Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society
Vol. 20, No. 5 pp. 47-55, 2019

https://doi.org/10.5762/KAIS.2019.20.5.47
ISSN 1975-4701 / eISSN 2288-4688

사회연결망분석을 통한 한국군 공급네트워크 구조의 효율성 영향요인 분석

엄진욱, 원유재*
아주대학교 시스템공학과

An Analysis of Influence Factor of ROK Military Supply-Network Efficiency by Social Network Analysis

Jin-Wook Eom, You-Jae Won*
Division of Systems Engineering, Ajou University

요 약 한국군은 군 구조 개편 및 병력 감축 등 변화될 미래 전장 환경에 대비하여 보다 효율적인 군수지원 체계를 갖추기 위해 군수지원 체계 구조 개편을 진행하고 있다. 본질적으로 군수지원 체계는 다양한 규모의 부대가 상호 연결된 공급네트워크 구조를 가지는 특성이 있다. 이러한 공급네트워크의 구조는 공급네트워크의 효율성을 좌우 할 수 있는 요인으로 주목 받고 있다. 그동안 군 공급네트워크와 관련한 연구는 재고관리, 수송, 공급사슬 관리 방법론, 물류비용 측면에서 폭 넓고 다양하게 연구되어 왔으나, 군 공급네트워크의 구조 효율성 분석에 대한 연구는 상대적으로 미진한 실정이다. 따라서 본 논문에서는 군 공급네트워크의 구조와 효율성 사이의 상관분석을 수행하여 군 공급네트워크 구조의 어떤 특성이 효율성에 영향을 미치는 요인이 되는지를 식별하는 연구를 수행하였다. 이를 위해 먼저, 최근 폭 넓게 활용되고 있는 사회연결망분석 방법론을 사용하여 군 공급네트워크의 구조적 영향 요인으로 연결, 인접, 사이 중앙성 값을 측정한다. 측정된 중앙성 값은 군 공급네트워크의 효율성 측정지표로써 측정된 가중 평균경로거리와 회귀분석을 수행하여 상관관계를 분석하여 어떠한 군 공급네트워크의 구조적 영향 요인이 효율성에 영향을 끼치는지 식별한다. 본 연구는 향후 발전적인 공급네트워크 설계를 위한 영향 요소를 식별하였다는데 의미가 있다.

Abstract The army of republic of korea have been continued to transform their logistics support system structure for better efficient logistics support system in preparation for the future environment. Logistics system has supply network structure which is connected by various units and supply network structure received attention as a factor of success of supply network. Many researchers have continuously researched inventory management, transportation or economy factors for supply network, but such a study on the one in military supply network structure analysis is still slower than the study of analysis of other factors until now. In this study, we identify military supply network structure influence factor by application of social network analysis method which is used broadly and analyze co-relationships between supply network structure influence factor and valued APL(average path length) as a criteria of efficiency of military supply network. By this study it has value of military supply network influence factor identification for the better military supply network fabrication.

Keywords : Social Network Analysis, Average Path Length, Centrality, Military Supply-Network, Logistics

*Corresponding Author : You-Jae Won(Ajou Univ.)
Tel: +82-10-4927-2453 email: n01-wyj@hanmail.net
Received March 25 ,2019 Revised April 8, 2019
Accepted May 3, 2019 Published May 31, 2019

1. 서론

군수지원 체계는 순차적인 연결구조가 아닌 다양한 부대가 상호 연결되는 공급네트워크 구조를 갖는다. 공급네트워크의 구조는 노드의 개수와 노드 사이의 연결로 구분할 수 있는데, 동일한 노드 수 일지라도 연결 형태에 따라 네트워크의 구조는 달라진다. 이러한 네트워크 구조는 공급네트워크의 성과를 좌우 할 수 있는 요인으로 주목 받고 있다[1].

군 공급네트워크의 효율성 향상과 관련된 연구들은 다양한 형태로 수행되어 왔으나, 주로 재고관리[2-4], 수송[5], 공급사슬 관리 방법론[6], 물류비용[7] 등 공급네트워크와 관련된 특정 요소의 개선 또는 방법론의 적용을 제안하는 연구로써 아직까지 군 공급네트워크 구조가 갖는 효율성에 대한 연구는 미진한 실정이다. 그 외 군 공급네트워크의 구조가 고려된 연구로는 “전시 육군 탄약 보급체계의 수평보급 및 직접보급 효과 분석” 연구[8] 사례가 있으나, 이 또한 수평보급과 직접보급의 구조적 효과를 1:1 비교 분석하여 수평보급의 효율성을 주장하는데 그친 한계가 있다. 또한, 사회연결망 분석 활용한 유사 연구사례로는 중앙조달 품목을 대상으로 군수품 산업의 지역별 클러스터 관계를 분석한 연구[9] 사례가 있다. 이는 체계 업체와 협력 업체 간의 관계를 사회연결망분석의 시각화 분석을 통해 정책적 제언을 제시하였다는 점에서 구조적 분석이 수행되었다고 할 수 있어 시사점이 있으나, 시각화된 그래프를 정성적으로 분석하는데 그쳤다는 한계가 있다.

이러한 관점에서 본 연구에서는 군 공급네트워크 구조의 효율성에 대한 영향 요인을 식별하였다. 이를 위해 본 연구에서는 현재 구조적 변화가 진행 중인 군 공급네트워크를 대상으로 사회연결망분석 방법을 적용하여 분석한다. 군 공급네트워크 변화 전-후의 효율성 비교를 위하여 가중 평균경로거리를 측정지표로 분석하고, 이를 종속변수로 하여 사회연결망분석 결과로 도출된 중앙성 요소와 상관관계를 분석한다. 이를 통해 향후 발전적인 군 공급네트워크 구조가 가져야 할 영향 요인을 식별하여 제시한다. 식별된 영향 요인은 향후 군 공급네트워크 구조 설계를 위한 고려요소로 활용 할 수 있다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 제2장에서는 사회연결망분석 방법론에 따른 공급네트워크 분석방법을 제시하고, 제3장에서는 변화 전 후의 군 공급네트워크를 대상으로 평가 및 분석을 한다. 끝으로 4장에서는 결론 및 연구의 한계를 제시한다.

2. 분석방법

2.1 분석대상의 관계행렬화

2.1.1 분석대상 정의

군수 효율화를 위한 소 분배 계통 군 공급네트워크의 구조변화를 대상으로 분석한다. 군 공급네트워크의 변화 이전 형태의 공급네트워크를 As-Is, 변화 이후 형태를 To-Be로 명명하였다.

- As-Is : 군수사(A)-군지사(B)-사단(C)-연대(D)-대대(E)에 이르는 5단계 공급네트워크
- To-Be : 군수사(A)-군지여단(B)-군지대대(C)-대대(D)에 이르는 4단계 공급네트워크

2.1.2 관계행렬화

군 공급네트워크 구조를 분석하기 위해서 현행 군사교리[10]를 기준으로 관계행렬의 형태로 표현하여 군수품 물류 흐름을 파악한다. 사용된 관계행렬은 Fig. 1과 같은 방법으로 구성하였다.

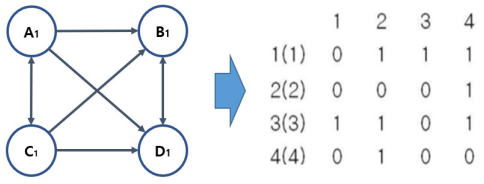


Fig. 1. Associated Matrix

노드 사이에 관계가 있으면 1로, 관계가 없으면 0으로 표기하는 이분법적(binary)측정법으로 처리하였으며, 대각행렬은 자기 전달관계를 고려하지 않으므로 “0”의 값을 갖는다[11]. 관계행렬의 구성의 장점은 공급네트워크의 시각화(Visualization) 및 구조 분석이 용이하게 한다는 점이다.

2.2 분석 내용

2.2.1 군 공급네트워크 구조 분석

본 논문에서는 사회연결망분석(SNA : Social Network Analysis) 기법을 사용하여 군 공급네트워크 구조를 분석한다. 이를 위해 먼저 네트워크 구조를 시각화 하여 전체적인 구조의 특성을 파악한 후에 중앙성 분석을 통한 계량적 구조 분석을 수행한다. 사회연결망분석을 위한 도구로 UCINET 6.0을 사용하였다.

시각화는 관계를 갖는 노드들과의 유기적인 연계 요소를 파악하고, 공급네트워크의 노드들 간의 물류 흐름의 파악을 용이하게 하며 최적화된 모델을 도출해 내는데 도움을 준다. 본 논문에서는 As-Is, To-Be 군 공급네트워크 관계 행렬을 활용하여 구조를 시각화하여 분석한다.

사회연결망분석(SNA)에서는 행위자(노드)가 네트워크 구조에 따른 관계적 특성을 기반으로 영향을 가진다고 본다. 이러한 구조적 속성을 규명하고 분석하기 위해서 주로 중앙성 요소를 사용한다. 중앙성은 한 행위자(예, 노드, 객체)가 네트워크 내에서 영향을 갖는 정도를 표현하는 지표이다. 한 네트워크에서 영향이 높다는 것은 다른 행위자들에 대한 정보와 자원 획득 등의 측면에서 유리한 위치에 있다는 것을 의미한다. 이러한 영향은 네트워크 내에서의 위상으로 해석되며 이것은 Table 1에서 제시한 연결(degree), 인접(closeness) 및 사이(betweenness) 중앙성(centrality)으로 표현된다[12].

본 연구에서는 As-Is, To-Be 군 공급네트워크 구조에 대한 영향 요소를 식별하기 위해 관계행렬을 통해 연결, 인접, 사이 중앙성 값을 측정하였다. 연결 중앙성은 네트워크 내에서 한 노드가 다른 노드들과 연결된 정도를 나타낸다. 인접 중앙성은 네트워크에서 한 노드와 다른 노드들 간의 근접성을 의미한다. 사이 중앙성은 직접 연결되지 않은 노드들을 통제 또는 중개 하는 정도를 나타낸다.

Table 1. Concepts of Centralities

Sort	Concepts
Degree Centrality	number of nearest neighbours $C_D(i) = k(i) = \sum_j A_{ij} = \sum_j A_{ji}$
Closeness Centrality	how close an actor to all the other actors in network $C_C(i) = \frac{1}{\sum_j d(i,j)}$
Betweenness Centrality	number of shortest paths going through the actor 6st (i) $C_B(i) = \sum_{s \neq t \neq i} \frac{\sigma_{st}(i)}{\sigma_{st}}$

2.2.2 군 공급네트워크 구조 효율성 측정

군은 사용자대기기간(Customer Waiting Time)과 같은 사용자를 중심으로 한 군수지원 성과 평가를 시행하고 있다[13]. 이는 공급네트워크 구조의 효율성을 올바르게 측정하기 위해서는 최종 사용자 노드를 중심으로 측정이 필요함을 의미한다.

또한, 공급네트워크 구조의 특성을 나타내는 지표로 평균경로거리(APL : average path length)를 사용 할 수 있다. APL이란 네트워크의 모든 노드 쌍들 간 최단경로거리의 평균을 말한다. APL이 짧은 네트워크는 몇 단계를 거치지 않아 정보와 물자가 전달 가능함을 의미한다. 반면에 APL이 긴 네트워크는 정보와 물자의 전달이 많은 단계를 거쳐서 전달되므로 시간과 물류비용이 많이 소요된다[14].

따라서 본 연구에서는 공급네트워크의 효율성을 측정하기 위해 사용자 노드를 중심으로 평균경로거리(APL)에 노드 간 소요시간을 가중치로 부여한 가중 평균경로거리(V-APL : Valued Average Path Length)를 군 공급네트워크 구조의 효율성 측정 지표로 활용하였다.

군 공급네트워크 구조에서 각 노드는 물류 경로 상에 놓이게 된다. Fig 2.는 사용자 노드 중심의 공급네트워크 구조 효율성 측정 개념을 나타낸 예시이다. 예시에서 제시된 최단 물류 경로는 사용자 노드인 D1을 중심으로 4개가 존재한다. 1번은 최기 노드인 C1에서 D1로 물자가 이동하는 경우를 나타내며, 2번은 C2에서 C1을 거쳐 물자가 이동하는 경우를 나타낸다. 3번과 4번은 각각 B1과 A1에서부터 D1로 물자가 이동하는 경로를 나타낸다. 이들은 최단 물류 경로이므로 B1 ~ D1간 또는 A1 ~ D1 사이의 경로에서 C2를 거치지 않는다.

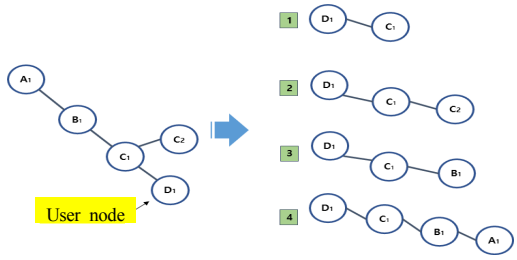


Fig. 2. Supply-Chain Effectiveness Computation Concept Architecture

이를 수식으로 표현하기 위해 먼저 사용자 노드에 이르는 각 노드의 구간별 개수(N)에 가중치(Ki)를 곱한 것의 합으로 식 (1)을 작성 하여 가중 경로거리(V-PL-Ci) 값을 나타냈다. 이때, 가중치로 부여된 노드 간 소요시간(Ki)은 기존 연구[15]에서 제시된 군 공급네트워크의 발주 및 수송시간(OST)을 정리한 것으로 Table 2에 나타난 바와 같다. 예를 들어 As-Is 군 공급네트워크에서 노드 간 소요시간 K1은 군수사(A) 또는 군지사(B)에서 군지사(B)로의 물류 이동시 소요되는 시간을 의미하며 K2는 군지사(B) 또는 사단(C)에서 사단(C)으로 물류 이동시

소요되는 시간을 의미한다. 이와 마찬가지로 K3는 사단(C) 또는 연대(D)에서 연대(D)로 소요되는 시간을 나타낸다. K4는 연대(D)에서 대대(E)로 최종 전달되는 소요시간으로 1일로 가정하였다. 노드 간 소요시간(Ki)을 고려한 경로거리의 총 합은 각 879일(As-Is), 926일(To-Be)로 유사한 수준으로 확인하였다.

$$V-PL-C_i = \sum_{i=1}^{n} K_i \bullet N \quad \cdots\cdots (1)$$

- V-PL-C_i : The path length centered by customer node
- K_i : Required days between nodes
- N : The number of existent K_i case in the path

Table 2. Required days between nodes

Sort	K_1	K_2	K_3	K_4
As-Is	25 days (A(or B) to B)	15 days (B(or C) to C)	7 days (C(or D) to D)	1 day (D to E)
To-Be	15 days (A(or B) to B)	7 days (B(or C) to C)	1 day (C to D)	-

사용자 중심의 가중 평균경로거리(V-APL)는 식 (2)와 같이 식 (1)에서 도출된 가중 경로거리(V-PL-Ci)값들의 합을 전체 경로의 개수로 나눈 값으로 나타낼 수 있다.

$$V-APL_{(p)} = \frac{\sum_{i=1}^{n} V-PL-C_i}{Np} \quad \cdots\cdots (2)$$

- V-APL(p) : Valued APL centered by customer node
- V-PL-C_i : The path length centered by customer node
- Np : The number of paths centered by customer node

As-Is와 To-Be 군 공급네트워크 구조의 효율성 비교값은 식(2)을 통해 측정한 개별 효율성 측정결과를 식(3)에 적용하여 산출한다. 산출된 값은 To-Be가 As-Is에 비해 얼마나 가중 평균경로거리(V-APL)가 단축되었는가를 나타낸다.

$$C-V-APL_{(T/A)} = 1 - \frac{V-APL_{(T)}}{V-APL_{(A)}} \quad \cdots\cdots (3)$$

- C-V-$APL_{(T/A)}$: Compared result of V-APL
- V-$APL_{(A)}$: Efficiency of As-Is
- V-$APL_{T)}$: Efficiency of To-Be

2.2.3 군 공급네트워크 구조와 효율성의 상관관계 분석

군 공급네트워크인 As-Is와 To-Be의 구조 분석을 위해 사회연결망분석(SNA)의 중앙성 요소를 활용하였고, 효율성을 측정하는 지표로써 가중 평균경로거리(V-APL)를 사용하였다.

향후 군 공급네트워크의 구조 개선을 위한 영향 요소를 식별하기 위해 군 공급네트워크 구조와 효율성의 상관관계 분석을 수행할 필요가 있다. 이를 위해 연결, 인접, 사이 중앙성과 가중평균경로거리(V-APL)과의 상관관계를 분석한다. 분석을 위해 통계 소프트웨어 프로그램 SPSS Statistics 23을 사용하여 다중 회귀분석을 수행하였다.

공급 네트워크에서 연결 중앙성은 노드에 수요와 공급이 얼마나 집중되는지를 의미한다[16]. 수요와 공급의 집중되는 연결 중앙성이 높은 노드의 증가는 많은 연결 관계를 통해 물자를 비교적 적은 단계를 거쳐 이동 시킬 가능성이 높아지므로 공급네트워크의 효율성을 향상시킬 수 있을 것이다. 또한, 인접 중앙성은 공급 네트워크에서 다른 모든 노드들에서 접근하는 최단경로들의 합의 역수로 나타나는 특성을 갖고 있으므로 얼마나 많은 단계를 통해 물자가 원하는 목적지에 도달하는지를 나타낸다고 할 수 있다[17]. 이러한 관점에서 인접 중앙성이 낮아지면 공급네트워크의 효율성이 향상 된다고 할 수 있다. 사이 중앙성은 공급네트워크에서 중재자의 역할을 수행하며 물류의 흐름을 통제하는 정도를 나타낸다[17]. 따라서, 사이 중앙성이 향상 될수록 물류의 흐름을 효율적으로 중개 및 통제 할 수 있는 노드가 많아지므로 효율성이 향상 될 수 있을 것이다. 이를 표로 나타내면 Table 3과 같이 정리 할 수 있다.

Table 3. Concepts of Centralities in Supply Network

Sort	Concepts
Degree Centrality	· how demand and supply are concentrated in the node · Improvement of sum of degree centrality means improvement in efficiency.
Closeness Centrality	· how geographically close an node to all the other nodes in supply-network · Lower closeness centrality improves the efficiency of the supply network
Betweenness Centrality	· Number of shortest paths going through the actor · Higher betweenness centrality improves the efficiency of the supply network

다중 회귀분석을 수행하기 위해 식(4), 식(5)와같이 영가설과 대립가설을 설정하였다.

$$H_0 : \beta_1 = \beta_2 = \beta_3 \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (4)$$

$$H_1 : \beta_1, \beta_2, \beta_3 \text{중 적어도 하나는 0이 아님.} \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (5)$$

이를 모델로 나타내면 식(6)과 같이 연결 중앙성(Degree Centrality), 인접 중앙성(Closeness Centrality) 및 사이 중앙성(Betweenness Centrality)의 표준편차를 각각 X1, X2, X3로 하는 독립변수로 하고 가중 평균 경로거리(Valued Average Path Length)를 종속변수 Y로하는 형태로 제시 할 수 있다. Fig. 3은 이를 그림으로 나타낸 결과이다.

$$Y = \beta_0 + \beta_1 \cdot X_1 + \beta_2 \cdot X_2 + \beta_3 \cdot X_3 \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (6)$$

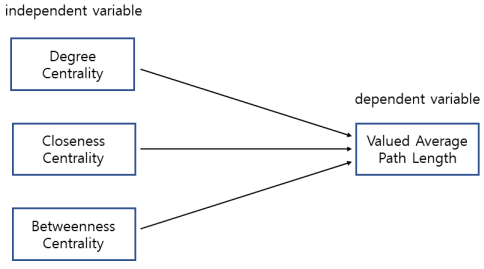


Fig. 3. Model of Multiple Regression

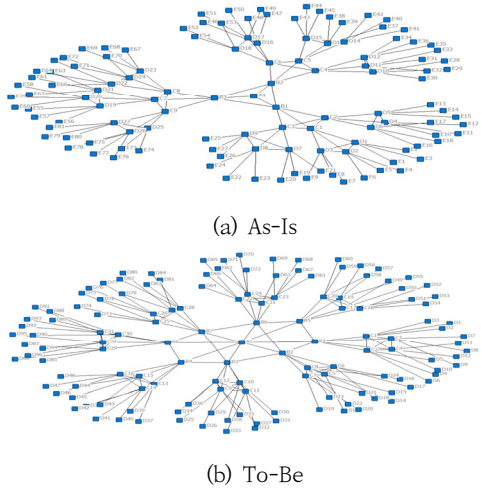
3. 군 공급네트워크 구조 및 영향 요소 분석

3.1 분석 대상

분석의 대상은 한국 육군을 중심으로 한 수리부속 소분배 계통 공급 네트워크 구조를 대상으로 한다. 분석에 사용된 데이터는 As-Is 군 공급네트워크는 군수사(1개 : A1), 군지사(3개 : B1 ~ B3), 사단(9개 : C1 ~ C9), 연대(27개 : D1 ~ D27), 대대(81개 : E1 ~ E81)로 구성된 4단계 공급네트워크를 일반화 한 것으로써 총 121개 노드 간의 연결 관계 데이터를 사용하였으며, To-Be 군 공급네트워크는 군수사(1개 : A1), 군지여단(8개 : B1 ~ B8), 군지대대(32개 : C1 ~ C32), 대대(96개 : D1 ~ D96)로 구성된 3단계 공급네트워크를 일반화 한 것으로써 총 137개 노드 간의 연결 관계 데이터를 사용하였다.

3.2 시각화 분석

군 공급네트워크를 시각화한 결과 그래프는 Fig. 3(a) As-Is와 Fig. 4(b) To-Be와 같이 나타난다. Fig. 4(a)는 121개 노드로 구성된 As-Is 군 공급네트워크를 시각화 한 것으로써, 군수사(A1) 노드를 중심으로 군지사, 사단, 연대, 대대 순으로 분산된 형태를 보이고 있다. 반면, Fig. 4(b)는 137개 노드로 구성된 To-Be 군 공급네트워크를 시각화 한 것으로써, 군수사(A1) 노드를 중심으로 군지사, 군지여단, 군지대대, 대대 순으로 비교적 집중된 형태를 보이고 있다.



(a) As-Is

(b) To-Be

Fig. 4. ROK Military Supply-Chain Network Graph

정량적 차이를 확인하기 위해 공급네트워크 내에서 노드들이 중앙에 모이는 경향성을 측정하는 집중도(Centralization) 측정을 수행한 결과 Fig. 3(a)의 As-Is는 2.9%, Fig. 3(b)의 To-Be는 3.9%로써 Fig. 3(b)의 To-Be가 비교적 집중도가 높은 네트워크 형태임을 수치로도 확인하였다. 또한, 네트워크 밀도의 경우 Fig. 3(a)의 As-Is는 2.2%, Fig. 3(b)의 To-Be는 2.1%로 근소한 차이를 보였다. 이는 노드 간의 연결 관계 밀도는 유사한 반면, 연결 구조의 차이에 따라 As-Is와 To-Be 군 공급네트워크간의 집중도 차이가 발생하였다고 볼 수 있다.

공급네트워크에서 집중도가 높다는 것은 물류 허브(hub)에 얼마만큼 구조적으로 밀접한지를 나타낸다. 물류 허브는 재고 풀링(inventory pooling) 효과를 통해 공급네트워크의 효율성을 향상시키는 역할을 한다. 따라서 To-Be체계가 As-Is보다 효율적인 구조를 갖고 있다고 할 수 있다.

3.3 중앙성(Centrality) 분석

중앙성 분석 대상은 3가지로써 연결(Degree), 인접(Closeness), 사이(Betweenness) 중앙성 요소이다. 연결, 사이 중앙성은 각 요소의 값이 높을수록 영향이 큼을 의미하여 높은 순서대로 정리하였고 인접 중앙성은 숫자가 작을수록 다른 노드들과 인접함을 나타내므로 값이 작은 순서대로 정리하였다.

As-Is 군 공급네트워크는 분석 결과 Table 4와 같이 군지사(B1 ~ B3)가 연결, 인접, 사이 중앙성 분석에서 종합적으로 가장 높은 순위를 보였다. 특히, 사이 중앙성은 차 순위인 사단(C1 ~ C9)과 2배 이상의 격차를 보이고 있다. 이는 군지사(B1 ~ B3)가 타 노드에 영향력을 가장 많이 발휘하는 노드임을 의미한다.

연결 중앙성 측면에서 값이 높다는 것은 군지사(B1 ~ B3)가 As-Is 군 공급네트워크에서 가장 많은 노드와 연결되어 있음을 뜻한다. 즉, 접근이 용이한 타 노드가 많다는 것을 의미한다. 공급네트워크 내에서 중개자 역할 정도를 나타내는 사이 중앙성의 경우 군지사(B1 ~ B3)가 월등히 높은 값을 보이고 있어 중개자 역할인 물류 허브로써 기능함을 의미한다.

군지사(B1 ~ B3)는 인접 중앙성 측면에서도 높은 순위를 차지하여 다른 모든 노드에 이르는 평균 거리가 짧음을 알 수 있다. 결론적으로 As-Is 군 공급네트워크 구조에서는 군지사(B1 ~ B3)에 타 노드보다 더 많은 자원과 능력 할당을 해주어야 효율성이 향상될 것임을 시사한다.

Table 4. Centrality Analysis of As-Is Supply-Network

Degree Centrality		Closeness Centrality		Betweenness Centrality	
Node	Value	Node	Value	Node	Value
B1	6	B1	387	B1	3159
B2	6	B2	387	B2	3159
B3	6	B3	387	B3	3159
C1	6	A1	426	C1	1296
C2	6	C1	456	C2	1296
C3	6	C2	456	C3	1296
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
A1	3	D1	561	D1	354
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
E81	1	D27	680	E81	0

To-Be 군 공급네트워크의 중앙성 분석은 As-Is 군 공급네트워크에서 수행한 방법과 동일하게 연결, 인접, 사이 중앙성의 3가지 요소를 대상으로 하여 분석하였다. 분석 결과 Table 5와 같이 군수사(A1)가 연결, 인접, 사이 중앙성 분석에서 종합적으로 가장 높은 순위를 보였다.

To-Be 군 공급네트워크의 중앙성 분석결과 상위권에 분포하고 있는 군수사(A1)와 군지사(B1 ~ B8)는 중앙성 요소의 편차가 As-Is 군 공급네트워크에 비해 편차가 크지 않아 공급네트워크 구조 내에서 분산되고 균형된 영향력을 발휘 할 수 있음을 알 수 있다. 이러한 구조 변화에 따른 노드들의 균형적 영향력 분산은 특정 소수의 노드가 영향력을 집중적으로 가지는 경우에 비해 균형적으로 분산된 영향력을 발휘함으로써 효율성을 향상 시킨다. 또한 군 공급네트워크에서 발생 가능한 보급로의 차단 또는 적의 공격 등 다양한 우발 상황에 대한 위험성 분산과 비교적 높은 회복 탄력성도 기대할 수 있다.

결론적으로 To-Be 군 공급네트워크가 As-Is 군 공급네트워크에 비해 노드 간 영향의 균형적 분산이 잘 이루어진 비교적 안정적인 체계라고 할 수 있다.

Table 5. Centrality Analysis of To-Be Supply-Network

Degree Centrality		Closeness Centrality		Betweenness Centrality	
Node	Value	Node	Value	Node	Value
A1	8	A1	360	A1	3468
B2	8	B2	412	B2	2257.2
B3	8	B3	412	B3	2257.2
B6	8	B6	412	B6	2257.2
B7	8	B7	412	B7	2257.2
B1	7	B1	429	B1	2016.3
B4	7	B4	429	B4	2016.3
B5	7	B5	429	B5	2016.3
B8	7	B8	429	B8	2016.3
C1	7	C5	529	C5	402
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
D96	1	D96	681	D96	0

3.4 군 공급네트워크 효율성 차이 분석

군 공급네트워크의 효율성 분석은 식(1)과 식(2)를 적용하여 각 노드 간의 평균경로거리(APL)에 각 노드 간 소요되는 시간을 가중치로 부여한 가중 평균경로거리(V-APL : Valued Average Path Length)로 분석하였다.

As-Is와 To-Be 군 공급네트워크를 비교 분석한 결과는 식 (7)에 의한 분석 결과 Table 6와 같이 가중 평균경로거리(V-APL)가 54.2일에서 36일로 감소하여 18.2일의 단축 효과를 보였다.

$$C\text{–}\ V\text{–}APL_{(T/A)} = 1 - \frac{V\text{–}APL_{(T)}}{V\text{–}APL_{(A)}} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (7)$$

Table 6. Comparison of Supply-Network Efficiency

Sort	Efficiency (Valued APL)
(a) As-Is	54.2days
(b) To-Be	36days
Difference (b) - (a)	-18.2days (-33.6%)

3.5 군 공급네트워크 구조와 효율성의 상관관계 분석

종합적인 분석을 위해 현재까지 분석한 내용을 Table 7과 같이 정리하여 제시하였다. (a) As-Is와 (b) To-Be 군 공급네트워크의 각 중앙성 요소의 평균값, 표준편차(괄호)와 가중 평균경로거리(V-APL)간 차이를 비교하였다.

As-Is에 비해 To-Be 군 공급네트워크의 연결 중앙성(Degree Centrality)은 평균 0.2만큼 상승 했고, 표준편차는 0.5로 약간 상승하였다. 이는 To-Be 군 공급네트워크의 각 노드 간의 연결 정도가 As-Is 군 공급네트워크에 비해 전체적으로 0.2만큼 높은 반면, 표준편차의 상승은 0.5로써 비교적 균등하게 노드 간 연결 정도가 상승한 것임을 알 수 있다.

인접 중앙성(Closeness Centrality)과 사이 중앙성(Betweenness Centrality)과 그 표준편차는 As-Is에 비해 To-Be 군 공급네트워크가 감소한 형태로 나타났다. 특히, 사이 중앙성의 경우 표준편차의 감소는 군수사, 군지사 4개의 소수 노드가 물류 허브로 기능하던 것에서 군수사, 군지여단 9개의 다수 노드로 물류 허브 기능이 확장 되고 영향이 분산되어 효율적으로 공급네트워크 구조가 개선되었음을 의미한다. 이러한 공급네트워크 구조의 변화로 효율성을 나타내는 가중 평균경로거리(Valued APL) 또한 33.6% 감소 된 결과를 보였다.

Table 7. Comparison between As-Is and To-Be

Sort	Degree Centrality	Closeness Centrality	Betweenness Centrality	Efficiency (Valued APL)
(a) As-Is	2.6 (SD : 2.3)	627.4 (SD : 82.3)	253.7 (SD : 579.6)	54.2days
(b) To-Be	2.8 (SD : 2.8)	624 (SD : 79.9)	244 (SD : 577.5)	36days
Difference (b) - (a)	+0.2 (SD : +0.5)	-3.4 (SD : -2.4)	-9.7 (SD : -2.1)	-18.2days (-33.6%)

위 분석에 따르면, As-Is에 비해 To-Be 군 공급네트워크는 노드 간의 영향을 보다 균형화한 안정적인 구조라 할 수 있다. 이러한 변화에 영향을 미치는 요소를 분석하기 위해 중앙성 요소들과 가중 평균경로거리의 변화를 비교하여 분석한 결과는 Table 8 및 Table 9와 같다. 분석 과정에서 가중 평균경로거리를 종속변수로 선택하고, 각 중앙성 요소를 독립변수로 선정하여 회귀분석을 수행하였다. 회귀분석 수행결과 As-Is, To-Be 군 공급네트워크 모두 귀무가설을 기각하고 대립가설이 채택되어 유의미한 영향요소가 식별되었다.

As-Is 군 공급네트워크의 중앙성 요소와 가중 평균경로거리 간의 상관관계를 분석한 결과는 Table 8과 같이 가중 평균경로거리와 사이 중앙성(94.4%)과 인접 중앙성(1.5%) 순으로 상관관계가 있는 것으로 확인 되었다. 연결 중앙성은 유의수준(0.01<P)을 벗어나 제외되었다.

Table 8. Regression analysis of efficiency and centrality on As-Is

Sort		Nonstandard Coefficient		β	t	P
		B	SE			
a	Constant	55.559	0.74	-	752.229	0.000
	Betweenness	-0.005	0.000	-0.972	-44.926	0.000
b	Constant	49.706	0.881	-	56.426	0.000
	Betweenness	-0.004	0.000	0.773	-21.968	0.000
	Closeness	0.009	0.001	0.234	6.661	0.000
a : R = 0.972, R^2 = 0.944, Adj-R=0.944, F = 2018.349, P = 0.000						
b : R = 0.980, R^2 = 0.960, Adj-R=0.959, F = 1399.203, P = 0.000						

·a (predicted value) : (constant), Betweenness
·b (predicted value) : (constant), Betweenness, Closeness

To-Be 군 공급네트워크의 상관관계를 분석한 결과는 Table 9와 같이 사이 중앙성이 강한 상관관계(82.7%)가 있는 것으로 식별되었다. 인접 및 연결 중앙성은 유의수준(0.01<P)을 벗어나 제외하였다.

위의 상관 분석을 기반으로 As-Is와 To-Be 군 공급네트워크를 비교해 본 결과 군 공급네트워크의 효율성에 높은 상관성을 갖는 변수로 사이 중앙성(Betweenness Centrality)이 식별되었다. 사이 중앙성의 표준편차를 낮추면 군 공급네트워크 구조 효율성이 향상된다. 즉, 사이 중앙성 값의 영향력을 어떻게 사용하느냐에 따라 군 공급네트워크 구조의 효율성을 최대화 할 수 있을 것이다.

Table 9. Regression analysis of efficiency and centrality on To-Be

Sort	Nonstandard Coefficient		β	t	P
	B	SE			
Constant	36.855	0.087	-	422.28	0.000
Betweenness	-0.004	0.000	0.91	-25.54	0.000
a : R = 0.910, R^2 = 0.829, Adj-R = 0.827, F = 652.418, P = 0.000					

·a (predicted value) : (constant), Betweenness

4. 결론

본 연구는 As-Is와 To-Be 군 공급네트워크 구조를 시각화, 중앙성(Centrality) 분석, 가중 평균경로거리(V-APL) 측정을 통해 분석하였으며, 이를 통해 보다 효율적인 구조를 갖는 군 공급 네트워크가 어떤 것인지 식별하였다. 또한, 중앙성 분석 요소와 가중 평균경로거리(V-APL)의 상관관계 분석을 통해 군 공급네트워크의 효율적인 구조와 관련된 영향 요인은 무엇인지 분석하였다.

As-Is와 To-Be 군 공급네트워크의 비교 분석을 위해 군 공급네트워크 효율성 지표인 가중 평균경로거리(V-APL)를 측정한 결과 To-Be 군 공급네트워크가 As-Is 군 공급네트워크에 비해 단축된 거리를 가짐으로써 비교적 효율적임이 확인되었다. 중앙성 분석 결과 비교적 균형적으로 분산된 중앙성을 갖는 To-Be 군 공급네트워크가 더욱 안정적인 체계임을 알 수 있었다. 또한, 가중 경로거리와 중앙성 요소들 간의 상관관계 분석 결과에 의하면 군 공급네트워크의 효율성 지표와 중요한 상관관계 요소로서, 사이 중앙성의 표준편차 변화가 중요한 요소로 식별되었다. 사이 중앙성의 표준편차가 낮아지면 가중 평균경로거리(V-APL)가 감소하여 공급네트워크의 효율성이 향상됨을 확인 할 수 있었다. 향후 이러한 효율성 상승 요인을 고려하여 군 공급네트워크 구조를 설계 한다면 효율성을 제고 할 수 있을 것이다.

본 연구는 군 공급네트워크 구조가 효율성에 미치는 영향에 관한 연구로써, 군 공급네트워크의 효율성 향상을 위한 영향 요인을 제시한 의의를 갖는다. 향후 연구에서는 군 공급네트워크 구조를 포함한 효율성을 보다 정밀하게 분석하기 위해서 중앙성 외에도 수송능력, 재고 보유율 등 노드가 갖는 추가적인 속성을 반영한 연구가 필요하다. 이를 통해 군 공급네트워크 구조를 더욱 현실에 가깝게 최적화 할 수 있을 것이다.

References

[1] Wan, X., P. T. Evers, "Supply Chain Networks with Multiple Retailers: A Test of the Emerging Theory on Inventories, Stockouts, and Bullwhips" *Journal of Business Logistics*, Vol.32, No.1, pp. 27-39, 2011.
DOI: https://doi.org/10.1111/j.2158-1592.2011.01003.x

[2] Tae-Bok Kim, "A study on optimum push-pull system for military physical distribution supply level", pp.55-70, Chung Nam University, 2011.

[3] Young Joo Kim, Kyung Sik Kang, "Improving the supply level of repair parts" *Journal of the Korea Safety Management and Science,* Vol. 16, No. 3, pp. 369-375, 2014.
DOI: https://doi.org/10.12812/KSMS.2014.16.3.369

[4] Taewoong Ryu, "A Simulation Study of Optimum Supply Levels for ROK Army in Peace Time", pp.19-57, Korea National Defense University, 2014.

[5] Seong Am Moon, Young-Il Park, Young Lee, "Dual-channel on Army Supply Chain", *Journal of Logistics*, Vol. 19, No. 3, pp.195-215, 2011.
DOI: https://doi.org/10.15735/kls.2011.19.3.011

[6] Ki-duk Jang, "Theory and Practice of Logistics Management", p.11-792, KIDA, 2012.

[7] Sungjin Kang, Jinwoo Park, "A study on Estimating of Cost in the logistics - Apply for the military logistics", pp. 85-100, *Military Operations Research Society of Korea*, 2005.

[8] Sangjin Lee, Uk hyung Kim, "An Effect of the Lateral and Direct Transshipment on the Army Ammunition Supply System in the Wartime", *Korean Journal of Logistics*, Vol. 17, No. 2, pp.19-35 2009.
DOI: https://doi.org/10.15735/kls.2009.17.2.002

[9] Dongsoo Park, JeongHwan Kim, Donghun Lee, "A Study on the regional cluster of munition industry by Social Network Analysis", *Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society* Vol. 19, No. 10 pp. 386-393, 2018.
DOI: https://doi.org/10.5762/KAIS.2018.19.10.386

[10] ROK Army HQ, "Spare part", pp. 1-18, Military printing depot, 2014.

[11] Wasserman, S, K. Faust. "Social Network Analysis: Methods and Applications", Cambridge University Press, pp.270-316, 1994.
DOI: https://doi.org/10.15514/ISPRAS-2014-26(1)-19

[12] Rolf A.E. Mueller, Doreen Buergelt, and Linda Seidel-Lass, "Supply Chains and Social Network Analysis", pp.417, Paper prepared for presentation at the 110th EAAE Seminar, 2008.

[13] MND, "Logistics Performance Directive", pp. 2, Ministry of National Defense, 2017.

[14] Chulsoon Park, Sunghak Kim, "Relationship between Supply Network Structure and Inventory Cost Performance", *The Korean Production And Operations Management Society,* Vol.28. No.1 p. 21, 2017.
DOI: https://doi.org/10.21131/kopoms.28.1.201702.17

[15] Kyungsu Cho, Youngsung Kim, "Fair supply level for future corps-centered logistics support", pp.14-53, Korea Institute for Millitary Affairs, 2012.

[16] Yusoon Kim, Thomas Y. Choi, Tingting Yan, Kevin Dooley, "structural investigation of supply networks : a social network analysis approach", *Journal of Operations Management,* Volume 29, Issue 3, pp. 194-196, 2011.

DOI: https://doi.org/10.1016/j.jom.2010.11.001

[17] Sthephen P. Borgatti, Xun Li, "On Social Network Analysis In A Supply Chain Context", *Journal of Supply Chain Management,* Vol 45, No 2, pp. 11-15, 2009.
DOI: https://doi.org/10.1111/j.1745-493X.2009.03166.x

엄 진 욱(Jin-Wook Eom) [준회원]

- 2013년 1월 : 국방대학교 국방관리대학원 무기체계학과 (공학석사)
- 2013년 3월 ~ 2018년 1월 : 방위사업청 계약/사업관리 담당
- 2018년 1월 ~ 2019년 1월 : 연합사단협조단 군수참모처
- 2019년 1월 ~ 현재 : 방위사업청 사업관리 담당

〈관심분야〉
시스템엔지니어링, 국방획득, 군수관리, 정보통신

원 유 재(You-Jae Won) [정회원]

- 2013년 1월 : 국방대학교 국방관리대학원 무기체계학과 (공학석사)
- 2016년 3월 : 아주대학교 시스템공학과
- 2016년 3월 ~ 현재 : 방위사업청 사업관리 담당

〈관심분야〉
시스템엔지니어링, 국방R&D