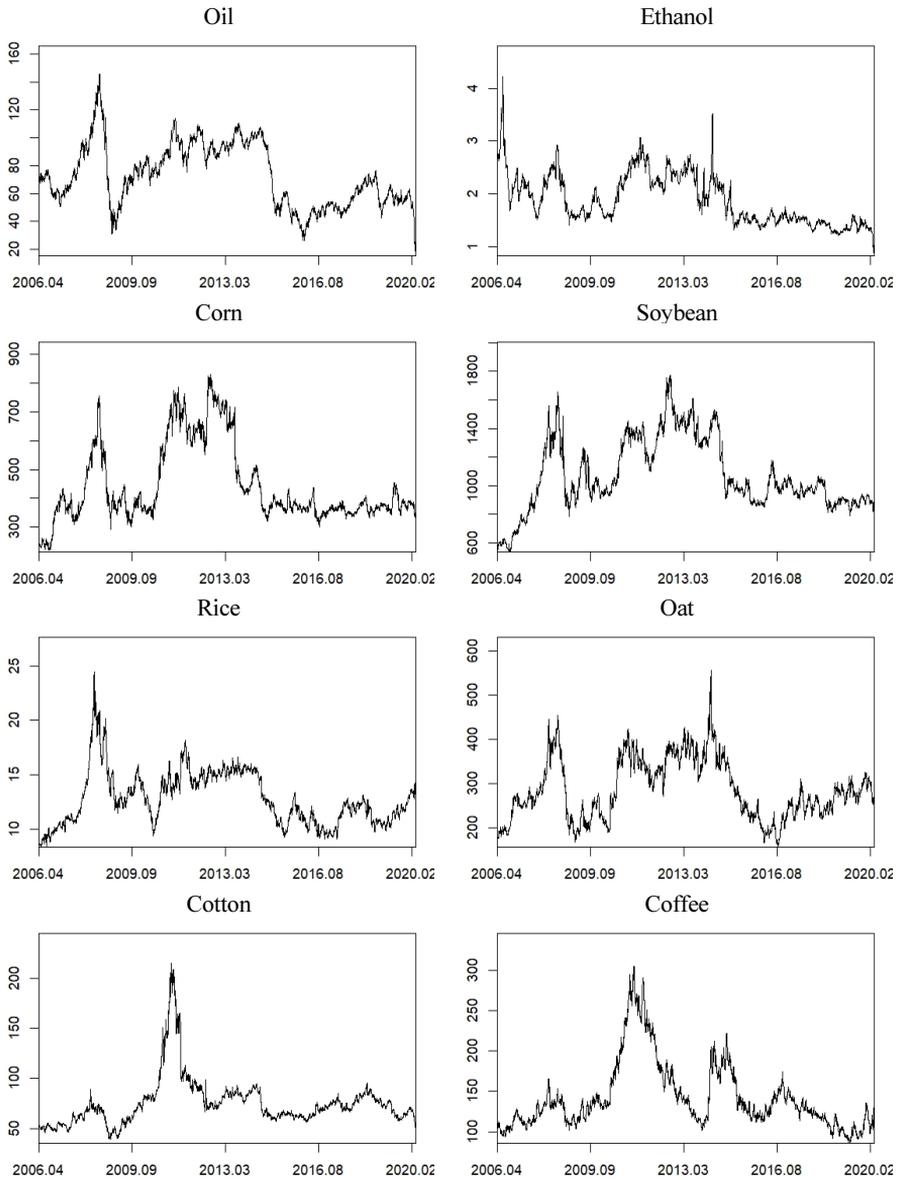
〈표 2〉 단위근 검정 결과

Variable	Level		Return	
	ADF	PP	ADF	PP
Oil	-1.993	-2.068	-44.530 ***	-65.912 ***
Ethanol	-3.701 **	-3.826 **	-41.235 ***	-57.587 ***
Corn	-2.479	-2.463	-42.806 ***	-60.061 ***
Soybean	-2.682	-2.618	-43.996 ***	-62.247 ***
Rice	-3.164 *	-3.094	-42.213 ***	-56.104 ***
Oat	-3.450 **	-3.292 *	-41.412 ***	-56.814 ***
Cotton	-2.255	-2.226	-41.382 ***	-59.432 ***

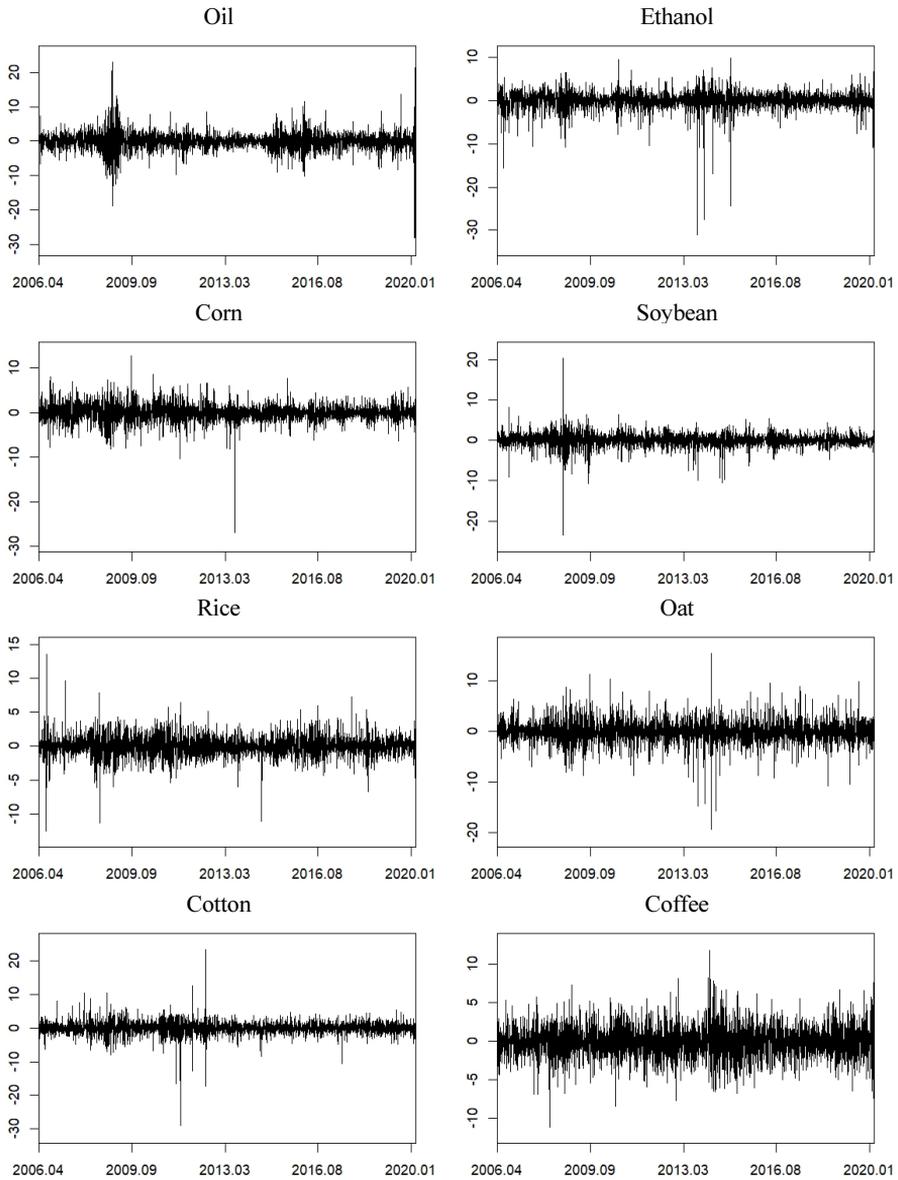
Note: ***, ** and * indicate rejection of unit root null hypothesis at the 1%, 5% and 10% levels, respectively.

수익률 데이터의 ADF 검정과 PP 단위근 검정 결과에서는 모든 시계열에 대해 1% 유의수준에서 귀무가설을 기각하는 것으로 나타나, 분석 대상 데이터들은 공통적으로 단위근이 존재하지 않는 정상적 시계열인 것을 확인하였다. 따라서 이 논문에서는 수익률 데이터를 이용하여 모든 실증분석을 수행한다. [그림 1]과 [그림 2]는 각각 원유와 에탄올 및 6개 농산물의 가격 변화와 수익률 변화를 보여준다.

[그림 1] 주요 변수의 가격 변화 추세



[그림 2] 주요 변수의 수익률 변화 추세

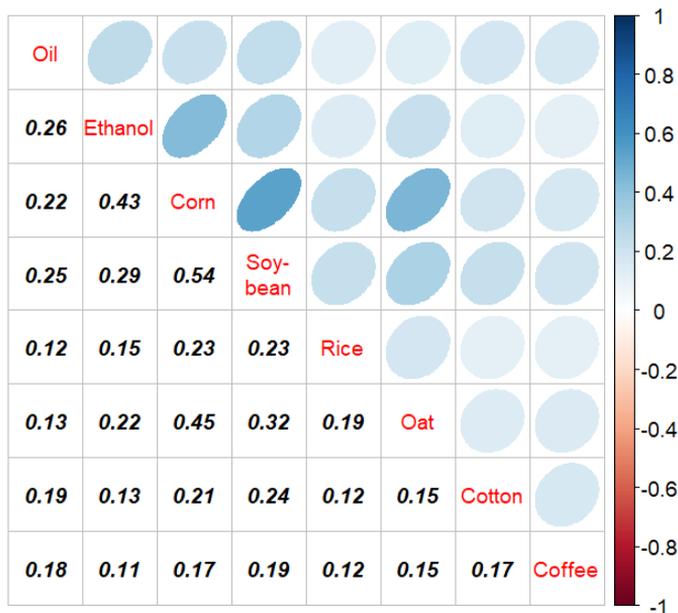


2. 분석 결과

1) 표준 상관관계 분석

본 연구에서는 에너지(원유, 에탄올), 바이오 연료 원료 작물(옥수수, 대두), 식량 작물(쌀, 귀리), 비식량 작물(면화, 커피) 수익률 간의 상관관계를 보기 위해 피어슨 상관계수를 측정하였다¹⁾. [그림 3]은 각 수익률 데이터 간의 피어슨 상관계수를 시각화하여 보여준다.

[그림 3] 표준상관관계 시각화

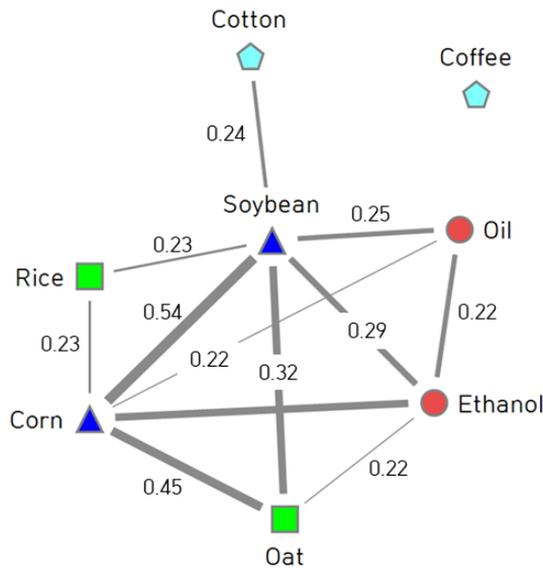


데이터 쌍 중에서 옥수수-대두의 상관계수가 0.54로 가장 높은 양(+)의 상관관계를

1) 옥수수와 대두는 식량 작물이자 바이오 연료 원료 작물에 해당하지만, 편의상 바이오 연료 원료 작물로 표기한다.

보인다. 그리고 옥수수-귀리는 0.45, 옥수수-쌀은 0.23으로 옥수수와 타 식량 작물 간의 상관관계는 에탄올을 제외한 다른 상품들(원유, 면화, 커피)과의 상관관계보다 높게 나타났다. 에탄올-옥수수는 0.43의 상관계수를 보였는데, 이것은 옥수수가 에탄올의 주요 원료 작물이기 때문으로 볼 수 있다. 대두-귀리 간의 상관계수는 0.32로, 이는 대두가 바이오 연료 작물이자 식량 작물이기 때문에 타 식량 작물인 귀리와 상관관계가 상대적으로 높은 것으로 볼 수 있다. 상품 간 상관관계를 좀 더 직관적으로 파악하기 위해 평균 이상의 상관계수를 보이는 상품 쌍들을 대상으로 네트워크를 구성하였고 결과는 [그림 4]와 같다.

[그림 4] 표준 상관관계 네트워크



[그림 4]의 상관관계 네트워크에서 노드(node)는 각각의 상품을 나타내고, 에지(edge)는 두 상품의 로그 수익률 간 피어슨 상관계수를 나타내며, 상관계수가 클수록 에지의 두께가 굵어진다. 네트워크에서 옥수수, 대두, 귀리와 같은 식량작물의 상관관계가 높음을 직관적으로 파악할 수 있다. 에탄올의 경우 바이오 연료의 원료로 사용되는 옥수

수와 대두와의 상관관계가 다른 작물에 비해 상대적으로 높게 나타남을 알 수 있다.

2) 분위별 교차 상관관계

분위별 교차-스펙트럴 분석은 서로 다른 분위수에서 모든 요소들의 조합에 대한 분위별 유사도 행렬을 측정하여 시각적으로 나타낸다. 따라서 각 요소가 보이는 서로 다른 상황에 대한 유사도를 한 번에 볼 수 있다는 장점이 있다. 본 연구에서는 각각 10번째(10th Q.)와 50번째(50th Q.), 90번째(90th Q.) 분위에서 각 상품 수익률 사이의 유사도를 살펴본다. 이때 10번째 분위는 극단적인 음(-)의 수익률(폭락 상황)을 의미하고, 50번째 분위는 평균적인 수익률, 90번째 분위는 극단적인 양(+)의 수익률(폭등 상황)을 나타낸다. 유사도 행렬의 시각화에서 유사도 값은 대각요소를 기준으로 대칭이며, 대각선 아랫부분은 상품 간 유사도 값을 나타낸다. 그리고 상관계수의 절대값이 0.3 미만인 값들은 0으로 표시하여 시각화를 간소화하였다. 유사도 계산을 위해 각 상품의 수익률 측정 기간을 단기와 중기, 장기로 구분하였으며, 이때 단기는 2일, 중기는 약 1개월, 장기는 약 3개월의 기간을 나타낸다.

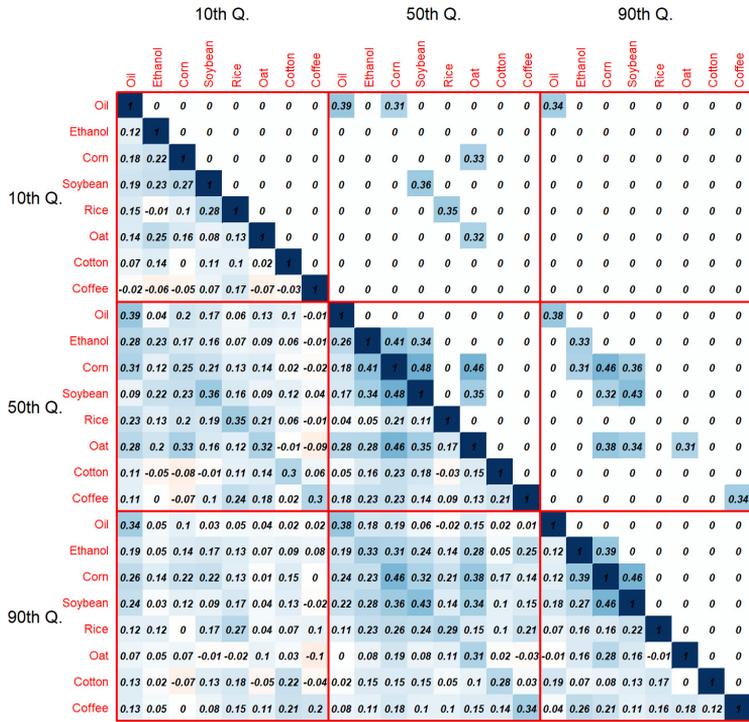
[그림 5]부터 [그림 7]은 각 상품 수익률에 대하여 단기와 중기, 장기로 구분하여 세 가지 분위수에 해당하는 유사도 행렬을 시각화한 것이다. 그림에서 파란색은 양(+)의 상관관계를, 붉은색은 음(-)의 상관관계를 의미하며, 색이 진할수록 상관관계가 강함을 나타낸다. 행렬 시각화에서 대각 요소를 기준으로 대칭이며 대각 요소 윗부분은 주요 유사도 값만 표시하였다. 모든 유사도 값은 소수점 이하 둘째 자리에서 반올림하여 사용하였다.

[그림 5]는 단기(2일) 유사도 행렬의 시각화로 에탄올-옥수수, 에탄올-대두와의 관계가 다른 상품들보다 비교적 높게 나타난다. 옥수수-대두의 경우 일반적인 시장수익률을 얻는 상황(50th Q.)과 극단적으로 높은 수익률을 얻은 상황(90th Q.)에서 각각 0.48과 0.46의 유사도를 보여 두 작물 수익률의 동조화 정도가 높은 것을 알 수 있다. 원유의 경우는 시장 상황(즉, 수익률 분위)에 관계없이 분석대상 농산물과 주목할 만한 동조화 관계가 나타나지 않는다. 이는 농업의 에너지 집약적인 특성이 존재하더라도 단기에는 원유 등의 에너지 가격변동이 농산물 가격변동에 즉각적으로 반영되지 않는다는 것을 의미한다.

반면에 에탄올의 경우 평균적인 시장수익률 상황(50th Q.)에서 옥수수, 대두와의 유사도가 각각 0.41과 0.34로 비교적 높게 나타난다. 앞서 피어슨 상관계수에서와 마찬가지로 옥수수는 바이오 에탄올의 원료 상품이라서 에탄올과의 유사도가 높게 나타난 것으로 볼 수 있다. 대두의 경우도 바이오 디젤의 원료 상품으로 바이오 에너지 상품과 관련이 높으며, 또한 옥수수와 대두의 상관관계가 높으므로 에탄올의 수익률에 영향을 받은 것으로 볼 수 있다. 한편 수익률이 극단적으로 낮은 시장 상황(10th Q.)에서는 상품 간 유사도가 높은 쌍이 보이지 않았다. 즉 단기에서 에너지 가격의 폭락과 농산물 가격의 폭락이 함께 나타나기는 어려우며, 농산물 간에도 특정 농산물 가격의 폭락과 다른 농산물 가격의 폭락이 함께 나타나기 어렵다는 것을 의미한다.

상품의 서로 다른 분위별 상관관계는 시장 상황별 수익률 움직임의 연계성을 의미한다고 볼 수 있다. 그리고 이러한 연계성이 높을수록 두 시장 상황이 유사한 시기에 나타날 가능성이 높다고 할 수 있다. 예를 들어, 대두의 경우 극단적으로 낮은 수익률(혹은 폭락 상황)을 얻는 시장 상황(10th Q.)에서 일반적인 시장상황(50th Q.)과는 0.36의 유사도를 보이지만 극단적으로 높은 수익률을 얻는 상황(90th Q.)과는 유사도(0.09)가 매우 낮게 나타났다. 즉 가격폭락과 평균적인 수익률이 유사한 시기에 나타날 가능성이 가격폭락과 폭등이 유사한 시기에 나타날 가능성보다 높을 것이라는 점을 시사한다. 한편 분석대상 중 원유에서만 시장수익률 폭락(10th Q.)과 폭등(90th Q.) 간에 유의미한 수익률 연계가 확인되었다. 이는 단기적으로 유가의 가격폭락과 폭등이 유사한 시기에 나타나 유가 수익률 변동이 매우 클 수 있음을 의미한다.

[그림 5] 단기(2일) 분위별 유사도 행렬

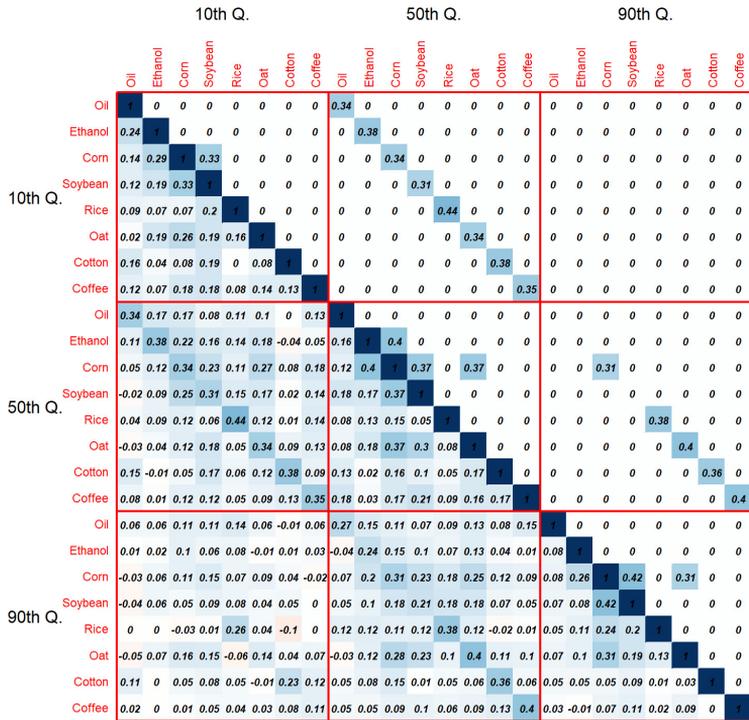


그리고 옥수수(50th Q.)와 에탄올의 극단적으로 높은 시장수익률(90th Q.)에서 옥수수-에탄올 간에 0.31의 유사도를 보였으며, 옥수수의 평균적인 시장수익률(50th Q.)과 원유의 극단적으로 낮은 수익률(10th Q.)에서 옥수수-원유 수익률 간에 0.31의 유사도를 보였다. 이것은 옥수수 시장이 평균적인 수익률을 얻는 상황에서 에탄올 가격의 폭등과 원유 가격의 폭락이 함께 나타날 수 있다는 의미이다. 즉 이론적으로 에탄올은 원유의 대체재로 고려될 수 있으므로, 원유와 에탄올 수익률 간에는 음(-)의 연계성이 존재할 수 있다. 그런데 [그림 5]의 단순화한 유사도 행렬에서 원유-에탄올은 모두 0의 값을 가지므로, 두 에너지 상품 간 직접적인 음(-)의 연계를 확인하기 어렵다. 하지만 옥수수 시장을 함께 고려하는 경우 에탄올-옥수수, 원유-옥수수 시장의 관계를 통해 간접적으로 에탄올-원유 시장 간 음(-)의 연계성이 존재함을 확인할 수 있다.

[그림 6]은 중기(약 1개월)에서의 상품 수익률 간 유사도 행렬을 시각화한 것이다. 단기와 마찬가지로 옥수수-대두의 쌍은 극단적으로 낮은 시장 수익률(10th Q.), 평균적인 수익률(50th Q.), 극단적으로 높은 시장 수익률(90th Q.) 분위에서 각각 0.33, 0.37, 0.42의 유사도를 보여 시장 상황에 관계없이 높은 유사도를 나타냈다. 즉 옥수수와 대두는 식량 작물이면서 동시에 바이오 연료(옥수수 바이오 에탄올, 대두-바이오 디젤)의 원료 작물이라는 공통점 때문에 두 작물의 가격변동은 상당히 유사한 움직임을 보인다는 것을 의미한다. 또한 옥수수-귀리의 경우 극단적으로 낮은 수익률을 보이는 시장 상황(10th Q.)을 제외하고, 일반적인 시장 수익률 상황(50th Q.)과 수익률이 극단적으로 높은 수익률을 보이는 시장 상황(90th Q.)에서 각각 0.37, 0.31의 유사도를 보였다. 따라서 식량 작물 간 수익률 상관관계는 상대적으로 식량 작물과 타 작물 간의 수익률 상관관계보다 높으며, 가격변동의 움직임도 유사하다고 볼 수 있다.

에너지 상품의 경우 단기에서와 유사하게 원유 수익률은 다른 농산물 수익률과 뚜렷한 상관관계를 보이지 않는다. 즉 중기에도 원유 등 전통적 에너지의 가격변동은 농산물의 가격변동과 유의한 연계를 나타내지 않으므로, 농업의 에너지 집약적 특성에 따른 에너지-농산물 간 가격변동성의 연계가 존재한다고 보기는 어렵다. 반면에 에탄올의 경우 평균적인 시장 상황(50th Q.)에서 바이오 에탄올의 원료 작물인 옥수수와 0.40의 유사도를 보여 두 상품의 수익률 간 연계가 높음을 알 수 있다. 한편 단기와 달리 서로 다른 분위에서 상품 간에 뚜렷한 유사도를 보인 경우는 없으며, 극단적인 두 시장 상황(10th Q.와 90th Q.)에서 뚜렷한 수익률 연계가 나타난 경우도 발견하기 어렵다. 따라서 중기에서는 단기의 원유 시장처럼 가격 폭락과 폭등 상황이 유사한 시기에 나타나는 경우는 없다고 볼 수 있다.

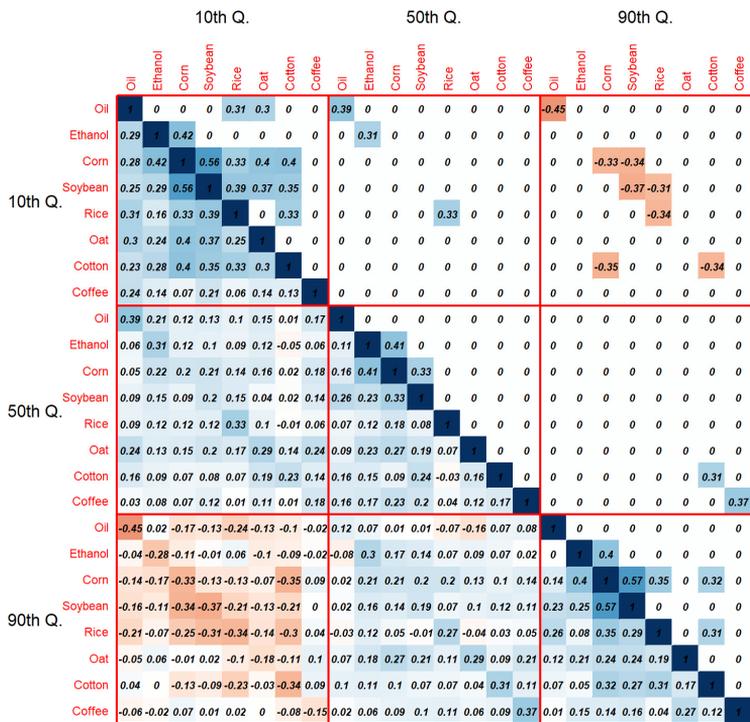
[그림 6] 중기(1개월) 유사도 행렬



[그림 7]은 장기(약 3개월)에서의 유사도 행렬을 시각화한 것이다. 장기 기준에서 각 상품 간 수익률 유사도는 단기와 중기에 비해 전반적으로 높게 나타난다. 이는 장기로 갈수록 상품의 가격은 개별적 변동 요인이 아닌 경제 전반적인 상황에 따라 동조화되어 변화하기 때문으로 볼 수 있다. 특히 수익률이 극단적으로 낮은 시장 상황(10th Q.)에서 식량 작물 간 유사도가 높게 나타나 가격 하락 시의 식량 작물 간 동조화 현상이 뚜렷하다는 것을 확인할 수 있다. 즉 장기적으로 식량 작물 간에는 가격변동의 움직임이 유사하며, 특정 작물의 가격이 폭락하는 상황일 때 다른 식량 작물의 가격 역시 폭락할 수 있음을 의미한다. 따라서 본 연구의 분석대상 식량 작물 간에는 장기적으로 대체성이 존재한다고 보기 어렵다. 옥수수-대두는 시장상황에 관계없이 높은 유사도를 보이며, 양 극단의 시장 상황에서 각각 0.56과 0.57의 유사도를 보여

상관관계가 매우 높게 나타난다. 옥수수과 대두는 식량 작물이면서 바이오 연료 원료 작물인 특성이 공통으로 존재하기 때문에 다른 식량 작물보다 유사성이 높은 것으로 볼 수 있다.

[그림 7] 장기(3개월) 유사도 행렬



원유의 경우 단기와 중기 유사도 행렬에서는 다른 상품과의 연계가 거의 보이지 않았지만, 장기에서는 극단적으로 낮은 시장 수익률 상황에서 쌀과 귀리 등 비원료 식량 작물과의 연계성이 확인되었다. 이러한 현상은 농업의 에너지 집약적 특성으로 인해 유가 하락이 쌀, 귀리 등의 생산단가를 하락시켰기 때문으로 해석할 수 있다. 그리고 단기, 중기와 같이 비교적 짧은 기간에서는 농업의 에너지 집약적 특성에 따른 에너지-농산물 간의 가격변동성 연계가 나타나기 어렵지만, 장기에는 에너지 시장의 가격변

동이 농산물 생산단가에 반영되어 농산물 가격변동에 영향을 줄 수 있는 것으로 파악된다.

에탄올은 옥수수와의 유사도가 시장 상황에 관계없이 0.4 이상으로 높게 나타나 단기와 중기에서와 마찬가지로 두 상품 간 연계성이 높음을 알 수 있다. 한편 원유(-0.45), 옥수수(-0.33), 대두(-0.37), 쌀(-0.34), 면화(-0.34) 등은 극단적인 두 시장 상황(10th Q.와 90th Q.)에서 뚜렷한 음(-)의 유사도를 보였다. 이러한 특징은 극단적으로 낮은 수익률이 지속되는 시장 상황과 높은 수익률이 지속되는 시장 상황이 완전히 서로 다른 시기에 발생하기 때문으로 볼 수 있다. 즉 장기적으로 수익률의 균집성이 존재하는 경우 극단적으로 수익률이 낮은 시기 또는 높은 시기가 일정기간 지속될 수 있음을 의미한다.

V. 결 론

본 연구에서는 Baruník and Kley(2015)의 분위별 교차-스펙트럴 방법을 이용하여 에너지 시장과 농산물 시장 가격 움직임 간의 연계성을 분석하였다. 분위별 교차-스펙트럴 방법은 두 시계열의 표준 상관관계 분석에서는 제공하지 못하는 분위 및 시간 척도에 따른 시계열 간 의존 구조에 대한 유용한 정보를 제공한다는 장점이 있다. 본 연구의 분석 대상은 8개 상품으로, 에너지 상품인 원유, 에탄올, 바이오 에너지의 원료 작물인 옥수수, 대두, 비원료 식량 작물인 쌀, 귀리, 비식량 작물인 면화, 커피이다. 원유 데이터는 WTI 현물 가격을 사용하였고, 원유를 제외한 나머지 상품은 CME 선물 가격이며, 분석 기간은 2006년 4월 3일부터 2020년 3월 31일까지이다. 분석에 사용된 상품의 수익률 자료는 10분위, 50분위, 90분위로 구분하였으며, 각각 극도로 낮은 시장 수익률 상황, 일반적인 시장 수익률 상황, 극도로 높은 시장 수익률 상황으로 정의하였다. 그리고 주파수 영역은 2일, 약 1개월, 약 3개월로 구분하였으며, 각각 단기, 중기, 장기로 정의하였다. 본 연구의 주요 분석결과는 다음과 같다.

첫째, 식량 작물 간 가격변동의 연계는 식량 작물과 타 작물 간의 가격변동의 연계보다 상대적으로 높게 나타났다. 특히 바이오 연료의 원료 작물인 옥수수과 대두 수익률 간의 유사도는 단기, 중기, 장기의 모든 시장 상황에서 상대적으로 높게 나타났다. 옥수수와 대두는 식량 작물이면서 바이오 연료 원료 작물이라는 특성을 공통으로 가지고 있어, 두 작물 간 연계성이 높은 것으로 파악된다. 그리고 식량 작물 간 가격변동의 연계성이 높다는 것은 특정 식량 작물의 가격변동이 예상될 때 다른 식량 작물로서 생산을 대체하더라도 시장 가격변동에 따른 위험을 줄이기 어렵다는 의미이다.

둘째, 원유의 경우 바이오 연료의 원료 작물인 대두와는 뚜렷한 연계를 보이지 않았으며, 옥수수와는 단기적으로 일부 시장 상황에서 연계를 보이기도 하였다. 즉 원유-대두, 원유-옥수수 간의 연계에는 농업의 에너지 집약적 특성과 전통적 에너지-바이오 에너지 간의 대체에 따른 특성 등이 반영될 수 있지만, 본 연구의 결과에서는 이와 관련된 뚜렷한 연계를 파악할 수 없었다. 하지만 장기에서는 극단적으로 낮은 시장 수익률 상황에서 쌀과 귀리 등 비원료 식량 작물과의 연계성이 확인되었는데, 이는 농업의 에너지 집약적 특성으로 인해 유가 하락이 쌀, 귀리 등의 생산단가를 하락시켰기 때문으로 볼 수 있다.

셋째, 에탄올의 경우 바이오 연료의 원료 작물인 옥수수, 대두와 연계성이 존재하는 것으로 나타났다. 하지만 에탄올과 대두의 연계성은 단기적으로만 존재하였고, 바이오 에탄올의 원료 작물인 옥수수와와의 연계성은 단기, 중기, 장기에서 모두 뚜렷하게 확인되었다. 이는 원유 등 전통적인 에너지 시장보다는 에탄올 등 바이오 에너지 시장의 가격변동이 옥수수, 대두의 가격변동에 중요한 요인으로 작용할 수 있음을 시사한다. 특히 옥수수를 주요 식량원으로 삼고 있는 국가일수록 해당 정책 당국은 바이오 에너지 시장의 변화에 주의를 기울이고 민감하게 대응할 필요가 있다.

넷째, 에탄올과 원유 시장 수익률 간의 직접적인 연계가 존재한다고 보긴 어렵다. 본 연구에서 파악한 분위별 기간별 유사도에서 에탄올과 원유 수익률 간에 뚜렷한 연계성을 나타내는 결과치는 도출되지 않았다. 즉 이론적으로 에탄올은 원유 등 전통적 에너지의 대체재로 고려되므로 원유-에탄올 수익률 간의 음(-)의 연계성이 예상되지만, 현재까지 바이오 에너지 시장의 규모가 전통적 에너지 시장을 대체할 만큼 성장하

지 못한 점을 반영한 것으로 볼 수 있다. 다만, 간접적으로 단기에 옥수수 시장을 함께 고려하는 경우 에탄올-옥수수, 원유-옥수수 시장의 관계를 통해 에탄올-원유 시장 간 음(-)의 연계성이 존재한다는 것을 확인하였다.

이상의 분석결과가 주는 시사점은 다음과 같다. 우선 바이오 에너지 시장은 옥수수, 대두 등 원료 식량 작물 시장과 긴밀하게 연계되어있으므로, 식량 안보 측면에서 정부는 바이오 에너지 시장의 변화에 주의를 기울일 필요가 있다. 그리고 농업의 에너지 집약적 특성에 따른 에너지-농산물 간의 연계는 단기, 중기보다는 장기 분석에서 포착되므로, 에너지 시장의 변화에 따른 농산물 시장의 영향을 파악하고 관련 정책을 수립하기 위해서는 장기 분석 자료를 활용하는 것이 적절하다. 또한 시장 상황에 따라 에너지-농산물의 연계 정도가 다르므로, 가격 폭등, 가격 폭락 등의 구체적인 시장상황 시나리오별 정책 마련도 요구된다. 마지막으로 원유 등 전통적 에너지와 에탄올 등 바이오 에너지 간의 대체성에 따른 이론적 연계는 현실적으로 뚜렷하게 포착되지 않지만, 농산물 시장을 함께 고려하는 경우에 두 에너지 시장 간 연계성이 드러날 수 있다. 따라서 전통적 에너지에서 바이오 에너지로의 전환에 따른 영향 분석을 위해서는 농산물 시장을 함께 고려하는 것이 적절할 수 있다.

접수일(2021년 1월 28일), 수정일(2021년 3월 25일), 게재확정일(2021년 3월 30일)

◎ 참고 문헌 ◎

- Balcombe, K. and Rapsomanikis, G. (2008). “Bayesian estimation of nonlinear vector error correction models: The case of sugar-ethanol-oil nexus in Brazil.” *American Journal of Agricultural Economics* 90(3) : 658-668.
- Baruník, J. and Kley, T. (2015). “Quantile cross-spectral measures of dependence between economic variables.” *Working Paper*, arXiv:1510.06946.
- Baruník, J. and Kley, T. (2019). “Quantile coherency: A general measure for dependence between cyclical economic variables.” *Econometrics Journal* 22(2) : 131-152.
- Beckman, J., Borchers, A. and Jones, C. A. (2013). *Agriculture’s Supply and Demand for Energy and Energy Products*. Economic Information Bulletin No. 112, United States Department of Agriculture, Economic Research Service.
- Beckman, J., Hertel, T., Taheripour, F. and Tyner, W. (2012). “Structural change in the biofuels era.” *European Review of Agricultural Economics* 39(1) : 137-156.
- Chang, T.-H. and Su, H.-M. (2010). “The substitutive effect of biofuels on fossil fuels in the lower and higher crude oil price periods.” *Energy* 35(7) : 2807-2813.
- Chen, S.-T., Kuo, H.-I. and Chen, C.-C. (2010). “Modeling the relationship between the oil price and global food prices.” *Applied Energy* 87(8) : 2517-2525.
- Ciaian, P. and Kancs, d’A. (2011). “Interdependencies in the energy-bioenergy-food price systems: A cointegration analysis.” *Resource and Energy Economics* 33(1) : 326-348.
- Dickey, D. and Fuller, W. (1979). “Distribution of the estimators for a time series with a unit root.” *Journal of American Statistical Association* 74(366) : 427-431.
- Du, X., Yu, C. L. and Hayes, D. J. (2011). “Speculation and volatility spillover in the crude oil and agricultural commodity markets: A Bayesian analysis.” *Energy*

Economics 33(3) : 497-503.

Fowowe, B. (2016). "Do oil prices drive agricultural commodity prices? Evidence from South Africa." *Energy* 104 : 149-157.

Gohin, A. and Chantret, F. (2010). "The long-run impact of energy prices on world agricultural markets: The role of macro-economic linkages." *Energy Policy* 38(1) : 333-339.

Hamilton, J. D. (2009). "Understanding crude oil prices." *Energy Journal* 30(2) : 179-206.

Hanson, K., Robinson, S. and Schluter, G. (1993). "Sectoral effects of a world oil price shock: Economy wide linkages to the agricultural sector." *Journal of Agricultural and Resource Economics* 18(1) : 96-116.

Harri, A., Nalley, L. and Hudson, D. (2009). "The relationship between oil, exchange rates, and commodity prices." *Journal of Agricultural and Applied Economics* 41(2) : 501-510.

Hertel, T. W. and Beckman, J. (2011). *Commodity price volatility in the biofuel era: An examination of the linkage between energy and agricultural markets*. NBER Working Papers 16824, National Bureau of Economic Research, Inc.

Jebabli, I., Arouri, M. and Teulon, F. (2014). "On the effects of world stock market and oil price shocks on food prices: An empirical investigation based on TVP-VAR models with stochastic volatility." *Energy Economics* 45 : 66-98.

Ji, Q. and Fan, Y. (2012). "How does oil price volatility affect non-energy commodity markets?" *Applied Energy* 89(1) : 273-280.

Kley, T. (2016). "Quantile-based spectral analysis in an object-oriented framework and a reference implementation in R: The quantspec package." *Journal of Statistical Software* 70(3) : 1-27.

Koirala, K. H., Mishra, A. K., D'Antoni, J. M. and Mehlhorn, J. E. (2015). "Energy prices and agricultural commodity prices: Testing correlation using copulas method." *Energy* 81 : 430-436.

- Kristoufek, L., Janda, K. and Zilberman, D. (2012). "Correlations between biofuels and related commodities before and during the food crisis: A taxonomy perspective." *Energy Economics* 34(5) : 1380-1391.
- Mitchell, D. (2008). A Note on Rising Food Prices. Policy Research Working Paper No. 4682, Washington, DC : World Bank.
- Mokni, K. and Youssef, M. (2020). "Empirical analysis of the cross-interdependence between crude oil and agricultural commodity markets." *Review of Financial Economics* 38(4) : 635-654.
- Nazlioglu, S. (2011). "World oil and agricultural commodity prices: Evidence from nonlinear causality." *Energy Policy* 39(5) : 2935-2943.
- Phillips, P. C. B. and Perron, P. (1988). "Testing for a unit root in time series regression." *Biometrika* 75(2) : 335-346.
- Rafiq, S. and Bloch, H. (2016). "Explaining commodity prices through asymmetric oil shocks: Evidence from nonlinear models." *Resources Policy* 50(4) : 34-48.
- Reboredo, J. C. (2012). "Do food and oil prices co-move?" *Energy Policy* 49(10) : 456-467.
- Su, C. W., Wang, X.-Q., Tao, R. and Oana-Ramona, L. (2019). "Do oil prices drive agricultural commodity prices? Further evidence in a global bio-energy context." *Energy* 172 : 691-701.
- Thompson, W., Meyer, S. and Westhoff, P. (2009). "How does petroleum price and corn yield volatility affect ethanol markets with and without an ethanol use mandate?" *Energy Policy* 37(2) : 745-749.
- Tyner, W. E. (2010). "The integration of energy and agricultural markets." *Agricultural Economics* 41(s1) : 193-201.
- Vacha, L., Janda, K., Kristoufek, L. and Zilberman, D. (2013). "Time-frequency dynamics of biofuel-fuel-food system." *Energy Economics* 40 : 233-241.
- Vincent, D. P., Dixon, P. B., Parmentier, B. R. and Sams, B. R. (1979). "The short-term effect of domestic oil price increases on the Australian economy with special reference

to the agricultural sector.” *Australian Journal of Agricultural Economics* 23(2) : 79-101.

Wei, T. and Simko, V. (2017). “R package "corrplot": Visualization of a correlation matrix.” version 0.84. Available from <https://github.com/taiyun/corrplot>.

Zhang, C. and Qu, X. (2015). “The effect of global oil price shocks on China’s agricultural commodities.” *Energy Economics* 51(5) : 354-364.

Zhang, Z., Lohr, X., Escalante, C. and Wetzstein, M. (2010). “Food versus fuel: What do prices tell us?” *Energy Policy* 38(1) : 445-451.

ABSTRACT

Energy Prices and Agricultural Product Prices: An Empirical Study using the Quintile Cross-spectral Method*

Yun-Jung Lee **, Yeonjeong Lee *** and Seong-Min Yoon ****

In this paper, we analyzed the relationship between the energy market and the agricultural products market using the quintile cross-spectral method. Our analysis used eight time series data; energy commodities(crude oil, ethanol), bio-energy raw crops(corn, soybean), non-raw food crops(rice, oats), and non-food crops(cotton, coffee). The main results of this study are as follows.

First, the correlation between food crop returns was relatively higher than that between food crops and other crops. In particular, the coherency between corn and soybean returns, which are raw materials for bio-fuels, was relatively high in all time scales in the short, medium and long term. Second, crude oil did not show a clear relationship with corn and soybeans, which are raw materials for bio-fuels. However, in the long run, the relationship between crude oil and non-energy food crops(rice and oats) was confirmed in a market situation with extremely low returns. Third, ethanol was found to have a relationship with corn and soybeans, which are raw materials for bio-fuels. Especially, the relationship between ethanol and corn, the raw material corp of bio-ethanol, was clearly confirmed at all time scales. Fourth, it is difficult to confirm a direct linkage between ethanol and crude oil market returns.

Key Words : energy price, bio-energy, agricultural product price, time-scale, quintile cross-spectral method

* This work was supported by the Ministry of Education of the Republic of Korea and the National Research Foundation of Korea (NRF-2020S1A5B8103268).

** Research Fellow, Institute of Economics and International Trade, Pusan National University (First author), leeyj01@pusan.ac.kr

*** Research Fellow, Institute of Economics and International Trade, Pusan National University (Co-author), yeonjeong@pusan.ac.kr

**** Professor, Department of Economics, Pusan National University(Corresponding author), smyoon@pusan.ac.kr