한국ITS학회논문지
J. Korea Inst. Intell. Transp. Syst.
15(6) : 71~79 (2016)
ⓒ 2016. The Korea Institute of Intelligent Transport Systems. All rights reserved.
ISSN 1738-0774(Print), ISSN 2384-1729(On-line)
DOI https://doi.org/10.12815/kits.2016.15.6.071

Space Syntax Theory를 반영한 덩굴망기반 확률적 보행네트워크 배정기법

A Vine-Based Stochastic Loading Technique in Pedestrian Networks Considering Space Syntax Theory

김 종 형* (Jong Hyung Kim) (Incheon Development Institute)
이 미 영** (Mee Young Lee) (Korea Research Institute of Human Settlements)
남 두 희*** (Doo Hee Nam) (Hansung University)

요 약

도시부 보행네트워크의 보행성 평가를 위해서 Space Syntax Theory(공간구문론)을 반영한 보행모형 구축이 요구된다. 공간구문론은 통합도를 도출하여 보행로의 중심성에 대한 정량적 평가지료를 제공한다. 보행모형은 이동성, 편리성, 안전성의 보행지표로서 보행성을 나타내는 정량적 판단근거를 제시한다. 그러나 보행네트워크에서 공간구문론을 반영하기 위해서는 회전지체 반영을 위한 네트워크구축기법의 검토가 요구된다. 특히 기존의 연구에서 제안된 나무기반 Dial 알고리즘은 회전지체 반영을 위하여 네트워크확장이 요구되었다.

본 연구는 덩굴망기반 Dial 알고리즘과 공간구문론의 통합방안을 제시하였다. 덩굴망기반 Dial 알고리즘은 인접링크의 사이에서 발생하는 회전지체를 포함하는 3단계 수행과정을 수행하므로 네트워크확장의 우회가 가능하다. 따라서 공간구문론의 축노드와 축노드가 만나는 시각교차점에서 회전지체가 발생하는 상황에서도 네트워크의 변형을 최소화하면서 시각거리와 물리거리를 일치시키는 측면에서 덩굴망기반 Dial 알고리즘이 활용이 필요하다.

도시부도로와 같이 보행이 복잡한 권역의 평가를 위해서 활용이 가능함을 향후 연구로 제시하였다. 특히 사례연구를 통해서 제안된 기법의 수행과정을 도출하였다.

핵심어 : 공간구문론, 나무기반 Dial 알고리즘, 덩굴망기반 Dial 알고리즘, 보행네트워크, 통합도

ABSTRACT

Evaluation of the walkability of the urban pedestrian network requires construction of a pedestrian network model that reflects Space Syntax Theory. Space Syntax Theory deduces an integration value through which materials for evaluation of the pedestrian network's connectivity can be produced; and can aid in illustrating the ease of walkability through the model's calculation of pedestrian indices such as movability, comfort, and safety. But the representation of space syntax theory in the pedestrian network requires that turn delay be added by means of a network-type construction method. While tree-based Dial Algorithm proposed for the logit-based probability walkability distribution model may be effective for link-based pedestrian volume distribution, it requires further network expansion to reflect turn delays.

In this research, Vine-based Dial Algorithm is executed in order to obtain a measure reflecting the integration value for Space Syntax Theory. The Vine-based Dial Algorithm of two adjacent links, which forms the minimum unit of the Vine network, has the advantage of encompassing turn delay, and thus eliminates the need for network expansion.

Usage of the model to evaluation of complicated pedestrian spheres such as urban roads is left to further research. Especially the progression of the proposed method is deduced through case study.

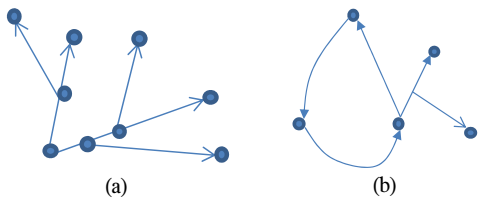
Key words : Space Syntax Theory, TreeBased Dial Algorithm, Vine-Based Dial Algorithm, Pedestrian Network, Integration,

* 주저자 : 인천발전연구원 교통물류연구실 연구위원
** 교신저자 : 국토연구원 국토계획·지역연구본부 책임연구원
*** 공저자 : 한성대학교 공과대학 정보시스템공학과 교수
† Corresponding author : Mee Young Lee(Korea Research Institute for Human Settlements), E-mail mylee@krihs.re.kr
† Received 6 December 2016; reviewed 23 December 2016; Accepted 26 December 2016

Ⅰ. 서 론

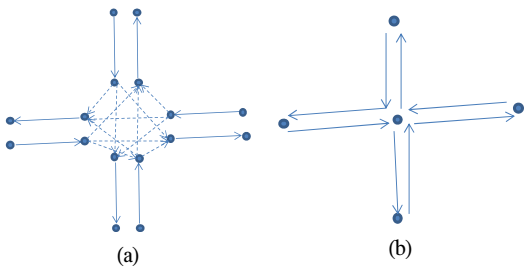
1. 덩굴망과 회전지체

네트워크이론에서 나무(Tree)는 동일지점으로 돌아오지 못한다. 반면 덩굴망(Vine)은 특정지점을 방문하는 것이 가능하다[1]. 따라서 덩굴망으로 표현되는 경로는 특정노드를 재방문하는 순환경로(Cyclic Path)가 포함된다. 나무로 구축된 경로는 비순환경로(Acyclic Path)로 상징된다.



〈Fig. 1〉 Tree (a) and Vine (b) Structure

덩굴망의 순환통행은 신호교차로와 같이 대기시간을 반영하는 경우 2가지 측면에서 효과적이다. 우선 신호지체를 피하기 위해 U턴, P턴 통행과 같이 교차로를 재방문하는 것이 표현된다. 또한 교차로 회전지체를 반영하기 위해서 네트워크확장을 위회하는 장점도 존재한다. 링크와 노드로 구성된 가장 최소단위 덩굴망은 3노드와 2링크로 구성되어 있다. 따라서 2개 링크를 인접시키면 U턴으로 표현이 가능하다. 이때 시작 및 도착링크의 사이에 회전지체는 자연스럽게 포함된다.



〈Fig. 2〉 Signalized Intersection Representation: Tree Based (a) and Vine Based (b)

<Fig. 2>는 회전지체를 반영하여 덩굴망으로 4지신호교차로의 회전방향을 전부 나타내면 5노드-8링크가 필요하나 나무는 16노드 20링크로 확장이 요구된다. Kirby and Potts(1969)와 Lee(2004)는 2링크, Choi(1995)는 3노드 덩굴망기반 경로탐색기법을 적용하였다[2-4].

2. 덩굴망기반 Dial 알고리즘과 회전지체

Dial 알고리즘(1971)은 Logit 유형의 확률적 네트워크모형의 해법으로 경로열거 없이 링크통행량의 직접 계산이 가능하다[5]. 기존 Dial 알고리즘은 나무의 최소단위인 1 링크기반의 3단계 연산 -가능성, 가중치, 통행량-을 수행하기 때문에 회전지체는 네트워크 확장개념을 도입해서 표현된다[5]. 따라서 Dial 알고리즘에 덩굴망의 최소단위인 2링크로 3단계 연산의 경우 네트워크를 확장하지 않고 회전지체의 반영이 가능하다[6].

3. Space Syntax Theory를 반영한 덩굴망기반 Dial 알고리즘

Space Syntax Theory (공간구문론)과 보행네트워크모형의 통합은 보행성 평가의 새로운 기준을 제시한다. 보행모형은 보행권역의 이동성, 편리성, 안전성 지표의 정량화를 통해 보행중심축에 대한 판단근거를 제시한다. 공간구문론은 전체 보행공간을 대상으로 공간접근성을 통합도 (Integration)로 정의한다[7-8]. 통합모형은 보행수요가 경험하는 보행성과 통합성을 효과적으로 반영하는 측면에서 최근 연구가 활발하게 진행되고 있다[9-11].

통합모형의 효과적인 구축은 공간구문론과 보행모형의 네트워크 거리기준을 일치시키지 여부에 달려있다. 공간구문론의 시각거리(,Sight Distance)는 보행모형의 물리거리(Metric Distance)의 개념적 차별성이 존재한다. 시각거리는 물리적 제한을 넘어서나 보행에서 물리거리는 통행거리와 시간이 반영되기 때문이다.

Kim and Lee(2016)이 제안한 공간구문론과 나무기반 Dial 알고리즘은 신호횡단보도와 엘리베이터 같이 보행대기시간을 네트워크확장을 통해서 구축하였다[11]. 본 연구는 덩굴망기반 알고리즘[6]을 네

트워크 확장없이 효과적으로 공간구문론과 통합하는 방안을 제시한다.

Ⅱ. 나무기반 및 덩굴망기반 Dial 알고리즘

1. 나무기반 Dial 알고리즘

Dial 알고리즘(1971)은 단일링크를 기반으로 수행된다. Dial 알고리즘의 가정은 "출발지에서 멀어지고 도착지에서 가까워지는 효과적 링크(Efficient Link)"로 구성된 합리적 경로에 대하여 나무(Tree)의 최소단위 링크에 배정하는 방안은 다음의 3단계로 이루어진다[5,11,12].

[단계1] 링크 가능성(Likelyhood) 계산

$$L_{ij}=\begin{cases} e^{\theta(\pi^{rj}-\pi^{ri}-c(ij))} & \text{if } (\pi^{ri}\le\pi^{rj}) \\ 0 & otherwise \end{cases} \quad (1)$$

식(1)은 출발지 r로부터 모든 노드(i)까지 최소통행비용 π^{ri}을 구하고, 모든 노드(i)로부터 도착지 s로까지 최소통행비용 π^{is}를 구하여 링크 가능성 L_{ij} 계산한다. $c(ij)$는 링크비용을 의미한다.

[단계2] 링크 가중치(Weight) 계산

$$w_{ij}=\begin{cases} L_{ij} & \text{if } i=r \\ L_{ij}\sum_{(mi)} w_{mi} & otherwise \end{cases} \quad (2)$$

식(2)는 출발지 r로부터 시작하여 도달하는 링크의 끝노드 순서대로 링크 가중치 $w(ij)$를 계산한다. 여기서 $(mi)\in\Gamma_i^-$로서 Γ_i^-는 i노드가 도착노드인 링크집합을 의미한다.

[단계3] 링크 통행량(Volume) 계산

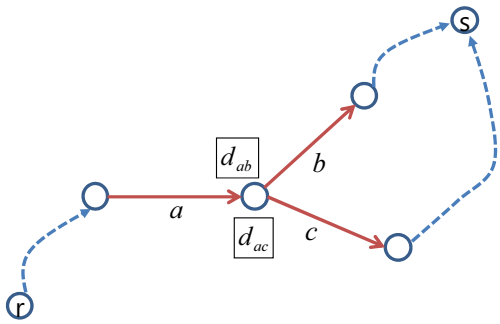
$$x_{ij}=\begin{cases} q_{rs}\dfrac{w_{ij}}{\sum_{(mi)} w_{mj}} & \text{if } j=s \\ \left[\sum_{(jm)} x_{jm}\right]\dfrac{w_{ij}}{\sum_{(mj)} w_{mj}} & otherwise \end{cases} \quad (3)$$

식(3)은 도착지 s로부터 시작하여 역으로 도달하는 링크의 시작노드 순서대로 링크 통행량 x_{ij}를 계산한다. 여기서 x_{rs}는 기점r과 종점s 간의 수요를 의미한다. 여기서 $(jm)\in\Gamma_i^+$, 로서 Γ_i^+는 i노드가 시작노드인 링크집합을 의미한다.

2. 덩굴망기반 Dial 알고리즘

덩굴망(Vine)은 특정노드를 다시 방문하는 것이 가능하며 회전지체에 대한 네트워크확장이 요구되지 않는 구조이다. 덩굴망의 최소단위는 출발지와 도착지와 만나는 최소단위인 2링크(덩굴망)이다. 덩굴망은 네트워크 확장없이 회전지체 표현에 효과적인다. Lee(2004)는 2개의 링크표지 연산을 통하여 교차로에 회전지체 반영방안을 제시하였다[3].

덩굴망기반 Dial 알고리즘은 2개의 링크로 연결된 방향성으로 표현된다. 따라서 기존의 나무기반의 단일링크에 대한 합리적 경로개념이 **"출발지에서 멀어지고 도착지에서 가까워지는 효율적 방향(Efficient Direction)"**의 2개 링크(덩굴망) 개념으로 전환된다[6]. <Fig. 3>는 방향 ab, ac의 합리적 방향을 보여주며 ab에 회전지체 d_{ab}, ac에 d_{ac}가 네트워크 확장없이 고려되고 있다.



〈Fig. 3〉 Directional Delay without Network Expansion

2 인접링크 방향성을 통해서 구현된 덩굴망기반 Dial 알고리즘의 3단계 수행과정은 다음과 같다[6].

[단계1] 방향 가능성(Directional Likelyhood) 계산

$$L_{ab}=\begin{cases}e^{\theta(\pi^{rb}-\pi^{ra}-d_{ab}-c_b)} & \text{if } (\pi^{ra}\le\pi^{rb})\\ 0 & otherwise\end{cases} \quad (4)$$

식(4)는 출발지 r로부터 모든 링크(a)까지 최소통행비용 π^{ra}을 구하고, 모든 링크(b)로부터 도착지 s로까지 최소통행비용 π^{bs}를 구하여 회전가능성 L_{ab} 계산한다. c_b는 링크b의 비용, d_{ab}는 회전ab의 비용을 의미한다.

[단계2] 회전 가중치(Directional Weight) 계산

$$w_{ab}=\begin{cases}L_{ab} & \text{if } a(i,j), i=r\\ L_{ab}\sum_{(ca)} w_{ca} & otherwise\end{cases} \quad (5)$$

식(5)는 출발지 r로부터 시작하여 도달하는 회전된 링크순서대로 링크 가중치 w_{ab}를 계산한다. 여기서 $(ca)\in\Gamma_a^-$로서 Γ_a^-는 a노드가 도착링크 링크집합을 의미한다.

[단계3] 회전 통행량(Directional Volume) 계산

$$v_{ab}=\begin{cases}q_{rs}\dfrac{w_{ab}}{\sum_{(ca)} w_{ca}} & \text{if } b(ij), j=s\\ \left[\sum_{(bc)} v_{bc}\right]\dfrac{w_{ab}}{\sum_{(cb)} w_{cb}} & otherwise\end{cases} \quad (6)$$

식(6)은 종점 s로에서 역으로 회전된 링크의 시작링크순서대로 회전 통행량 v_{ab}를 계산한다. 여기서 $(bc)\in\Gamma_b^+$, 로서 Γ_b^+는 b링크가 시작링크인 링크집합을 의미한다. 이때 링크a 보행량 x_a는 식(7)과 같으며 여기서 $(bc)\in\Gamma_b^+$, 로서 Γ_b^+는 b링크가 시작링크인 링크집합을 의미한다.

$$x_a=\sum_{b\in T_a^+} v_{ab} \quad (7)$$

Ⅲ. Space Syntax Theory의 통합도를 반영한 덩굴망기반 Dial 알고리즘

1. Space Syntax Theory의 통합도〔7〕

특정 공간의 통합도가 크면 그 공간에서 다른 모든 공간으로 이동을 위한 전이단계가 적어서 다른 공간에 비해 “위상학적 중심에 위치함(Integrated) “을 의미한다. 적은 통합도는 다른 모든 공간으로 이동전이단계가 커서 타 공간에 비해 “위상학적 주변에 위치함(Segregated)”으로 이해된다. Space Syntax Theory(공간구문론)은 공간구조를 이해하여 특정공간의 통합도를 분석하는 이론이다.

공간구문론은 공간구조를 분석하기 위해서 축선도(Axial Map)을 구축한다. 축선도는 공간의 시선(Sight)을 기반으로 구축된다. 축선도의 공간표현은 노드(Node)는 단위공간, 연결선(Link)는 공간관계를 의미한다. 깊이(Depth)는 공간관계의 정량화 개념이다. 인접공간 깊이는 1이며, 공간으로 이동시 깊이는 2가 된다. 공간배치로 깊이 값이 결정된다.

개별공간에서 타 공간에 도달하기 위해서는 매개공간을 경유하므로 공간깊이개념에 공간형태의 상대적비대칭성(Relative Asymmetry: RA) 개념이 도입된다.

$$RA=\frac{2(MD-1)}{K-2} \quad (8)$$

여기서, RA는 상대적 비대칭성, MD는 공간의 평균 깊이, K는 분석대상 공간의 총 개수를 의미한다.

RA값은 분석대상 공간의 총 개수에 영향을 받게 되므로 이 영향을 배제하기 위하여 실질적상대적 비대칭성(Real Relative Asymmetry : RRA) 개념을 도입한다.

$$RRA=\frac{RA}{D_k} \quad (9)$$

여기서, RRA는 비균제율, k는 공간 수, D_k는 보정계수로서 $D_k = \frac{(6.644k^*\log(k+2)-5.17k+2)}{(k-1)(k-2)}$.

RRA의 역수가 통합도(Integration)로서 통합도가 0.4 - 0.6 이면 공간이 분리성이, 1보다 크면 공간들의 통합성이 크다[8].

$$I = \frac{1}{RRA} \tag{10}$$

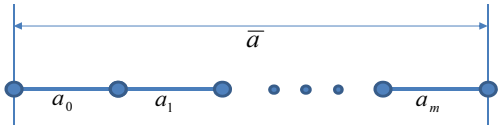
여기서, I : 통합도, RRA : 실질적상대적비대칭성을 의미한다.

2. 축노드와 보행네트워크 회전지체

공간구문론에서 축노드(Axial Node)는 시각이 도달하는 거리이다. 하나의 축노드는 복수의 물리적 링크를 포함한다. 동일 축노드에서 신호횡단보도와 같이 대기시간이 발생하는 링크는 공간분리 방안이 필요하다. 나무기반 Dial 알고리즘은 네트워크 확장을 통하여 대기시간을 반영한다. 이를 개념적으로 표현하면 다음과 같다.

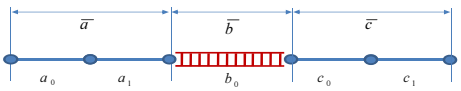
$\bar{A}$는 축노드 $\{\bar{a},\bar{b},\bar{c}...\}$로 구성된 축노드집합, A는 링크 $\{a,b,c...\}$로 구성된 링크집합으로 정의하면 보행네트워크에서 동일 축노드 $\bar{a}$에 연결된 모든 링크는 동일한 통합도 $\xi_{\bar{a}}$값을 갖는다[10].

$$\xi_{\bar{a}} = \xi_{a_0} = \xi_{a_1} = \cdots = \xi_{a_m} \tag{11}$$



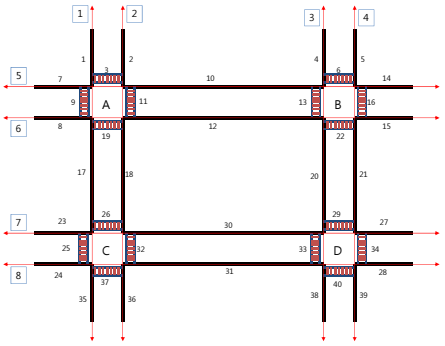
〈Fig. 4〉 An Axial node and Multiple Metric Links〔10〕

<Fig. 6>은 개별 축노드에 신호횡단보도가 있어 보행자가 대기시간이 존재하는 경우 축노드를 분리해서 표현한다. 링크 b_0를 신호횡단보도와 축노드, $\bar{b}$로 산정하여 3 축노드 $\bar{a}=(a_0,a_1)$, $\bar{b}=(b_0)$, $\bar{c}=(c_0,c_1)$로 분리되어 3 통합도 $\xi_{\bar{a}} \neq \xi_{\bar{b}} \neq \xi_{\bar{c}}$로 구분된다[10].

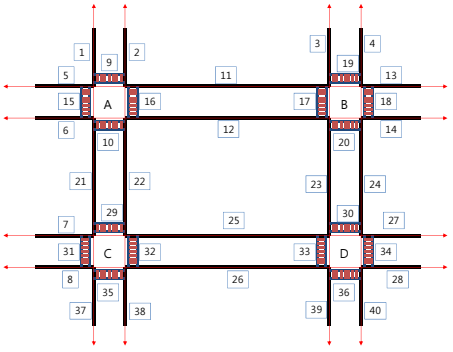


〈Fig. 5〉 Three Axial Nodes and Five Metric Link Separated by A Signalized Crosswalk〔10〕

도시 보행네트워크에서 신호횡단보도가 포함되면 공간구문론 분석에 요구되는 축노드가 증가된다. <Fig. 6> 4지 신호교차로에서 신호횡단보도를 별도 축노드로 반영하지 않으면 8 축노드에 40 무방향성 링크(Undirectional Links), <Fig. 7>은 신호횡단보도를 별도의 축노드로 반영하면 40 축노드에 40 무방향성 링크로 구축됨을 나타낸다.



〈Fig. 6〉 8 Axial Nodes and 40 Undirectional Links



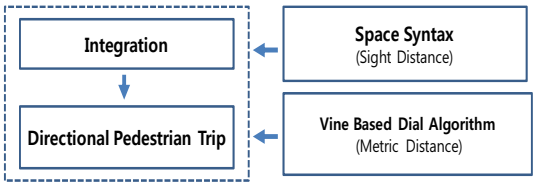
〈Fig. 7〉 40 Axial Nodes and 40 Undirectional Links

따라서 나무기반 Dial 알고리즘과 같이 네트워크 확장을 통해서 대기시간을 반영하는 경우 축노드와

확장링크의 매칭은 어려운 상황을 도출한다. 특히 건물내부 및 외부, 보행 및 차량의 공존하는 보행로는 네트워크 확장은 더욱 어려워진다.

3. 공간구문론을 반영한 덩굴망기반 Dial 알고리즘

본 연구는 네트워크의 확장을 억제하는 덩굴망기반 Dial 알고리즘을 적용하여 Logit유형의 확률적 보행네트워크모형의 해법으로 적용한다. <Fig. 8>은 공간구문론의 통합도를 반영하여 덩굴망기반 Dial 알고리즘으로 보행수요를 배정하는 과정을 나타내고 있다. 공간구문론은 시각거리를 기반으로 통합도를 구축하고 덩굴망기반 Dial 알고리즘으로 방향별 보행량을 산정한다.

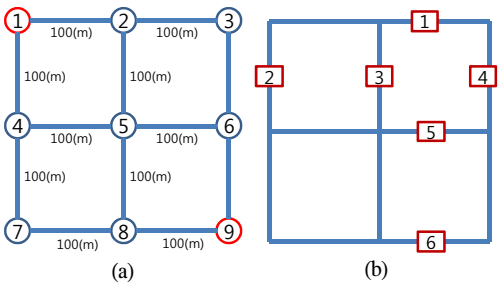


〈Fig. 8〉 Integration of Space Syntax Theory and Vine Based Dial ALgorithm

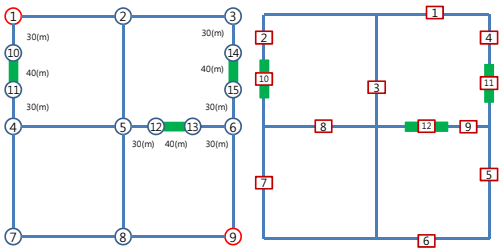
Ⅳ. 사례연구

공간구문론의 통합도 산출과 덩굴망기반 Dial 알고리즘은 “Visual Studio 2012”의 C++, Microsoft Foundation Class (MFC), Standard Template Library (STL)로 구축되었다.

여기서는 토이네트워크를 통해 덩굴망 알고리즘의 구동성을 확인하는 작업을 보여준다. <Fig. 9>와 <Fig. 10>은 각각 대안1, 2를 나타낸다[11]. 대안1은 100m의 12개 링크와 6개 축노드로 구성된다. 대안2는 40m의 3개 횡단보도를 추가하여 18개 링크와 12개 축노드로 구성된다. 대안1과 대안2는 동일한 가정을 포함하며, 보행수요 ①-⑨ 1000(명), 보행속도 1(m/sec), 횡단보도대기시간 60(초), 횡단보도 차량통과대수 2,000/(hr), Dial 알고리즘 확률계수 1.0을 적용한다.



〈Fig. 9〉 Alternative 1: 12-Links and 6 Axial Nodes〔11〕



〈Fig. 10〉 Alternative 2:18-Links and 2-Axial Nodes with 3-Crosswalks〔11〕

우선 <Table 1-2>는 대안 1에 대하여 공간구문론을 반영한 덩굴망 Dial 알고리즘의 수행결과를 나타내고 있다. <Table 1>은 링크의 통합도와 통행량을 보여주고 있다. <Table 2>는 덩굴망기반 Dial 알고리즘의 3단계 수행과정을 나타내고 있다.

〈Table 1〉 Link Integration and Volume of 〈Fig. 10〉 Network

Link	Integration	Volume
1 2	7.369	500.0
1 4	7.369	500.0
2 3	7.369	166.7
2 5	7.369	333.3
3 6	7.369	166.7
4 5	7.369	333.3
4 7	7.369	166.7
5 6	7.369	333.3
5 8	7.369	333.3
6 9	7.369	500.0
7 8	7.369	166.7
8 9	7.369	500.0

〈Table 2〉 Directional Likelyhood, Weight, Volume of 〈Fig. 10〉 Network

Direction	Likelyhood	Weight	Volume
1 2 3	1.0000	1.0000	166.667
1 2 5	1.0000	1.0000	333.333
1 4 5	1.0000	1.0000	333.333
1 4 7	1.0000	1.0000	166.667
2 3 6	1.0000	1.0000	166.667
2 5 4	1.0000	1.0000	0.000
2 5 6	1.0000	1.0000	166.667
2 5 8	1.0000	1.0000	166.667
3 6 5	1.0000	1.0000	0.000
3 6 9	1.0000	1.0000	166.667
4 5 2	1.0000	1.0000	0.000
4 5 6	1.0000	1.0000	166.667
4 5 8	1.0000	1.0000	166.667
4 7 8	1.0000	1.0000	166.667
5 6 9	1.0000	2.0000	333.333
5 8 7	1.0000	2.0000	0.000
5 8 9	1.0000	2.0000	333.333
7 8 5	1.0000	1.0000	0.000
7 8 9	1.0000	1.0000	166.667
8 7 4	1.0000	2.0000	0.000

〈Table 3〉 Link Integrations and Volumes of 〈Fig. 11〉 Network

Link	Integration	Volume
1 2	5.487	731.8
1 10	3.754	268.2
2 3	5.487	211.9
2 5	6.485	519.8
3 14	4.196	211.9
4 5	5.487	113.3
4 7	5.487	154.9
11 4	5.487	268.2
5 12	5.487	211.9
5 8	6.485	421.2
6 9	5.487	423.9
13 6	3.754	211.9
15 6	5.487	211.9
7 8	6.485	154.9
8 9	6.485	576.1
10 11	4.196	268.2
12 13	4.196	211.9
14 15	4.196	211.9

〈Table 4〉 Directional Likelyhood, Weight, Volume of 〈Fig. 10〉 Network

Direction	Likelyhood	Weight	Volume
1 2 3	1.0000	1.0000	211.939
1 2 5	1.0000	1.0000	519.849
1 10 11	1.0000	1.0000	268.212
2 3 14	1.0000	1.0000	211.939
2 5 4	1.0000	1.0000	0.000
2 5 12	1.0000	1.0000	211.939
2 5 8	1.0000	1.0000	307.910
3 14 15	1.0000	1.0000	211.939
4 5 2	1.0000	1.0000	0.000
4 5 8	0.3679	0.3679	113.271
5 4 11	1.0000	1.0000	0.000
4 7 8	1.0000	1.0000	154.941
4 11 10	1.0000	1.0000	0.000
11 4 5	1.0000	1.0000	113.271
11 4 7	1.0000	1.0000	154.941
5 12 13	1.0000	1.0000	211.939
5 8 9	1.0000	1.0000	421.181
6 9 16	0.3679	0.7357	423.878
6 13 12	1.0000	1.0000	0.000
13 6 9	1.0000	1.0000	211.939
13 6 15	1.0000	1.0000	0.000
6 15 14	1.0000	1.0000	0.000
15 6 9	1.0000	1.0000	211.939
15 6 13	1.0000	1.0000	0.000
7 8 5	1.0000	1.0000	0.000
7 8 9	0.3679	0.3679	154.941
8 9 16	1.0000	1.0000	576.122
10 11 4	1.0000	1.0000	268.212
12 13 6	1.0000	1.0000	211.939
13 12 5	1.0000	1.0000	0.000
14 15 6	1.0000	1.0000	211.939
15 14 3	1.0000	1.0000	0.000

<Table 3-4>는 대안2에 대하여 공간구문론을 반영한 덩굴망 Dial 알고리즘의 수행결과이다. <Table 3>은 링크 통합도와 통행량을, <Table 4>는 덩굴망기반 Dial 알고리즘의 3단계 수행과정 보여주고 있다. 대안1과 비교하여 링크 통합도는 전체적으로 감소하여 보행중심축 측면에서 횡단보도의 추가로 접근성이 떨어짐을 나타낸다. 대안2의 통합도가 가장 높은 링크는 2-5, 5-8, 7-8, 8-9의 6.846로 보행중심축으로 결정하는데 가장 적합하다. 링크 7-8을 제외하고 2-5, 5-8, 8-9에서 보행통행량이 증가하였다.

<Tabel 5-6>은 수요가 반영된 4가지 보행성 평가

지표의 수치를 보여주고 있다. <Table 5>는 공간구문론의 링크 통합도를 보행수요가 경험한 평균링크 통합도로서 대안1이 대안2에 비하여 보행에 적합한 네트워크구조로 되어있음을 보여주고 있다.

<Table 6>는 보행평가모형으로 구축된 보행성 지표를 보여주고 있다. 대안2는 대안1에 비하여 보행거리는 동일하나, 신호횡단보도에 의한 평균보행시간이 길어졌으며, 차량과 만나는 회수가 잦아짐을 나타내고 있어 이동성 및 안전성 측면에서 떨어짐을 나타내고 있다.

〈Table 5〉 Walkability Index: Link Integration by Space Syntax Theory

Division	Alt. 1	Alt. 2
Average Integration (Integration/person)	7.37	5.43

〈Table 6〉 Walkability Index: Link Mobility and Safety by Pedestrian Network Model

Division	**Alt. 1**	**Alt. 2**
Average Distance (km/person)	0.40	0.40
Average Walking Time (minutes/person)	6.67	7.36
Average Vehicle Confliction (# of vehicles /person-minute)	0.00	7.69

V. 결 론

Dial 알고리즘은 경로열거 없이 링크 보행량을 도출하는 장점을 지니고 있다. 그러나 기존의 나무기반 Dial 알고리즘은 신호횡단보도와 같이 대기시간를 고려하는 경우 네트워크확장이 불가피하다. 도시부 도로의 보행성의 판단은 복합적으로 구축된 역사와 주변건물이 보행과 차량통행을 동시에 반영하는 상황이다. 따라서 회전지체를 반영하기 위하여 네트워크를 확장하는 방안은 수작업의 어려움이 따른다. 특히 공간구문론의 통합도를 반영하는 나무기반 Dial 알고리즘을 위한 사전 네트워크구축에 있어서는 더욱 어려움이 가중된다. 기존에 제안된 나무기반(Tree Based) Dial 알고리즘과 공간구문론의 통합은 신호대기가 존재하는 교차점에서 네트워크의 변형이 수반되는 상황의 발생을 피하기 어렵다[11].

본 연구는 덩굴망기반(Vine Based)을 Dial 알고리즘의 적용하여 공간구문론의 반영을 위한 보행네트워크의 단순성을 확보하는 방안을 마련하였다[6]. 특히 신호횡단보도와 같이 방향지체가 발생하면 네트워크 확장이 요구되지 않도록 가시거리와 물리거리를 효과적으로 통합하는 방안을 마련하였다. 사례연구를 통하여 덩굴망 3단계 연산에서 링크통합도와 링크보행량이 도출되는 과정과 통합모형의 해석을 대안을 통하여 비교하였다.

본 연구는 보행과 차량이 공존하는 도시부의 복합건물과 주변지역의 보행성 평가를 위해서 활용될 있다. 그러나 토이네트워크에 한정하여 모형의 수행과정을 예시한 측면에서 분명한 한계가 있다. 향후 연구방향은 실무에서 보행성 평가위한 모형으로 적용되기 위한 다양한 현장적용 방안이 적절하다.

REFERENCES

[1] Thomas K.(1991), “Traffic Assignment Technique,” *Avebury Technical Academic Publishers Group.*

[2] Kirby R. F. and Potts R. B.(1969), “The Minimum Route Problem for Networks with Turn Penalties and Prohibitions,” *Transportation Research,* vol. 3, pp.397-408.

[3] Lee M.(2015), “Transportation Network Models and Algorithms Considering Directional Delay and Prohibitions for Intersection Movement,” *Ph.D. Thesis, University of Wisconsin at Madison.*

[4] Choi K.(1995), "Network Representation Schemes for U-TURN and Implementation in the Vine-Based Dijkstra Shortest Path Algorithm," *Journal of Korean Society of Transportation,* vol. 13, no. 3, pp.35-52.

[5] Dial R. B.(1971), “A Probabilistic Multipath Traffic Assignment Algorithm which Obviates Path Enumeration,” *Transportation Research,*

vol. 5, pp.83-111.
[6] Shin S., Baek N. and Kim J.(2016), “Revisit to Dial Algorithm for Considering Turn Penalty," *Submitted to Journal of Korea Institute of Intelligent Transport Systems.*
[7] Kim Y.(2000), “A Study on the Relationship between Spatial Configuration and Spatial Cognition,” *Architectural Institute of Korea,* vol. 16, no. 10, pp.37-44.
[8] Hillier B. and Hanson A.(1984), “The Social Logic of Space," *Cambridge University Press.*
[9] Lee M.(2014), “Walkability Evaluation Model for Local Walking Areas," *Korea Research Institute for Human Settlements.*
[10] Lee M., Kim J. and Kim E.(2015), “A Pedestrian Network Assignment Model Considering Space Syntax," *Journal of Korea Institute of Intelligent Transport Systems,* vol. 14, np. 6, pp.37-49.
[11] Kim J. and Lee M.(2016), “Integration of Space Syntax Theory and Logit Model for Walkability Evaluation in Urban Pedestrian Networks," *Journal of Korea Institute of Intelligent Transport Systems,* vol. 15, pp.62-70.
[12] Sheffi Y.(1985), “Urban Transportation Network," *Prentice-Hall.*

저자소개

김 종 형(Kim, Jong Hyung)
2000년 : 서울시립대학교 도시공학과 교통공학박사
2003년 4월~현 재 : 인천발전연구원 교통물류실 연구위원
2000년 9월~2003년 4월 : 한국교통연구원 책임연구원
e-mail : knight9@idi.re.kr

이 미 영(Lee, Mee Young)
2004년 : University of Wisconsin-Madison 토목환경공학과 교통공학박사
2006년 8월~현 재 : 국토연구원 국토계획 · 지역연구본부 책임연구원
e-mail : mylee@krihs.re.kr

남 두 희(Nam, Doo Hee)
1996년 : University of Washington 교통공학박사
1997년~1999년 : Washington State Dept. of Transportation
2000년 1월~2006년 8월 : 한국교통연구원 책임연구원
2006년 8월~현재 : 한성대학교 정보시스템공학과 교수
e-mail : doohee@hansung.ac.kr