

**북한 철도 네트워크 자료 고도화 및
남북 통합 철도망의 노드 중심성 연구**

- 결과보고서 -

2022. 02.

서울대학교 통일평화연구원

참 여 연 구 진

연구 책임자	장수은	서울대학교	환경대학원	교통학전공	교수
주요 참여 인력	김선화	서울대학교	환경대학원	교통학전공	석사과정

2021년도 서울대학교 통일평화연구원의 재원으로 통일기반구축사업의 지원을 받아 수행된 결과물임.

차 례

제1장 연구 배경	?
제1절 연구 배경	?
제2절 연구 대상	?
제2장 연구 방법	?
제1절 분석 방법	?
제2절 네트워크 정보	?
제3절 네트워크 기본 특성 분석	?
제2절 노드 중심성 분석	?
제3장 결과	?
제1절 네트워크 기본 특성	?
제2절 노드 중심성 분석	?
제4장 결론	?
제1절 연구 결론	?
제2절 한계점 및 향후 연구과제	?
참고문헌	?

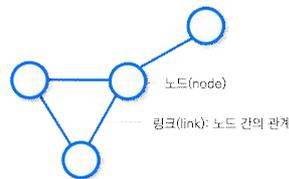
제1장 연구 배경

제1절 연구 배경

- 네트워크는 철도망, 도로망과 같은 물리적인 관계 또는 개념적인 관계를 노드와 링크로 이루어진 구조로 묘사할 때 활용되는 용어임
 - 노드는 철도역과 같은 포인트, 즉 개체를 의미함
 - 링크는 노드 간의 연결관계를 나타내는 요소임
- 링크는 네트워크 특성과 퍼포먼스에 영향을 미치는 가중치를 가질 수 있으며 가중치의 영향으로 노드의 역할, 속성 또는 중요도가 변화할 수 있음

연구 배경

Network



- “The term “**network**” is commonly used to describe a structure that can be either physical (e.g., streets and intersections or telephone lines and exchanges, etc.) or conceptual (e.g., information lines and people, affiliation relationships and television stations, etc.).” (Sheffi, 1985, p.10)
- 네트워크는 노드와 링크로 구성되며 구성요소의 특성 및 속성에 따라 여러 형태의 네트워크 구조를 가짐
 - 노드(node): 네트워크를 구성하는 '개체'. 가중치의 영향을 받지 않음
 - 링크(link): 노드 간의 연결 관계를 나타내는 구성요소. 네트워크 특성과 퍼포먼스에 영향을 미치는 가중치(e.g., time, costs)가 속성으로 포함될 수 있음

04

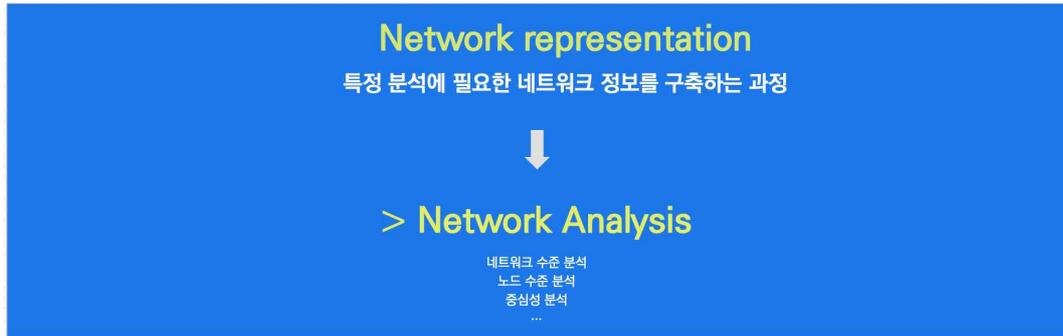
- 즉, 네트워크는 복수의 노드들이 링크를 통해 연결된 구조를 가지며, 링크가 가지는 연결관계에 따라 노드의 중요도 또는 역할이 변화할 수 있음
- 본 연구에서 활용하는 Network analysis는 network representation을 통해 네트워크 특성을 연구하는 분야임
 - Network representation은 특정 분석에 필요한 네트워크 정보를 구축하는 과정임

- Network analysis는 네트워크 수준 분석, 노드 수준 분석, 중심성 분석 등 다양한 하위 유형을 포함하고 있음

연구 배경

Network Analysis

- 네트워크는 복수의 노드들이 링크를 통해 연결된 구조를 가지며, 링크가 가지는 '연결'관계에 따라 노드의 중요도 또는 역할이 변화할 수 있음
- Network Analysis는 Network Representation을 통해 네트워크 특성을 연구하는 분야



05

제2절 연구 대상

- 본 과업은 북한 철도망을 대상으로 네트워크 기본 특성 및 노드 중심성 분석을 수행하였음
- 연구수행절차는 세 단계를 통해 이루어짐
 - 1) 북한 철도망의 기본 특성 및 노드 중심성 분석에 필요한 네트워크 정보를 구축함
 - 2) 구축한 데이터를 바탕으로 네트워크의 연결정도 분포, 평균연결거리, 직경을 분석하여 북한 철도망의 기본 특징을 파악함
 - 3) 노드 중심성 평가를 통해 현재 북한 철도망에서의 중요 노드를 파악함

북한 철도망

현재 북한 철도망의 네트워크 기본 특성 및 노드 중심성 분석

01 네트워크 정보

북한 철도망의 기본 특성 및 노드 중심성 분석에 필요한 네트워크 정보를 구축함

02 네트워크 기본 특성 분석

현재 북한 철도망의 기본 특성을 보기 위해 연결정도 분포(degree distribution), 평균연결거리(average distance), 직경(diameter)을 분석함

03 노드 중심성 분석

노드의 상대적인 중요도를 분석하기 위해 연결강도(strength)중심성, 근접(closeness)중심성, 매개(betweenness)중심성을 분석함

제2장 연구 방법

제1절 분석 범위

- 본 과업에서는 한국교통연구원에서 2019년 발간한 자료를 기준으로 간선철도망 노선과 노드, 링크 자료를 수집하였음
- 노드는 조차장, 신호장 등을 제외한 정차역만 포함하였으며, 여객취급역과 화물취급역을 구분하여 화물과 여객 노선 데이터를 따로 구축하였음
 - 북한 간선철도망은 17개 여객취급역을 제외하고는 모두 여객화물 겸용역으로 운영중임
- 네트워크는 링크 가중치 여부에 따라 이항네트워크와 가중네트워크로 구분가능함. 이항 네트워크에서는 링크의 연결 여부만 고려되지만, 가중 네트워크에서는 링크의 연결 여부와 가중치까지 고려함. 즉, 가중치가 큰 링크가 네트워크에 더 큰 영향을 미치는 것으로 해석됨. 본 연구에서는 링크는 가중치를 부여하여 링크 중요도를 달리 하였음.

분석 범위

북한 철도망의 기본 특성 및 노드 중심성 분석에 필요한 네트워크 정보를 구축함

□ 네트워크: 간선철도

- 북한: 한국교통연구원(2019) 『동북아북한교통자료집』 기준

□ 노드: 1) 조차장, 신호장 등을 제외한 '(정차)역'만 포함

- 정거장에는 역, 조차장, 신호장 등이 포함되며, 그 중 역은 "열차를 정차하고 여객 또는 화물을 취급을 하기 위하여 설치한 장소"를 말함(국가철도공단)

2) 여객/화물역 구분

- 북한의 철도역을 기능별로 분류하면 여객역과 화물역으로 나눌 수 있음. 북한 간선철도망은 17개 여객취급역을 제외하고는 모두 여객/화물겸용역으로 운영되고 있음(한국교통연구원, 2019)

□ 링크: 가중치를 설정하여 링크 중요도를 달리함

- 링크 종류에 따라 네트워크 형태를 분류함
 - 링크의 가중치 여부에 따라 unweighted/weighted network(이항/가중네트워크): 이항 네트워크에서는 링크의 연결 여부만 고려되지만, 가중네트워크에서는 (링크 연결 여부 +) 가중치가 큰 링크가 네트워크와 노드에 더 큰 영향을 미치는 것으로 봄

08

제2절 네트워크 정보

- 링크 가중치를 설정하기 위해 13개의 선행연구를 검토하여 교통망 중심성 분석에

서 활용하고 있는 링크 가중치를 수집하였음. 그 결과 노선수, 임피던스, 통행량, 그리고 frequency가 주요 가중치로 활용되고 있었음

- 본 과업 특성상 구축가능한 자료에 한계가 있기 때문에 노선수(the number of routes passing two nodes)를 링크 가중치로 선정하였음.
 - 노선은 수요와 공급 양 측면에서 교통망을 평가할 수 있는 지표임. 노선수와 연계노선체계(또는 환승체계)는 철도망의 공급 수준을 판단하며, 노선수가 많다는 것은 수요가 많다는 것의 간접 지표로 해석 가능함
- 가중치를 설정하기 위해 수집해야 하는 속성정보를 구하였음

네트워크 정보

북한 철도망의 기본 특성 및 노드 중심성 분석에 필요한 네트워크 정보를 구축함

링크 가중치

13개의 선행연구를 검토하여 교통망 중심성 분석에서 활용하고 있는 링크 가중치를 수집함
(선행연구에서 주로 활용되고 있는 링크 가중치)

The number of routes passing two nodes Impedance Traffic volume Frequency

본 연구는 구축 가능한 자료 범위와 각 가중치의 특성을 판단하여 '노선수'를 링크 가중치로 설정함

- 교통망 평가척도는 수요 및 공급 측면에서 바라볼 수 있으며, 노선은 양 측면에서 교통망을 평가할 수 있는 지표임
- 노선수 및 연계 노선체계는 철도망 공급 수준을 판단하며, 노선수가 많다는 것은 수요가 많다는 것의 간접 지표로 해석 가능함

(표) 본 연구에서 설정한 가중치 및 자료 구축 경로

가중치	속성정보	자료
노선수	역 및 노선정보	북한 <ul style="list-style-type: none"> - 한국교통연구원(2019) - 동북아북한교통자료집 - 통일부(2021) - 북한정보포털 - Google Earth(위성지도)

제3절 네트워크 기본 특성 분석

- 연결정도 분포, 평균연결거리, 직경 세 가지를 분석하여 네트워크 기본 특성을 분석하고자 함
- 연결정도 분포에서 연결정도란 하나의 노드에 연결된 링크 개수를 의미하며, 네트워크 이론에서는 연결정도 분포를 가지고 네트워크의 구조적 특성을 파악함
- 네트워크는 무작위 네트워크와 무척도 네트워크가 있음. 연결정도 분포가 종형 곡선인지 멱함수 분포인지에 따라 네트워크 구조를 분류함
 - 무작위 네트워크는 정규분포/포와송분포를 띠는 네트워크 유형으로 노드들이 특정 확률에 따라 서로 무작위로 연결되어 있음을 의미함. 무작위 네트워크

는 견고성이 낮다는 특성을 가진

- 무척도 네트워크는 연결정도 분포가 멱함수 분포를 띄는 네트워크 유형임. 무척도(scale-free)란, 연결정도에 평균값이나 최대값이 없는 것을 의미함. 무척도 네트워크는 견고성이 높으나, 허브 노드가 의도적으로 공격받는 경우 무작위 네트워크보다 취약함

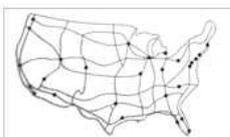
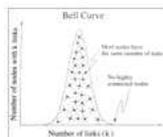
네트워크 기본 특성 분석

북한 철도망의 기본 특성을 파악하기 위해 1)연결정도 분포, 2)평균연결거리, 3)직경을 분석함

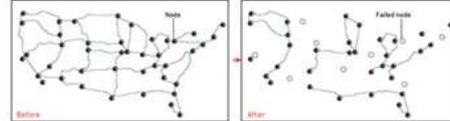
□ 연결정도 분포(Degree Distribution)

- 연결정도(degree): 하나의 노드에 연결된 링크의 개수를 의미함
- 연결정도 분포(degree distribution): 네트워크의 구조적 특성을 파악할 수 있음

1) 무작위 네트워크(random network)



Random Network, Accidental Node Failure



- 정규분포/포아송 분포
- 노드들이 특정 확률에 따라 서로 무작위로 연결되어 있음 (e.g. 노드가 유계인 네트워크에서 추사위를 던져 몇 번 노드에 링크를 연결할 지 결정)
 - 대부분의 노드들이 균일한 연결정도를 가진
- Ex. 고속도로 네트워크

- 견고성(robustness)이 낮음

※견고성: 무작위로 노드가 failure되었을 때 네트워크가 온전히 기능을 수행할 수 있는지 판단하는 것
 ※Failure: 임의의 노드가 마비 통제되는 것

(자료: Barabási, A.-L. (2003). Linked: How Everything is Connected to Everything else and what it means for Business, Science and Everyday Life. Plume, NY, 71.)

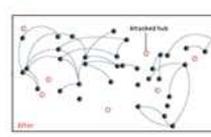
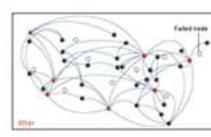
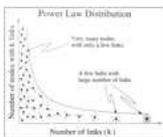
네트워크 기본 특성 분석

북한 철도망의 기본 특성을 파악하기 위해 1)연결정도 분포, 2)평균연결거리, 3)직경을 분석함

□ 연결정도 분포(Degree Distribution)

- 연결정도(degree): 하나의 노드에 연결된 링크의 개수를 의미함
- 연결정도 분포(degree distribution): 네트워크의 구조적 특성을 파악할 수 있음

2) 무척도 네트워크(scale-free network)



- 무척도(scale-free)란, 연결정도(degree)에 평균값이나 최대값이 없는 것을 의미함. 예를 들어 전세계 항공 네트워크에서 연결정도의 평균값을 구하더라도, 이 평균값이 통계적인 척도로 활용하지 못한다는 의미임
- 멱함수 분포
- Ex. 항공 네트워크

- 무작위로 네트워크 노드가 제거(failure) 되더라도 네트워크는 축소될 뿐 붕괴되지는 않음

- 그러나 허브 노드가 의도적으로 공격(attack)받는 경우는 무작위 네트워크보다 취약함

(자료: Barabási, A.-L. (2003). Linked: How Everything is Connected to Everything else and what it means for Business, Science and Everyday Life. Plume, NY, 71.)

- 평균연결거리에서 연결거리(distance)란 두 노드 사이의 링크 개수를 의미함. 노드 사이에는 다양한 경로가 존재할 수 있으므로, 이 중 최단 거리를 연결거리로 산정함

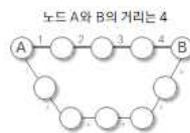
- 직경이란 네트워크 내 임의의 두 노드 간의 연결거리 중 가장 긴 거리, 즉 네트워크에서 가장 멀리 떨어져 있는 두 역 간 거리를 의미함
- 평균연결거리와 직경을 통해 네트워크의 연계성 및 자원/정보가 네트워크 내에 얼마나 신속하게 전달되는지 판단 가능함

네트워크 기본 특성 분석

북한 철도망의 기본 특성을 파악하기 위해 1)연결정도 분포, 2)평균연결거리, 3)직경을 분석함

□ 평균연결거리(Average Distance)

- 연결거리(distance)는 두 노드 사이의 링크 개수를 뜻함. 노드 사이에는 다양한 경로가 존재할 수 있으므로, 이 중에서 최단거리를 연결거리로 선정함



□ 직경(Diameter)

- 네트워크 내 임의의 두 노드 간의 연결거리(distance) 중 가장 긴 거리, 즉, 네트워크에서 가장 멀리 떨어져 있는 두 역 간 거리를 의미함
- 평균연결거리와 직경을 통해 네트워크가 서로 얼마나 잘 연결되어 있는지, 자원 또는 정보가 네트워크 내에 얼마나 신속하게 전달되는지 판단할 수 있음

12

제4절 노드 중심성 분석

- 노드 중심성 분석이란 네트워크 내 노드 간의 관계를 파악하여 개별 노드의 상대적 영향력 또는 중요도를 분석하는 모델임(Lange, 2019)
- 중심의 개념은 지표에 따라 달라지며, Freeman (1978)이 제안한 연결정도 중심성, 근접 중심성, 매개 중심성이 가장 대표적으로 활용됨
 - 연결정도 중심성: 하나의 노드에 몇 개의 노드가 이웃하는지 측정하여 가장 많은 노드와 이웃하고 있는 노드가 가장 중요하다는 관점으로 개별 노드의 연계성(connectivity)를 파악함

$$DC(i) = \sum_{j=1}^n a(i,j)$$

- $a(i,j)$ =노드 i 와 j 가 인접하면 1, 인접하지 않으면 0

- 근접 중심성: 하나의 노드에서 네트워크 내 모든 노드와의 거리를 측정하여

가장 짧은 거리를 가지는 노드가 가장 중요하다는 관점으로 개별 노드의 접근성(accessibility)을 평가함

$$CC(i) = \left[\sum_{j=1}^n d(i,j) \right]^{-1}$$

- n =네트워크 내 노드 개수
- $d(i,j)$ = 노드 i 에서 j 까지의 거리(링크 개수)

- 매개 중심성: 네트워크 내 모든 노드 사이의 최단 경로에 가장 많이 포함 되어있는 노드가 가장 중요하다는 관점으로 회복력을 평가할 때 주로 활용됨

$$BC(i) = \sum_{j \neq k} \frac{g_{jk}(i)}{g_{jk}}$$

- g_{jk} =노드 j 와 k 사이에 존재하는 최단경로의 개수
- $g_{jk}(i)$ =노드 j 와 k 사이에 존재하는 최단경로 중 노드 i 를 지나는 경로의 개수

노드 중심성 분석

#노드 중심성

- 네트워크 내 노드 간의 관계를 파악하여 개별 노드의 상대적 영향력 또는 중요도를 분석하는 모델임(Lange, 2019)
- 중심(Central)의 개념은 지표관점에 따라 달라짐
 - 중심성 분석의 가장 기본이 되는 지표는 Freeman (1978)이 제안한 연결정도 중심성, 근접 중심성, 매개 중심성이 있음

Let $G = (V, E)$ be a network with $|V| = n$
 $V(\text{node}) = \{ \dots, i, \dots, j, k \}$
 $E(\text{link}) = \{ (i,j) \mid i, j \in V \}$

연결정도 중심성 (Degree Centrality)	근접 중심성 (Closeness Centrality)	매개 중심성 (Betweenness Centrality)
$DC(i) = \sum_{j=1}^n a(i,j)$ <ul style="list-style-type: none"> • $a(i,j)$ =노드 i와 j 가 인접하면 1, 인접하지 않으면 0 	$CC(i) = \left[\sum_{j=1}^n d(i,j) \right]^{-1}$ <ul style="list-style-type: none"> • n=네트워크 내 노드 개수 • $d(i,j)$ = 노드 i에서 j까지의 거리(링크 개수) 	$BC(i) = \sum_{j \neq k} \frac{g_{jk}(i)}{g_{jk}}$ <ul style="list-style-type: none"> • g_{jk} =노드 j와 k 사이에 존재하는 최단경로의 개수 • $g_{jk}(i)$ =노드 j와 k 사이에 존재하는 최단경로 중 노드 i를 지나는 경로의 개수
<ul style="list-style-type: none"> • 하나의 노드에 몇 개의 노드가 이웃하고 있는지 측정하여 가장 많은 노드와 직접적으로 연결되어 있는 노드가 가장 중요하다는 관점 • 해당 노드의 연계성(connectivity) 	<ul style="list-style-type: none"> • 하나의 노드에서 네트워크 내 모든 노드와의 거리를 측정하여 가장 짧은 거리를 가지는 노드가 가장 중요하다는 관점 • 해당 노드의 접근성(accessibility) 평가 	<ul style="list-style-type: none"> • 네트워크 내 모든 노드 사이의 최단 경로에 가장 많이 포함 되어있는 노드가 가장 중요하다는 관점 • 교통망에서는 환승 허브 • 회복력(resilience) 평가

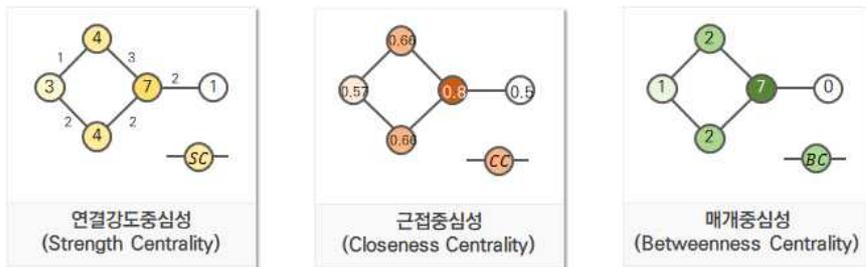
- 본 과업에서도 Freeman의 중심성 지표를 바탕으로 세 가지 중심성 지표를 선정하였음
- 다만 본 과업에서는 가중네트워크를 구축하였으므로 링크 유무를 기준으로 하는 연결정도 중심성 대신 링크 가중치를 기준으로 하는 연결강도 중심성을 지표로 활용함

- 근접 및 매개중심성 또한 Freeman의 지표에서는 노드 간 거리를 노드 간 링크 개수로 측정하지만, 가중네트워크에서는 각 링크 가중치의 역수가 거리로 간주됨

노드 중심성 분석

#노드 중심성

- 본 연구는 Freeman(1978)의 중심성 지표를 바탕으로 세가지 중심성지표를 선정함
- 다만, 본 연구는 가중네트워크를 구축하므로 링크유무를 기준으로 하는 연결정도 중심성(Degree Centrality) 대신 링크 가중치(본 연구에서는 노선수)를 기준으로 하는 연결강도 중심성(Strength Centrality)을 지표로 활용함
- 근접 및 매개 중심성: 이항네트워크에서는 노드 간 거리가 노드 간 링크 개수로 측정되지만 가중네트워크에서는 각 링크 가중치의 역수가 거리로 간주됨. 즉, 본 연구에서는 많은 노선을 운행하는 링크일수록 거리가 더 짧게 산출됨



(그림) 본 연구에서 활용하는 중심성 지표

- 본 연구는 세 가지 방법으로 북한 철도망의 노드 중심성을 분석하였음
 - 1) 철도역(station) 기반의 중심성 분석
 - 2) 동일 행정구역 내 복수 노드를 행정구역 단위로 통합한 city 기반의 중심성 분석
 - 3) 여객역과 화물역의 중요도를 다르게 설정하여 노드 중심성 분석

노드 중심성 분석

본 연구는 세 가지 방법으로 북한 철도망의 노드 중심성을 분석하였음

- 기본 노드(i.e. railway stations) 중심성 분석
- 동일 행정구역 내 복수 노드를 행정구역 단위로 통합하여 노드 중심성 분석
- 여객역과 화물역의 가중치를 별도로 설정하여 노드 중심성 분석

여객역 : 화물역 = $\alpha : (1 - \alpha)$ ($0 \leq \alpha \leq 1$) → 1) $\alpha = 0.3$, 2) $\alpha = 0.7$ 두 경우에 대해 분석을 수행함

제3장 결과

제1절 네트워크 기본 특성

- 북한의 간선철도망은 13개의 본선으로 이루어져 있고, 분석에 포함된 간선철도 정차역 노드는 469개, 링크는 477개임
- 연결정도 분포를 분석한 결과 북한 간선철도망은 무작위 네트워크 형태를 띄고 있었음. 허브 노드는 매우 드물었으며 대부분의 노드가 평균 2개의 링크를 가지고 있었음
- 북한 철도망에서 임의의 출발지에서 도착지까지 도달하기 위해서는 평균 약 60개의 링크를 경유하여야 하며 가장 먼 역간을 이동하려면 153개의 링크를 경유하여야 함



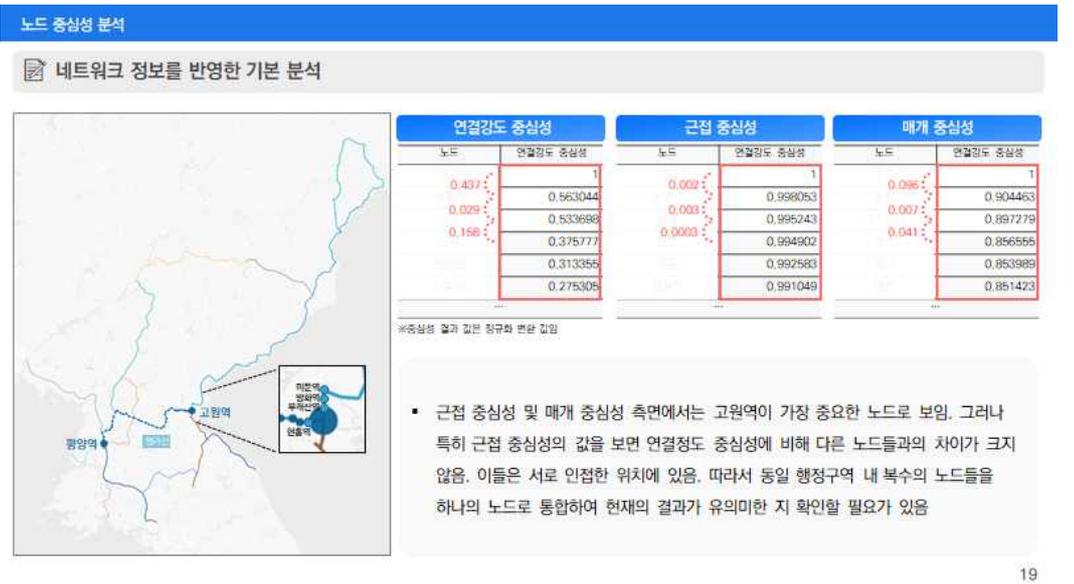
제2절 노드 중심성 분석

- station 기반 노드 중심성 분석에서 연결정도 중심성은 평양역이, 근접 및 매개 중심성에서는 고원역이 가장 중요한 노드로 식별되었음

- 근접 중심성의 경우 노드간 중심성 값의 차이가 별로 나지 않음. 상위 노드들이 동일 행정구역 내에 위치하고 있는 것으로 파악되었음. 이에 동일 행정구역 내 복수의 노드들을 통합하여 중심성을 추가 분석하였음



18



19

- 시/군단위로 동일한 행정구역에 있는 노드들을 통합하여 중심성 분석을 수행하였음
- 세 지표 모두 평양직할시 일원이 가장 중심성 순위가 높은 것으로 도출되었음. 따라서 평양직할시가 철도망 공급 수준 뿐만 아니라 접근성, 환승점으로서 가장 중요한 역할을 담당하고 있는 것으로 해석되었음

- 고원군의 경우에도 상대적으로 큰 영향력을 여전히 행사하고 있음

노드 중심성 분석

☞ 동일 행정구역 내 복수 노드를 통합하여 노드 중심성 분석

(표) 중심성 분석 결과

노드	연결강도 중심성
평양직할시	1
평양시	0.341463
송화군	0.243900
천안군	0.219512
봉산군	0.195122

노드	근접 중심성
평양직할시	1
평양시	0.987786
선천군	0.978350
중화군	0.95997
평원군	0.954779

노드	매개 중심성
평양직할시	1
개천시	0.609787
순천시	0.579769
평양시	0.570277
전천군	0.557531

연결강도 중심성

근접 중심성

매개 중심성

- 동일 행정구역으로 노드를 통합하여 분석한 결과, **평양직할시 일원의 철도망 공급 수준이 가장 높을 뿐만 아니라 접근성 및 연결점으로서도 중요한 요충지를 담당하는 것으로 보임**
- 근접 중심성 결과값 차이가 여전히 적게 나는 이유는 2-5위 노드 또한 평양직할시 인접 지역이기 때문임

20

- 여객역과 화물역의 가중치를 별도로 설정하여 중심성 분석을 수행하였음
 - 여객취급역인 서평양역의 영향으로 연결강도 중심성에서 일부 순위 및 값의 차이가 생기지만, 전체적인 노드 중심성변화에 큰 영향은 미치지 않음
 - 근접 및 매개 중심성또한 순위 및 값의 차이가 없음
- 화물/여객 요인은 추정결과에 크게 영향을 미치지 않는 것으로 나타남

노드 중심성 분석

☞ 여객역과 화물역의 가중치를 별도로 설정하여 노드 중심성 분석

1) 여객:화물=0.7:0.3

연결강도 중심성		연결강도 중심성	
노드	연결강도 중심성	노드	연결강도 중심성
평양	1	평양	1
대동강	0.562044	대동강	0.5625
서포	0.533698	서포	0.495331
간리	0.375777	서평양	0.412952
신성천	0.313355	간리	0.375
서평양	0.275305	신성천	0.3125

※중심성 결과 값은 정규화 반영값임

2) 여객:화물=0.3:0.7

연결강도 중심성		연결강도 중심성	
노드	연결강도 중심성	노드	연결강도 중심성
평양	1	평양	1
대동강	0.562044	서포	0.581211
서포	0.533698	대동강	0.573602
간리	0.375777	간리	0.39088
신성천	0.313355	신성천	0.329947
서평양	0.275305	사자동생년	0.238576

※중심성 결과 값은 정규화 반영값임

- 여객취급역인 서평양역의 영향으로 연결강도 중심성에서 일부 순위 및 값의 차이가 생기지만, 전체적인 노드 중심성 변화에 큰 영향은 미치지 않음

22

여객역과 화물역의 가중치를 별도로 설정하여 노드 중심성 분석

1) 여객:화물=0.7:0.3

근접 중심성			
여객:화물=1:1		여객:화물=0.7:0.3	
노드	근접 중심성	노드	근접 중심성
고원	1	고원	1
부개산	0.998053	부개산	0.997646
빙화	0.995243	빙화	0.994251
연흥	0.994902	연흥	0.993923
미동	0.992583	미동	0.991034
산성천	0.991049	산성천	0.988306

매개 중심성			
여객:화물=1:1		여객:화물=0.7:0.3	
노드	매개 중심성	노드	매개 중심성
고원	1	고원	0.061735
순천	0.904463	순천	0.055808
길주청년	0.897279	길주청년	0.055247
연흥	0.856555	연흥	0.052787
금야	0.853989	금야	0.052611
인흥	0.851423	인흥	0.052452

- 근접 및 매개 중심성 또한 순위 및 값의 차이가 없음
- 화물/여객 요인은 추정결과에 크게 영향을 미치지 않는 것으로 나타남

2) 여객:화물=0.3:0.7

근접 중심성			
여객:화물=1:1		여객:화물=0.3:0.7	
노드	근접 중심성	노드	근접 중심성
고원	1	고원	1
부개산	0.998053	부개산	0.998437
빙화	0.995243	빙화	0.996179
연흥	0.994902	연흥	0.995849
미동	0.992583	미동	0.994044
산성천	0.991049	산성천	0.993395

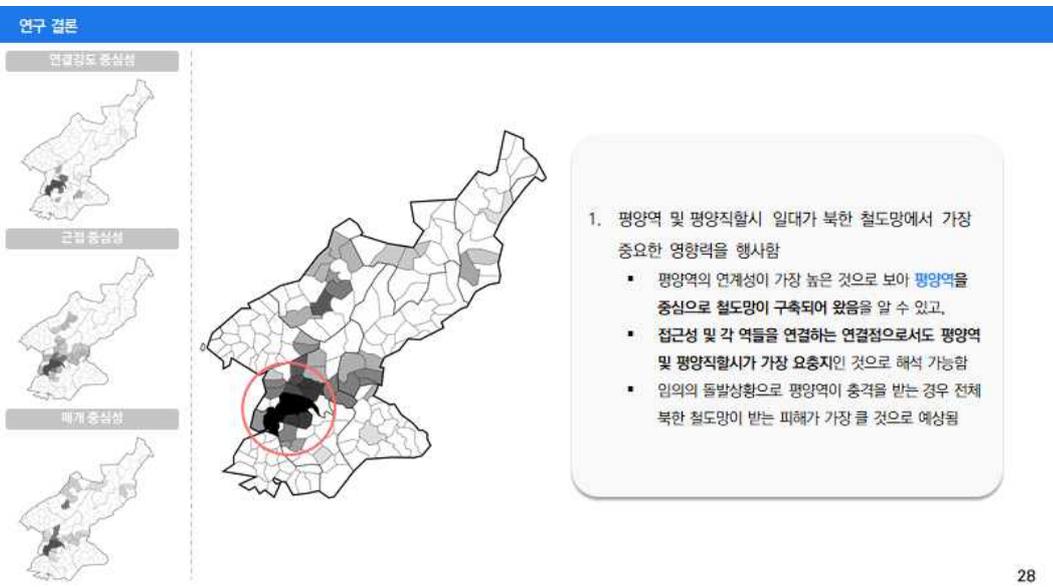
매개 중심성			
여객:화물=1:1		여객:화물=0.3:0.7	
노드	매개 중심성	노드	매개 중심성
고원	1	고원	1
순천	0.904463	순천	0.904934
길주청년	0.897279	길주청년	0.899629
연흥	0.856555	연흥	0.85836
금야	0.853989	금야	0.855774
인흥	0.851423	인흥	0.853187

제4장 결론

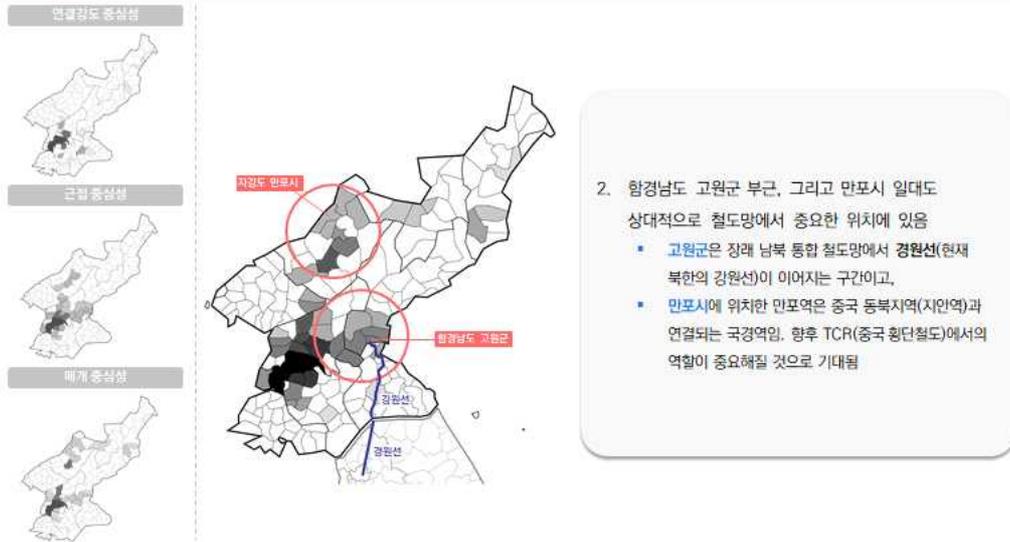
제1절 연구 결론

- 본 과업에서는 북한 철도망의 네트워크 기본 특성과 노드 중심성을 평가하였음
- 철도망은 노드·링크로 이루어진 네트워크적 특성을 가지기 때문에 전체 네트워크 차원에서 바라보아야 함
- 연결정도 분포, 평균 연결거리, 직경을 통해 북한 철도망의 기본적인 특성을 파악함
- 노드 중심성평가를 통해 각 지표별로 다른 관점에서 중요한 노드가 어디인지 평가함

- 평양역 및 평양직할시 일대가 북한 철도망에서 가장 중요한 영향력을 행사함
 - 평양역의 연계성이 가장 높은 것으로 보아 평양역을 중심으로 철도망이 구축되어 왔음을 알 수 있고,
 - 접근성 및 각 역들을 연결하는 연결점으로서도 평양역 및 평양직할시가 가장 요충지인 것으로 해석 가능함
 - 임의의 돌발상황으로 평양역이 충격을 받는 경우 전체 북한 철도망이 받는 피해가 가장 클 것으로 예상됨



- 함경남도 고원군 부근, 그리고 만포시일대도 상대적으로 철도망에서 중요한 위치에 있음
 - 고원군은 장래 남북 통합 철도망에서 동해선이 이어지는 구간이고,
 - 만포시에 위치한 만포역은 중국 동북지역(지안역)과 연결되는 국경역임. 향후 TCR(중국 횡단철도)에서의 역할이 중요해질 것으로 기대됨



제2절 한계점 및 향후 연구과제

- 노드 중심성 분석은 각각 다른 관점(연계성·접근성·회복력)에서 중요한 역을 시사하므로 향후 남북한 통합 철도망 전략 수립에 활용 가능함. 그러나 자료 구축의 한계로 인한 가중치 설정 문제가 해결된다면, 만약 실제 통행량 또는 impedance를 활용할 수 있게 될 경우 더 다양한 해석이 가능할 것으로 생각됨
- 향후 연구 과제로는
 - 남북 통합 철도망 노드 중심성분석을 통한 장래 주요 노드 변화 분석: 현재 북한 철도망에서는 평양직할시 일대가 가장 중요한 역할을 하고 있는 것으로 보이나, 향후 남북한 통합 철도망에서도 유효한지에 대한 평가가 필요함
 - 근접중심성은 다른 지표에 비해 노드 별 값의 차이가 크지 않음. 신뢰도가 높은 결과값 도출을 위해 지표를 수정 또는 대체 지표를 연구해 볼 필요가 있음

참고문헌

- Barabási, A-L. (2003). Linked: How Everything is Connected to Everything else and what it means for Business, Science and Everyday Life, Plume, NY, 71.
- Freeman, L. C. (1978). Centrality in social networks conceptual clarification, Social networks 1(3), 215-239.
- Lange, A. (2019). Centrality in Strategic Transportation Network Design: An application to less-than-truckload networks, Edition KWV, SpringerLink (Online service), Wiesbaden, Germany.
- Sheffi, Y. (1985). Urban networks : equilibrium analysis with mathematical programming methods, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, New Jersey, London. transportation
- “철도건설공법”, 국가철도공단, 2021년 11월 21일 접속, <https://www.kr.or.kr/sub/info.do?m=050401>.
- 한국교통연구원. (2019). 동북아북한교통자료집(동북아북한총서2019-3), https://www.koti.re.kr/user/bbs/BD_selectBbs.do?q_bbsCode=1037&q_bbscttSn=20190227170313537&q_clCode=1에서 검색.