에너지경제연구 제 17 권 제 1 호
Korean Energy Economic Review
Volume 17, Number 1, March 2018 : pp. 153~177

구조변화를 고려한 국제원유시장의 통합 연구*

정수관**

요 약

본 연구에서는 구조변화의 가능성을 고려하여 국제원유시장 통합의 동태적 관계를 분석하였다. 내생적으로 결정된 구조변화 시점을 기준으로 전체기간에 대해 구조변화 더미변수를 포함하고, 구조변화 시점 전후 부분 기간에 대해 국제유가 간 장기균형관계와 인과관계의 추이를 분석하였다. 분석 결과 서부 텍사스산 원유(WTI), 두바이유, 브렌트유 가격은 임의보행을 하고 공적분 관계를 맺어 국제원유시장은 통합된 것으로 나타났다. 그러나 구조변화 이전 기간과 이후 기간에 국제원유가격 간 장기균형관계와 인과관계는 다른 양상으로 나타났다. 구조변화 이전 기간 WTI, 두바이유, 브렌트유 가격은 장기균형을 갖고 상호 예측하는 데 유의한 영향을 미치는 것으로 나타났다. 그러나 구조변화 이후 국제원유 가격 사이에 장기균형관계는 존재하지 않고, 상호예측력이 없는 것으로 나타났다. 국제원유시장의 연계성은 구조변화와 분석 시기에 따라 달라지는 유동적인 현상으로 볼 수 있다.

주요 단어 : 국제유가, 구조변화, 공적분, 벡터오차수정모형, 인과성 분석
경제학문헌목록 주제분류 : Q21

* 이 논문 또는 저서는 2017년 대한민국 교육부와 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임 (NRF-2017S1A5B8057488).
** 창원대학교 글로벌비즈니스학부 조교수. sukwan@changwon.ac.kr

Ⅰ. 서 론

전 세계에서 생산되는 187개의 다양한 원유 중 미국의 서부 텍사스산 원유(WTI: West Texas Intermediate), 중동의 두바이유, 영국의 브렌트유는 국제원유시장을 대표하는 3대 유종으로 많은 관심을 받아왔다. 세 유종의 가격은 국제원유시장의 유가를 결정하는 기준유가로서 기능하며, 국제원유시장의 가격정보와 가격전달체계를 이해하는 데 중요한 정보를 제공한다(Garis, 2011).

국제원유시장 간 연계성에 대한 논의는 정책적으로 중요한 의미가 있다. 국제원유시장이 하나의 동일한 시장이라면 일물일가의 법칙이 성립하게 되어 한 지역의 시장조건 변화는 다른 지역의 시장에 즉각적으로 영향을 미치게 된다. 따라서 국제원유가격 사이에 격차가 생기면 차익거래로 조정과정을 거쳐 장기적으로 안정적인 관계를 형성하게 될 것이다. 이의 경우 국제원유시장은 효율적으로 작동하므로 국제유가의 불안에 큰 걱정을 할 필요가 없다. 그러나 국제원유시장이 지역화 되어 그 지역 내 공급자가 시장지배력을 통해 원유가격을 조정한다면 수입의존도가 높고 유가 충격에 취약한 우리나라 경제에 상당한 부담이 될 수 있다.

국제원유시장은 하나의 단일시장이라는 Adelman(1984)의 주장 이후 국제원유시장의 단일화 혹은 지역화에 관한 많은 연구가 진행됐다. 국제원유시장을 하나의 단일시장으로 보는 견해(Adelman, 1984; Ripple & Wilamoski, 1995; Gullen, 1997; Bachmeier & Griffin, 2006)와 지역화 시장으로 보는 견해(Weiner, 1991; 김진수·허은녕·김연배, 2007)가 양립하고 있다. 국제원유시장의 통합 여부를 분석하는 대다수 연구는 Engle & Granger(1987), Johansen(1988) 방법을 이용하여 국제유가 간 공적분 관계와 Granger 인과관계를 분석하지만, 이러한 전통적인 방법은 구조변화를 반영하지 못하므로 분석결과의 신뢰성이 떨어지는 한계가 있다.

이에 본 연구에서는 구조변화의 가능성을 반영한 Zivot & Andrews(1992) 단위근 검정과 Gregory & Hansen(1996) 공적분 분석방법을 활용하여 국제원유시장의 대표유종인 브렌트유, 두바이유, WTI 가격의 연계성을 분석하고자 한다. 공적분 분석결과의 정보를 활용하여 공적분 관계가 존재하면 벡터오차수정모형(VECM: vector error correction model), 공적분 관계가 없으면 벡터자기회귀(VAR: vector autoregressive)방법을 통해 국제원유가격 간 동태적 관계와 Granger 인과관계가 분석된다. 이때 Gregory-Hansen 공적분 검정에서 결정된 구조변화 시점에 기초해 전체 기간과 구조변화 시점 전후 부분기간에 대해 공적분 관계와 Granger 인과관계의 추이를 살펴볼 것이다. 구조변화의 가능성을 명시적으로 고려하여 국제원유시장의 통합정도를 분석하였다는 점이 기존 연구와 차별화된 특징으로 볼 수 있다. 구조변화를 고려한 분석은 국제원유시장 분석뿐만 아니라 전력시장, 탄소배출권시장과 같은 다른 에너지시장 분석의 예측력을 높이는 데 활용될 수 있을 것으로 본다.

본 연구의 구성은 다음과 같다. Ⅱ장에서는 선행연구를 살펴보고, Ⅲ장에서는 본 연구에 사용된 연구방법과 관련해서 구조변화를 고려한 단위근 검정과 공적분 분석방법을 소개하고, VECM에 기초한 공적분 검정과 인과관계 분석방법을 설명하였다. Ⅳ장에서는 자료 분석과 실증결과를 제시하고, Ⅴ장에서는 결론을 맺는다.

Ⅱ. 선행 연구

국제원유시장 간 연계 정도에 따라 국제원유시장은 하나의 단일시장으로 보는 견해와 지역화 시장으로 보는 견해가 있다. Adelman(1984)에 따르면 국제원유시장은 하나의 거대한 시장으로서 한 지역의 시장조건이 변하면 다른 지역의 시장에 즉각적으로 영향을 미치게 된다. 이와는 달리 Weiner(1991)는 지역 간 원유거래가 원활하게 이루어지지 않는다면 지역화(regionalization) 시

장으로 주장한다. 그러나 Weiner(1991)는 국제원유시장 지역화의 중요성에 대한 근거를 제시하지 못하였다. 이에 Rodriguez & Williams(1993)는 경제적 개념을 결부시켜 국제원유시장을 경제적 시장과 지역적 시장으로 구분하였다. Rodriguez & Williams(1993)는 구매자와 판매자의 자유로운 거래로 일물일가의 법칙이 성립하는 것을 경제적 시장, 거래당사자가 특정 지역에서 시장 지배력을 발휘한다면 지역화 시장으로 정의하였다. 이상의 논의에 기초해 거래비용을 제외할 경우 일물일가 법칙의 성립으로 국제원유시장이 효율적으로 작동하면 단일시장으로, 특정 지역에서 시장 지배력을 발휘하여 독자적으로 발전하여 시장 간 상호 영향력이 없다면 지역화 시장으로 볼 수 있을 것이다.

원유시장의 동조화를 분석하는 데 공적분 분석방법, 오차수정모형, Granger 인과성 분석이 주로 활용되고 있다. 국제원유시장이 통합되어있다면 개별 유가는 일정한 규칙 없이 임의로 움직이더라도, 국제원유가격 사이의 관계는 일정한 장기균형관계를 가진다. 외부충격 때문에 일시적으로 장기균형관계에서 벗어날 수 있지만, 차익거래가 발생해 장기적으로 안정적인 관계로 회복하게 될 것이다. Granger 인과성 분석을 통해 원유시장 간 상호 예측력이 있다면 단일시장이라고 주장하기도 한다. 일부 연구(김진수·허은녕·김연배, 2007)는 국제원유시장을 지역화 시장일 가능성을 주장하지만, Ripple & Wilamoski (1995), Gullen(1997), Bachmeier & Griffin(2006), Bachmeier & Griffin(2006) 등을 포함한 대다수 연구자는 국제원유시장을 통합된 시장으로 보고 있다.

Rodriguez & Williams(1993), Gullen(1997), Bachmeier & Griffin(2006) 등은 국제원유시장의 통합 여부를 분석하는 데 공적분 방법을 활용하였다. Rodriguez & Williams(1993)는 1982년 1월부터 1992년 12월 일간 자료를 이용하여 Brent, Dubai, ANS, WTI 유가 간 Johansen 공적분 검정을 실행하였다. 분석 결과 3개의 공적분 위수(rank)를 발견하여 네 개의 시장은 상호 연계된 동일한 시장을 형성한다는 것을 발견하였다. Ripple & Wiliqmoski(1995)는 Weiner(1991)의 연장선상에서 국제원유가격 사이에 통합 여부를 분석하였는데 Weiner의 주장과는 달리 국제원유시장은 단일시장이라는 것을 발견하였다.

이처럼 상반된 결과가 나타난 이유는 원유의 선물거래 등장으로 원유가격 정보에 대해 객관적인 정보획득이 쉬워져 시장구조가 투명해졌기 때문이라고 주장한다. Gullen(1997)은 1980년부터 1995년까지의 월별자료를 이용하여 15개 유종에 대해 국제원유가격 사이에 공적분 관계를 분석한 결과 안정적인 균형관계를 발견하였다.

Bachmeier & Griffin(2006)은 오차수정모형을 통해 1990년부터 1999년 6월까지 일별 자료를 이용하여 국제원유시장 간 통합 정도를 분석하였다. 분석결과 이들은 WTI와 브렌트유 가격을 중심으로 하나의 통합시장을 형성한다는 것을 발견하였다. 국제원유가격 간 공적분 관계는 시장의 통합 여부를 분석할 수 있지만, 오차수정모형은 조정계수를 통해 시장의 통합 정도를 분석할 수 있어 오차수정모형의 사용을 제안하였다.

국제원유시장의 통합 여부를 분석한 국내연구로 허은녕(2005), 박호정·윤원철(2006), 김진수·허은녕·김연배(2007), 신영은(2013) 등이 있다. 허은녕(2005)은 유가밴드제 발표 이전 기간(1999년 1월~2000년 2월)과 발표 이후 기간(2000년 4월~2004년 9월)의 월평균가격 자료를 이용하여 국제원유시장의 효율성과 지역화에 대해 분석하였다. 석유수출기구(OPEC: Organization of Petroleum Exporting Countries)에 의해 실행된 유가밴드제는 국제유가의 변동 폭을 배럴당 22달러에서 28달러 사이로 유지하여 유가의 안정을 도모하려는 것이다. 기존 연구와는 달리 국제원유시장에 지역화가 어느 정도 진행되고 있으며 시장의 비효율성이 존재한다는 사실을 발견하였다.

김진수·허은녕·김연배(2007)는 중동시장의 Dubai유, 유럽시장의 Brent유, 미국시장의 WTI, 동아시아시장의 Tapis유를 대상으로 국제원유시장의 통합 정도를 분석하였다. 분석결과 브렌트유, WTI, Tapis 가격은 장기적인 균형관계를 갖지만, 두바이유 가격의 경우 다른 유가와 장기균형관계를 발견하지 못하였다. 그러나 선행관계와 시차수를 고려하여 Granger 인과관계 분석을 한 결과 1주에서 5주의 시차를 가지고 서로의 가격에 영향을 주는 단일 시장을 형성한다는 것을 발견하였다.

박호정·윤원철(2006)은 WTI, 브렌트유, 두바이유의 현물과 선물 간의 인과관계를 분석하기 위해 오차수정모형과 그래프 이론을 활용하였다. 1999년 1월 4일부터 2005년 7월 15일 까지 국제원유가격 사이에 동시적 인과관계를 분석한 결과 브렌트유와 두바이유, 브렌트유와 WTI 간 통계적으로 유의한 인과관계가 존재하지만 두바이유와 WTI 사이에 유의한 인과관계가 없는 것으로 나타났다. 따라서 브렌트유가 두바이유와 WTI를 연결하는 기준원유로서 역할을 할 가능성이 있음을 주장하였다.

대다수의 연구는 세계금융위기가 발생하기 이전 국제유가의 안정기 혹은 국제유가의 상승기에 국제원유시장의 통합 정도를 분석하여 2008년 이후 발생한 세계금융위기나 셰일 혁명과 같은 구조변화의 가능성을 고려하지 못하는 한계가 있다. 이에 본 연구에서는 구조변화의 가능성을 고려하여 국제원유시장의 통합 정도를 분석하고자 한다. 본 연구는 국제원유시장의 통합 정도를 분석한다는 점에서 허은녕(2005), 박호정·윤원철(2006), 김진수·허은녕·김연배(2007)의 연장선에 있지만, 구조변화를 명시적으로 고려한다는 점에서 기존 연구와 차이가 있다. 자료 자체의 특성에 의해 내생적으로 결정되는 구조변화 시점을 고려하여 구조변화 전후 부분 기간에 대해 국제시장 통합과 통합의 정도에 어떤 변화가 발생하였는지를 분석한다.

Ⅲ. 연구방법

1. 구조변화를 고려한 단위근 검정

가격발견과정은 여러 요인에 의해 변할 수 있으므로, 구조변화의 발생 전후로 가격발견과정이 어떻게 변하였는지를 살펴보는 것은 결과를 해석하는 데 도움을 준다(Engle et al. 1983). 연구자가 임의로 구조변화 시점을 사전적으

로 결정하기보다는 자료 자체의 특성에 의해 결정되는 게 타당하고 보기 때문에 본 연구에서는 절편에 한 번의 내생적 구조변화를 고려한 Zivot and Andrews(1992) 검정을 사용하였다. Zivot-Andrews 검정은 절편 변화, 기울기 변화, 절편 및 기울기 변화를 고려한 모형을 제시한다. 국제유가 사이에 특정한 추세가 없기 때문에 다음의 절편 변화 모형이 이용되었다.[1)]

$$y_t = \beta_0 + \beta_1 t + \beta_2 DU_t(\lambda) + \mu y_{t-1} + \sum_{j=1}^{k} d_j \triangle y_{t-j} + e_t \quad (1)$$

여기서 DU_t는 절편(drift)의 구조변화를 나타내는 가변수로 임의의 구조변화시점(T_B) 이후일 경우 1, 그렇지 않다면 0의 값을 갖는다. 사전에 알려지지 않은 구조변화 시점은 $T_B(=n\lambda)$이고, 여기서 n은 총 표본수, λ는 구조변화 비율(총 표본 수 대비 구조변화 시점 이전 표본 수)이다. 귀무가설($H_0 : \mu = 1$)은 '시계열자료가 단위근을 갖는다'이고, 대립가설은 '절편 및(혹은) 추세에 구조변화를 갖는 안정적 시계열이다'이다.

2. 구조변화를 고려한 공적분 분석

국제원유시장간 일물일가 법칙이 성립하는지를 검정하는 데 일반적으로 Engle & Granger(1987), Johansen(1988) 공적분 방법이 활용되고 있다. 그러나 전통적인 Engle & Granger(1987), Johansen(1988) 공적분 방법은 구조변화에 취약한 단점을 갖고 있다. 이를 해결하는 방안으로 Gregory & Hansen(1996)은 임의의 구조변화를 허용하는 공적분 검정방법을 제시하였다. Gregory-Hansen

1) 다수의 구조변화를 반영한 단위근 검정법이 있지만, 한 번의 구조변화를 반영한 단위근 검정을 이용한 것은 Gregory-Hansen 공적분 검정과 일관성을 유지하기 위함이다.

공적분 검정법은 ZA 단위근 검정을 공적분 검정으로 확장한 것으로 구조변화의 유형에 절편 변화, 절편·추세 변화, 절편·기울기 변화, 절편·추세·기울기 변화로 구분한다. 국제유가 간 특정한 추세가 없기 때문에 추세 변화는 고려되지 않았다.

기본적인 공적분 관계식은 다음과 같다.

$$\ln y_t = \mu + \alpha \ln x_t + e_t \tag{2}$$

여기서 y_t, x_t는 I(1)이고, e_t는 I(0)이다. 단순화를 위해 두 변수인 경우를 가정하지만, x_t를 벡터로 보면 다변량의 경우로 볼 수 있다.

절편(drift)에 구조변화가 있는 모형(3-a)과 절편 및 기울기(regime)에 구조변화가 모형(3-b)은 다음과 같다.

$$\ln y_t = \mu_1 + \mu_2 DU_t(\lambda) + \alpha \ln x_t + e_t \tag{3-a}$$

$$\ln y_t = \mu_1 + \mu_2 DU_t(\lambda) + \alpha \ln x_t + \alpha_2 DU_t(\lambda) \ln x_t + e_t \tag{3-b}$$

여기서 DU_t는 구조변화를 나타내는 가변수로 임의의 구조변화시점(T_B) 이후일 경우 1, 그렇지 않다면 0의 값을 갖는다. 사전에 알려지지 않은 구조변화 시점은 $T_B(=n\lambda)$이고, n은 총 표본수, λ는 총 표본 수 대비 구조변화 시점 이전 표본 수를 나타낸다. 구조변화 시점을 계속 바꾸어가며 회귀식을 추정한 후 회귀 잔차에 단위근 검정을 실시하여 얻은 여러 통계량 중 가장 낮은 값을 가지는 분기점이 구조변화 시점으로 선택된다. 공적분 검정을 위한 귀무가설은 '공적분 관계가 없다'이고, 대응가설은 '절편 혹은 절편 및 기울기에 한 번의 구조적 단절을 갖는 공적분 관계가 존재 한다'이다.

3. VECM 모형

국제유가 간 동태적 관계와 Granger 인과관계를 분석하는 데 공적분 관계의 여부에 따라 VAR(Vector Autoregressive) 혹은 VECM(Vector Error Correction Model)이 사용될 수 있다. 공적분 관계가 존재하면 VECM, 공적분 관계가 없으면 VAR가 사용될 것이다. 공적분 관계가 존재할 때 p-1 시차인 벡터오차수정모형(VECM: Vector Error Correction Model)은 다음과 같이 나타낼 수 있다(Johansen 1988).

$$\Delta Y_t = \Pi Y_{t-1} + \sum_{i=1}^{p-1} \Gamma_i \Delta Y_{t-i} + e_t \quad (4)$$

여기서 Δ는 차분연산자, Y_t=($\ln Brent_t$, $\ln Dubai_t$, $\ln WTI_t$) 국제유가 벡터, Π, Γ_i는 장기 및 단기 조정을 설명하는 추정계수 행렬을 나타낸다. $\Pi = \alpha\beta'$이고, 여기서 β는 장기균형관계식의 추정계수 벡터, α는 조정계수 벡터를 나타낸다. 만일 $\Pi = 0$이면 국제유가 간 공적분 관계가 없기 때문에 1차 차분한 후 VAR모형이 이용된다. 그러나 $\Pi \neq 0$일 때 공적분 관계가 존재한다는 것을 의미한다. 이때 장기균형관계를 고려하지 않고 VAR모형을 활용하게 되면 모형의 비적합성 문제가 발생할 수 있다. 따라서 공적분 관계가 존재하면 VECM 사용이 적절하다.

식 (4)에서 Π의 위수(rank)는 공적분 벡터의 수와 동일하기 때문에 Johansen 방법은 MLE(maximum likelihood estimator)를 통해 Π를 추정하고, 위수(rank)를 검정하는 것이다. 공적분 검정에 사용되는 트레이스 통계량(λ_{trace})은 다음과 같다.

$$\lambda_{trace} = -T\sum_{i=r+1}^{k}\ln(1-\hat{\lambda}_k) \quad (5)$$

여기서 T는 관측치, $\hat{\lambda}_k$는 고유값의 추정치를 각각 나타낸다. 귀무가설 $H_0 : r = 0$, $H_0 : r = 1$, $H_0 : r = 2$에 대해 순차적으로 검정이 이루어지는데, λ_{trace}가 임계값보다 작아서 귀무가설이 채택되면, 최대 rank(r)의 수가 공적분 개수가 된다.

Granger(1969) 인과성 검정은 특정 변수의 과거값($x_{t-1}, x_{t-2}, \ldots$)이 t기의 다른 변수(y_t)를 예측하는 데 도움을 주는지를 평가하는 것으로 일반적인 인과관계와는 차이가 있다. 이후 인과관계분석은 Granger 인과관계 검정을 언급하는 것이다. 시계열이 안정적이면 수준변수가 이용되지만, 불안정하면 차분변수가 활용된다. 그러나 변수 간 공적분 관계가 존재할 때 차분변수 이용은 의미 있는 장기균형관계를 배제해 모형설정의 오류를 범할 수 있다. 따라서 공적분 관계가 존재하면 벡터오차수정모형(VECM: Vector Error Correction Model)을 통한 인과관계 분석이 타당하다.

VECM을 통한 인과성 분석은 단기 인과관계, 장기 인과관계, 강 인과관계의 경로를 가진다(김진수·허은녕·김연배, 2007). 설명변수 변화에 대한 시차변수들이 종속변수의 변화를 설명할 수 있다면 단기 인과관계가 성립한다고 볼 수 있다. 식 (5)의 벡터오차수정모형(VECM: Vector Error Correction Model)에서 귀무가설 $H_0 : \Gamma_1 = \Gamma_2 = \cdots = 0$이 기각하면 특정 설명변수는 종속변수를 단기 인과 한다는 것을 의미한다. 장기적인 균형관계를 나타내는 오차수정항의 계수에 대한 귀무가설 $H_0 : \beta = 0$이 기각되면 설명변수와 종속변수 간 장기 인과관계가 성립한다는 것을 나타낸다. 오차수정항의 계수는 외부 충격 때문에 발생한 불균형이 장기균형으로 회복되는 정도를 의미한다. 단기 인과관

계와 장기 인과관계가 동시에 충족하면 즉 귀무가설 $H_0 : \Gamma_1 = \Gamma_2 = \cdots = 0$ & $\beta = 0$이 기각되면 설명변수는 종속변수에 강 인과관계를 갖는다는 것을 나타낸다.

Ⅳ. 자료 분석 및 실증결과

1. 자료 분석

본 연구는 세계의 주요 원유시장인 미국시장, 유럽시장, 중동시장의 대표적인 원유 현물가격인 서부 텍사스 산 원유 현물가격(WTI), 두바이유의 현물가격(dubai), 브렌트유 현물가격(brent)의 2003년 1월부터 2017년 4월까지 월별 자료를 이용하였다. 모든 자료는 한국석유공사 페트로넷에서 획득하였다. 분석에 사용된 국제유가에 대한 기초통계량은 <표 1>과 같다.

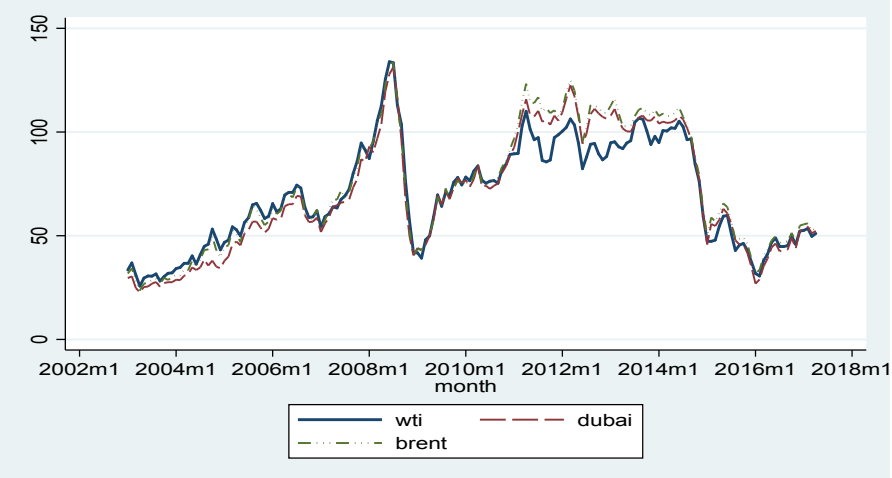
〈표 1〉 국제유가의 기초통계량(US$/barrel)

변수	평균	표준편차	최소	최대
dubai	69.78	29.06	22.70	131.30
brent	72.85	29.20	23.60	133.60
WTI	69.52	25.09	25.70	133.90

[그림 1]은 국제유가의 월평균 가격변화를 보여준다. 국제유가는 비슷하게 움직여 공적분 관계가 존재할 가능성을 보여준다. 국제유가의 흐름에 두 가지 주목할 점이 있다. 첫째 2008년 세계금융위기가 발생한 시점을 기준으로 이전 기간은 국제유가 상승기였지만, 이후 기간은 상승과 하락을 반복하며 저유가를 형성하고 있다. 둘째 WTI가 브렌트유와 두바이유보다 높은 가격을 형성하였지만, 2010년에 들어서면서 두바이유와 브렌트유 가격이 WTI 가격보다

높게 형성되었다. 과거에 미국지역의 배럴당 생산비용이 북해 및 중동지역보다 높아서 WTI 가격이 상대적으로 높게 형성되었지만, 셰일가스 생산 증가로 미국지역의 WTI 가격이 상대적으로 낮게 형성된 것으로 볼 수 있다.

[그림 1]국제유가 변화 추이



분석에 앞서 국제원유가격의 안정성을 확인하기 위해 ADF(Augmented Dickey-Fuller) 검정과 PP(Phillip-Perron) 검정을 실행한 결과는 <표 1>과 같다. 적정시차는 AIC(Akaike Information Criteria) 기준으로 결정되었고, 국제원유가격은 일정한 추세를 갖는다고 보기 어려워 추세가 포함되지 않은 모형이 사용되었다. ADF검정은 5% 수준에서 WTI 가격은 I(0)이지만, 두바이유와 브렌트유 가격은 I(1)인 것으로 나타났다. 10% 수준에서 국제원유가격 모두 I(0)인 것으로 나타났다. 이와는 달리 PP검정에서는 WTI, 두바이유, 브렌트유 가격 모두 5% 수준에서 I(1)으로 나타나 ADF검정과는 상반된 결과를 보여준다.

〈표 2〉 ADF 단위근 검정

	ADF		PP	
	수준변수	차분변수	수준변수	차분변수
lndubai	-2.653(3)*	-7.795(2)***	-2.061(3)	-9.178(2)***
lnwti	-2.972(3)**	-7.012(2)***	-2.275(3)	-9.652(2)***
lnbrent	-2.569(2)*	-7.471(1)***	-2.061(2)	-9.896(1)***

주: 1) ()는 AIC 기준으로 선택된 최적 시차임.
2) ***, **, *는 1%, 5%, 10%수준에서 유의함.

이처럼 ADF검정과 PP검정의 상반된 결과는 시계열자료에 구조변화가 발생하였을 때 빈번하게 발생하는 현상이다. 이러한 문제점을 고려하여 ZA 검정을 실행하였고 그 결과는 <표 3>과 같다. 귀무가설은 불안정한 시계열이고, 대응가설은 한 번의 내생적 구조변화를 갖는 안정적 시계열이다. 국제유가의 수준변수에 대해 귀무가설은 기각되지 않지만, 차분변수에 대해 귀무가설은 기각되는 것으로 나타나 국제유가는 I(1)임을 확인할 수 있다. 따라서 PP검정과 ZA검정결과를 기준으로 국제유가는 모두 I(1)과정을 따른다고 결론내릴 수 있다.

〈표 3〉 Zivot-Andrews 검정

	수준변수	차분변수
lndubai	-4.084	-7.156***
lnwti	-4.395	-7.456***
lnbrent	-3.908	-10.653***

주: ***, **, *는 1%, 5%, 10%수준에서 유의함.

2. 분석결과

통상적인 Engle-Grange 방법과 Johansen 방법은 구조변화를 반영하지 못하는 한계가 있으므로 구조변화를 반영한 Gregory and Hansen(1996) 공적분

검정을 실행하였다. 절편에 구조변화를 갖는 모형과 절편과 기울기에 구조변화를 갖는 모형에 대해 검정한 결과는 <표 4>와 같다. 단일 방정식에 근거한 공적분 검정방법은 어떤 변수를 종속변수로 정규화 하는지에 따라 검정결과가 다를 수 있다. 따라서 종속변수를 국제유가별로 달리한 모형에 대해 각각 검정하였다. 검정결과 국제유가 간 구조변화를 갖는 공적분 관계가 존재하는 것으로 판명되었다. 구조변화 시점은 종속변수의 정규화와 구조변화 유형에 따라 다소 차이가 있지만, 대체로 비슷한 시기(2010년9월~2011년2월)에 구조변화가 발생한 것으로 나타났다. 본 연구에서는 VECM의 장기균형관계식에서 브렌트유 가격을 정규화한 모형을 이용하기 때문에 종속변수가 브렌트유 가격에서 추정된 2010년 9월을 구조변화 시점으로 고려하였다.

현실적으로 2007년 이후의 셰일가스 등장, 2008년의 국제금융위기, 2011년의 후쿠시마 원전사고 등 다수의 구조변화 가능성이 있다. 그러나 Gregory-Hansen 방법은 한 번의 구조변화를 반영하기 때문에 이러한 현실을 적절하게 반영하지 못하는 방법론상 한계를 가진다. Gregory-Hansen 방법은 구조변화 시점을 연속적으로 변화시켜가면서 공적분 회귀관계식을 추정하여 통계적으로 가장 중대한 변화가 발생한 시기를 구조변화 시점(break-point)으로 결정한다. 따라서 구조변화가 한 번 발생한 것이라기보다는 다양한 구조변화 가능성 중 가장 중대한 변화가 발생한 시점이 추정된 것으로 해석하는 게 적절할 것이다.

〈표 4〉 Gregory-Hansen 공적분 검정

종속변수	절편		절편 및 기울기	
	통계량	구조변화시점	통계량	구조변화시점
lnWTI	-6.16**	2010.10	-6.29**	2011.02
lnDubai	-5.63**	2010.10	-6.33**	2011.02
lnBrent	-6.60**	2010.09	-6.60**	2010.09

주: 1) **는 5%수준에서 유의함
2) 종속변수의 정규화에 따라 결과가 달라질 수 있으므로 각 추정식에 대해 검정함.

구조변화 시점 전후에 공적분 관계에 어떤 유의미한 변화가 있었던지를 살펴보기 위해 구조변화 더미변수를 포함한 전체기간, 구조변화 시점 전후 부분기간에 대해 Johansen 공적분 검정을 각각 실행하였다.[2] 전체 기간에 대해 r=0이라는 귀무가설은 기각하지만, r=1의 귀무가설은 기각하지 못하는 것으로 나타나 하나의 공적분 관계를 발견할 수 있었다. 마찬가지로 구조변화 이전 기간 하나의 공적분 관계가 있는 것으로 나타났다. 그러나 구조변화 이후 기간 r=0이라는 귀무가설에 대해 trace 통계량이 21.325로 5% 임계값(29.680)보다 작아서 귀무가설은 기각되지 않았다. 구조변화 이후 기간 Dubai, WTI, Brent 가격 간 공적분 관계가 없어, 이전과 다른 움직임을 보인다는 것을 확인할 수 있다.

〈표 5〉 Johansen 검정 공적분 검정결과

	전체기간		2003년1월~ 2010년8월		2010년 9월~ 2017년 4월	
rank	trace	5% 임계값	trace	5%임계값	trace	5%임계값
r=0	62.464	47.210	42.005	29.680	21.325**	29.680
r=1	27.377**	29.680	14.3341**	15.410	9.266	15.410
r=2	9.701	15.410	5.768	3.760	0.571	3.760

주: 상수항을 포함하였고, AIC 기준으로 시차의 수는 3개가 사용됨

Gregory-Hansen 공적분 검정과 Johansen 공적분 검정은 전체 기간에 대해 Dubai, WTI, Brent 가격 간 구조변화를 갖는 장기균형관계를 갖지만, 부분기간에 대해 장기균형관계는 다른 것으로 나타났다. 이러한 정보를 바탕으로 장기균형관계가 존재하는 전체 기간과 구조변화 이전 기간(2003년 1월~2010년 8월)에 대해 VECM, 공적분 관계가 없는 구조변화 이후 기간(2010년 9월~2017년 4월)에 대해 VAR가 이용되었다.

2) 구조변화 더미변수를 고려하지 않고 Johansen 공적분 검정을 실행한 결과 rank 개수를 판별할 수 없는 한계가 있었다.

전체 기간에 대해 VECM을 추정한 결과는 <표 6>과 같다. 구조변화를 반영하여 장기균형식과 단기변화 관계식에 구조변화 더미변수를 고려하였다.[3] 구조변화 더미변수(Break)는 브렌트유 가격을 종속변수로 정규화 한 공적분 회귀관계식에서 추정된 구조변화 시점을 기준으로 생성되었다. 구조변화 이전 기간(2003년 1월~2010년 8월)은 0, 이후 기간(2010년 9월~2017년 4월)은 1의 값을 가진다. 구조변화 더미변수는 장기균형관계에는 유의미한 영향을 미치지만, 단기변동관계에는 유의미한 영향이 없어 표에는 나타내지 않았다. 개별식에서 오차수정항의 계수는 일관성 있게 통계적으로 유의한 것으로 나타나 국제원유시장에 불균형이 발생하더라도 균형관계로 회복되는 것으로 나타났다. 따라서 전체기간에 국제원유시장은 통합된 시장으로 볼 수 있다.

단기변화의 관계에는 다소 차이가 있다. 종속변수가 $\triangle \ln Brent_t$인 경우 두바이 가격변동은 브렌트 가격변동에 유의한 영향을 미치지만, WTI 가격 변동은 브렌트유의 가격변동에 영향을 미치지 않는 것으로 나타났다. 종속변수가 $\triangle \ln Dubai_t$인 경우 브렌트유 가격변동만이 두바이유 가격변동에 유의미한 영향을 미치는 것으로 나타났다. 종속변수가 $\triangle \ln WTI_t$인 경우 브렌트유 가격변동과 두바이유 가격변동 모두 WTI 가격변동에 유의미한 영향을 미치는 것으로 나타났다.

3) 절편 및 기울기의 구조변화를 고려하여 추정해보았지만, 절편의 구조변화를 고려한 결과와 별 차이가 없었다. 따라서 공간의 제약 상 절편 변화를 고려한 결과만 제시하였다.

〈표 6〉 VECM: 전체 기간

	$\triangle \ln Brent_t$	$\triangle \ln Dubai_t$	$\triangle \ln WTI_t$
$\triangle \ln Brent_{t-1}$	-0.669** (0.341)	-0.520 (0.333)	-0.709** (0.323)
$\triangle \ln Brent_{t-2}$	-0.993*** (0.330)	-0.870*** (0.322)	-0.940*** (0.312)
$\triangle \ln Dubai_{t-1}$	0.650** (0.258)	0.523** (0.252)	0.677*** (0.244)
$\triangle \ln Dubai_{t-2}$	0.821*** (0.257)	0.650*** (0.250)	0.677*** (0.244)
$\triangle \ln WTI_{t-1}$	0.266 (0.216)	0.281 (0.210)	0.321 (0.204)
$\triangle \ln WTI_{t-2}$	0.267 (0.206)	0.311 (0.201)	0.329* (0.195)
ECT_{t-1}	-0.547*** (0.195)	-0.545*** (0.190)	-0.848*** (0.184)
상수	0.001 (0.006)	0.001 (0.001)	-0.002 (0.006)

$ECT_{t-1} = \ln Brent_{t-1} + 0.318 - 0.873 \ln WTI_{t-1} - 0.200 \ln Dubai_{t-1} - 0.091 Break_{t-1}$
(0.109) (0.095) (0.016)

주: 1) ***, **, *는 1%, 5%, 10%수준에서 유의함.
2) ()는 표준오차임

구조변화 이전 기간에 대해 VECM을 추정한 결과는 <표 7>과 같다. 구조변화 이전 기간에 대해 분석한 결과는 전체 기간에 대해 추정한 결과와 유사하다. 한 가지 차이점은 종속변수가 $\triangle \ln Brent_t$인 경우 전체기간에서 두바이유 가격변동만이 브렌트유 가격변동에 유의한 영향을 미치는 것과는 달리, 구조변화 이전 기간에는 두바이유 가격변동과 WTI 가격변동 모두 브렌트유 가격변동에 유의한 영향을 미치는 것이다.

〈표 7〉 VECM: 구조변화 이전

	$\triangle \ln Brent_t$	$\triangle \ln Dubai_t$	$\triangle \ln WTI_t$
$\triangle \ln Brent_{t-1}$	-1.501*** (0.341)	-1.283 (0.462)	-1.341 (0.477)
$\triangle \ln Brent_{t-2}$	-1.471*** (0.464)	-1.278*** (0.419)	-1.404*** (0.433)
$\triangle \ln Dubai_{t-1}$	1.072*** (0.2329)	0.903** (0.298)	0.898** (0.307)
$\triangle \ln Dubai_{t-2}$	1.124*** (0.337)	0.870*** (0.304)	1.028*** (0.314)
$\triangle \ln WTI_{t-1}$	0.697* (0.377)	0.670 (0.340)	0.695 (0.351)
$\triangle \ln WTI_{t-2}$	0.565 (0.328)	0.595 (0.296)	0.635 (0.306)
ECT_{t-1}	-1.013** (0.444)	-0.955** (0.414)	-1.554*** (0.414)
상수	0.001 (0.009)	0.003 (0.008)	-0.002 (0.008)
$ECT_{t-1} = \ln Brent_{t-1} + 0.250 - 0.866 \ln WTI_{t-1} - 0.190 \ln Dubai_{t-1}$ (0.072) (0.064)			

주: 1) ***, **, *는 1%, 5%, 10%수준에서 유의함.
2) ()는 표준오차임

구조변화 이후 기간에 대해 VAR 모형을 추정한 결과는 <표 8>과 같다. 구조변화 이후 기간에는 국제유가의 단기변동 간 유의미한 관계는 없는 것으로 나타나, 국제원유시장은 장기균형관계가 존재하지 않을 뿐만 아니라 단기에도 독자적인 움직임을 보인다는 것을 확인할 수 있다.

〈표 8〉 VAR 모형: 구조변화 이후

	$\triangle \ln Brent_t$	$\triangle \ln Dubai_t$	$\triangle \ln WTI_t$
$\triangle \ln Brent_{t-1}$	1.088 (0.676)	1.359 (0.735)	0.329 (0.705)
$\triangle \ln Brent_{t-2}$	-1.094 (0.676)	-1.154 (0.735)	-0.819 (0.433)
$\triangle \ln Dubai_{t-1}$	-0.589. (0.2329)	-0.763 (0.590)	0.145 (0.568)
$\triangle \ln Dubai_{t-2}$	1.075 (0.559)	1.097 (0.304)	0.871 (0.584)
$\triangle \ln WTI_{t-1}$	-0.120 (0.245)	-0.148 (0.340)	-0.046 (0.0.266)
$\triangle \ln WTI_{t-2}$	-0.128 (0.226)	-0.075 (0.246)	-0.184 (0.237)
상수	0.006 (0.008)	-0.005 (0.009)	-0.005 (0.009)

주: 1) ***, **, *는 1%, 5%, 10%수준에서 유의함.
2) ()는 표준오차임

<표 9>는 앞선 VECM과 VAR 모형을 기준으로 국제유가 간 인관관계를 검토한 결과를 나타낸다. 전체기간과 구조변화 이전 기간의 결과는 비슷하지만, 구조변화 이후 기간은 다른 결과를 나타낸다. 전체 기간과 구조변화 이전 기간에 두바이유 가격과 브렌트유 가격은 상호 단기 인과관계를 가지는 것으로 나타났지만, 두바이유와 브렌트유 가격은 WTI 가격에 한 방향의 단기 인과성만을 가지는 것으로 나타났다. 단기 인과성 관점에서는 두바이유와 브렌트유는 통합된 시장이지만, WTI는 지역화 된 시장으로 볼 수 있다. 장기인과관계에서는 WTI 가격, 두바이유 가격, 브렌트유 가격 간 상호 인과성을 가지는 것으로 나타났다. 장기인과관계의 영향이 반영되어 국제유가 간 상호 강 인과관계를 갖는 것으로 나타났다. 따라서 WTI, 두바이유, 브렌트유 시장은 단일시장으로 볼 수 있다. 그러나 구조변화 이후 기간에 변수 간 단기 및 장기 인과관계, 강 인과관계는 없는 것으로 나타났다.

〈표 9〉 VECM을 이용항 Granger 인과성 검정

	단기 인과관계	장기 인과관계	강 인과관계
전체기간			
Dubai가 Brent를 인과하지 않음	15.63(0.00)**	7.85(0.00)**	20.88(0.00)**
WTI가 Brent 를 인과하지 않음	2.62(0.269)	7.85(0.00)**	7.88(0.048)**
Brent가 Dubai를 인과하지 않음	8.31(0.015)**	8.21(0.00)**	11.81(0.00)**
WTI가 Dubai를 인과하지 않음	3.43(0.179)	8.21(0.00)**	8.12(0.043)**
Brent가 WTI를 인과하지 않음	11.56(0.001)**	21.10(0.00)**	14.14(0.00)**
Dubai가 WTI를 인과하지 않음	16.15(0.00)**	21.10(0.00)**	21.58(0.00)**
구조변화 이전 기간			
Dubai가 Brent를 인과하지 않음	21.16(0.000)**	5.20(0.022)**	22.87(0.000)**
WTI가 Brent 를 인과하지 않음	4.54(0.103)	5.20(0.022)**	6.00(0.100)*
Brent가 Dubai를 인과하지 않음	12.03(0.000)**	5.66(0.017)**	12.24(0.000)**
WTI가 Dubai를 인과하지 않음	5.61(0.061)	5.66(0.017)**	6.86(0.076)*
Brent가 WTI를 인과하지 않음	13.11(0.000)**	14.04(0.000)**	13.27(0.000)**
Dubai가 WTI를 인과하지 않음	18.76(0.000)**	14.04(0.00-)**	20.08(0.001)**
구조변화 이후 기간			
Dubai가 Brent를 인과하지 않음	1.706(0.192)		
WTI가 Brent 를 인과하지 않음	0.002(0.963)		
Brent가 Dubai를 인과하지 않음	3.282(0.070)		
WTI가 Dubai를 인과하지 않음	0.009(0.922)		
Brent가 WTI를 인과하지 않음	0.006(0.937)		
Dubai가 WTI를 인과하지 않음	0.207(0.963)		

주: ( )의 값은 p 값이고, *, **은 10%, 5%수준에서 유의함.

구조변화를 고려한 전체 기간의 경우 단일시장을 형성한다고 볼 수 있으나, 부분 기간으로 살펴보면 국제원유시장에 변화가 발생하였을 수 있다. 구조변화 이후 국제원유시장의 연계성이 없어진 여러 가지 이유가 있겠지만, 세계금융위기, 셰일가스 혁명 등으로 국제원유시장의 구조가 변하였을 수 있다. 이러한 현상이 향후 지속할 지는 지켜봐야 할 것 같다.

Ⅴ. 결 론

본 연구에서는 구조변화의 가능성을 고려하여 국제원유시장의 기준유로서 기능하는 WTI 가격, 브렌트유 가격, 두바이유 가격의 움직임과 연계성을 분석하였다. 전통적인 단위근 검정과 공적분 분석 방법은 구조변화를 반영하지 못하는 한계가 있다. 이에 구조변화를 고려하여 국제원유가격 사이의 관계를 분석함으로써 분석결과의 신뢰성을 높였다는 점에 의의가 있다. 국제원유가격 간 구조변화(2010년 9월)가 발생하였고, 장기균형관계를 갖는 것으로 나타났다. 이러한 정보를 바탕으로 전체 기간, 구조변화 시점 전후 부분기간에 대해 두바이유, 브렌트유, WTI 가격 사이에 공적분 관계와 인과성을 분석하였다. 공적분 관계가 존재하는 경우 VECM, 그렇지 않으면 VAR 모형이 이용되었다.

분석결과가 함축하는 바는 다음과 같다. 첫째, 구조변화 더미변수는 장기균형관계에 유의미한 영향을 미치지만, 단기변동관계에는 유의미한 영향을 미치지 않는 것으로 나타났다. 구조변화는 국제유가의 단기변동보다는 장기적 관계에 영향을 미친다고 볼 수 있다.

둘째, 국제원유가격 간 장기균형관계와 인과관계는 분석 기간에 따라 차이가 날 수 있는 유동적인 현상으로 볼 수 있다. 전체 기간과 구조변화 이전 기간은 WTI, 두바이유, 브렌트유 가격 사이에 통계적으로 유의한 장기균형관계와 인과관계가 존재하지만, 구조변화 이후 기간으로 한정하면 국제유가 사이에 장기균형관계와 인과관계는 없는 것으로 나타났다.

셋째, 국제원유가격 간 단기 인과관계와 장기 인과관계 및 강 인과관계는 다를 수 있는 것으로 나타났다. 장기균형관계가 존재함에도 이를 고려하지 않고 인과관계를 분석하면 모형설정의 오류를 범해 잘못된 결론에 이를 수 있음을 확인할 수 있었다. 전체 기간과 구조변화 이전 기간 장기균형관계를 고

려하면 브렌트유, 두바이유, WTI 가격은 상호 인과관계를 가져 국제원유시장은 단일시장을 형성하는 것으로 볼 수 있다. 그러나 장기균형관계를 제외하고 단기 인과관계에 한정한다면 브렌트유와 두바이유 가격은 상호 인과성이 있어 하나의 단일시장을 형성하지만, WTI는 브렌트유와 두바이유에 영향을 미치지 않기 때문에 WTI는 지역화가 진행된다는 잘못된 결론에 도달할 수 있다.

국제원유시장의 단일화 및 지역화를 논할 때 분석 기간이 길거나, 국제유가 상승기일 때 국제원유가격은 동조화하는 것으로 보이나, 국제금융위기와 셰일혁명과 같은 새로운 구조변화가 발생한 시기에는 국제원유시장은 지역화 되어 상호 영향력이 약해질 수 있다는 것을 확인하였다. 국제원유시장의 연계성 약화가 일시적인 현상인지 아니면 지속할 것인지 시간을 두고 지켜봐야 할 사항인 것 같다. 국제원유시장에 구조적 변화가 발생하였다면 셰일가스 혁명이 중요한 요인으로 볼 수 있다. 셰일가스와 국제원유시장의 관계를 분석하는 것도 의미 있는 연구주제로 향후 과제로 삼고자 한다.

접수일(2018년 1월 22일), 게재확정일(2018년 2월 22일)

◎ 참 고 문 헌 ◎

김진수·허은녕·김연배. 2007. “공적분과 인과관계 분석을 통한 국제원유시장의 지역화 연구.” 자원· 환경경제연구 16(2): 213-239.

박호정·윤원철. 2006. “오차수정모형과 그래프이론을 이용한 국제유가의 동시및 단기 가격 발견과정에 관한 연구.” 자원・환경경제연구 15(3): 479-504.

신영은. 2013.「가격과 거래량을 고려한 국제 원유시장의 동조화 연구」. 석사학위논문, 서울대학교 대학원.

허은녕. 2005. “국제원유시장가격의 지역화 분석.” 2005 경제학 공동 학술대회 한국경제학회: 1-6.

Adelman, M. A. 1984. “International oil agreements.” *The Energy Journal* 5(3), 1-9.

Bachmeier, L. J. and Griffin, J. M. 2006. “Testing for market integration crude oil, coal, and natural gas.” *The Energy Journal* 27(2): 55-71.

Engle, R. F. and Granger, C. W. J. 1987. “Co-integration and error correction: representation, estimation, and testing.” Econometrica 55(2): 251-276.

Engle, R. F., Hendry, D. F. and Richard, J. F. 1983. “Exogeneity.” *Econometrica*: 277-304.

Garis, D. 2011. The Behavior of Petroleum Markets: Fundamentals and Psychologicals in Price Discovery and Formation. International Handbook on the Economics of energy: 420-440.

Geweke, J. and Porter-Hudak, S. 1983. “The estimation and application of long memory time series models.” *Journal Of Time Series Analysis* 4(4): 221-238.

Granger, C. W. 1969. “Investigating causal relations by econometric models and cross-spectral methods.” *Econometrica* 37(3): 424-438.

Gregory, A. W. and Hansen, B. E. 1996. “Residual-based tests for cointegration in models with regime shifts.” *Journal of Econometrics* 70(1): 99-126.

Gülen, S. G. 1997. “Regionalization in the world crude oil market.” *The Energy Journal* 18(2): 109-126.

Johansen, S. 1988. “Statistical analysis of cointegration vectors.” *Journal of Economic Dynamics and Control* 12(2): 231－254.

Nelson, C. R. and Plosser, C. R. 1982. “Trends and random walks in macroeconmic time series: some evidence and implications.” *Journal of Monetary Economics* 10(2): 139-162.

Perron, P. 1989. “The great crash, the oil price shock and the unit root hypothesis.” *Econometrica* 57: 1361-1401.

Perron, P. 1997. Further evidence on breaking trend functions in macroeconomic variables.” *Journal of Econometrics* 80(2): 355-385.

Perron, P. and Vogelsang, T. 1992. “Nonstationarity and level shifts with an application to purchasing power parity.” *Journal of Business and Economic Statistics* 10: 301-320.

Ripple, R. D. and Wilamoski, P. R. 1996. “Is the world oil market one great pool?: Revisited.” *OPEC Review* 19(4): 283-292.

Rodriguez, A. E. and Williams, M. D. 1993. “Is the World Oil Market" One Great Pool? A Test.” *Energy Studies Review* 5(2): 121-130.

Weiner, R. J. 1991. Is the world oil market" one great pool"?. *The Energy Journal* 12(3): 95-107.

Zivot, E. and Andrews, K. 1992, “Further evidence on the great crash, the oil price shock and the unit root hypothesis.” *Journal of Business and Economic Statistics* 10(10): 251-70.

ABSRACT

Study on integration of international oil markets considering structural change

Sukwan Jung*

This study analyzed the dynamic relationship of international oil market integration. Considering the possibility of structural change, unit root test and cointegration analysis were carried out. The structural change dummy variable based on the endogenously determined break-point is included for the whole period. Cointegration and Granger causality analysis between the international oil prices was conducted for the periods before and after the break-point. As a result, the prices of WTI, Dubai and Brent showed a random walking and a co-integration relation, and the international oil market was integrated. However, the long-run equilibrium relationship and the causal relationship between international crude oil prices were different in sub-periods. The prices of WTI, Dubai and Brent before the structural change showed a significant influence on the mutual prediction with cointegration relaton. However, after the structural change, WTI, Dubai, and Brent prices did not have a long-run relation as well as causality. The integration of the international crude oil market can be seen as a dynamic phenomenon depending on structural changes and analysis periods.

Key Words : Oil Prices,, Structural change, Cointegration, VECM, Causality

* Assistant Professor, Changwon National University(main author). sukwan@changwon.ac.kr