Global Report

원유의 해상운송에 따른 시장변동특성 및 주요 사건의 영향

1. 개요
2. 문헌 검토
3. long-term memory의 개념과 R/S 모델 개념의 확립
4. 모델 응용프로그램 및 결과분석 _데이터 수집
5. 결론 및 향후 연구

KAIA 국토교통 과학기술진흥원

작 성 자 | 박 세 환

1. 개요

원유(crude oil) 운송시스템은 산업용 생산자재를 제공하고, 경제발전을 촉진하고, 나아가 군사안보를 보장하는 등 모든 국가에 중요한 산업 인프라이다. 특히 원유의 국제운송(대량 및 장거리 운송)은 원유 자원의 국제경제협력을 크게 강화한 해양 운송이 주를 이루고 있다[1]. UN은 2017년 기준, 전 세계 원유 해상무역량이 108조7,490억 톤 정도라고 발표한바 있다[2]. 원유 해양운송 시스템의 경향을 반영하는 가장 중요한 지수 중 하나인 BDTI(Baltic Exchange Dirty Tanker Index : 발트거래소 유조선지수)는 외부환경과 내부공급 관계의 조합으로 영향을 받아 급격하게 변동하여 왔다. 예를 들어, 2008년 금융위기 이후 중동에서 미국 항만으로 가는 선박 노선의 BDTI는 2008년 1월 174.23에서 2008년 말 47.29로 떨어졌으며, 다른 두 노선의 BDTI도 동시에 급락했다. 2010년 멕시코 만에서 그리고 2011년 중국 보하이 만에서 발생한 석유유출 사고는 사회적으로 큰 관심을 끌었다. 미국과 중국의 원유수입 수요도 증가하여 BDTI를 간접적으로 촉발시켰다. 원유시장 개발과 관련된 또 다른 두 가지 획기적인 사건으로는 2016년 파리협정 체결과, 2019년 카타르의 OPEC(Organization of the Petroleum Exporting Countries(석유수출국기구) : 가입국 간의 석유정책을 조정하기 위해 1960년 9월 14일에 결성된 범국가 단체로 본부는 오스트리아의 빈에 있음) 탈퇴를 들 수 있다. 이러한 빅 이벤트는 몇 가지 범주로 분류될 수 있으며, 이는 현재와 장기적으로 BDTI에 영향을 미칠 수 있다.

이 연구에서는 R/S 모델(영국 수문학자 허스트가 제안한 '재확장 범위분석'으로 모델의 계산결과는 시계열에 프랙탈 구조와 상관관계가 있는지 여부를 측정하는 데 사용되는 '허스트 값(Hurst Value)'라고 함. 측정결과의 불확도 추정을 의미하기도 함)을 채택하여 원유의 해상운송에 따른 시장변동특성과 중요한 이벤트의 영향에 대해 설명한다. 0~1사이의 허스트 값은 결과에 따라 다음과 같은 의미가 있다.

- 0~0.5 범위 : 이전 개발과 반대로 실행되는 연구서열의 미래추세를 나타낸다. 즉, 이전 기간의 시퀀스가 상승(하향) 추세를 보이는 경우 다음 기간에 하향(위쪽)으로 실행될 가능성이 매우 높다.
- 0.5 : 시퀀스에 대한 무작위 값으로 0.5~1 사이일 때, 연구서열의 미래동향과 이전 개발 사이의 긍정적인 상관관계를 나타낸다.
- 1 : 미래의 추세는 과거에 의해 완전히 반영될 수 있다는 것을 의미한다.

그러나 기존의 R/S 모델에는 단기간의 감도 및 이벤트에 대해 퍼지 영향과 같은 몇 가지 제한요인이 있다[3]. 따라서 이 연구에서는 이러한 단점을 극복하기 위해 기존 모델을 기반으로 개선된 R/S 모델을 제시한다. 개선된 모델의 특징은 하위 섹션 분석을 기반으로 하며, 이는 중요한 이벤트가 정량적로 미치는 영향을 평가하는 데 도움이 될 수 있다. 이 연구는 원유를 생산하는 기업이 잠재적인 운송라인에 대한 투자 결정을 내리고 정책 입안자에게는 원유산업의 안정적인 발전을 추구할 수 있는 인프라를 제공한다.

2. 문헌 검토

원유시장의 정량적 계산방법은 오랫동안 글로벌 해양운송 연구에 중점을 두어 왔다. 이러한 이슈를 주제로 한 그간의 학술연구는 시장변동의 요인 분석과 원유시장의 정량적 계산방법에 초점을 맞추고 있다. BDTI 요인에 대한 연구는 주요 문헌 중 하나이다. 최근 몇 년 동안 국제 원유운송시스템은 여러 가지 요인(금융위기, 환경위기, 원유협정 및 시장경쟁 등)에 의해 방해받고 있다. 그간의 학술연구를 요약하면 다음과 같다.

- 금융 위기 : 2016년 Tsouknidis는 글로벌 금융위기 동안 운송화물시장에 대한 변동성 유출효과의 존재를 밝힌바 있으며, 2017년 Chen 등은 금융위기 이후 BDTI의 강도가 이전보다

더 크다고 지적하며 이러한 요인에 의해 변동이 빈번하게 나타났다고 했다.

- 환경 위기 : 2018년 Wang 등은 기름유출 위기와 관련된 해양운송 비용이 상당히 증가했다고 강조하였으며, 2018년 Van Fan 등은 화물운송모드 선택에 따라 대기오염 위기를 강조했다.
- 원유 협정 : 파리협정 후, 운송라인은 어느 정도 운송화물에 영향을 미치고 있다. 2018년 Lam과 Wong은 특히 증가하는 운영비용과 강제적인(의무적인) 탄소배출 감소목표 (램과 웡, 2018)와 같은 많은 도전에 직면하고 있다고 강조했다. 아울러 2018년 Psaraftis는 IMO(International Maritime Organization : 국제해사기구)에서 EEDI(Energy Efficiency Design Index : 에너지효율설계지수)와 SEEMP(Ship Energy Efficiency Management Plan : 선박 에너지효율 관리계획)와 같은 일부 규정을 채택한 후 화물운송 요금이 적절한 운송속도의 선택에 가장 중요한 요인 중 하나가되었다고 지적했다.
- 시장 경쟁 : 최근 몇 년 동안 원유산업의 경쟁은 화물운송 요금에 크게 영향을 미치면서 점점 더 치열해지고 있다. 2018년 Sahoo는 유조선 화물시장의 독점에 따라 건식 벌크화물 시장과 비교하여 새로운 시장정보에 덜 반응하지 않다는 견해를 주장한바 있다. 이러한 화물운송 요금의 요인분석 연구는 다른 요인에서 영향도에 대한 정량적 비교치를 표시 할 수없는 경우가 있다.

2017년 Monge 등은 WTI 국제유가와 미국의 셰일가스-오일 혁명과 관련이 있는 웨이블렛 방법론을 이용하여 관련 연구에 대한 위의 요인과 모델 외에도 다양한 군사적 갈등과 정치적 사건을 전후로 하여 WTI(West Texas Intermediate)의 실제 유가를 분석한바 있다. BDTI는 WTI와는 다르지만, 위의 연구는 현재 석유시장에 대한 장기적인 상관관계 분석에 매우 통찰력 있는 영향을 제공한 것으로 평가받고 있다. 요약하면, 관련 문헌은 시장변동의 요인분석과 화물운송 요금에 대한 예측에 중점을 둔다. 그러나 원유시장의 내부 변동 메커니즘 및 변동특성에 대한 연구는 충분하지 않아 비주기를 고려하지 않은바 다양한 요인의 영향정도 평가에 대한 정량적 연구는 부족한 편이다. 이 연구에서는 다음과 같은 문제를 해결하는 데 목적이 있다:

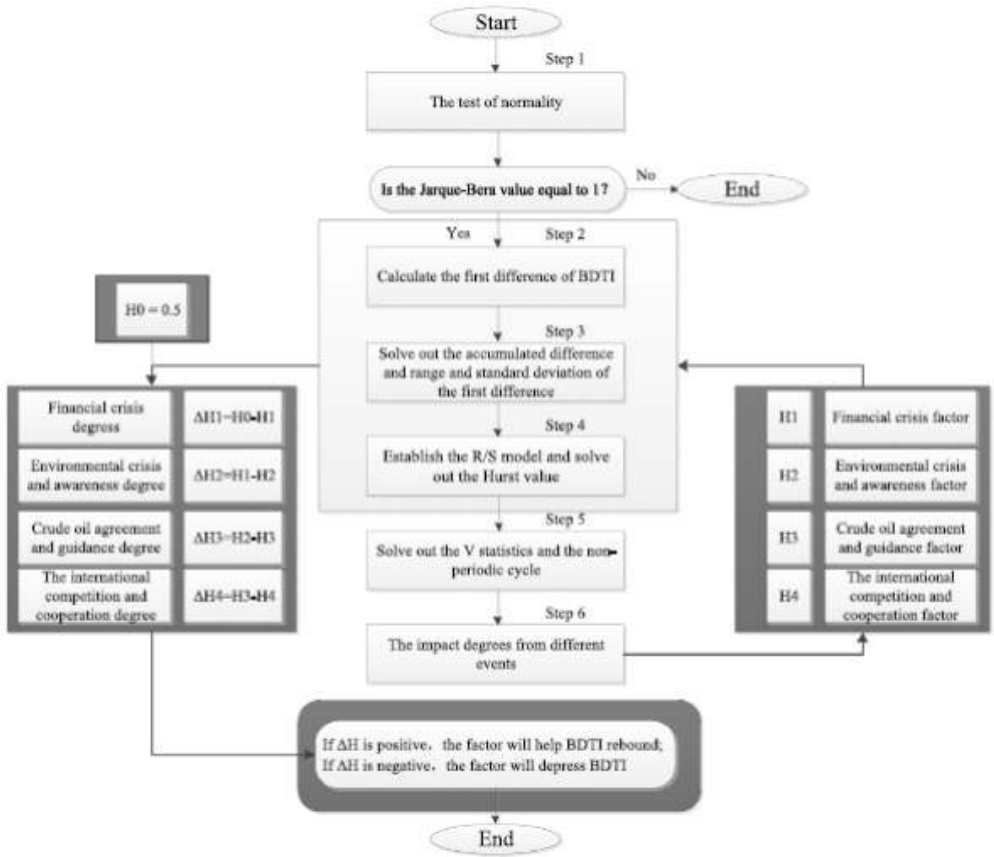
- long-term memory가 BDTI에 존재하는지 여부에 대한 설명
- 허스트 밸류와 향후의 경향과 기간을 판단하기 위한 BDTI의 비주기 계산에 대한 설명
- 각 요인의 효과를 정량적으로 비교하기 위해 서로 다른 요인의 영향도 평가에 대한 설명
- 시장위험요인을 피하기 위해 원유 해양운송에 대한 정부부처 및 투자자를 위한 과학적 의사결정 계획 제공

3. long-term memory의 개념과 R/S 모델 개념의 확립

1951년 영국의 Hurst는 수문학적 현상에 대한 장기적인 의존성을 평가한 결과를 발표한바 있다. 이후 1968년 Mandelbrot와 Wallis는 타임시리즈의 특징을 '조셉 효과(Joseph Effect)'로 정의했는데, 이는 타임시리즈의 움직임이 더 큰 경향이 있고, 사이클이 더 자주 무작위로 발생한다는 것을 의미한다. 1978년 McLeod와 Hipel은 자기상관계수의 합이 방정식의 기능을 정확하게 교정하여 타임시리즈의 long-term memory를 생성한다고 제시한바 있다. 1989년 Lo는 타임시리즈 샘플의 범위만큼 많은 기간의 주기를 표시하는 장거리 의존성을 나타낼 수 있다고 하였다. 이와 관련된 최신연구에서도 long-term memory는 타임시리즈의 종속성에 대한 연구라는 유사한 정의를 내리고 있다. 아울러 타임시퀀스는 완전한 무작위가 아니기 때문에 샘플의 크기만큼 주기를 가질 수 있어 전자에 의해 영향을 받을 수 있음을 입증하였다. 허스트 값이 각기 다른 타임시리즈 간격은 다음과 같은 다른 통계적 특성을 보여준다:

- 0≤H<0.5일 때 : 타임시리즈는 지속되지 않는다. 초기단계의 타임시리즈가 상승(또는 감소)하는 경우, 미래 추세는 감소(또는 상승)하게 되며, 반대로. H 값이 0에 가까워지면 타임시리즈는 더 지속되지 않는다.
- H=0.5인 경우 : 타임시리즈는 임의의 행을 완전히 따르므로 기록데이터가 현재 값에 영향을 미치지 않으며, 따라서 이를 기반으로 미래값을 예측할 수 없다.
- 0.5<H<1일 때 : 타임시리즈는 지속적이 값을 나타낸다. 초기단계의 타임시리즈가 상승(또는 하락)하는 경우, 향후 여전히 상승(또는 하락)될 것이다. H 값이 0에 가까워지면 타임시리즈는 더 지속적인 값을 나타낸다.
- H=1의 경우 : 기록데이터를 사용하여 현재 및 향후 추세를 완전히 예측할 수 있다.

요약하면, long-term memory의 존재를 판단하기 위한 타임시리즈의 기준은 허스트 값이 0.5와 같지 않다는 것이다. 이 값이 0.5보다 큰 경우 타임시리즈는 지속되고, 0.5보다 작으면 계열은 지속 중지(음수 상관관계) 상태가 된다. 이 논문의 연구 프레임워크를 [그림 1]에 나타낸다. 밝은 색상은 1969년 Mandelbrot와 Wallis가 제시한 전통적인 R/S 모델이며, 회색 부분은 이 연구에서 창의적으로 확장한 것이다.



* 자료 : Yijie Fei et al., “Crude oil maritime transportation: Market fluctuation characteristics and the impact of critical events”, Energy Reports 6 (2020) 518–529, p.521.

[그림 1] 변동특성 및 주요 이벤트의 영향에 대한 연구 프레임워크

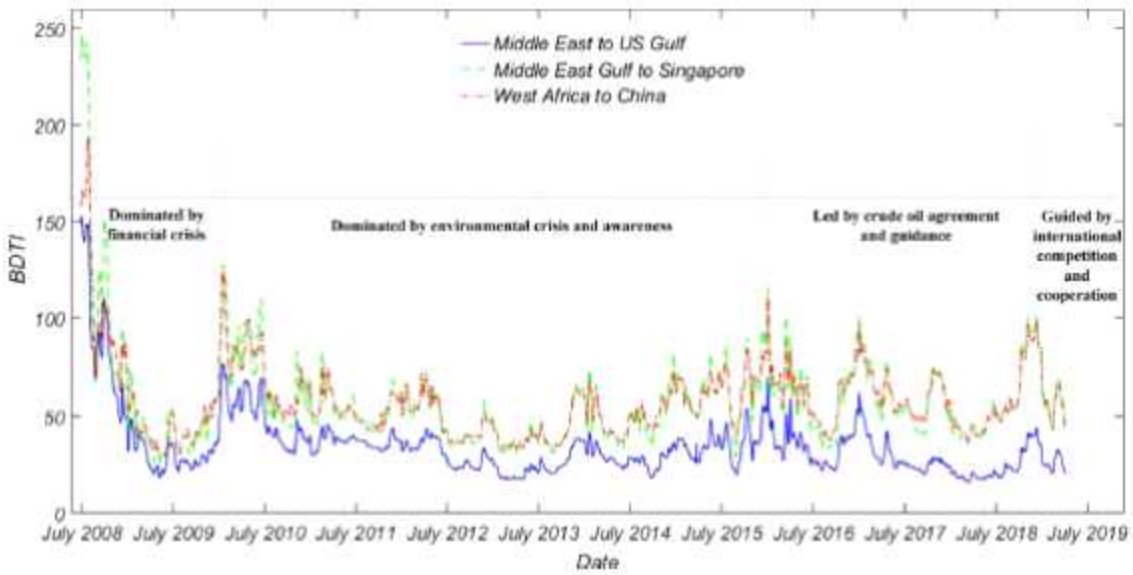
1969년 Mandelbrot와 Wallis가 제시한 전통적인 R/S 모델은 허스트 값과 비주기를 해결하기 위해 다음과 같이 6단계로 나누어 관련 이벤트의 영향도를 평가한다.

- 1단계 : long-term memory의 존재에 대한 전제조건은 타임시리즈가 비정상 분포를 기반으로 하므로 정상상태에서의 시험이 필수적이다.

- 2 단계 : 각 시계열에 대한 세그먼트의 평균값을 계산한다.
- 3 단계 : 각 세그먼트의 누적차를 계산하여 범위와 표준편차를 해결한다.
- 4 단계 : 범위는 독립변수로, 표준편차는 종속변수로 나누고, 각각의 변수에 대한 선형 피팅에 따라 회귀선의 경사를 허스트 값으로 설정한다.
- 5 단계 : 비주기 계산결과에 따라 V통계치를 계산한다.
- 6 단계 : 주요 이벤트에서 충격도를 평가 할 수 있는 새로운 모델링 단계를 보완하여 이벤트의 전반적인 퍼지 영향의 단점을 극복한다.

4. 모델 응용프로그램 및 결과분석_데이터 수집

이 연구에서는 전 세계 원유운송의 주요라인으로 주목받고 있는 중동-미국, 중동-싱가포르, 서아프리카-중국 등에 대해 BDTI(Baltic Exchange Dirty Tanker Index : 발트거래소 유조선지수)의 변동특성을 조사하였다. 이 데이터는 2008년 6월~2019년 4월 사이의 CRSL에 의해 기여한 각 운송라인 총 2,689개의 샘플 크기를 나타낸다. BDTI의 원시데이터를 [그림 2]에 나타낸다.



※ 이 그림의 색상에 대한 참조는 이 논문의 웹 버전을 참조할 것
* 자료 : Yijie Fei et al., "Crude oil maritime transportation: Market fluctuation characteristics and the impact of critical events", Energy Reports 6 (2020) 518-529, p.522.

[그림 2] BDTI의 원시 데이터

2008~2019년까지 BDTI의 범위가 4단계로 나뉘어져 있다. 첫 번째 단계는 2008~2009년 간 금융위기(2008년 글로벌 금융위기)로 인한 것이며, 두 번째 단계는 2016~2018년 간의 환경위기(멕시코만의 원유유출사고)를 의미한다. 세 번째 단계는 2019년 1월 원유협정(파리협정), 네 번째 단계는 국제경쟁 및 협력(카타르의 OPEC 탈퇴)이 이슈가 되었다. 이러한 주요 사건(이벤트)을 기반으로 현재 BDTI에 위의 4가지 이벤트의 정량적 효과를 접목하여 long-term memory가 미래 BDTI(Baltic Exchange Dirty Tanker Index : 발트거래소 유조선지수)에 어떻게 영향을 미치는지에 대해 설명했다.

5. 결론 및 향후 연구

변동특성이 금융시장의 시간대에 적용될 수 있는지 여부에 대한 측면에서 널리 연구되고 있다, 그러나 운송에 대한 연구는 이제 시작단계에 있다, 특히 해양운송 분야에서 이전 연구는 비주기에 대한 평가가

부족하고 정량적인 방법으로 이벤트의 영향을 설명하고 있다. 따라서 이 논문에서는 이러한 연구격차를 해소하고 기존의 R/S 모델과 개선된 버전을 기반으로 BDTI의 변동특성을 연구하였다. 결론을 요약하면 다음과 같다.

- 해상운송에서 원유수송선은 BDTI가 비정상적으로 분포되어 있는 가정 하에서 연구되어 몇몇 불확실한 사건에 의해 영향을 받고 있음을 나타낸다.
- 싱가포르-중동 라인에서 BDTI의 첫 번째 차이는 더 큰 변동성을 암시하고 있어 가장 큰 표준편차를 나타내고 있다.
- 3개 BDTI 모두 획기적인 long-term memory를 가지고 있으며, 다른 두 BDTI는 반등할 수 있는 잠재력을 기반으로 미국 걸프과 중동 라인에서 BDTI는 일관성이 있는 것으로 나타났다.
- 서아프리카-중국 운송라인에 대한 BDTI는 991일의 가장 큰 비주기를 보여주었으며, 중동-미국 걸프만 및 중동-싱가포르 운송라인에서는 위와 반대로 858일의 동일한 비주기를 나타냈다.
- 다양한 이벤트는 BDTI의 개발 경향에 다른 영향을 미치며, 금융위기와 국제경쟁 모두 BDTI 전망을 어둡게 하는 반면, 환경인식과 원유협정은 BDTI를 자극할 수 있음을 보여주었다. 이는 해양오염을 줄이는 것뿐만 아니라 BDTI를 강화하기 위해 해양환경보호에 대한 홍보가 더 필요하다는 점을 시사하고 있다. 또한 원유에 대한 보다 강박적이고 엄격한 국제협정을 체결하여 해양운송시스템의 안정성을 유지해야 할 것이다.

국제 원유 해상운송시스템은 외부 환경 및 공급/수요 메커니즘에 따른 지속적인 제한요인이 있다. 이 연구에서는 원유의 해상운송 시장에서 가장 대표적인 지수 중 하나인 BDTI(Baltic Exchange Dirty Tanker Index)를 이용하여 주요 사건의 영향에 따른 원유의 해상운송 시스템이 갖는 변동특성 개선방안을 제시하였다. 이 연구결과는 원유운송 기업의 잠재적인 운송라인에 대한 투자를 결정하는 데 밴치마킹 자료로 활용할 수 있을 것이다.

[참고문헌]

[1] Wan, Z., Chen, J., 2018. Human errors are behind most oil-tanker spills. Nature 560, 161-163.

[2] UNCTAD, United Nations Conference on Trade and Development, 2018. Review of maritime transport 2018.
<https://unctad.org/en/PublicationsLibrary/rmt2018_en.pdf>

[3] Gomes, L.M., Soares, V.J., Gama, S., Matos, J.A., 2018. Long-term memory in euro next stock indexes returns: An econophysics approach. Bus. Econ. Horiz. 14 (4).

<원문제목> Crude oil maritime transportation: Market fluctuation characteristics and the impact of critical events
<원문출처> Energy Reports 6 (2020) 518-529