

ERGM 기반의 모수적 및 비모수적 방법을 활용한 수출 유망국가 분석: 정보통신 및 가전 산업 사례를 중심으로*

전승표

한국과학기술정보연구원
글로벌R&D분석센터
(spjun@kisti.re.kr)

서진이

한국과학기술정보연구원
글로벌R&D분석센터
(jinny@kisti.re.kr)

유재영

한국과학기술정보연구원
글로벌R&D분석센터
(yoojy@kisti.re.kr)

우리나라의 주력 산업 중 하나였던 정보통신 및 가전 산업은 점차 수출 비중이 낮아지는 등 수출 경쟁력이 약화되고 있다. 본 연구는 이런 정보통신 및 가전 산업의 수출 제고를 돕기 위해서 객관적으로 수출경쟁력을 분석하고 수출 유망국가를 제시하고자 했다. 본 연구는 수출경쟁력 평가를 위해서 네트워크 분석 중 구조적 특징, 중심성 그리고 구조적 공백 분석을 수행했다. 유망 수출 국가를 선정하기 위해서는 기존에 경제적 요인 외에도 이미 형성된 글로벌 무역 네트워크(ITN) 즉 글로벌 밸류체인(GVC)의 특성을 고려할 수 있는 새로운 변수를 제안했다. 국가간 무역 네트워크 분석에서 Exponential Random Graph Model(ERGM)을 통해 도출된 개별적인 링크에 대한 조건부 로짓값(log-odds)을 수출가능성을 나타낼 수 있는 대리변수로 가정했다. 이런 ERGM의 링크 연결 가능성까지 고려해 수출 유망국가를 추천하는 데는 모수적 접근 방법과 비모수적 접근 방법을 각각 활용했다. 모수적 방법에서는 ERGM에서 도출된 네트워크의 링크별 특성값을 기존의 경제적 요인에 추가 고려하여 우리나라 정보통신 및 가전 산업 수출액을 예측하는 회귀분석 모형을 개발했다. 또한 비모수적 접근 방법에서는 클러스터링 방법을 바탕으로 한 Abnormality detection 알고리즘을 활용했는데, 2개 Peer(동배)에서 벗어난 이상값을 찾는 방법으로 수출 유망국가를 제안했다. 연구 결과에 따르면, 해당 산업 수출 네트워크의 구조적 특징은 이진성이 높은 연결망이었으며, 중심성 분석결과에 따르면 우리나라는 수출에 규모에 비해서 영향력이 약한 것으로 나타났고, 구조적 공백 분석결과에서 수출 효율성이 약한 것으로 나타났다. 본 연구가 제안한 추천모델에 따르면 모수 분석에서는 이란, 아일랜드, 북마케도니아, 앙골라, 파키스탄이 유망 수출 국가로 나타났으며, 비모수 분석에서는 카타르, 룩셈부르크, 아일랜드, 북마케도니아, 파키스탄이 유망 국가로 분석되었으며, 분석방법에 따라 추천된 국가에서는 일부 차이가 나타났다. 본 연구결과는 GVC에서 우리나라 정보통신과 가전 산업의 수출경쟁력이 수출 규모에 비해서 높지 않음을 밝혔고, 따라서 수출이 더욱 감소될 수 있음을 보였다. 또한 본 연구는 이렇게 약화된 수출경쟁력을 높일 수 있는 방안으로 다른 국가들과의 GVC 네트워크까지 고려해 수출유망 국가를 찾는 방법을 제안했다는 데 의의가 있다.

주제어 : 글로벌 밸류체인, 수출 경쟁력, 수출 유망국가, 지수랜덤그래프모형, 이상 탐지

논문접수일 : 2021년 11월 24일 논문수정일 : 2021년 12월 17일 게재확정일 : 2021년 12월 22일
원고유형 : 학술대회용 Fast Track 교신저자 : 전승표

1. 개요

글로벌 무역은 해당 제품의 유통 확대와 관리라는 측면에서 당연히 중요하지만, 내수 시장이

상대적으로 작은 우리나라 경제에서 수출은 매우 중요한 정책적 그리고 경제적 수단이 될 수밖에 없었다. 우리나라 정부는 지속적으로 수출 장려 정책을 추진했고, 이에 힘입어 수출은 증가해

* 이 논문은 산업통상자원부(한국산업기술평가관리원, 20009398)의 글로벌데이터 분석기반 밸류체인 자동 생성 서비스 개발 과제의 지원을 받아 수행된 연구임.

왔으며, 이런 수출의 증가는 경제의 효율성 향상, 고용창출, 기술개발 촉진 등을 통해서 우리나라의 경제 성장에 큰 기여를 했다(Yoon, 2020). 국가의 성장뿐만 아니라 기업의 관점에서도 수출은 내수시장 의존이라는 위험을 낮춰주고, 규모 및 범위의 경제 등에 있어 기업 성장에 큰 역할을 하고 있다(Park and Kang, 2020). 나아가 글로벌 공급사슬이나 밸류체인에서 전략적 중요성이 높아질수록 안보에까지 큰 도움을 준다(Cho, 2019; Hong et al., 2014; Cho et al., 2021).

우리나라에서 1980년대에는 가전, 조선, 자동차 등 조립가공산업이 주력산업으로 등장하였으며 1990년대에는 반도체, 컴퓨터, 통신기기 등 IT산업이 부상이 주력 산업으로 부상하며 수출을 주도했다(Lee and Jeong, 2002). 이 중에서 본 연구는 상대적으로 대규모 투자가 필요하고 특정 기업에 집중된 조선, 자동차, 반도체 등과 같은 산업이 아니라, 다수의 기업이 경쟁중인 정보통신 및 가전 산업에 관심을 가졌다. 특히 본 연구가 관심을 가지는 정보통신과 가전 산업은 1980년대에 주력산업으로 부상해서 지금까지 우리나라의 핵심산업으로 자리 잡고 있지만 글로벌 무역 네트워크(International Trade Network, 이하 ITN)에서 위상이 점차 낮아지고 있어서(UN Comtrade, 2021), 수출경쟁력 제고가 절실하다.

본 연구는 이런 우리나라 정보통신 및 가전 산업의 ITN 또는 GVC(Global Value Chain)에서 위상 제고를 위해서 해당 산업의 수출 경쟁력을 분석하고, 나아가 수출 유망국가를 추천하는 모델을 제안한다. 구체적으로는 해당 산업의 ITN 특징과 우리나라 수출 경쟁력을 분석하기 위해서 SNA(Social Network Analysis, 사회연결망 분석)를 활용했으며, 수출 유망국가를 추천하기 위해서는 ERGM(Exponential Random Graph Model)

을 바탕으로 네트워크 기반의 수출 가능성을 고려한 모수적 그리고 비모수적 추천 모형을 제안했다.

본 연구는 제2장에서 네트워크 분석 및 ERGM과 관련된 선행연구 분석 결과와 우리나라의 정보통신 및 가전 산업의 수출입 현황을 살펴보고, 제3장에서는 연구 구조 및 자료와 방법론을 설명한다. 제4장의 연구결과에서는 먼저 우리나라와 글로벌 수출 네트워크의 특징을 살펴보고 ERGM 링크 예측 값을 고려한 수출 유망국가 추천 결과를 제시한다. 제5장에서는 연구결과에서 도출된 시사점과 한계를 제시하였다.

2. 선행연구와 한국의 정보통신 및 가전 산업

2.1. 네트워크 분석 기반의 무역 분석

SNA를 활용한 ITN 분석은 오래전부터 시도되어 왔는데(Kim and Kim, 2016; De Andrade and Rêgo, 2018), Bhattacharya et al.(2008)에 의하면 무역량은 로그 정규 분포를 따르고 있으며, GDP (Gross Domestic Product)와 밀접하고 인구 이동과 같은 사회적 상호작용에도 유의미한 관계가 있다는 것을 찾았다. De Andrade and Rêgo(2018)에서는, 국가 간 무역 네트워크 분석에서 가중 네트워크와 비가중 네트워크에서 서로 다른 정보를 획득할 수 있는데, 가중 네트워크에서 추출한 정보가 더 정확하고 상세하다고 주장했다. 또한 국가 간 무역에 대한 SNA에서 거의 논의되지 않았던 행위자(노드 즉 국가)의 개별 속성을 부여하고 분석함으로써 가장 영향력 있고 이익을 많이 획득하는 국가를 분석할 수 있음을 보였다.

반면 Squartini et al.(2011)에서는 ITN 분석에서 가장 네트워크 분석이 항상 효과적이지는 않음을 보이기도 하였다. Iapadre and Tajoli(2014)는 SNA를 통해서 무역의 지역화와 확산을 분석했는데, 특히 양자간 무역 강도(bilateral trade intensity)를 중심으로 무역협정이 무역에 미치는 영향을 분석했다. Zhong et al.(2017)는 특정 산업에서 국가의 위상이나 역할에 대한 분석에 SNA를 활용했는데, 화석연료 에너지(석탄, 원유, 천연가스)의 국가 간 교역량의 네트워크 분석을 통해서 국가들의 특징을 분석했다. 구체적으로 높은 관계, 중심성, 중개 무역과 네트워크 역할 등을 분석했다. Lovrić et al.(2018)은 임산물의 ITN을 역시 SNA로 분석했는데, 국가 간 무역이 가지는 특징이 독립성 가정을 위배할 수 있기 때문에 분석에서 전통적인 방법보다 SNA의 적용이 필요함을 주장했다. 그들은 임산물의 ITN 분석에서 호혜성과 같은 내생적 효과와 GDP와 같은 외생적 효과를 같이 고려하였으며, 네트워크 특성과 그룹화는 물론 국가의 위치를 분석했다(Lovrić et al., 2018).

우리나라에서도 SNA를 활용한 특정 제품이나 산업의 ITN 분석이 시도되어 왔는데, Park et al.(2015)은 복잡한 ITN의 분석을 위해서 SNA를 활용했는데, UN Comtrade에서 제공하는 1996년과 1997년 및 2011년과 2012년의 굴(oyster) 수출입 무역 통계를 활용했다. Lee and Lee(2016)는 역시 SNA를 활용해서 HS 71(귀금속류)의 교역 구조를 분석했는데, 연결정도 중심성, 근접 중심성, 매개 중심성을 중심으로 ITN에서 중앙을 이루는 국가들의 시간적 변화를 살펴보았다. Jeong and Lee(2018)는 우리나라 신발산업의 수출 무역 네트워크 중심성 구조를 파악하여 대응방안을 제시하고자 했는데, 69개 국가의 2015년 국가 간

수출입 통계 정보를 바탕으로 HS 코드 제6404호 신발류를 분석했다. 연구 결과에 따르면, 우리나라의 경우 연결·근접·매개 중심성이 경제 규모에 비해 하위 그룹에 위치하고 있음을 알 수 있었다.

본 연구에서는 이상의 선행연구 분석 결과를 반영해서, 우리나라의 ITN에서 위치와 경쟁력을 분석하기 위해서 무역(교역)량으로 가중된 네트워크 분석을 시도했으며(De Andrade and Rêgo, 2018), 교역 규모는 로그 스케일로 변환했고(Bhattacharya et al., 2008), 네트워크 분석은 구조적 특성과 다양한 중심성 지표는 물론 추가로 구조적 공백까지 분석했다(Zhong et al., 2017). 수출 유망국가 추천 모델 개발에서는 내생적 효과와 네트워크의 특징을 동시에 반영하기 위해서 ERGM의 링크 예측 값을 고려했고, 외생적 효과 특징을 위해서 인구, GDP, 중위 연령을 통제변수로 고려했다(Lovrić et al., 2018; Bhattacharya et al., 2008). 또한 본 연구에서도 정보통신 및 가전 산업의 ITN 분석을 위해서 해당되는 HS 코드를 활용했는데, Jeong and Lee(2018)와 같이 4단위를 활용했다.

2.2. ERGM을 활용한 네트워크 분석

네트워크분석은 주로 논문 공동저자, 저자 인용 관계, 공동 연구 자료 등을 활용하여 학술연구 네트워크나 산·학·연 네트워크를 분석이 많이 이루어졌다(Lee, 2020; Kim and Kim, 2016). 하지만, 네트워크 분석 중 기존의 모형은 회귀모형 기반으로 이루어져서 네트워크 현상을 이해할 수는 있었으나, 네트워크 발생 및 지속의 구조적 원인에 관해서는 연구가 진행되지 못하고, 정태적인 현재의 연결망 구조에 초점을 두었으며, 어떻게 네트워크에서 다양한 조직간 자발적 협력

이 발생되고 유지되는가에 대한 연구가 수행되지 못했다(Seo, 2013). 이는 연결망의 구조적 변수가 국가 또는 기업 간 관계에 독립변수로서 영향을 어떻게 미치는가에 대한 연구가 이루어지지 못하였음을 의미하는 것이다(Seo, 2013).

본 연구에서는 이런 한계를 극복하기 위해서 지수랜덤그래프모형(Exponential Random Graph Model, 이하 ERGM)을 활용하였다. ERGM은 단지 연결망을 묘사하거나 변수화하는 것이 아니라 통계적인 검증이 가능하며, 연결망(tie or link) 간의 상호의존성(dependence assumption)에 대한 가정을 통해 연결망 형성의 메커니즘을 밝히는데 유용한 방법이다(Snijders et al., 2006; Snijders et al., 2010; Leifeld et al., 2018; Robins et al., 2007; Seo et al., 2009; Kim and Kim, 2020; Park, 2019). 이렇게 ERGM 관계는 분포, 전이성 등 다양한 관계 의존성(tie dependency)에 대한 가정을 추가하여 보다 현실적인 네트워크 확률모형을 활용하여 분석하였다. Park(2019)은 사회 네트워크 분석에서 ERGM은 더 이상 새로운 분석 기법이 아니라며, 조직 커뮤니케이션과 관련하여 ERGM은 개인들 간의 커뮤니케이션 현상을 조사하였다. 네트워크 구조는 거시와 미시 구조 간의 역학을 통해 형성된다는 측면에서, Park(2019)은 ERGM이 네트워크의 구조적 효과와 더불어 행위자 효과를 통계적으로 검증 가능하게 해준다는 장점을 보여주었다(Park, 2019). Park and Kang(2020)은 2017년 자동차산업 편람 데이터에 적용하여 공급 네트워크의 근본적인 프로세스를 탐색하였는데, 이행성은 나타나지 않았지만, 공유하는 중개업체가 많을수록 둘 간의 직접적인 거래 관계가 나타날 가능성이 커지는 것을 확인했다. 또한 납품처의 경우 다양한 업체로부터 납품 받을 경우 추가적인 납품 가능성이 생기는 빈

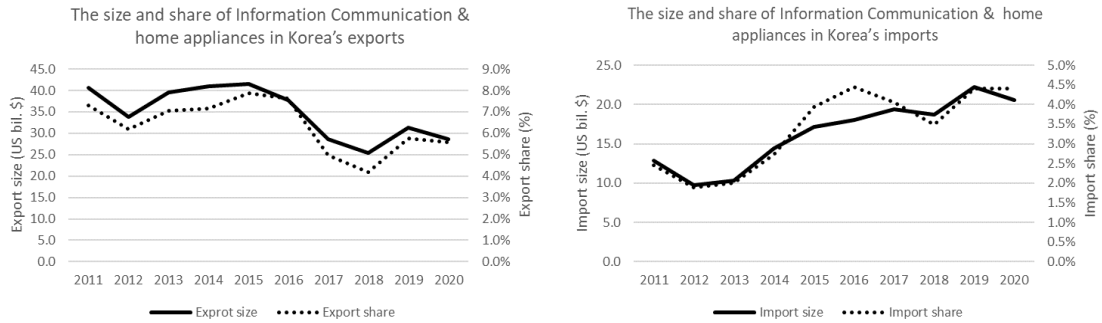
익빈 부익부 현상을 확인하였다(Park and Kang, 2020). 이상에서 살펴본 바와 같이 ERGM은 다양한 산업에 대한 분석에서 활용되었는데, 제약 산업(Cho, 2017), 방위산업(Ahn, 2017), 자동차산업(MacDuffie and Helper, 2007; Jung, 2017, Park and Kang, 2020; Kim and Moon, 2021), 정책 및 정치 분야(Lee and Lee, 2013; Lee et al., 2012; Peng et al., 2016), 협업(Atouba and Shumate, 2010) 등 다양한 분야에서 ERGM 모형을 활용하고 있었다.

본 연구에서는 전술된 바와 같이 ITN에서 나타날 수 있는 내생적 조건을 고려하고 동시에 통계적으로 고려할 수 있는 ERGM의 특징을 활용해서 우리나라와 무역량을 잠재적으로 증가시킬 수 있는 국가를 찾았다.

2.3. 정보통신 및 가전 산업의 수출입 동향

우리나라의 정보통신 및 가전 산업은 2011년 국가 총 수출액의 7.3%에 이를 정도로 수출에서 중요한 비중을 차지하고 있었지만, <Figure 1>에 나타난 바와 같이 점차 비중이 줄어들어서 2020년에 이르러서는 5.6%까지 비중이 감소했다. 반면 해당 산업의 수입 규모를 보면 2011년은 2.5%에 그쳤으나, <Figure 1>을 보면 점차 비중이 늘어서 2020년에는 4.4%까지 증가했다. 수출 대비 수입의 비중을 보면 2011년은 31.7%로 수출 규모 대비 수입 규모가 작았지만, 2020년에는 72.1%까지 수입 규모가 늘어나서 수출 규모와 차이가 크게 감소한 것을 확인할 수 있었다.

글로벌 정보통신 및 가전 산업에서 한국의 위상은 <Table 1>에 제시되어 있는데, 2020년을 기준으로 우리나라는 수출 규모에서 중국, 홍콩, 베트남, 미국, 멕시코, 네덜란드에 이어 전세계 7



Data source: UN Comtrade(2021)

<Figure 1> Changes in the share of information communication and home appliance industries in South Korea's imports and exports

<Table 1> Ranking by country of information communication and home appliance industry export and import

Rank	Export			Import		
	Country	Total Value (bil. \$)	M/S	Country	Total Value (bil. \$)	M/S
1	China	326.5	39.5%	USA	50.1	18.9%
2	China, Hong Kong	86.6	10.5%	China, Hong Kong	84.0	10.6%
3	Viet Nam	77.4	9.4%	China	67.3	8.5%
4	USA	41.2	5.0%	Germany	45.6	5.7%
5	Mexico	29.3	3.5%	Japan	40.2	5.1%
6	Netherlands	29.0	3.5%	Netherlands	31.6	4.0%
7	Rep. of Korea	28.6	3.5%	United Kingdom	28.6	3.6%
8	Germany	27.9	3.4%	Viet Nam	26.4	3.3%
9	Other Asia, nes	17.3	2.1%	Rep. of Korea	20.6	2.6%
10	Czechia	16.4	2.0%	Mexico	19.9	2.5%
11	Singapore	14.9	1.8%	France	19.6	2.5%
12	Malaysia	11.9	1.4%	India	18.8	2.4%
13	Hungary	11.2	1.3%	Canada	16.9	2.1%
14	Poland	10.3	1.2%	Czechia	16.3	2.1%
15	Thailand	9.6	1.2%	Singapore	14.8	1.9%
16	Slovakia	9.5	1.2%	Italy	13.7	1.7%
17	Japan	8.7	1.0%	Australia	12.9	1.6%
18	Sweden	7.6	0.9%	Poland	12.4	1.6%
19	United Kingdom	7.2	0.9%	Spain	10.6	1.3%
20	France	6.2	0.8%	Sweden	9.7	1.2%

Data source: UN Comtrade(2021)

위로 나타났다. 반면 <Table 1>에 따르면, 수입 규모는 앞서 언급된 국가들(멕시코 제외)과 독일, 일본, 영국에 이은 9위로 나타났다. 이상을

살펴보면, 우리나라의 해당 산업 경쟁력은 시간이 지나면서 감소하고 있지만, 2020년을 기준으로 우리나라의 글로벌 경쟁력을 보면 규모 차원

<Table 2> Composition and explanation of HS code related to information communication and home appliance industry

HS code	Explanations
8508	Vacuum cleaners
8509	Electro-mechanical domestic appliances; with self-contained electric motor, other than vacuum cleaners of heading 85.08.
8510	Shavers, hair clippers and hair removing appliances, with self-contained electric motor
8517	Telephone sets, including telephones for cellular networks or for other wireless networks; other apparatus for the transmission or reception of voice, images or other data (including wired/wireless networks), excluding items of 8443, 8525, 8527, or 8528
8518	Microphones and their stands; loudspeakers, mounted or not in their enclosures; headphones and earphones, combined or not with a microphone, and sets of a microphone and one or more loudspeakers; audio frequency and electric sound amplifiers and sets
8519	Sound recording or reproducing apparatus
8521	Video recording or reproducing apparatus
8522	Sound or video recording apparatus; parts and accessories suitable for use solely or principally with the apparatus of heading 8519 or 8521
8525	Transmission apparatus for radio-broadcasting or television, whether or not incorporating reception apparatus or sound recording or reproducing apparatus; television cameras, digital cameras and video camera recorders
8527	Reception apparatus for radio-broadcasting, whether or not combined, in the same housing, with sound recording or reproducing apparatus or a clock.
8528	Monitors and projectors, not incorporating television reception apparatus; reception apparatus for television, whether or not incorporating radio-broadcast receivers or sound or video recording or reproducing apparatus
8529	Transmission apparatus; parts suitable for use solely or principally with the apparatus of heading no. 8525 to 8528

Data source: UN Comtrade(2021)

에서는 여전히 10위안에 있는 영향력을 가지고 있는 것을 확인했다.

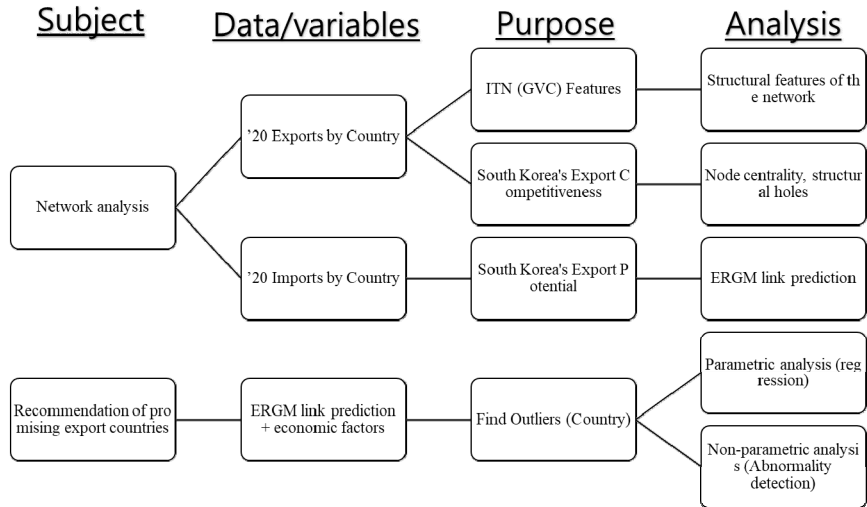
3. 연구 구조 및 방법론

3.1. 연구의 구조와 분석 자료

HS 코드는 무역에 있어서 관세 및 통계 원산지 결정기준 등에 사용되며 국제무역에서 HS 코드는 WCO 회원국의 경우 6단위까지는 의무

적으로 사용해야 하며, 6단위 이하 코드는 관세나 통계목적으로 국가 별로 다르게 사용할 수 있다(Jeong and Lee, 2018). 본 연구에서도 HS 코드를 활용하였으며, 정보통신 및 가전 산업의 무역 데이터 분석을 위해서 활용된 코드는 4단위이며 <Table 2>에서 제시된 12개 HS 코드에 해당된다.

무역 네트워크 즉 매트릭스(Matrix) 구조는 정보통신 및 가전 산업 무역 국가들을 행(source node)과 열(target node)에 배열하고 행과 열의 교



〈Figure 2〉 Research Structure

〈Table 3〉 Descriptive Statistics of Key Variables

Variable names	N	Min.	Max.	Ave.	S.D.	Skewness	Kurtosis	Source
Export TV by country (Ln)	43,776	0.000	24.632	11.045	3.593	-0.085	-0.213	UN Comtrade(2021)
Import TV by country (Ln)	27,833	0.000	24.746	10.995	3.910	0.094	-0.524	UN Comtrade(2021)
Import TV from South Korea by country (Ln)	100	6.174	23.211	15.704	3.045	-0.297	0.873	UN Comtrade(2021)
ERGM link prediction	100	0.044	1.000	0.468	0.447	0.324	-1.914	Research results
Population (Ln)	98	11.255	21.087	16.550	1.744	-0.098	0.437	UN(2021a)
GDP per capita	97	1,803.987	116,935.600	26886.722	21364.306	1.506	0.485	World Bank(2021)
Median age	97	16.800	48.200	34.976	8.109	-0.446	-0.790	UN(2021b)

차구간에 수출금액을 배치하는 방식이었다. 따라서 네트워크 분석의 단위는 국가이며, 노드도 개별 국가가 되고 링크는 수출 또는 수입 규모가 된다. 수출과 수입 규모는 총 무역량(total value, 이하 TV)으로 단위는 USD이며, 전술된 바와 같이 무역 네트워크의 분포특성과 정규성 확보 등을 고려해서 자연로그로 변환되어 네트워크 가중값으로 활용했다. 대상국가는 보고(report) 국

가를 기준으로 수출은 상위 41개국(한국 포함)의 UN 보고를 분석했는데 글로벌 교역량의 94.0% 이상에 해당된다. 수입도 상위 41개국(한국 불포함)을 대상으로 했는데, 역시 93.6% 이상의 교역량을 포함한다. 수출 무역량에서 한국을 포함한 것은 글로벌 네트워크의 특징과 우리나라의 상대적 경쟁력을 분석하기 위함이었고, 수입 무역량에서 한국을 제외한 것은 우리나라에서 수입

될 규모 즉 잠재적 수출량을 예측(ERGM link prediction)하기 위해서였다. 이상에서 설명한 연구의 구조가 <Figure 2>의 네트워크 분석 부분에 제시되어 있다. 수출에서 나타난 노드 즉 국가는 230개국이며, 연결 즉 링크는 12개 HS 코드별로 구분되어 43,776개의 링크가 관찰되었다. 수입에서는 231개국이 관찰되었으며, 27,833개의 링크가 관찰되었다. 구체적인 기술적 통계량과 정보 출처는 <Table 3>에 제시되어 있다.

<Figure 2>를 보면 우리나라의 수출 유망국가 추천 알고리즘 분석이 있는데, 이 부분에서는 글로벌 수입 네트워크에서 도출된 ERGM 링크 예측값은 물론 경제적 요인(인구, GDP, 중위 인구)을 감안한 모수적 그리고 비모수적 추천 방법이 제안되었다. 여기서 지나치게 무역량이 적은(추천의 의미가 낮은) 나라가 추천되는 것을 막기 위해서 교역량 상위 100위까지 국가만을 대상으로 수출 유망국가를 찾았다. 관련된 변수들의 기술적 통계량과 정보 출처는 <Table 3>에 같이 제시되어 있다.

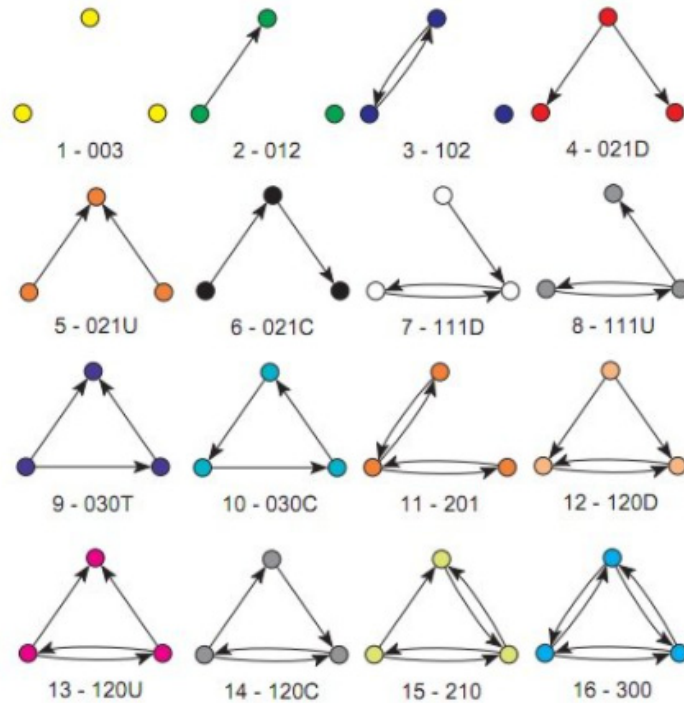
3.2. 연구 방법론

본 연구에서는 정보통신 및 가전 산업 ITN 전체 연결망의 구조적 특징을 살펴보기 위해서, 첫째 응집성(cohesion)은 평균 연결정도(degree)와 밀도(density)로 살펴보고, 군집 계수(clustering coefficient)를 분석했다. 두 번째로 연결성을 위해서는 평균거리(mean distance)를 분석했으며, 세 번째로는 이웃관계(relation)를 분석하기 위해서 Transitivity(이전성)와 Reciprocity(상호성)를 분석했다(Kim and Kim, 2016). 여기서 이상의 네트워크 특성들이 통계적으로 유의미한 차이가 있는지 분석하기 위해서 임의로 구성된

네트워크와 비교하는 MCMC(Markov Chain Monte Carlo) randomization test 방법을 적용했다(Sundaresan et al., 2007).

다음으로 <Figure 2>의 한국 수출 경쟁력 분석은 중심성(centrality, 또는 중앙성)을 분석했는데, 중심성은 구조적 위치에 대한 것으로 노드의 위치가 연결망의 중앙에서 얼마나 가까운가(인기, 돈)를 분석했으며, Degree centrality(연결중심성), Closeness centrality(인접중심성), Between centrality(사이중심성)를 분석했고, Eigenvector centrality(위세중심성)도 분석했다. 중심성은 권력과 영향력이라는 개념과 연결되어 가장 많이 쓰이는 지표 가운데 하나(노드의 지위가 높고, 생존력이 좋음)로 국가 간의 교역 연결망에서도 중앙에 위치한 국가가 세계 경제에서 가장 커다란 영향을 행사하고 중앙 국가와만 교역을 하는 변방 국가들은 교역 상대를 잃지 않기 위해서 중앙 국가의 압력에 굴복하기도 한다(Kim and Kim, 2016; Bonacich, 2007; Ruhnau, 2000). 추가로 구조적 공백(structural hole)을 분석했는데, 구조적 공백이란 연결망에서 구조적으로 연결이 상대적으로 드문 곳을 이야기하는데(내부 집단 간 연결 부족), 조직 내 연결망에서 구조적 공백을 차지한다면 승진에 유리하고, 생산성이 높으며, 양질의 정보를 획득하며, 기업 간 연결망에서는 기업 이윤이 높게 나타난다(Wang et al., 2010). 이렇게 좋은 성과와 관련되어 있는 구조적 공백은 어떻게 연결망을 유지·관리해야 하는지를 알려주는 중요한 개념이 되는데 비중복적인 관계에 투자하는 것이 유리하게 된다(Kim and Kim, 2016).

<Figure 2>에서 우리나라의 수출 가능성을 ITN에서 찾는 방법으로 적용된 방법이 ERGM이었다. ERGM은 전술된 바와 같이 네트워크 내에



Reference: Doroud et al.(2011)

〈Figure 3〉 The triad isomorphism classes (M-A-N labelling)

서 연결이 형성되는 방식이 독립적이지 않다는 것을 전제로 연결이 형성되는 국지적인 메커니즘을 모형에 반영한다(Kim and Kim, 2016). 어떤 연결망이 임의적으로 연결들이 발생하는 것이 아니라 밀도를 통한 상태에서 상호성(reciprocity), 인기(popularity), 활동성(activity), 삼자효과(path closure, cyclic closure, popularity closure, activity closure, transitivity) 등 이웃 간의 국지적인 연결망 구조에 따라서 연결이 형성될 가능성이 달라진다는 것을 증명하고자 개발되고 발전되었다(Kim and Kim, 2016). 따라서 이웃 간의 국지적인 연결망 구조는 연결망의 독특한 구조를 이해하고, 비교하는 통계적 파라미터로 활용될 수 있다는 점에 착안해서 본 연구에서는 우리나라의

수출 가능성을 측정하는데 활용한 것이다.

본 연구에서는 <Figure 3>의 MAN 관계 중에서 수출이 상호성(또는 호혜성)이 있지만 서로간의 역량에 따라 한정된다는 점을 감안해서 상호성은 102만 존재하고, 대표적인 파라미터인 102(상호성, 유유상종), 030T(이전적이며 닫힌 구조), 021D(활동성), 021U(인기) 등은 모두를 포함한(Kim and Kim, 2016), 7종(추가로 012, 021C, 030C)의 관계를 중심으로 ERGM의 링크 가능성(예측값)을 추정했다.

이렇게 도출된 ERGM의 링크 예측값은 ITN의 특성에서 도출된 수출가능성 변수로 우리나라의 수출 유망국가를 추천하는 모델 개발에 활용되는데, <Figure 2>에 설명된 바와 같이 모델은 모

수적인 방법과 비모수적인 방법을 각각 적용했다. 먼저 모수적인 방법에서는 전통적인 회귀분석을 활용해서 통계적으로 유의미한 국가별 한국 수입액 예측 모형을 개발하고, 이 모형을 기반으로 특이값 즉 잔차가 큰 이상값을 찾아 수출이 유망한 국가를 추천했다. 여기서 잔차가 큰 경우는 예측된 값보다 우리나라 제품의 수입이 너무 적거나 많은 경우에 해당되며, 이런 경우를 각각 나누어 설명했다. 다음으로 비모수적 방법으로는 Abnormality detection(이상 탐지) 알고리즘을 활용했다. Abnormality detection 모델은 데이터에서 이상치 또는 비정상적인 경우의 식별에 사용되는데, 비정상적인 경우에 대한 규칙을 저장하는 다른 모델링 방법과 달리 Abnormality detection 모델은 정상적인 동작이 어떻게 보이는지에 대한 정보를 저장한다(IBM, 2021). 이를 통해 알려진 패턴을 따르지 않는 경우에도 이상값을 식별할 수 있으며 새로운 패턴이 지속적으로 나타날 수 있는 사기 탐지와 같은 목적에 사용되며, Abnormality detection은 비지도 학습으로, 시작점으로 사용하기 위해 알려진 사기 사례가 포함된 교육 데이터 세트가 필요하지 않다(IBM, 2021). 이상값을 식별하는 기존 방법은 일반적으로 한 번에 하나 또는 두 개의 변수를 확인하는 반면, Abnormality detection은 많은 수의 필드를 검사하여 유사한 레코드가 속하는 클러스터 또는 Peer(동배) 그룹을 식별할 수 있다(IBM, 2021). 각 레코드에는 케이스가 속한 클러스터에 대한 평균에 대한 그룹 편차 index의 비율인 Anomaly index가 할당되며, 이 값이 클수록 케이스가 평균보다 더 많은 편차를 보는 것으로 index 값이 1 또는 1.5 미만인 경우는 이상으로 간주되지 않고, index 값이 2보다 큰 케이스는 편차가 평균의 최소 두 배이기 때문에 좋은 비

정상 후보가 될 수 있다(IBM, 2021). 본 연구에서는 Anomaly index가 2이상인 경우는 물론 1.5 이상인 경우까지 이상값 즉 수출 유망국가로 제시했다.

<Table 3>에서 설명된 데이터를 이용하여 무역 네트워크 구조를 계량적으로 파악하기 위해서는 NetMiner 4.0을 이용하였으며, 회귀분석은 SPSS 26을 활용했고, Abnormality detection은 IBM Modeler 18.1을 사용했다.

4. 연구 결과

4.1. 정보통신 및 가전 산업 수출 네트워크의 특징과 한국 수출 경쟁력

글로벌 무역 네트워크(ITN)에서 우리나라를 포함한 정보통신 및 가전 산업 수출 네트워크를 분석하여 우리나라의 수출 위상과 경쟁력을 분석하였다.

4.1.1. 전세계 수출 네트워크의 특징

네트워크의 응집성(cohesion) 즉 노드(국가)가 얼마나 긴밀하게 연결되었는지 살펴보면, 네트워크는 7,187개의 링크를 가지고 있었으며, 밀도(density)는 0.136으로 나타났으며, 평균 연결정도(degree)는 31.248로 나타났다. 네트워크의 특징을 통계적으로 분석하기 위해서 MCMC 기반으로 랜덤하게 연결된 관계와 비교한 결과가 <Table 4>에 제시되었다.

<Table 4>를 보면, 글로벌 정보통신 및 가전 수출 네트워크의 상호성(reciprocity)은 유의수준 0.05에서 유의미하게 나타나진 않았다. 다만 유의수준 0.1에서 보면 유의미하게 상호성이 높게

〈Table 4〉 Statistical analysis of network characteristics based on MCMC

Network properties	Observed	p>Obs	p=Obs	p<Obs	Variance	Std. Dev	Std. Err
Reciprocity	0.153	0.053	0.405	0.542	0.000	0.000	0.000
Transitivity	0.813	0.000	0.000	1.000	0.000	0.001	0.000
Clustering coefficient	0.882	0.998	0.000	0.002	0.000	0.000	0.000
Mean distance	1.303	0.018	0.175	0.807	0.000	0.000	0.000

〈Table 5〉 Results of network centrality and structural hole analysis

Rank	Out-Degree Centrality		Out-Closeness Centrality		Node Betweenness Centrality		Eigenvector Centrality		Effective Size		Aggregate Constraint	
	Country	Value	Country	Value	Country	Value	Country	Value	Country	Value	Country	Value
1	CHN	138.308	USA	0.935	CHN	0.0034	CHN	0.246	CHN	183.269	CHN	0.0413
2	USA	97.393	CHN	0.923	USA	0.0034	DEU	0.204	USA	179.988	USA	0.0462
3	DEU	96.662	NLD	0.923	DEU	0.0032	USA	0.194	DEU	173.425	DEU	0.0476
4	FRA	80.182	DEU	0.916	CAN	0.0032	NLD	0.180	NLD	170.989	FRA	0.0488
5	GBR	78.520	GBR	0.912	NZL	0.0028	GBR	0.177	GBR	169.534	GBR	0.0492
6	NLD	77.430	FRA	0.898	FRA	0.0026	FRA	0.175	FRA	166.613	NLD	0.0501
7	HKG	72.936	ESP	0.874	NLD	0.0025	HKG	0.173	ESP	156.751	HKG	0.0509
8	ITA	68.936	CAN	0.871	GBR	0.0025	ITA	0.166	DNK	154.981	ITA	0.0510
9	ESP	64.852	DNK	0.871	SGP	0.0023	ESP	0.156	CAN	152.428	ESP	0.0512
10	BEL	61.513	KOR	0.864	AUS	0.0019	BEL	0.151	KOR	151.761	DNK	0.0516
11	KOR	60.560	SWE	0.858	ESP	0.0019	KOR	0.150	SGP	150.207	TUR	0.0516
12	DNK	60.509	SGP	0.854	HKG	0.0017	DNK	0.142	HKG	149.028	KOR	0.0522
13	SGP	56.194	BEL	0.848	SWE	0.0016	POL	0.141	BEL	147.439	BEL	0.0522
14	CZE	51.352	HKG	0.848	DNK	0.0016	CZE	0.140	SWE	145.744	SGP	0.0529
15	TUR	50.424	CHE	0.845	KOR	0.0016	SGP	0.137	ITA	143.517	CAN	0.0534

나타나서 쌍방이 수출하는 관계가 무작위 관계보다 같거나 클 수 있다는 것을 확인했다. 결국 국가별 수출에서 보면 일방적이라기보다는 서로 친한 관계일 수 있다는 것을 확인했다. 이전성(transitivity)도 통계적으로 유의미하게 많게 나타나서 글로벌 수출 네트워크는 우연히 연결되는 경우가 상대적으로 많은, 즉 수출 연결 가능성이 높고 확대 가능성도 높은 연결망으로 판단되었

다. 그러나 군집계수는 오히려 통계적으로 유의미하게 낮게 나타났는데, 이전성은 높았지만, 쌍자간의 친한 관계가 제3의 관계에 미치는 영향은 오히려 높지 않은 것으로 나타났다. Mean distance는 통계적으로 유의미하게 같거나 높을 수 있는 것으로 나타나서 정보가 빠르게 퍼질 수 있는 구조는 아니라는 것으로 확인했다.

4.1.2. 네트워크 분석에 나타난 한국의 수출경쟁력

앞서 글로벌 수출 네트워크의 구조적 특징을 살펴보았는데, 특정 노드에 대해서는 위치가 중앙에서 얼마나 가까운가를 중심성 분석에서 확인할 수 있었다. 수출이라는 측면에서 분석을 했기 때문에 수출지역으로 인기보다는 수출의 활동성이 분석의 주요 관심이 된다. <Table 5>에는 Out-degree에 대한 연결중심성이 제시되어 있는데, <Table 1>에서 수출량은 7위를 기록하였던 우리나라의 순위가 <Table 5>에서는 11위로 낮게 나타나서 수출 규모와 비교하면 활동성을 높여서 수출 대상 국가를 다변화할 필요가 있는 것으로 나타났다.

<Table 5>에서 나타난 인접중심성을 살펴보면, 연결중심성보다는 높지만 Out-degree의 인접중심성도 10위로 수출 규모 순위(7위)대비 상대적으로 낮게 나타나서 수입 기준으로 인접중심성이 높은 국가에 대한 수출을 높일 필요가 있는 것으로 나타났다. 매개(또는 사이) 중심성은 중심성 중에서 가장 낮은 순위로 15위를 보였는데, 매개 역할은 상대적으로 낮은 것으로 나타났다. 위세중심성을 살펴보면, 여전히 수출 규모 순위(7위)보다 낮은 11위를 보였는데, 수출이 관심 대상인 만큼 위세중심성이 중요하다는 측면에서 보면 상대적으로 낮은 우리나라의 수출경쟁력을 다시 확인할 수 있었다. 중심성을 전반적으로 보면 독일, 영국, 프랑스, 캐나다와 같이 <Table 1>에서 우리나라보다 수출 규모가 낮았던 G7 국가의 경쟁력이 오히려 높은 것을 확인할 수 있었다.

구조적 공백을 통해서 이윤이 높은 연결망을 차지하고 있는지 분석했는데, <Table 5>를 보면

효율성은 10위에 머물러 있으며, 응집 제약(aggregate constraint)의 결과도 12위에 머물러 있는 것을 확인할 수 있었다. 우리나라가 정보통신 및 가전 산업에서 차지하는 위치가 구조적 공백을 많이 차지하지 못하는 것을 확인할 수 있었다. 구조적 공백 분석 결과에서도 독일, 영국, 프랑스, 스페인과 같은 유럽 선진국이 수출규모에서는 우리나라보다 작았지만 ITN에서 중요하고 독특한 위치를 차지하고 있는 것으로 나타났다.

4.2. ERGM 기반의 수출 유망국가 추천

글로벌 무역 네트워크에서 우리나라를 제외한 국가간 수입 네트워크를 ERGM 방법으로 분석해서 노드의 연결 가능성을 국가별로 도출했다. 여기서 ERGM으로 도출된 값은 개별적인 링크에 대한 조건부 로짓 값(log-odds)으로 우리나라로부터 수입가능성을 의미하게 되며, 우리나라 입장에서는 수출가능성이 되는 것이다. 실제로 ERGM에서 도출된 수출가능성(링크 예측 값)이 높은 100개 국가를 대상으로 수출 유망(강화) 국가를 분석했는데, ERGM의 링크 예측 값과 실제 수출량은 상관관계가 0.663(유의확률 < 0.001)로 상당히 높게 나타났다. 우리는 기존의 선행연구에서 무역 규모의 결정요인으로 중요하게 제시되었던 경제적 요인들(인구, 소득, 연령구조)을 통제하면서 ERGM 기반의 링크 가능성 추정값을 동시에 고려해서 수출 유망국가를 추천하는 방법을 제안했는데, 모수적 접근법과 비모수적 접근법을 각각 제안했다. ERGM에서 관계에 대한 조건은 전술된 바와 같이 012, 021U, 021D, 102, 021C, 030T, 030C의 7종이 가능한 것으로 가정했다.

<Table 6> Step-by-step regression analysis results

Model		Unstandardized coefficients		Standardized coefficients	t	Significance Probability	95.0% confidence interval for B		ANOVA	
		B	Standard error	Beta			lower limit	upper limit	F	Significance Probability
1	(constant)	13.873	0.297		46.705	0.000	13.284	14.463	88.623	0.000
	ERGM link	4.272	0.454	0.695	9.414	0.000	3.371	5.172		
2	(constant)	2.015	1.741		1.157	0.250	-1.442	5.471	89.588	0.000
	ERGM link	3.250	0.401	0.529	8.114	0.000	2.455	4.045		
	Population (Ln)	0.744	0.108	0.448	6.880	0.000	0.529	0.958		
3	(constant)	-2.847	1.940		-1.468	0.146	-6.699	1.005	77.772	0.000
	ERGM link	2.384	0.416	0.388	5.729	0.000	1.558	3.210		
	Population (Ln)	1.000	0.115	0.603	8.708	0.000	0.772	1.228		
	GDP	3.810E-5	0.000	0.294	4.391	0.000	0.000	0.000		

a. Dependent variable: total import value(Ln), Adj. R²model 1 = 0.477, model 2 = 0.649, model 3 = 0.706

4.2.1. 회귀 분석을 활용한 모수적 접근법 (Parametric method)

<Table 3>을 보면 경제적 요인과 ERGM 링크 예측 값이 모두 왜도와 첨도에 정규성을 가정할 수 있는 수준임을 확인할 수 있었다. 따라서 모수적 접근법이 적용 가능하다고 판단했고, <Table 6>에는 우리나라 정보통신 및 가전 산업의 국가별 수출액을 예측하는 회귀분석 모형이 제시되어 있다. 여기서 종속변수는 우리나라가 각 국가에 수출한 실제 무역량으로 했고, 변수의 입력은 단계적 방법을 활용했으며, 국가별 중위 연령은 유의미하게 나타나지 않았고, 공선성 통계량(분산팽창인수, VIF)은 1.6 이하로 나타나서 다중공선성은 없는 것으로 판단되었다.

가장 먼저 유의미한 변수로 나타난 독립변수는 ERGM 변수로 나타나서 우리나라를 제외한 수입 네트워크 분석 결과가 우리나라의 수출을 예측하는 매우 유의미하게 나타났으며, 모형 3을

보면 인구와 소득(GDP)도 정보통신 및 가전 산업의 수출을 결정하는데 매우 유의미한 것으로 나타났다. 모형 3에 대한 잔차분석에서도 표준화된 잔차는 최대 3.4에서 최소 -2.8로 나타나서 안정적이었으며, 왜도는 -0.635로 첨도는 2.326으로 나타났고, P-P 도표에서는 선형성을 관찰할 수 있었다. 이렇게 도출된 회귀모델에서 잔차의 절대값이 크게 나타난 국가를 보면 <Table 7>과 같았다. <Table 7>에는 잔차의 크기가 가장 작았던 10개 국가와 가장 컸던 5개 국가가 제시되었는데, 여기서 잔차의 크기가 작았던 국가는 회귀 모형의 예측보다 실제 수출이 적었던 국가로 판단할 수 있으며 수출 증가가 기대되는 국가가 될 수 있었다. 반면 잔차가 큰 국가는 오히려 기대 즉 예측보다 수출이 이미 많은 국가로 판단할 수 있었는데, 우리나라 제품을 선호하거나 의존이 큰 국가로 수출 유지를 위해서 지속적인 노력이 필요한(향후 평균으로 회귀될 수 있기 때문에)

〈Table 7〉 Ranking and information by country according to standardized residuals

Standardized Residual Rank	Country	ERGM link prediction	population	GDP per capita	Standardized Residual
1	Iran	0.071	83,992,953	19082.62	-2.80
2	Ireland	0.995	4,937,796	67335.29	-2.38
3	North Macedonia	0.079	2,083,380	13111.21	-2.31
4	Angola	0.044	32,866,268	5819.50	-2.13
5	Pakistan	0.926	220,892,331	5034.71	-2.08
6	Afghanistan	0.067	38,928,341	1803.99	-1.70
7	Norway	0.998	5,421,242	64800.06	-1.69
8	Ukraine	0.992	43,733,759	7894.39	-1.51
9	Switzerland	0.999	8,654,618	57410.17	-1.40
10	Luxembourg	0.121	625,976	19082.62	-1.34
93	Latvia	0.115	1,886,202	25063.85	1.40
94	Panama	0.069	4,314,768	22267.04	1.68
95	Hong Kong	0.998	7,496,988	56054.92	1.88
96	United Arab Emirates	0.094	9,890,400	67293.48	2.02
97	Vietnam	0.985	97,338,583	6171.88	3.39

국가들이라고 할 수 있었다.

이런 해석에 따라 <Table 7>을 보면, 우리나라의 수출이 유망한 국가는 이란, 아일랜드, 북마케도니아 등으로 나타났으며, 이미 수출이 많아 관리가 필요한 국가는 베트남과 대표적인 중계 무역 지역 국가들(UAE, 홍콩, 파나마)로 나타났다.

4.2.2. Abnormality detection을 활용한 비모수적 접근법(Non-parametric method)

<Table 7>을 보면 ERGM 링크 예측값이나 인구 등에서 국가별 차이가 큰 것을 확인할 수 있었다. 이런 차이가 비선형적일 수 있다는 점을 고려해서 비모수적 접근법의 적용을 고려했는데, 본 연구에서는 Abnormality detection 방법을 활용했다. 변수들은 <Table 6>에서 우리나라 수

출을 설명하는데 유의미한 것으로 나타난 3종의 변수를 대상으로 했으며, Abnormality detection 방법은 비지도학습으로 클러스터링 방법에 기반을 둔 만큼 3종의 변수들을 <Table 6>의 종속변수인 우리나라 수출량으로 나누어 수출량에 대해 표준화된 값으로 변환했다. Abnormality detection로 분석한 결과에 따르면 적절한 Peer(동배)의 수는 2개로 나타났으며, 각각의 특징은 <Table 8>과 같았다.

<Table 8>에 따르면, Peer 1과 Peer 2를 구분하는데 특히 ERGM 링크 예측 값이 크게 기여(동배를 구분하는데 결정적인 기여를 하는 변수)한 것을 확인할 수 있었다. <Table 9>에는 이런 Peer 그룹 구분에 따라 Anomaly case로 구분된 국가가 제시되어 있으며, Anomaly index의 크기에 따라 정렬되어 있다.

<Table 8> Peer group classification results

		Peer 1	Peer 2
Included Record(Index > 2.0)		42	55
Excluded Record(Index > 2.0)		6	3
Excluded Record(Index > 1.5)		7	7
Peer group profile	ERGM link(Standardized by TV)	0.055	0.006
	Pop.(Standardized by TV)	0.964	1.140
	GDP per capita(Standardized by TV)	1,889.008	1,545.809

Here, Pop. is the population

<Table 9> Abnormality detection analysis result

Rank	Country	Anomaly Index	Peer Group	Influencing Variables (No. 1)	Variable Influence Rate (No. 1)	Variable Influence Description	standardized residual rank
1	Qatar	3.95	2	GDP(Standardized)	0.82	Higher GDP than Peer2	26
2	Luxembourg	3.83	2	GDP(Standardized)	0.92	Higher GDP than Peer2	10
3	Ireland	3.32	1	GDP(Standardized)	0.60	Higher GDP than Peer1	2
4	North Macedonia	2.94	2	Pop.(Standardized)	0.89	More Pop. than Peer2	3
5	Pakistan	2.82	1	Pop.(Standardized)	0.71	More Pop. than Peer1	5
6	Singapore	2.36	1	GDP(Standardized)	0.75	Higher GDP than Peer1	47
7	Vietnam	2.16	1	Pop.(Standardized)	0.44	Fewer Pop. than Peer1	97
8	Ukraine	2.12	1	Pop.(Standardized)	0.57	More Pop. than Peer1	8
9	Norway	2.09	1	GDP(Standardized)	0.71	Higher GDP than Peer1	7
10	Angola	1.96	2	Pop.(Standardized)	0.78	More Pop. than Peer2	4
11	Iran	1.95	2	Pop.(Standardized)	0.84	More Pop. than Peer2	1
12	United Arab Emirates	1.85	2	Pop.(Standardized)	0.62	Fewer Pop. than Peer2	96
13	Hong Kong	1.60	1	Pop.(Standardized)	0.67	Fewer Pop. than Peer1	95
14	Afghanistan	1.58	2	Pop.(Standardized)	0.68	More Pop. than Peer2	6

<Table 9>을 보면 Anomaly index가 2를 넘는 경우는 9개로 나타났으며, 가장 Anomaly index가 높은 국가는 카타르였으며, Peer 2 그룹에 가깝지만 GDP가 가장 큰 차이를 보였기 때문에 Anomaly index가 크게 나온 것으로 나타났다. 그리고 여기에서 카타르의 Anomaly index를 높이는 변수들 중에서 GDP의 영향이 82%였으며, 구체적으로 차이의 방향을 보면 카타르의 GDP가 Peer 2보다 컸었기 때문인 것으로 나타났다. <Table 7>과 비교하면 순서에서는 큰 차이가 있

었지만, Anomaly index를 1.5까지 확대하면 카타르와 싱가포르를 제외하면 대부분의 국가가 공유되고 있었다.

5. 시사점 및 결론

본 연구가 제시한 결과 중에서 정책적 시사점을 <Table 4>에서 살펴보면, 정보통신 및 가전 산업의 ITN은 상호 관계가 중요하며, 이전성은

높지만 3자간의 관계로 쉽게 확대되진 않을 수 있음을 보였다. 또한 <Table 5>를 통해서 한국의 수출 경쟁력이나 위상이 <Table 1>에 나타난 수출 규모에 미치지 못함을 확인했다. <Table 5>에서 낮게 나타난 Out-degree 중심성을 개선하기 위해서는 In-degree가 크게 높았던 이탈리아나 폴란드로의 수출을 높일 필요가 있었다. 역시 Out-closeness 중심성의 제고를 위해서는 In-closeness가 특별히 높았던 국가에 대한 수출을 높일 필요가 있으며, 모로코, UAE, 아르헨티나, 러시아, 캐나다 등을 수출 국가로 주목해야 할 것으로 분석되었다. 위세중심성을 보면 특히 독일이 수출 규모에 비해서 매우 높았는데, 위세가 높은 국가와 관계가 강하다는 것으로 우리나라도 수출이 많은 다른 국가에도 수출 증대 및 강화를 위한 경쟁력 확보가 절실한 것으로 나타났다. 구조적 공백 분석 결과를 보면, 우리나라만의 네트워크 확보에도 더욱 노력해야 하는 것으로 나타났다.

본 연구가 제시하는 실무적 기여는 <Table 7>과 <Table 9>에서 찾을 수 있는데, 수출 확대를 기대하는 기업에 실무적 시사점을 제공했다. 본 연구의 결과는 수출 확대를 기대하는 기업은 기존에 국가별로 수출되는 규모와 비교해서 상대적으로 수출 확대 가능성이 높은 국가들에 주목할 필요가 있다고 주장했다. 특히 생필품을 수출한다면 <Table 7>에서 인구가 많은 국가들에 대해 주목할 필요가 있으며, 고가품이나 내구 제품을 수출한다면 GDP 즉 구매력이 높은 국가들을 주목할 필요가 있었다. <Figure 2>의 연구과정을 통해서 제시된 <Table 7>이나 <Table 9>와 같은 분석 결과는 다른 산업에도 확대 적용이 용이하기 때문에 공공부문에서 본 연구의 결과를 활용하는 서비스 개발도 기대해 본다(Lee et al., 2014; Kim et al., 2019).

본 연구의 결과는 학문적으로 의의가 있는데, 기존의 국가간 무역 네트워크(ITN) 분석에 활용되었던 외생적 요인들은 물론 ERGM을 가설 검증이나 네트워크 분석에 한정하지 않고 ITN에서 나타날 수 있는 내생적 특성 값으로 활용해서 수출 가능성 분석에 활용함으로써 ERGM의 활용 범위를 확대하는 시도를 했다는 점이다. 즉 ITN의 네트워크적 특성값을 통해 연결(수출) 가능성을 측정하고 고려할 수 있는 방법으로 ERGM을 제시했다는 점이다. 여기에 ERGM을 그대로 활용하지 않고 외생적 요인을 동시에 고려하기 위한 모수적 그리고 비모수적 방법을 병행해서 추천 모델의 강건성을 높였다는 점도 의의가 있다. 본 연구가 제안한 이런 추천 모델은 향후 네트워크기반 추천 모델의 연구에도 학문적 시사점을 제공할 것으로 기대한다.

본 연구의 한계 중에서 실무적 한계는 HS코드가 4~6자리까지만 ITN에 통용되고 공개되기 때문에 세부 제품의 수출가능성을 판단하고 수출 유망 국가(노드)를 찾는 데는 한계가 있다는 점이다. 즉 본 연구가 제시한 방법은 제품군에 대한 수출가능성이나 유망 수출 국가를 판단할 수 있지만, 구체적인 제품에 대한 수출가능성의 판단에는 한계가 있다는 것이다. 향후 제품군에서 세부 제품들의 비중을 분석할 수 있는 세부 통관 자료가 확보된다면 이러한 한계가 일부분은 극복될 수 있을 것으로 기대한다.

본 연구의 학문적인 한계는 ITN 분석에서 경제적 요인만 고려한 것으로 다자간 또는 상호간 무역 협정이나 관세율과 같은 중요한 무역 용이성에 대한 변수가 고려되지 못한 점이며(Iapadre and Tajoli, 2014), 향후 이런 다양한 변수들이 본 연구가 제시한 모수적 그리고 비모수적 분석들에 추가 활용된다면 보다 정교한 수출 규모 예측

이 가능해지고, 나아가 유망국가 추천도 가능할 것으로 기대된다. 또한 활용데이터에 따라 기업 간 네트워크 분석으로 기업의 거래관계에 방향을 제시할 수 있을 것으로 사료되어, 활용성을 높일 수 있는 장점도 있을 것으로 예상된다.

참고문헌(References)

- Yoon, T. D., "Analysis on the Korea's Export to Brazil: Focused on the Causality with Korean GDP/total export", *Journal of International Area Studies*, Vol.(24), No.4(2020), 161~180.
- Park, S. G. and Kang, S. M. "Analysis for Factors of Firms' Exporting in Industrial Organization Theory and Strategic Perspective", *The Journal of the Korea Contents Association*, Vol.(20), No.6(2020), 406~414.
- Lee, W. and Jeong, M., "Industrial development trends in the 21st century and the direction of industrial development in Korea," *Bank of Korea Survey 2002-2*, Bank of Korea, 2002.
- Cho, H., *Reasons to re-engineer the meaning of export*, Maeil Economy, <https://www.mk.co.kr/opinion/contributors/view/2019/11/896317/>, 2019, (Last accessed July 20, 2021).
- Hong, W., Kim, U., Cho, S., Kim, S., Lee, M., and Shin, D., "Export Control System based on Case Based Reasoning: Design and Evaluation", *Journal of Intelligence and Information Systems*, 20(3), 109-131. 2014.
- Cho, J., Joo, J., and Han, I., "The Prediction of Export Credit Guarantee Accident using Machine Learning. *Journal of Intelligence and Information Systems*," 27(1), 83-102, 2021.
- Un Comtrade, *UN Comtrade Database*, <https://comtrade.un.org/data/>, 2021, (Last accessed August 15, 2021).
- Kim, Y. and Kim, Y., *Social Network Analysis 4th edition*, Seoul, Korea, Parkyoungsa, 2016.
- De Andrade, R. L., & Rêgo, L. C., "The use of nodes attributes in social network analysis with an application to an international trade network." *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, Vol.(491), (2018), 249~270.
- Bhattacharya, K., Mukherjee, G., Saramäki, J., Kaski, K., and Manna, S. S., "The international trade network: weighted network analysis and modelling," *Journal of Statistical Mechanics: Theory and Experiment*, Vol.(02), (2008), P02002.
- Squartini, T., Fagiolo, G., and Garlaschelli, D., "Randomizing world trade. II. A weighted network analysis," *Physical Review E*, Vol.(84), No.4(2011), 046118.
- Iapadre, P. L., and Tajoli, L., "Emerging countries and trade regionalization. A network analysis," *Journal of Policy Modeling*, Vol.(36), (2014), S89-S110.
- Zhong, W., An, H., Shen, L., Fang, W., Gao, X., and Dong, D., "The roles of countries in the international fossil fuel trade: An energy and network analysis," *Energy Policy*, Vol.(100), (2017), 365-376.
- Lovrić, M., Da Re, R., Vidale, E., Pettenella, D., & Mavsar, R. "Social network analysis as a tool for the analysis of international trade of wood and non-wood forest products," *Forest Policy and Economics*, Vol.(86), (2018), 45-66.
- Park, J., Kim, S., and Kim, H., "A study on the oyster trade network using social networks," *Journal of the Korean Trade Association*,

- Vol.(40), No.2(2015), 51-70.
- Lee, K. and Lee, C., "A study on the trading network of precious metals of HS class 71 using social network analysis," *Trade Insurance Research*, Vol.(17), No.3(2016), 123-145.
- Jeong, S. and Lee, C., "Analysis of the Centrality of the Korean Footwear Industry through Export Network Analysis - Focused on HS Code 6404," *Trade Insurance Research*, Vol.(19), No.1(2018), 151-173.
- Lee, J., "Analysis of research trends in the trade field using social network analysis," *Journal of the Korean Society of Industrial-Academic Technology*, Vol.(21), No.11(2020), 465-476.
- Seo, I., "A Mechanism of Collaborative Network Structure: Focusing on Settlement Support Program," *Local Administration Research*, Vol.(27), No.2(2013), 75-102.
- Snijders, T. A., Pattison, P. E., Robins, G. L., and Handcock, M. S., "New specifications for exponential random graph models," *Sociological methodology*, Vol.(36), No.1(2006), 99-153.
- Snijders, T. A., Van de Bunt, G. G., and Steglich, C. E., "Introduction to stochastic actor-based models for network dynamics," *Social networks*, Vol.(32), No.1(2010), 44-60.
- Leifeld, P., Cranmer, S. J., and Desmarais, B. A., "Temporal exponential random graph models with btergm: Estimation and bootstrap confidence intervals," *Journal of Statistical Software*, Vol.(83), No.6(2018).
- Robins, G., Pattison, P., Kalish, Y., and Lusher, D., "An introduction to exponential random graph (p*) models for social networks," *Social networks*, Vol.(29), No.2(2007), 173-191.
- Seo, I., Yoon, B., and Cho, I., "Structure and Persistiveness of cosponsorship network in legislative Process: Application of structural variable and ERGM on the sexual violence prevention Act," *Korean Public Administration Research*, Vol.(23), No.1(2014), 65-90.
- Kim, S. and Kim, J., "An Empirical Comparison of Statistical Models for Pre-service Teachers' Help Networks using Binary and Valued Exponential Random Graph Models," *Journal of the Korean Contents Association*, Vol.(20), No.4(2020), 658-672.
- Park, H., "Analysis of network data using ERGM and interpretation of structural parameter coefficients," *Contemporary Society and Public Administration*, Vol.(29), (2019), 35-61.
- Park, C. and Kang, A., "Automotive industry supply network analysis using ERGM," *Business Administration Studies*, Vol.(49), No.1(2020), 129-153.
- Cho, R., "Centralities in Pharmaceutical Supply Network and Patent Application: Social Network Analysis," *Proceedings of the Korean Society of Management Science Conference*, (2017), 3901-3923.
- Ahn, H., "A Study on Networks Characteristics Defense Industry in Korea," *Industrial Innovation Research*, Vol.(33), No.3(2017), 265-289.
- MacDuffie, J. P., and Helper, S., *Collaboration in supply chains: With and without trust*, 2007.
- Jung, J., "The Study On the Automobile Industry Ecosystem using Big Data Analysis," *Industrial Economics Research*, Vol.(30), No.5(2017), 1615-1642.
- Kim, H., and Moon, T., "Analysis of Geographic Network Structure by Business Relationship between Companies of the Korean Automobile

- Industry,” *Journal of the Korean Association of Geographic Information Studies*, Vol.(24), No.3(2021), 58-72.
- Lee, I., and Lee, Y., “The Effects of Similarity in Political, Socio-economic, and Geographical Aspects on Interlocal Collaborative Networks,” *Government Studies*, Vol.(19), No.2(2013), 109-142.
- Lee, Y., Lee, I. W., and Feiock, R. C., “Interorganizational collaboration networks in economic development policy: An exponential random graph model analysis,” *Policy Studies Journal*, Vol.(40), No.3(2012), 547-573.
- Peng, T. Q., Liu, M., Wu, Y., and Liu, S., “Follower-follower network, communication networks, and vote agreement of the US members of congress,” *Communication research*, Vol.(43), No.7(2016), 996-1024.
- Atouba, Y., and Shumate, M., “Interorganizational networking patterns among development organizations,” *Journal of communication*, Vol.(60), No.2(201), 293-317.
- UN, *World Population Prospects 2019*, <https://population.un.org/wpp/>, 2021a, (Last accessed July 20, 2021).
- World Bank, DataBank, <https://databank.worldbank.org/indicator/NY.GDP.MKTP.CD/1ff4a498/Popular-Indicators>, 2021.
- UN, World Population Prospects: The 2017 Revision, <https://www.un.org/development/desa/publications/world-population-prospects-the-2017-revision.html>, 2021b, (Last accessed July 20, 2021).
- Sundaresan, S. R., Fischhoff, I. R., Dushoff, J., and Rubenstein, D. I., “Network metrics reveal differences in social organization between two fission - fusion species, Grevy’s zebra and onager,” *Oecologia*, Vol.(151), No.1 (2007), 140-149.
- Bonacich, P., “Some unique properties of eigenvector centrality,” *Social networks*, Vol.(29), No.4(2007), 555-564.
- Ruhnau, B., “Eigenvector-centrality—a node-centrality?,” *Social networks*, Vol.(22), No.4(2000), 357-365.
- Wang, J. C., Chiang, C. H., and Lin, S. W., “Network structure of innovation: can brokerage or closure predict patent quality?,” *Scientometrics*, Vol.(84), No.3(2010), 735-748.
- Doroud, M., Bhattacharyya, P., Wu, S. F., and Felmler, D., “The evolution of ego-centric triads: A microscopic approach toward predicting macroscopic network properties,” In *2011 IEEE Third International Conference on Privacy, Security, Risk and Trust and 2011 IEEE Third International Conference on Social Computing*, IEEE, (2011, October), 172-179.
- IBM, Anomaly Detection Node, <https://www.ibm.com/docs/en/spss-modeler/SaaS?topic=models-anomaly-detection-node>, 2021, (Last accessed September 21, 2021).
- Lee, G. W., Park, S. K., Ryu, S. W., and Shin, D. C., “An Ontology Model for Public Service Export Platform,” *Journal of Intelligence and Information Systems*, 20(1), 149-161, 2014.
- Kim, K. H., Kwon, T., and Jun, S. P., “The Characteristics and Performances of Manufacturing SMEs that Utilize Public Information Support Infrastructure,” *Journal of Intelligence and Information Systems*, 25(4), 1-33, 2019.

Abstract

Analysis of promising countries for export using parametric and non-parametric methods based on ERGM: Focusing on the case of information communication and home appliance industries*

Seung-pyo Jun** · Jinny Seo*** · Jae-Young Yoo****

Information and communication and home appliance industries, which were one of South Korea's main industries, are gradually losing their export share as their export competitiveness is weakening. This study objectively analyzed export competitiveness and suggested export-promising countries in order to help South Korea's information communication and home appliance industries improve exports. In this study, network properties, centrality, and structural hole analysis were performed during network analysis to evaluate export competitiveness. In order to select promising export countries, we proposed a new variable that can take into account the characteristics of an already established International Trade Network (ITN), that is, the Global Value Chain (GVC), in addition to the existing economic factors. The conditional log-odds for individual links derived from the Exponential Random Graph Model (ERGM) in the analysis of the cross-border trade network were assumed as a proxy variable that can indicate the export potential. In consideration of the possibility of ERGM linkage, a parametric approach and a non-parametric approach were used to recommend export-promising countries, respectively. In the parametric method, a regression analysis model was developed to predict the export value of the information and communication and home appliance industries in South Korea by additionally considering the link-specific characteristics of the network derived from the ERGM to the existing economic factors. Also, in the non-parametric approach, an abnormality detection algorithm based on the clustering method was used, and a promising export country was proposed as a method of finding outliers that deviate from two peers.

* This research was supported by the Ministry of Trade, Industry and Energy (Korea Evaluation Institute of Industrial Technology, KEIT 20009398) for the global data analysis-based value chain automatic creation service development project.

** Corresponding author: Seung-Pyo Jun

Center for Global R&D Data Analysis, Korea Institute of Science and Technology Information

66 Hoegi-ro, Dongdaemun-gu, Seoul 02456, Rep. of Korea

Tel: +82-2-3299-6095, Fax: +82-2-3299-6041, E-mail: spjun@kisti.re.kr

*** Center for Global R&D Data Analysis, Korea Institute of Science and Technology Information

**** Center for Global R&D Data Analysis, Korea Institute of Science and Technology Information

According to the research results, the structural characteristic of the export network of the industry was a network with high transferability. Also, according to the centrality analysis result, South Korea's influence on exports was weak compared to its size, and the structural hole analysis result showed that export efficiency was weak. According to the model for recommending promising exporting countries proposed by this study, in parametric analysis, Iran, Ireland, North Macedonia, Angola, and Pakistan were promising exporting countries, and in nonparametric analysis, Qatar, Luxembourg, Ireland, North Macedonia and Pakistan were analyzed as promising exporting countries. There were differences in some countries in the two models. The results of this study revealed that the export competitiveness of South Korea's information and communication and home appliance industries in GVC was not high compared to the size of exports, and thus showed that exports could be further reduced. In addition, this study is meaningful in that it proposed a method to find promising export countries by considering GVC networks with other countries as a way to increase export competitiveness.

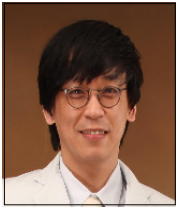
This study showed that, from a policy point of view, the international trade network of the information communication and home appliance industries has an important mutual relationship, and although transferability is high, it may not be easily expanded to a three-party relationship. In addition, it was confirmed that South Korea's export competitiveness or status was lower than the export size ranking. This paper suggested that in order to improve the low out-degree centrality, it is necessary to increase exports to Italy or Poland, which had significantly higher in-degrees. In addition, we argued that in order to improve the centrality of out-closeness, it is necessary to increase exports to countries with particularly high in-closeness. In particular, it was analyzed that Morocco, UAE, Argentina, Russia, and Canada should pay attention as export countries. This study also provided practical implications for companies expecting to expand exports. The results of this study argue that companies expecting export expansion need to pay attention to countries with a relatively high potential for export expansion compared to the existing export volume by country. In particular, for companies that export daily necessities, countries that should pay attention to the population are presented, and for companies that export high-end or durable products, countries with high GDP, or purchasing power, relatively low exports are presented. Since the process and results of this study can be easily extended and applied to other industries, it is also expected to develop services that utilize the results of this study in the public sector.

Key Words : Global value chain; export competitiveness; export promising countries; Exponential Random Graph Model; Abnormality detection

Received : November 24, 2021 Revised : December 17, 2021 Accepted : December 22, 2021

Corresponding Author : Seung-Pyo Jun

저자 소개



전승표

KAIST에서 경영학 석사학위, 고려대학교에서 과학관리학 전공으로 이학박사를 취득했다. 현재 한국과학기술정보연구원 글로벌R&D분석센터의 책임연구원, 과학기술연합대학원대학교(UST) 과학기술경영정책과 교수로 재직 중이다. Technological forecasting and social change, Government Information Quarterly, Scientometrics, Energy policy, Internet research 등 해외학술지와 한국기술혁신학회지, 지능정보연구 등 국내학술지에 주저자로 다수의 논문을 게재했다. 주요 관심분야는 빅데이터를 활용한 수요 예측, 글로벌 R&D 동향 분석, 유망 기술 탐색, 기술가치평가, 중소기업 R&D 정책 등을 위한 지능형 정보

시스템 개발 연구이다.



서진이

한국과학기술정보연구원 글로벌R&D분석센터 책임연구원으로 재직 중이며, 이화여자대학교 멀티미디어학으로 석사과정을 마쳤다. 데이터베이스 구축, 관리 및 데이터 분석을 통한 산업, 시장분석을 수행하였다. 주요 관심분야는 빅데이터를 통한 산업, 시장분석, 기술혁신 분석 및 기술가치평가, 경제성 평가이다.



유재영

한국과학기술정보연구원 글로벌R&D분석센터 책임연구원(공학박사, 연세대학교)으로 재직 중이며, 산업분석, 시장 및 수요 예측, 중소기업 R&D 기획 및 정책 연구, 기술사업화 및 기술가치평가 등의 연구 업무를 수행하고 있다.