J. Korean Soc. Transp.
Vol.31, No.1, pp.47-56, February 2013
http://dx.doi.org/10.7470/jkst.2013.31.1.047

Journal of Korean Society of Transportation
pISSN : 1229-1366
eISSN : 2234-4217

Article

Networking 기반의 간선도로의 망기능 분석방법론 연구

정갑채[1*] · 강경표[2] · 김정완[3]

[1] 서울연구원 교통시스템연구실, [2] 한국교통연구원 국가교통미래전략본부, [3] 국토해양부 첨단도로환경과

A Study on Arterial Road Network Improvement Based on Networking Analysis

JUNG, Kabchae[1*] · KANG, Kyeong Pyo[2] · KIM, Jung Wan[3]

[1] Dept. of Transportation System Research, The Seoul Institute, Seoul 137-071, Korea
[2] Division for Future Transport & Strategy Planning, The Korea Transport Institute, Gyeonggi 411-701, Korea
[3] ITS & Road Environment Division, Ministry of Land Transport and Maritime Affairs, Sejong 339-012, Korea

Abstract

The present study proposed a methodology to analyze the networking efficiency of arterial road networks. The methodology was motivated to design three-dimensional networks and to analyze the networking ability quantitatively, which is a novel approach compared to existing methods depending on the two-dimensional network definition and the qualitative analysis for improving arterial road networks. The method considered the interdependence between high-level freeways and low-level highways, the ITS-based information for traffic and road conditions, and the physical networking. These three factors were quantified by a networking index (NI), and the networking efficiency was measured by a networking rate (NR). The present study proved that the networking efficiency (NR) was influenced by travel information sharing (i.e., ITS) and physical factors. This supports the fact that the integrated improvements of physical and ITS factors are necessary for an arterial road. The proposed method was applied for an actual arterial road network. It was found that the nation-wide NR was higher than that for the metropolitan area, which might be due to the difficulty in switching between high- and low-level networks and the lack of ITS functions in the metropolitan area.

본 연구는 기존 정성적/평면적으로만 다뤄왔던 간선도로의 망기능을 입체적/정량적으로 분석하기 위하여 새롭게 정의한 네트워크(network)과 네트워킹(networking)에 입각한 망기능 분석방법론을 제시하고, 실제 간선도로망에 적용하여 망기능을 분석하였다. 이를 위해 간선도로 네트워크를 상부도로인 고속국도와 이와 연계된 하부도로(일반국도, 지방도, 도시부도로 등) 간을 입체적 관점에서 분석하였고, 기존의 물리적인 연결성 측면 외에도 교통정보 및 주행조건 등 운전자(이용자) 측면의 망기능을 고려한 세부기능지표(networking index, NI)를 도출하여, 망기능의 효율성을 정량적으로 평가할 수 있는 네트워킹 지수(networking rate, NR)를 산정하였다. 주요 분석결과로서, ITS 분야인 교통정보기능이 네트워킹 구성요소에 중요한 영향요소임을 입증하였다. 이는 기존에 물리적 연계 중심의 도로정비방안 도출보다 교통정보를 고려한 네트워킹 정비의 필요성을 보여준다. 그리고, 실제 고속국도 중심 간선도로 망기능을 분석한 결과로서 전국대비 수도권에서 낮은 망기능을 보이고 있는데, 상·하부도로 간 대체우회기능을 수행할 수 있는 구간기능과 교통정보기능이 상대적으로 떨어지는 것이 주요 원인으로 분석되었다.

Key Words

Network, Networking, Networking Index(NI), Networking Rate(NR), Structure Equation Model(SEM)
네트워크, 네트워킹, 네트워킹지표, 네트워킹지수, 구조방정식

* : Corresponding Author
kabchae@si.re.kr, Phone: +82-2-2149-1096, Fax: +82-2-2149-1120

Received 4 May 2012, Accepted 21 January 2013

Ⓒ Korean Society of Transportation
This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Ⅰ. 서론

1. 연구의 배경 및 목적

그동안 도로부문에 매년 7조원 이상 투자(고속 및 일반국도 60% 이상 차지)하고 있음에도 불구하고, 주요 간선도로의 반복/비반복 정체 등으로 인해 교통소통 기능은 여전히 좋지 않은 상황이고, 이로 인한 교통혼잡비용은 약 28조원(08년 기준)에 육박하는 등 투자대비 효율성이 저하되고 있다.

이러한 도로부문 투자대비 효율성 제고의 중요성은 최근 고시된 국가계획(예: 제4차 국토종합계획 수정계획(2011-2020), 국가기간교통망계획(2011-2020), 제2차 도로정비기본계획 (2011-2020) 등)에서도 잘 나타나 있다. 즉, 도로정비관련 계획 및 추진전략으로서 기존 도로망의 연계체계 강화, 선택과 집중을 통한 간선도로체계 구축, 신규보다 기존 도로망의 효율적 운영, 도로운영체계의 고도화 등을 공통적으로 언급하고 있다는 것이다.

이들을 정리하면 향후 간선도로망 정비는 기존의 양적인 확충보다는 질적인 연계성 강화방안이 필요하다는 의미로 해석할 수 있다. 하지만, 이를 위해서는 현재 간선도로망의 연계성에 대한 과학적인 분석이 불가피하며, 특히 간선도로인 경우 망차원의 접근 없이 제시되는 정비방안은 특정 혼잡 지점 및 구간위주의 정비방안에 제한될 수밖에 없을 것이다.

본 연구는 포괄적인 망기능의 개념 및 구성요소를 정립하고 망기능을 위한 세부기능별 산정지표를 도출하여 현(現) 간선도로망의 망기능 수준(효율성)을 분석할 수 있는 방법론을 제시하는 데 목적이 있다. 또한 기 구축·운영 중인 국가 간선도로를 대상으로 망기능을 새롭게 분석하는 것으로서, 궁극적으로는 간선도로망의 문제점 분석과 정비 방안을 도출하기 위한 기초연구이다.

2. 연구의 범위

연구의 공간적 범위는 전국 고속국도 및 일반도로를 포함하는 국가 간선도로망을 대상으로 하며, 여기서 일반도로란 일반국도, 지방도, 도시부도로 중 고속국도와 직/간접적으로 연결되는 도로를 의미한다.

본 연구의 주요 내용은 크게 두 가지로 볼 수 있다. 하나는 네트워킹(Networking, 망기능) 기반 간선도로망의 분석방법론을 제시하는 것이고, 다른 하나는 망기능을 평가할 수 있는 정량적 지수로서 네트워킹 지수(NR : Networking Rate, 망기능 지수)를 산정하여 실제 간선도로에 적용 및 분석하는 것이다. (네트워크와 네트워킹 정의는 Ⅲ장에서 자세히 제시하고 있다.)

Ⅱ. 기존 연구 및 네트워킹 현황 분석

1. 선행연구 검토

Korea Research Institute for Human Settlements (2010)에서는 도로관리청이 다른 시급 도시 내의 국도에 대한 지정국도 구간과 고속 및 일반국도 간 단거리의 지선국도의 선정방안을 제시하였다. 연구의 주요 대상은 일반도로망 자체로서, 고속국도와 연계하는 일반국도 및 도시부도로간 망차원의 네트워크를 고려하고 있지 못하고 있다. 대상 구간도 일반도로 중 동일 노선 상에서 간선기능이 가능한(예: V/C가 0.8 이상) 구간위주의 정비이므로 동일 노선임에도 불구하고 특정구간이 간선기능이 안될 경우에는 노선차원의 정비효과가 감소될 가능성이 크다.

Korea Expressway Corporation (2006)은 전국 고속국도를 대상으로 지·정체 원인을 규명하고, 고속국도 본선 및 진·출입부 중 개선이 필요한 지점에 대한 개선방안을 수립하였다. 하지만, 이 연구는 최상위 도로기능을 하는 고속국도망의 정비를 위하여 단순히 공간적 범위를 고속국도 진출·입 시설 및 교통용량 관련시설, 상습적인 지·정체 발생지점 또는 구간으로 선정된 진출·입부분 및 본선구간으로 한정하고 있다.

Seoul Development Institute (2000)는 일반 간선도로와 도시고속도로 간 연계 시 반드시 이용해야 하는 접근경로 및 이를 위한 연계시설에 대하여 개선방안을 도출하였다. 하지만, 도로망의 정비계획 측면에서 신설노선을 포함한 직접적인 물리적 연계만을 고려하였으며, 연결형태 및 수준, 그리고 ITS 등을 통해 교통정보의 수집 및 제공기능에 대한 고려는 전무하다.

이렇듯, 기존 연구의 제한사항들을 해결하기 위해 무엇보다 우선적으로 네트워크의 개념 및 기능을 명확하게 재정립할 필요가 있으며, 이를 이용하여 현(現) 간선도

로의 망기능 수준(효율성)을 정량적으로 분석할 수 있는 방법론이 필요하다.

2. 간선도로 네트워킹 현황 분석

1) 주요간선도로 간 물리적 연결 미흡

The Korea Transport Institute (2011)에서 고속국도 간 연결지점 중 주요 JC 지점에 대한 연결형태 및 물리적인 연결성이 100%가 안 되는 것을 알 수 있다. 또한, 3지와 4지 분기점의 특징을 살펴보면, 분기형태가 대부분이 루프형으로서 합·분류 시 차로변경 및 가·감속이 불가피하여 연속적인 합·분류가 어려우며, 나아가 3지분기점은 4지분기점보다 대안노선 수가 물리적으로 제한될 수밖에 없다.

2) 교통정보의 공유 부족

네트워크(Network)에서 대상도로가 주변 도로와 물리적으로 서로 연결되어 대안경로가 존재하더라도 대안 도로구간에 대한 우회 및 교통정보가 제공되지 않을 경우 교통류의 분산이 원활히 이뤄지지 않으며, 특히 교통혼잡 발생 시 기존 간선도로망의 효율성이 크게 저하된다.

예를 들어, 분당-서울 간 통행 시, 분당-내곡, 분당-수서, 경부고속도로 등 다양한 경로가 있으나, 경부고속도로 교통정보만 제공 중이다. 또한, 안산-서울 간 통행 시, 올림픽대로 및 강변북도와 서해안 고속도로를 연결하는 서부간선도로의 교통정보가 제공되지 않고 있다.

3) 대체도로간 주행환경 불균형

상습정체, 돌발상황과 같은 교통혼잡 발생 시 본선의 대체·우회구간의 주행환경에 따라 교통류 분산 정도가 달라진다. 예를 들어, 고속국도는 대체 및 우회기능을 담당하는 주변 고속국도의 통행료 징수여부 및 통행료에 따라 분산정도가 달라지며, 일반국도의 경우 고속국도 본선의 간선기능을 만족하게 할 때, 고속국도에서 일반국도로 교통류 분산이 원활히 이루어진다.

이뿐만 아니라 대체·우회도로 이용 시 해당 구간의 과도한 주행거리, 교차지점(교차로) 수 또는 신호대기 등 주행환경의 불균형이 심할 경우, 도로의 대체 및 우회기능을 적절히 수행할 수 없게 될 수도 있다.

III. 네트워킹 구성요소 및 세부기능 분석

1. 네트워킹 정의 및 구성요소

Figure 1에서 보는 바와 같이 본 연구의 대상인 간선도로 네트워크(Network)는 고속국도(상부도로)의 서로 다른 기·종점(예: IC 또는 JC) 간을 연결하는 선택가능한 경로가 일반도로(하부도로)에 두 개 이상 존재하는 도로망의 최소단위로 정의된다.

더불어, 네트워킹은 Figure 2처럼 앞서 현황분석에서 언급한 네트워크상의 통행저해 요인(예: 물리적 단절, 교통정보의 공유 부족, 대체우회 구간의 주행환경 불균형)을 향상시키는 간선도로망 정비 또는 간략히 망기능이라 정의할 수 있겠다.

그리고 3가지 통행저해요인별 기능개선을 간단히 설명하면, 먼저 물리적 연계는 교차하는 간선도로 간 효율적인 연결을 통해 다양한 대안 경로의 생성을 말하고, 교통정보의 공유는 이용 가능한 모든 경로에 대한 교통정보 수집 및 제공의 기능을 의미하며, 주행조건의 균형은 기·종점 간 선택 가능한 모든 경로 간 통행요금, 주행거리 등 통행비용의 균형을 의미한다.

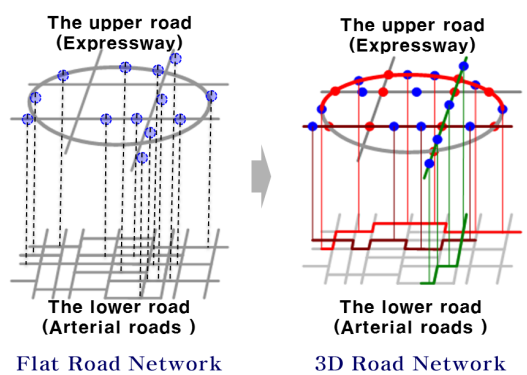

Figure 1. Concept of networking

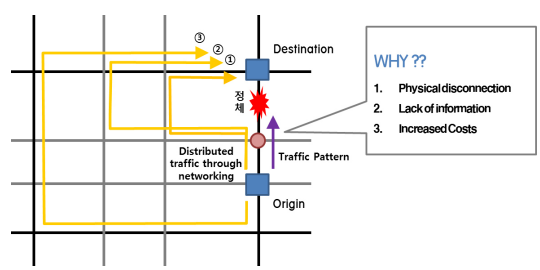

Figure 2. Factors of networking degradation

2. 네트워킹 구성요소별 세부기능 분석

앞에서 설명한 3가지 분야별 개선사항, 즉 네트워킹을 위한 구성요소를 세부기능에 따라 Table 1과 같이 산정지표(Networking Index, NI)를 도출하였다.

즉, 물리적 연계의 세부기능은 지점, 구간, 경로 등으로 구분하였고, 교통정보 공유요소의 세부기능은 인프라, 콘텐츠, 운영 등으로 나누었으며, 주행조건 균형 요소의 세부기능은 주행거리, 통행요금, 통행시간의 저항 등으로 구분하여 각각에 대한 관련 지표를 도출하였다.

Table 1. Quantifying criteria of network index

Categories		Indices		Criteria
Physical Linkage	Spot	Crossing Roads	Hierarchy	Expressway-Highway-arterial road, etc.
			Capacity Balance	4lane-4lane, 4lane-2lane, etc.
		Link	Connectivity	Fully, Partly, etc.
			Type	Loop, Direct, etc.
			Merge/Diverge Type	Direct, Additional Lane, etc.
	Section	Alternative road		No. of Section
		Hierarchy of Alternative road		Expressway-Highway-arterial road, etc.
		Capacity Balance of Alternative Road		4lane-4lane, 4lane-2lane, etc.
	Path	Alternative Routes		No. of Path
		Hierarchy of Alternative Routes		Expressway-Highway-arterial road, etc.
		Capacity Balance of Alternative Routes		4lane-4lane, 4lane-2lane, etc.
Traffic Iinformation Sharing	Infra	Area of Data Collection		VDS installation
		Area of Information Provision		VMS installation
	Contents	Spatial Extent of Information Provision		VMS information expressed on section,
	Operation	Management Organization		Managing principal Unifying
Driving conditions improvement		Distance resistance		Difference in distance
		Price resistance		Difference in Price
		Time resistance		Difference in Time

Ⅳ. 간선도로 네트워킹 분석방법론

1. 네트워킹 분석프로세스

네트워킹의 효율성(Efficiency)은 본 연구대상의 핵심이라고 할 수 있는 단위구간, 즉 네트워크(Network)의 구성요소별 세부기능이 교통 소통에 민감하게 영향을 미칠 수 있는 지표가 될 수 있어야 한다. 여기서는 총 주행거리, 평균속도, 표준편차 등을 가지고 분석하였다.

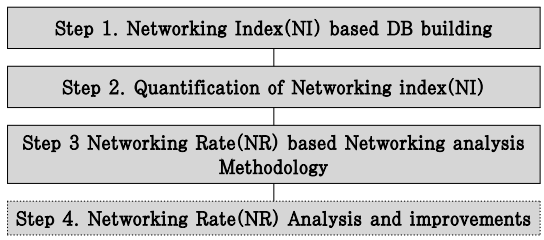

Figure 3. Procedures of NR-based networking analysis

Figure 3에서는 망기능 효율성을 나타내는 네트워킹 지수(Networking Rate, NR)를 산정 및 적용하기 위한 간선도로 네트워킹 분석프로세스를 보여주고 있다. 즉, 간선도로의 망기능을 수행하기 위한 필요조건으로 간선도로의 단위구간을 대상으로 NI를 조사한 후 개별지표의 산정기준에 따른 정량화된 수치를 DB로 구축하여, 이를 바탕으로 간선도로 네트워킹 지수인 NR를 도출한다.

또한, 실제 대상 권역의 간선도로망에 적용해 봄으로써 도출한 네트워킹 분석방법론과 NR에 대한 적용성을 살펴보았다.

2. 구조방정식을 이용한 네트워킹 지수 도출 과정

망기능, 즉 네트워킹 효율성을 정량적으로 분석할 수 있는 지표인 NR을 도출하기 위하여 본 연구에서는 구조방정식 모형을 사용하였다. 구조방정식은 요인분석(factor analysis)과 회귀분석의 발전된 형태로서 요인분석을 통해 산정지표(관측변수, 독립변수)가 네트워킹 지수(잠재변수)에 미치는 영향의 상대적인 크기를 측정하고, 네트워킹 지수와 효율성을 나타내는 지표(총 주행거리, 속도표준편차 등)와의 관계도 함께 분석하였다.

1) 간선도로 네트워킹 DB구축 (Step.1)

DB 구축 범위는 상부도로인 고속국도를 중심으로 고속국도와 직·간접적으로 연계된 하부도로(일반국도, 지방도, 도시부도로 등)을 포함한다.

구축방법은 우선 웹 사이트에서 제공하는 위성사진을 통해 전국 고속국도 및 고속국도와 연계된 하부도로의 물리적인 연계 상태를 알아보았다. 교통정보의 경우는 한국도로공사에서 제공한 VDS 설치정보, VMS 설치정보, VDS 수집정보(소통정보), VMS 제공정보 등을 전국 고속국도 구간별로 매칭하여 교통정보의 공유 상태를 파악하였다.

주의할 점은, DB구축과정에서 교통정보공유항목의 경우 해당 네트워크가 다수의 운영주체에 의해 관리되는 경우가 발생하였고, 또한 주행조건개선 항목의 경우 다양한 경로의 O/D 구축에 어려움으로 인해 비용 및 시간에 대한 자료 수집은 이루지지지 못해 Table 1의 일부 지표(교통정보공유-운영, 주행조건개선-통행요금/시간)는 DB구축에서 제외되었다.

2) 간선도로 네트워킹 세부기능지표별 정량화 (Step.2)

Step 1에서 구축된 네트워킹 구성요소별 DB에 대하여 Table 1의 네트워킹 세부기능별 산정기준에 따라 간선도로의 네트워킹 기능별 수준을 정량화하였으며, 이는 구조방정식을 이용한 분석과정에서 변수들의 실측단위를 적용할 경우 변수마다의 거시적이고 상대적인 영향정도를 반영하기 어려우며, 조사된 변수 값에 따라 오차범위가 다양하게 나타나므로, 본 연구에서는 변수별 거시적인 영향과 변수 간 상대적인 영향을 반영하기 위하여 정량화된 수치로서 0-1 사이 값을 가지도록 하였다.

세부기능지표들을 0-1 사이 값으로 정량화하는 방법으로는 변수특성을 고려하여 산정기준을 마련하여 그에 부합하는 값들을 부여함. 즉, 조사 값이 0-1 사이 상대적인 값으로 나타나는 변수(예: x12, x13, x14, x15, x16, x17, x22, x23, x25, x26, x41)와 조사 값이 1과 0으로 나타는 변수(x11, x21, x24, x31, x32)로 구분 하였다.

전자의 예로서 x12(교차도로위계)를 살펴보면, 교차하는 도로가 동일 위계인 경우 1로 보았으며, 도로의 위계차이가 1단계 차이나는 경우(고속국도-일반국도 0.75), 2단계 차이일 경우(고속국도-지방도 0.5), 3단계 차이일 경우(고속국도-시군도0.25) 등으로 그 값을 부여하여 상대적인 영향을 반영토록 하였다. 후자의 예로는 x31(교통정보수집여부)를 살펴보면 해당 네트워크에 교통정보를 수집(VDS 유무)하는지 유무로 변수의 영향을 반영하도록 하였다.

3) NR 산정방법론 (Step.3)

(1) 초기 구조방정식 모형

네트워킹 지수를 도출하기 위하여 구조방정식 모형에 필요한 변수 명을 Table 2와 같이 부여하였으며, 네트워킹의 효율성을 대표하는 변수로서 소통정보의 하나인 총 주행거리를 선택하였다.

Table 2. Variable definition of network index

Division	Var.	Explanation of Variables
Traffic Information	Y11	Total Vehicle Mile (by section, 15min intervals.)
Networking indices	x11	Crossing Road
	x12	Hierarchy of Crossing Road
	x13	Capacity Balance of Crossing Road
	x14	Link Conectivity
	x15	Ramp type I (3 or 4 branch)
	x16	Ramp type II (loop or direct)
	x17	Merge / Diverge Type
	x21	Alternative Road
	x22	Hierarchy Alternative Road
	x23	Capacity Balance of Alternative Road
	x24	Alternative Routes
	x25	Hierarchy of Alternative Routes
	x26	Capacity Balance of Alternative Routes
	x31	VDS installation
	x32	VMS installation
	x41	Difference in distance

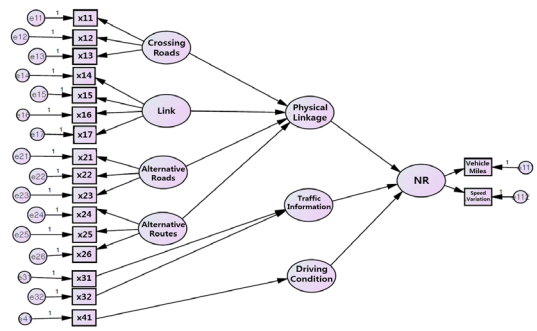

Figure 4. Initial structural equating model

이는 네트워킹, 즉 망기능의 구성요소 중 교통정보 공유와 주행조건 균형에서 중요한 고려 대상이 대안 경로라 할 수 있으며, 망기능 측면에서는 대상 경로와 대안 경로 간 균형을 이룰 수 있는 변수로서 주행거리가 적절하기 때문이다.

앞서 도출된 18개의 세부기능지표 중에서 실제 DB 구축이 완료된 16개의 관측변수를 가지고 초기 구조방정식 모형을 Figure 4와 같은 형태로 구축하였다.

즉, 최상위에 네트워킹 지수(잠재변수)를 두었고, 그 하단에는 네트워킹의 3개의 구성요소인 물리적 연계, 교통정보공유, 주행조건균형 등을 잠재변수로 두었다. 이러한 잠재변수들 하단에 각각의 산정지표(관측변수)을 두어 구조방정식 모형을 구축하였다.

(2) 구조방정식 수정 및 적합도 검증

구조방정식 모형에서는 정규분포형태의 관측변수 데

이터를 가지고 분석할 수 있으며, 이 과정에서 관측변수 X11(교차도로 유무), X21(대안 도로 유무), X24(대안 경로 유무) 등의 항목은 제거되었다. 또한 요인분석 과정에서 X15(연결로형태)와 X31(교통정보수집여부) 변수가 제거되었으며, X41(주행거리저항) 변수는 구조방정식모형 분석과정에서 변수가 제거되었다.

정리하면, Figure 4에서처럼 독립변수 16개 잠재변수 7개로 구축하였던 초기 구조방정식 모형은 변수의 분석과 요인분석, 적합도분석 등을 통하여 Figure 5에서 보는 바와 같이 총 10개의 관측변수와 2개의 잠재변수(지점기능(f1), 구간기능(f2))로 구조방정식 모형으로 수정되었다. 더불어, 요인분석에 의해 X32(교통정보제공) 변수가 구조방정식모형 분석에 사용되는 지표로 선정되었으며, 해당 변수는 교통정보기능(f3)을 대표하는 관측지표가 되며, 구조방정식 모형에서 교통정보기능(f3)지표로 간주한다.

Figure 5의 수정된 구조방정식 모형에 대한 적합도

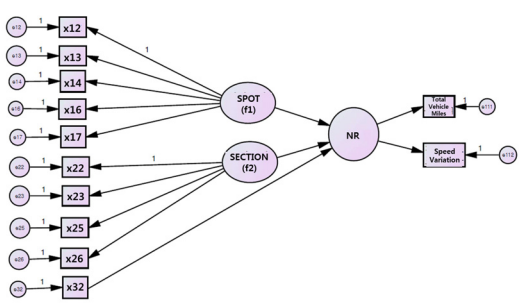

Figure 5. Modified structural equating model

Table 3. Goodness of fit index standard

Index	Sensitive to sample size	degree of simplicity	Standard
GFI	○	×	More than .90
NFI	○	×	More than .90
RFI	○	×	More than .90
IFI	○	×	More than .90
NNFI(TLI)	×	○	More than .90
CFI	×	×	More than .90
RMSEA	×	○	Less than 0.05

Table 4. Goodness of fit index (Chi-square test)

Model	NPAR	CMIN (χ^2)	DF	P	CMIN/DF
Default model	33	189.498	45	0	4.211
Saturated model	78	0	0		
Independence model	12	3736.153	66	0	56.608

평가결과는 적합하지 않은 것으로 나타났다. 즉, 카이제곱검정은 χ^2=1373.296, df=53, χ^2/df=25.911로 적합치 않은 수치를 보이고 있으며, GFI(=0.839), NFI(=0.632), RFI(=0.542), RMSEA(=0.178) 등은 Table 3의 적합도 지수 기준에도 부합하지 못하여 모형 선정에 적절치 못한 것으로 나타났다.

이러한 경우에, 수정지수(Modification Indices, MI)를 이용하여 구조방정식모형을 개선시킬 수 있다. 수정지수는 모형분석 결과에 포함되어 있으며, 수정지수 값이 크게 나온 변수(MI=30 이상)들을 연결하여 구조방정식 모형을 Figure 6과 같이 수정하였다.

수정지수를 적용한 구조방정식의 모형분석 결과는 Table 4와 같으며, 카이제곱검증 χ^2=189.498, df=45, χ^2/df=4.211로 적합한 수치를 보이고 있다. 또한 구조방정식모형의 적합도 지수를 살펴보면 GFI (=0.960), NFI(=0.949), RFI(=0.926), TLI (=0.942), CFI (=0.961) 등으로 기준치(0.9 이상)를 만족하고 있으며, RMR(=0.016) 지수도 기준치(0.05 이하)를 만족하고, RMSEA(=0.064)값 역시 기준치(0.05 이하)에 근접한 수치이므로 구성된 수정된 구조방정식 모형이 적합하다는 것을 보여주고 있다.

(3) NR 산정 결과

분석 결과, 구조방정식 모형을 정리하여 각 변수 간의 파라미터(비표준화계수, Table 5) 값을 NR을 구성하는 산정지표들의 가중치 분석을 위하여 표준화계수로 전환하였다. 그 이유는 비표준화계수는 하나의 관측변수의 계수를 1로 고정하여 다른 관측변수들 간의 상대적인 영

Table 5. Non-Standardized regression weights

Regression Weights(Groupnumber1-Defaultmodel)				
구분	Estimate	S.E.	C.R.(t)	P
NR ← f1	0.846	0.363	2.328	0.02
NR ← f2	1.206	0.401	3.006	0.003
NR ← X32	0.500	0.179	2.789	0.005
X16 ← f1	0.461	0.050	9.225	***
X13 ← f1	0.852	0.079	10.759	***
X12 ← f1	1	-	-	
X26 ← f2	1.334	0.062	21.679	***
X25 ← f2	1.041	0.046	22.631	***
X23 ← f2	1.093	0.045	24.132	***
X22 ← f2	1			
X14 ← f1	0.327	0.037	8.921	***
X17 ← f1	0.390	0.053	7.418	***
Y11 ← NR	0.334	0.124	2.696	0.007
Y12 ← NR	1	-	-	-

향력을 비교한 것으로 NR을 구성하는 산정지표들의 가중치 분석을 위해서는 표준화계수로의 전환이 필요하다.

Table 6은 수정된 구조방정식 모형에 대하여 변수 간의 파라미터(표준화 계수) 값을 정리하였다.

산정된 표준화 계수를 사용하여 NR을 구성하는 산정지표들의 가중치를 식(1)과 같이 산정할 수 있다.

$$NR = 0.443 \times f1 + 0.710 \times f2 + 0.547 \times f3 + e \quad (1)$$

즉, 네트워킹 지수의 값 1.00을 기준으로 표준화계수를 가지고 가중치를 산정하면, 지점기능(f1)=0.2606, 구간기능(f2)=0.4176,교통정보기능(f3,x32)=0.3218 등의 비율로 구성됨을 알 수 있다.

이러한 분석 결과를 다시 해석한다면, 현재 간선도로의 네트워킹을 정량적으로 1.00으로 봤을 때 네트워킹에 영향을 미치는 세부기능으로서 지점기능(f1)은 26.06%, 구간기능(f2)은 41.76%, 교통정보기능(f3)은 32.18% 정도의 영향을 가지고 있다고 볼 수 있다.

더불어 Table 7에서 제시한 바와 같이, 네트워킹의 세부기능에 대한 가중치를 바탕으로 지점기능, 구간기능에 대해서도 관련 하위 변수들과의 관계식을 바탕으로 같은 방식의 가중치를 산정하여 NR에 대한 비율로 산정할 수 있다.

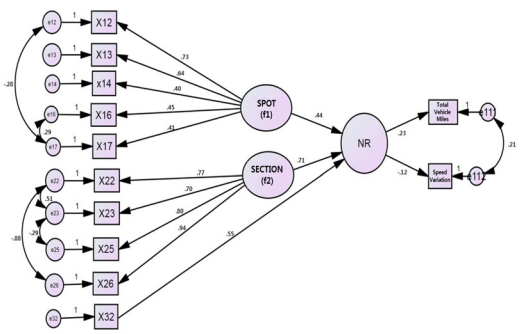

Figure 6. Structural equation analysis (standardized coefficients)

Table 6. Standardized regression weights

Regression Weights(Groupnumber1-Defaultmodel)			
구분	Estimate	구분	Estimate
NR ← f1	0.443	X25 ← f2	0.894
NR ← f2	0.710	X23 ← f2	0.697
NR ← X32	0.547	X22 ← f2	0.768
X16 ← f1	0.450	x14 ← f1	0.396
X13 ← f1	0.640	X17 ← f1	0.414
X12 ← f1	0.733	Y11 ← NR	0.233
X26 ← f2	0.941	Y12 ← NR	-0.118

Table 7. Networking exponential weighting analysis

NR		Spot Func. (f1)		SectionFunc. (f2)		Traffic Information Func.(f3)	
1.0000 (100%)		0.2606 (26.06%)		0.4176 (41.76%)		0.3218 (32.18%)	
f1	0.2606	X12	0.0999	X22	0.1216	X32	0.3218
f2	0.4176	X13	0.0159	X23	0.0552		
f3	0.3218	X14	0.0270	X25	0.1415		
		X16	0.0614	X26	0.0993		
		X17	0.0564				

Ⅳ. 간선도로망 네트워킹 지수 산정 및 분석

여기서는 3장에서 도출한 네트워킹 분석방법론과 NR의 타당성을 알아보기 위하여 실제 간선도로에 적용하여 망기능을 비교·분석하였다.

1. 전국 및 수도권 간선도로 네트워킹 지수

1) 전국 간선도로 NR 산정

전국 간선도로 NR 분석에 사용된 구간 수는 전국 29개 고속국도노선에 대하여 총 751개 구간을 대상으로 하였다. DB 구축 시에 대상이 되었던 전체 노선의 구간에서 공사구간이거나 혹은 위성사진 자료가 구축되어 있지 않은 구간, 지점/구간 자료의 수집이 어려운 구간 등을 제외하였다.

Table 8에서 나타낸 바와 같이, 고속국도 중심으로 전국 간선도로 네트워킹 지수의 평균값은 0.4800 (48.0%)이며, 구성요소별 세부기능의 가중치도 제시되고 있다.

Table 8. NR of freeway connected network

NR 1.0000		Spot func. (f1=0.2606)		Section func. (f2=0.4176)		Traffic Information func.(f3=0.3218)	
0.4800		0.1663		0.1383		0.1754	
f1	0.1663	X12	0.0618	X22	0.0394	X32	0.1754
f2	0.1383	X13	0.0123	X23	0.0562		
f3	0.1754	X14	0.0216	X25	0.0284		
		X16	0.0453	X26	0.0256		
		X17	0.0253				

2) 수도권 간선도로 NR 산정

수도권 간선도로 네트워킹 분석을 위한 공간적 범위는 서울외곽순환선을 중심으로 경부선, 서해안선, 영동선, 경인선, 제2경인선 등을 대상으로 하였다. 분석에 사용된 구간은 총 146개이며, Table 9에서 보는 바와 같이 NR은 평균 0.3878(38.8%)으로 나타났다.

Table 9. NR of freeway connected network at netropolitan area

NR 1.0000		Spot func. (f1=0.2606)		Section func. (f2=0.4176)		Traffic Information func.(f3=0.3218)	
0.3878		**0.1557**		**0.0910**		**0.1410**	
f1	0.1557	X12	0.0590	X22	0.0229	X32	0.1410
f2	0.0910	X13	0.0122	X23	0.0519		
f3	0.1410	X14	0.0175	X25	0.0104		
		X16	0.0421	X26	0.0163		
		X17	0.0249				
Avg	0.4800	0.1663		0.1383		0.1754	

참고로, 수도권 간선도로 중 가장 높은 NR를 보이는 노선은 경부선(NR=0.4773)이며, 제2경인선이 가장 낮은 수치(NR=0.2991)를 보이고 있다. 그 다음은 서울외곽순환선(0.3381), 경인선(0.3880) 등으로 나타났다.

2. 전국대비 수도권 간선도로 망기능 비교분석

수도권의 경부선은 교통정보기능(f3)은 전국 평균보다 월등히 높은 수치를 보이고 있으나, 구간기능(f2)의 기능이 전국 평균의 2/3수준이다. 반면, 제2경인선이 NR이 낮은 이유는 교통정보기능(f3)이 낮은 것으로 분석되었으며, 지점기능(f1)도 수도권 평균 NR보다 낮은 수치를 보이고 있기 때문이다.

무엇보다 주목할 점은 수도권 간선도로 망기능의 NR(0.3878)은 전국 간선도로 망기능의 NR(0.4800)보다 낮은 0.3878로 분석되었으며, 가장 중요한 이유는 구간기능(f2)의 NR이 낮게 나왔다는 것이다,

이는 수도권 간선도로망 구축배경을 살펴보면 쉽게 유추할 수 있는 결과다. 즉, 이미 구축된 기존 하부도로(일반도로)망에 토지이용의 제약으로 고속국도를 입체(대부분 고가도로)형태로 구축할 수밖에 없었으며, 하부도로와의 연계 또한 지점기능에 한정시켜 간선도로망을 구축했기 때문이다.

3. 네트워킹 지수 적용 사례 검토

여기서는 분석한 간선도로망의 단위구간(Network)별 세부기능지표에 대한 실제 사례를 통해 네트워킹지수의 적용성을 검토해 보았다.

먼저 NR이 높게 나온 구간을 살펴보면, 중부선(대전-통영)노선의 금산IC-추부IC구간으로 Table 10과 같이 분석 되었다. 해당 구간의 망기능 분석을 위한 세부기

Table 10. Case study of high NR

NR 1.0000		Spot func. (f1=0.2606)	Section func. (f2=0.4176)	Traffic Information func.(f3=0.3218)
0.9309		**0.2003**	**0.4088**	**0.3218**
Avg	0.4800	0.1663	0.1383	0.1754

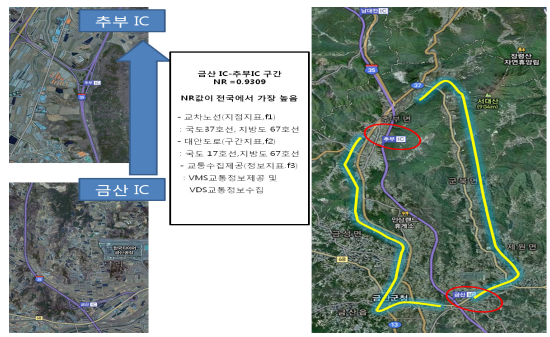

Figure 7. Case study of high NR

Table 11. Case study of low NR

NR 1.0000		Spot func. (f1=0.2606)	Section func. (f2=0.4176)	Traffic Information func.(f3=0.3218)
0.0820		**0.0820**	**0.0000**	**0.0000**
Avg	0.4800	0.1663	0.1383	0.1754

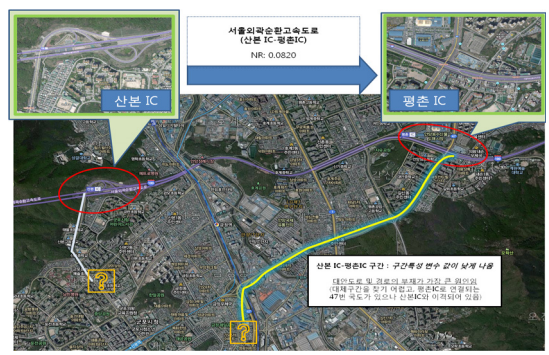

Figure 8. Case study of low NR

능을 살펴보면 먼저 지점기능(f1)은 모든 세부기능지표 값이 전국 평균보다 높은 것을 알 수 있다. 구간기능(f2)은 상·하부 교차지점에 국도37호선 및 지방도 67호선이 교차도로로 존재하고 있고, 대안 경로(국도17호, 지방도 67호)가 대상구간과 나란하게 존재하고 있어 대체·우회기능이 높다는 것을 알 수 있다. 또한 교통정보기능(f3)도 해당 구간에 교통정보의 수집(VDS) 및 제공(VMS)이 되고 있어 관련 지표들이 높게 나온 것으로 분석되었다.

반대의 경우로서 NR이 낮은 구간을 살펴보면, 서울외곽순환선의 산본IC-평촌IC구간으로 Table 11과 같이

분석되었다. 해당 구간의 가장 큰 특징은 지점기능을 제외하고는 모두 기능의 영향정도가 0.0으로 분석되었다.

이유를 살펴보면 IC와 연결된 도로는 시·군도 수준의 도로이며, IC와 인접한 구간에서 대체 가능한 대안 도로(f2, 구간기능)의 접근도 어려운 것으로 나타났다. 그리고 교통정보는 수집되나 해당구간에는 정보제공(f3, 교통정보기능)이 이루어지고 있지 않아 네트워킹 지수가 더 낮게 나온 것으로 분석되었다.

주의할 점은 교통정보의 제공기능(즉, VMS의 설치율)으로서 해당 서울외곽순환고속도로의 경우는 총 76개 구간 중 21개 구간에 27.6%가 설치되어 있어 수도권의 다른 노선들보다 낮은 수치를 보이고 있다.

예로서, 수도권의 다른 노선들을 살펴보면 경부선 61.6%(69/112), 서해안선 50.0%(41/82), 영동선 62.5%(40/64) 등으로 나타났다.

다시 말하면, 수도권의 VMS 정보제공이 단위연장(예: km 당)으로 볼 경우 전국대비 높지만 본 연구의 공간적 범위인 단위구간, 즉 네트워크상에서는 여전히 부족한 상태임을 알 수 있다.

Ⅴ. 결론 및 향후 연구과제

1. 결론

본 연구는 간선도로의 망기능에 대한 분석방법론을 제시하는 것으로, 기존 간선도로망의 현황 및 문제점을 검토하였으며, 이를 바탕으로 간선도로의 망기능 체계 및 기능분석을 수행하여 네트워킹의 구성요소와 세부기능지표(NI)들을 도출하였다.

그리고, 네트워킹 구성요소별 세부기능에 대한 지표 및 산정기준을 바탕으로 간선도로 망기능의 효율성(평균통행속도, 총주행거리)을 평가할 수 있는 지수로서 네트워킹 지수(NR)의 산정방법론 및 분석 프로세스 등을 제시하였다.

먼저, 네트워킹 지수(NR=100.0%)에 미치는 구성요소 중 기존 물리적 연결 중심의 지점기능(26.1%)보다 구간기능(41.7%)과 교통정보기능(32.2%)이 상대적으로 큰 영향을 미치고 있음을 보여주었다.

다음으로 NR 산정방법을 전국 고속국도 노선별 간선도로에 적용한 결과, 전국의 NR 평균값은 0.4800 (f1=0.1663, f2=0.1383, f3=0.1754)이며, 수도권 NR은 0.3878 (f1=0.1557, f2=0.0910, f3= 0.1410)로서 전국 NR보다 낮게 나타났는데, 주된 이유는 구간기능(f2)이 전국대비 상대적으로 미흡하기 때문으로 나타났다.

특히, 수도권 간선도로 네트워킹이 전국과 비교하여 구간기능이 낮게 나타난 이유는 통행량과 간선도로 인프라가 밀집된 수도권 특성상, 구간기능의 역할이 떨어진 것으로 구간기능의 중요성을 단적으로 보여주는 예라고 볼 수 있다. 즉 네트워킹은 결절점에서의 단순한 물리적 연결성 외에도 교통혼잡 시 연속류와 단속류 간 원활한 교통소통을 위해서는 고속국도의 주요 축과 연계한 하부도로의 정비가 함께 이루어지는 것이 필요함을 보여주는 좋은 예라 할 수 있다.

2. 연구의 한계점 및 향후연구과제

본 연구는 간선도로의 망기능을 입체적/정량적으로 분석할 수 있는 방법론을 제시하는 것으로 향후 간선도로망 정비방안 제시를 위해 반드시 필요한 기초연구이다, 특히, 본 연구의 Key Words라 할 수 있는 네트워킹 지수(NR)과 세부기능지표(NI)에 대해서는 다음과 같은 추가적인 연구내용이 필요하다.

NR 산정을 위한 구조방정식의 한계는 분석과정에서 상대적인 값을 가지고 네트워킹지수를 산정하는 방법을 선택하였기 때문에, 구축되는 세부기능지표 값이 변함에 따라 전체적인 NR의 변화가 생길 수 있다.

물론 본 연구의 대상인 네트워크는 상·하부도로간 물리적 연결뿐만 아니라 구간기능 및 교통정보기능 등 이용자 통행행태를 반영한 교통류의 연속성임을 감안한다면 해당 네트워크의 개선효과는 주변 네트워크로 영향이 미치는 것은 당연할 수 있다. 하지만, NR 개선의 영향이 세부기능지표 값의 변화를 수용할 수 있는 모델을 구축하는 연구가 필요하다.

그리고, 본 연구에서 구축한 DB 중 네트워킹 3개 구성요소 중 주행조건 균형에 대한 세부기능에 대한 DB 작업도 필요하다. 더불어 세부기능별 산정지표 간 상호관계를 고려한 상대적인 수치에 의한 정량화 연구가 교통공학적으로 이루어져야 한다.

마지막으로, 네트워킹의 효율성을 나타내는 지표(예: 차량총주행거리 등)의 값이 네트워킹 지수를 적절하게 잘 표현하는지에 대하여 각각의 세부기능지표와 실세 해당 구간의 소통정보 등의 자료들과의 교차분석을 통한한 검증이 필요할 것으로 보인다.

REFERENCES

Kim G. S. (2010), Structural Equation Modeling, Hannarae Academy (구조방정식 모형 분석).

Korea Expressway Corporation (2006), For Highway Congestion Relieve IC·JCT·TG Improve the Feasibility Study (고속도로 지정체 해소를 위한 IC·JC·TG 시설개량 타당성조사).

Korea Expressway Corporation (2008), World Road Policy and Technology (세계도로 정책과 기술).

Korea Research Institute for Human Settlements (2010), Local Metropolitan Arterial Roads System Research (지방대도시권 간선도로망 체계연구).

Ministry of Land (2011), Transport and Maritime Affairs, Road Services Manual (도로업무편람).

Ministry of Land (2011), Transport and Maritime Affairs, the Second, Road Maintenance, the Basic Plan (제2차 도로정비기본계획).

Seoul Development Institute (2000), Improvement of Link Road Scheme for the Urban Highway Improvements (도시고속도로 기능향상을 위한 연계도로체계 개선방안 연구).

Song J. J. (2008), SPSS/AMOS Statistical Method, 21Century, SPSS/AMOS (통계분석방법).

The Korea Transport Institute (2011), A Study on Arterial Road Network Improvement Based on Networking Analysis (네트워킹기반의 간선도로망 정비를 위한 기초연구).

알림 : 본 논문은 제66회 대한교통학회 학술대회 발표논문(2012. 2. 18.)을 수정·보완하여 작성한 것입니다.

♧ 주 작 성 자 : 정갑채
♧ 교 신 저 자 : 정갑채
♧ 논문투고일 : 2012. 5. 4
♧ 논문심사일 : 2012. 9. 27 (1차)
2013. 1. 7 (2차)
2013. 1. 21 (3차)
♧ 심사판정일 : 2013. 1. 21
♧ 반론접수기한 : 2013. 6. 30
♧ 3인 익명 심사필
♧ 1인 abstract 교정필