

복잡계 네트워크를 활용한 건설분야 미래 주요키워드 분석

Analysis of foresight keywords in construction using complexity network method

정 철 우 ■ Jeong, Cheol-woo

정회원, KIST, 선임연구원

김 재 준 ■ Kim, Jae-Jun

정회원, 한양대학교, 교수(교신저자)

Abstracts

Today, rapid changes in technologies and everyday lives due to the Internet make it is difficult to make predictions about the future. Generally, the best way to predict the future has been proposed by experts. Although expert opinions are very important, they are liable to produce incorrect results due to human error, insufficient information regarding future outcomes and a state of connectedness between people, among other reasons. One of the ways to reduce these mistakes is to provide objective information to the experts. There are many studies that focus on the collection of objective material from papers, patents, reports and the Internet, among other sources. This research paper seeks to develop a forecasting method using World Wide Web search results according to the Google search engine and a network analysis, which is generally used to analyze a social network analysis(SNA). In particular, this paper provides a method to analyze a complexity network and to discover important technologies in the construction field. This approach may make it possible to enhance the overall performance of forecasting method and help us understand the complex system.

Keywords

Complexity Network, Foresight

키워드

복잡계 네트워크, 미래예측

1. 서론

1.1 연구의 필요성 및 목적

최근 국가경쟁력을 강화하기 위하여 국가 과학현제, 과학기술분야의 국가연구개발사업이나 기술들은 기술의 중요도, 시급성, 파급효과 등의 다양한 기준에 따라 전문가 평가에 의해 우선순위가 도출되고, 도출된 사업이나 과제들은 국가의 정책 및 전략에 따라 우선순위가 결정되어 다양한 형태로 시행되고 있다.

또한, 글로벌화가 진전되고 연구개발 분야와 규모가 커지면서 국가 경쟁력 차원에서 과학기술은 매우 중요한 역할을 담당하게 되었다. 특히, 미래를 예측하여 중요 과학기술들을 선별 및 발굴하는 작업은 중요한 이슈가 되고 있으며, 이와 관련된 정부부처의 역할과 연구들이 중요한 테마가 되는 실정이다. 또한, 정부 및 단체에서는 한정된 자원과 인력을 어떻게 투자 및 관리할 것인가에 대해서 미래예측과 관련하여 많은 관심이 쏠려 있다.

이러한 미래를 예측하는 방법들은 대부분 전문가의 정성적인 의견과 평가에 의해 이루어지고 있으며, 객관적인 방법론들에 대한 연구와 투자는 아직까지 초기단계에 머무르고 있는 실정이다.

그중 전문가에 의한 정성적인 미래예측방법은 매우 중요한 요소로 인정되어 왔으나, 전문가들의 경향, 정치적 요소, 인맥 관계 등의 다양한 요소에 의해 일부 편향적인 의견이나 주장이 반영되고 있는 실정이며, 또한, 전문가들의 평가도 객관적인 자료가 부족하여 미래를 예측할 경우 오류와 많은 어려움을 겪고 있는 실정이다.

따라서, 과학기술분야의 미래 예측시 전문가의 객관적인 의견과 평가가 이루어지도록 좀 더 구체적이고 객관적인 데이터와 자료를 제공하는 방법이 중요한 이슈로 떠오르고 있으며, 특히 기존의 논문, 특허 등 다양한 소스를 어떻게 객관화할 것인가에 대한 방법과 연구가 활발히 진행되고 있다.

본 연구에서는 미래예측시 전문가들의 정성적인 의견과 평가를 보조할 수 있는 정량적이고 객관적인 자료를 도출하기 위하여, 인터넷과 네트워크기법 및 텍스트마이닝기법을 활용한 방법을 제시하고자 한다.

1.2 선행 연구

일반적으로 미래를 예측하는 정성적인 방법 중 대

표적인 시나리오(Kahn Herman, 1967)기법은 분류기준에 따라 다양한 미래의 모습을 보여주지만 의사결정을 위한 세부적인 내용은 잘 표현하지 못하므로 주로 다른 기법들과 혼용하여 사용되고 있다. 이 외에도 정성적인 방법으로 내·외부 환경 분석 방법인 SWOT, 토론 중에 얻은 지식이나 정보를 통하여 미래를 예측하는 전문가 패널(Keenan, 2004), 나무의 가지처럼 미래의 유형을 구조화하는 기법인 의사결정나무(Sonquist & Morgan, 1964) 등이 있다. 또한, 정량적인 통계기법을 사용하는 델파이(RAND, 1949)기법은 전문가의 합의에 의해 불분명한 미래를 예측하는 방식으로 현재까지 가장 많이 활용되고 있으며, 이를 보완한 교차영향분석(Gordon & Helmer, 1996), 리얼타임델파이(Gordon & Pease, 2006) 등이 있다. 또한, 과거의 데이터를 이용하여 추세를 분석하는 추세외삽법, 쌍대비교를 통한 우선순위를 도출하는 쌍대비교(Saaty, 1970)기법 등이 있다.

그러나 위와 같은 정성적인 방법들은 사전정보가 부족한 미래를 예측할 수 있는 장점이 있는 반면 미래를 예측할 수 있는 사전정보의 부족과 전문가들의 경향, 정치적 요소, 인맥 관계 등의 다양한 요소에 의해 편향적인 예측결과를 초래하기도 한다(최합섭, 2007). 또한, 수학적, 통계적 기법을 활용하여 과거 데이터를 이용한 선형적 분석기법인 추세외삽법은 새로운 변수의 추가 및 다양한 변수에 의해 예측력이 떨어지고 특정한 상황 및 조건(불연속적인 변화)에 대하여 예측이 빗나가기 쉽다(이세준 외, 2008). 쌍대비교(AHP : Analytic Hierarchy Process)기법은 의사결정에 필요한 변수들을 1:1로 매칭(matching)시켜 상대적인 중요도를 평가하여 변수들의 우선순위를 판별할 수 있으나, 현재의 추세를 반영하는 것은 어렵다.

정량적인 예측방법에는 일반적으로 과거의 자료를 바탕으로 미래를 예측하는 기법인 추세외삽법과 두 변수간의 쌍대비교를 통해 우선순위를 도출하는 AHP(Saaty, 1970) 등이 있다. 또한, 통계를 활용하는 정량적인 방법에는 델파이(RAND, 1949)와 교차영향분석(Gordon & Helmer, 1996)이 있으며, 이러한 기법들은 전문가의 합의에 의해 불분명한 미래를 예측하는 방식이다. 현재, 각 국가와 기관에서 가장 많이 사용하는 과학기술 예측조사 방법은 델파이 기법과 시나리오 기법이다.

델파이조사는 1948년 미국의 국방연구소인 RAND 연구소에서 개발되어 군사, R&D, 교육 분야 등 다양

표 1. 주요 예측방법의 장단점 비교

방법론	특징	장점	단점
델파이 기법	<ul style="list-style-type: none"> 주어진 예측과제에 대한 전문가들의 의견을 수렴하여 미래를 예측하는 방법 통계 분석방법으로 대부분 국가에서 사용하고 있음. 	<ul style="list-style-type: none"> 자료 부족 및 거의 없을 때 미래 예측 방법 중앙값을 이용하여 예측시 기 등이 수치로 도출 익명성과 독립성으로 참여자의 자유로운 의견 개진 	<ul style="list-style-type: none"> 전문가 풀의 선정과 유지에 많은 시간과 노력이 필요 최소 2회이상의 설문조사와 6개월이상이 소요되며, 많은 비용소모 예측항목간 존재하는 상호관계를 무시
교차영향 분석	<ul style="list-style-type: none"> 델파이기법처럼 수치적인 결과를 도출하는 방법으로 델파이의 단점인 예측 항목간 존재하는 상호 관계를 고려 시나리오를 작성하고 시나리오 간 교차분석이 가장 많이 활용 	<ul style="list-style-type: none"> 예측항목간 존재하는 상호 관계를 구조화함 상대적으로 계산이 용이하고 시각적으로 쉽게 파악 할 수 있음. 	<ul style="list-style-type: none"> 사전에 델파이조사를 실시 하여야함.
시나리오 기법	<ul style="list-style-type: none"> 미래에 발생할 수 있는 개연성이 높은 시나리오를 제시하는 방법 정성적인 분석방법으로 중장기 미래예측에 사용됨. 	<ul style="list-style-type: none"> 대안적인 미래 제시 다른 기법하고 결합 시 다양한 용도로 활용이 가능함. 	<ul style="list-style-type: none"> 세부적인 기술에 대한 접근이 용이하지 않음. 의사결정과 실행을 위한 자료로써 미흡함

한 분야에서 활용되고 있다. 델파이기법은 예측할 수 있는 자료가 부족하거나 거의 없을 때 전문가의 직관에 의해 합의점을 도출하는 방식을 말한다. 즉, 익명의 전문가들의 설문조사를 통해 반복적인 피드백을 통해 미래에 대한 자료를 수집하는 방법이다. 현재, 리얼타임델파이(Gordon & Pease, 2006)가 등장하면서 다양한 형태의 델파이조사 방법이 개발되고 있다. 조사방법은 여러 전문가들을 대상으로 한 조사(survey)를 통해 어떤 기술의 실현시기를 주관적으로 예측하고, 예측한 값의 중앙값을 이용하여 예측하는 통계학적 방법이다. 대부분의 국가 미래 예측시 많이 사용하는 방법이다. 그리고 시나리오기법은 전문가들에 의해 주어진 변수에 따라 다양한 미래의 모습을 예측하는 방식이며 장기적인 미래의 모습을 담을 수 있다. 그러나 이러한 방법은 거시적인 모습을 잘 설명하는 반면에 의사결정을 위한 세부적인 내용들은 기술되지 않는다.(Mats Lindgren & Hans Bandhold, 2002)

2. 연구범위 및 방법

2.1 연구개요 및 프로세스

네트워크의 중심성을 분석하기 위해서는 노드간의 어떤 상호연관관계가 필요하다. 그러나, 현재까지 기술간 상호연관관계는 결정하기 위하여 일반적으로 전문가들의 정성적인 평가에 의해 결정되었다. 따라서, 본 연구에서는 정량적인 상호연관관계를 분석하기 위하여, 현재 기술들이 인터넷에 얼마만큼 노출된 정도(인터넷에 노출된 검색 결과값)에 따라 네트워크간의 상호관계를 결정하게 된다.

또한, 이렇게 작성된 네트워크는 노드갯수 n 에 대해 $n(n-1)$ 만큼 링크수가 존재하기 때문에 네트워크 구조 분석시 링크가 너무 많아 중심성 분석에 많은 어려움이 있으며 시각적으로 표현하는데 한계가 있다. 따라서, 본 연구에서는 전체 네트워크에서 중요한 역할을 담당하는 링크만을 남겨두고 나머지를 제거하는 방법으로 간략화 및 최적화 방법을 활용하여 네트워크를 구성하였다.

연구범위는 2010.2월에 발표된 과학기술 미래비전의 내용중 건설분야와 관련된 내용을 연구대상으로 선정하였다. 특히, 4대분야(자연과 함께하는 세상, 풍요로운 세상, 건강한 세상, 편리한 세상)에서 건설과 관련된 편리한 세상의 6대 트렌드 중 건설분야의 관련된 6개중 2개의 트렌드에서 기술들을 선정하였다.

- 복합공간과 생태도시 개발 기술은 육상 공간의 과밀화와 생활 패턴 변화 등에 대응하기 위해서 점차 그 중요성이 높아질 것이다.

- 새로운 물류·운송 수단의 등장으로 교통수단의 효율성이 증대되어 이동 시간이 단축되고 생활권이 확대될 것이다.

2.2 연구방법

(1) 검색엔진을 활용한 연구방법

인터넷이 급속히 증가하면서 인터넷에는 수많은 데이터들이 넘쳐나고 있으며, 1999년에는 약 3천만개의 웹사이트가 있는 것으로 조사되었으며, 2007년도에는 약 1억개, 현재에도 기하급수적으로 증가하고 있다. 이렇게 기하급수적으로 증가한 인터넷의 실시간 데이터나 중요한 정보를 찾기 위하여 우리는 많은 시간과

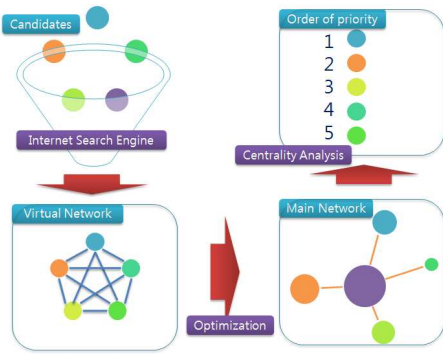


그림 1. 연구 프로세스

노력을 필요로 하게 되었다. 이로 인해 인터넷 데이터를 활용하여 우리가 필요로 하는 정보를 어떻게 도출할 것인가에 대한 많은 연구가 진행되고 있으며, 텍스트 마이닝, 검색엔진, 로봇 등의 다양한 기법들이 도입되고 있으며 현재 많은 연구가 진행되고 있다.

네트워크분야에서도 IT(information technology)기술과 인터넷을 활용한 새로운 방법들이 도입되기 시작하였으며, 일부 연구에서는 인터넷의 방대한 데이터를 활용하여 데이터 마이닝, 텍스트 마이닝, 검색엔진을 이용한 방법 등이 연구되고 있다. 예를 들면, 2008년 구글에서는 미국의 109대 상원선거에서 기존의 출구조사를 한 결과와 구글의 검색결과로 분석한 결과가 유사한 것으로 알려지므로 인터넷의 유용성에 대한 연구가 활발하게 진행되고 있다.

본 연구에서도 인터넷의 다양한 정보(웹페이지, 논문검색, 특허검색, 블로그 등)를 검색결과값을 빈도수로 산정하였다. 특히, 여기에 사용되어진 구글 검색엔진은 페이지랭크(page rank)라는 알고리즘(algorithm)을 통해 구현되었으며, 웹페이지에 연결된 하이퍼링크를 수에 따른 가중치를 분석하여 검색 결과값으로 표현한 일종의 네트워크 알고리즘으로 만들어진 검색엔진이다.¹⁾ 이렇게 구현된 검색엔진은 기존의 검색엔진과 달리 임의로 검색결과를 조작하기 어려워 검색결과에 대한 신뢰성이 높은 것이 특징이다. 최근 구글에서는 Open API(application programming interface)를 제공하여 논문검색사이트, 특허검색사이트, 구글 사진 등을 제공하여 다양한 목적을 위해 사용하게끔 공개되어 있다. 일반적으로 API는 운영체제나 언어가 어떤 기능을 제어할 수 있도록 제공하는 인터페이스였으나, 웹 2.0에서는 웹의 특정한 서비스를 이용하도록 제공하는 인터페이스로 개념이 확장되고 있는 개념이다.

1) <http://www.wikipedia.org> 참조

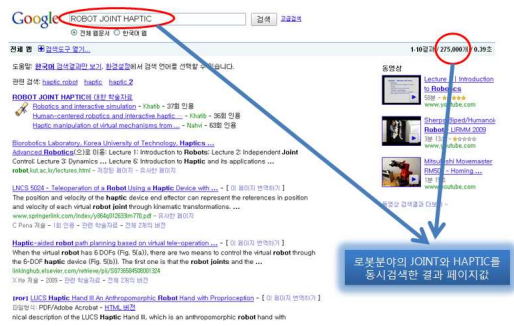


그림 2. 구글검색 결과값

(2) 복잡계 네트워크

네트워크 분석에서는 근본적으로 네트워크에서 노드간의 연관관계에 따른 노드의 역할이 네트워크에 어떤 역할을 담당하거나 어떤 영향을 미치는 것을 파악하는 것이 중요하다. 일반적으로 네트워크의 중심을 분석하기 위하여 중심성 분석(Centrality Analysis)을 실행하며, 이 분석은 노드가 중심에 어느정도 근접한가를 표현하는 방법이다. 사회과학분야에서는 네트워크의 중심에 대한 중요성은 1940년 미국 MIT의 알렉스 바베라스(Alex Bavelas)와 해롤드 리빗(Harold Leavitt)의 실험에서 스타형과 Y형의 스타일을 가진 네트워크가 문제해결과 즉각적 시행적인 측면에서 우수하다는 연구결과가 발표되면서, 네트워크의 중심분석에 대한 연구를 촉발시키는 계기가 되었다. 1984년 브래스(Brass)는 중심에 위치하는 행위자는 집단체 내 파워가 강하다고 발표하였으며, 1993년 아이바라(Ibarra)는 중심이 개인적인 혁신이 용이하기 이루어진다고 발표하였으며, 같은해 프라이드킨(Friedkin)은 중심의 의사결정에 중요한 영향력을 미친다고 발표하였다. 따라서, 네트워크에서 노드의 중심을 어떻게 분석하는 것이 중요한 이슈가 되고 있으며, 본 연구에서는 중심성 분석(Centrality Analysis)을 통해 네트워크의 중요성을 분석하였다.

네트워크의 중심성 분석방법은 각각의 행위자를 표현하는 노드와 상호 연관관계를 의미하는 링크에 네트워크를 구성하게 되어있으며, 이들의 상호관계를 규명하는 것이 중요하다. 특히, 어떤 노드가 허브역할을 하는지, 어떤 노드가 중계자의 역할을 하는지 등의 중심에 대한 해석이 가장 중요하며, 전체 네트워크에서 각각의 노드들에 대한 역할, 위치, 특성, 영향력을 파악하는 것이 중요하다. 또한, 네트워크내에서 노드들의 상대적 위치나 절대적 위치를 파악하는데 유용하게 활용할 수 있다.

일반적으로 중심성을 분석하는 방법은 한 점에 연결된 다른 점들의 수를 측정하는 연결정도중심성(Degree Centrality), 한 점이 다른 노드들간의 네트워크를 구축하는데 중계자 혹은 브릿지 역할을 측정하는 매개중심성(Betweenness Centrality), 한 점에서 다른 점에 얼마만큼 가깝게 있는가(distance)를 측정하는 근접중심성(Closeness Centrality)이 있다.

연결정도중심성(Degree Centrality)은 한 노드에 이웃한 모든 노드들과의 링크를 수를 측정하여 하나의 노드에 얼마나 많은 링크가 연결되어 있는가를 나타내는 지표로써, 허브역할을 담당하는 노드를 찾는 방법으로 활용되고 있다.

$$\text{상대적 연결정도} = \frac{\text{연결정도}}{(\text{네트워크내 전체 점의 수} - 1)}$$

매개중심성(Betweenness Centrality)은 네트워크 내에 한 노드가 매개자나 중계자의 역할을 담당하는 노드를 찾는 방법으로, 연결정도가 많고 적음에 상관없이 두 네트워크간 혹은 그룹간의 중재역할을 하는 노드를 찾는 방법으로 정보유통이나 소통역할을 담당한다.

상대적 매개중심성

$$= \frac{\text{두 노드사이에 경유하는 노드의 횟수}}{(g-1)(g-2)/2}$$

※ $(g-1)(g-2)/2$: 최대 가능한 매개중심성 횟수

※ 범위: $0 \leq \text{매개중심성} \leq 1$

근접중심성(Closeness Centrality)은 네트워크에서 각 노드간의 거리의 개념을 이용하여 최단거리의 합을 이용하여 전체 네트워크에서 가장 중심이 되는 노드를 찾는 방식으로, 모든 노드로부터 가장 짧은 거리에 있는 노드이다(전체 네트워크에서 정보, 권력, 영향력, 사회적 지휘를 확보와 접근이 쉬운 노드를 찾을 수 있음)

$$\text{상대적 인접중심성} = \frac{(\text{노드수} - 1)}{(\text{두노드간 거리의 합})}$$

※ 범위: $0 \leq \text{근접중심성} \leq 1$

대규모 네트워크 구조 분석시 노드와 링크가 너무 많아 노드와 링크에 대한 분석에 많은 어려움이 있으

며 시각적으로 표현하는데 한계가 있어, 전체 네트워크에서 중요한 역할을 담당하는 링크만을 남겨두고 나머지를 제거하는 방법으로 네트워크의 간략화 및 최적화하는 방법을 사용한다. 일반적으로, 방향성이 없고 모든 링크가 연결된 네트워크에서의 최적화 방법은 다양하나, 일반적으로 알려진 방법들은 절대기준 방식, 최근접이웃 방식(Nearest Neighbor Graph : NNG), 최소비용 신장트리(Minimum Spanning Tree : MST), 패스파인더방식(Pathfinder : PFNet)이 있으며, 현재까지 패스파인더방식이 최적화 알고리즘으로 효율성이 좋은 것으로 알려져 있다.

패스파인더방식¹⁾(Pathfinder : PFNet)은 방향성이 없고, 모든 링크가 연결된 가중치를 가지고 있는 네트워크에서 삼각부등식(Triangel inequality)을 위반하는 경로를 제거하는 방식으로 Schvaneveldt, R. W. (Ed.) (1990)에 처음 개발되었으며, 본 연구에서 패스파인더방식을 사용하였다. 사용된 패스파인더방식(Pathfinder : PFNet)²⁾은 두 개의 파라미터($r=\infty, q=n-1$)에 의해 결정되며, 파라미터 $r \in [1, \infty)$ 에서는 Minkowski 거리 공식에 의해 방향성이 없는 두 노드간에 연결된 거리를 고려하는 방법으로, 아래의 식에 따라 가중치가 $r=1$ 이면 링크 가중치의 합이 경로거리가 되고, $r=\infty$ 가 될수록 전체 링크에서 가중치가 가장 최대인 값이 경로거리가 된다.

$$D = \left(\sum_i d_i^r \right)^{1/r}$$

파라미터 $q \in [2, n-1]$ 에서는 삼각부등식(Triangel inequality)을 사용하기 위한 노드 사이의 경로를 산출하는 최대 링크수를 나타내면, q 는 2부터 설정 할 수 있다(n : 전체노드수, $q=n-1$) 예를 들면, 세점 a, b, c에서 a에서 c로 가는 경로에서 $r=1$ 이면 a-b-c의 경로로 가중치는 5이며 a-c 경로 가중치는 4이므로 삼각부등식이 성립되어 제거되지 않지만, $r=\infty$ 에서는 Minkowski 거리공식에 의해 a-b-c 경로 가중치는 3이고, a-c 경로 가중치는 4이므로 a-c 경로는 제거된다(그림3 참조)

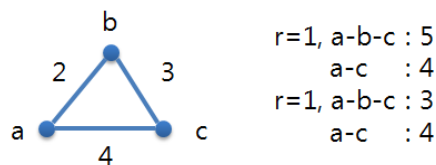


그림 3. 패스파인더 예제

표 2. 네트워크 최적화 방법의 개념 및 장단점 비교

구분	절대기준 방식	최근접이웃 방식 (Nearest Neighbor Graph)	최소비용 신장트리(Minimum Spanning Tree : MST)	패스파인더방식 (Pathfinder : PFNet)
기준	·절대적 가중치 값	·상대적 가중치 기준(노드별) ·각 노드별 기준 갯수(k)에 의한 가중치 우선순위	·상대적 가중치 기준(전체) ·전체 네트워크에서 링크 가중치의 합이 최소가 되는 트리	·상대적 가중치 기준(전체) ·삼각부등식(Tringle inequality)를 위반하는 링크를 제거하는 방식
개념	·기준 가중치 값 이상의 링크만 표시하는 방법 ·전체에 일정한 가중치 기준을 적용	·각 노드에 연결된 링크의 갯수(k)를 기준으로, 그 개수에 따라 가중치의 높고 낮음의 우선순위에 따라 표시하는 방법	·최소한의 가중치로 전체가 연결되도록 링크 가중치가 높더라도 전체 구조상 중복된 링크 제외 ·Kruskal(1956)과 Prim(1957)의 알고리즘가장 널리 알려져 있음	·MST방식은 같은 가중치를 가지는 링크일 경우 우선순위의 기준이 없으나, PFNet의 경우 우선순위가 있기 때문에 더욱 상세한 네트워크 표현이 가능함
장점	·알고리즘이 단순 ·전체구조의 파악 용이	·알고리즘이 단순하며, 단독 고립노드가 나타나지 않음. 군집이 생성되며 세부 구조파악 용이	·전체구조의 파악 용이 ·단독 노드가 발생하지 않음	·MST보다 디테일한 네트워크 작성 가능 ·단독 노드가 발생하지 않음
단점	·시작 노드나 가중치의 기준값의 없음 ·고립노드가 발생	·전체 구조의 파악이 어려움	·링크의 가중치가 동일할 경우, 일부세부구조가 나타나지 않음	·알고리즘이 복잡함
전체 노드 연결 여부	·가중치 기준값이 높을 경우, 고립점이 생김 ·가중치 기준값이 낮을 경우, 많은 연결링크	·링크의 개수(k)가 1에 가까울수록 서브 그래프, k가 클수록 전체 네트워크는 복잡하고 연결	·전체가 연결되어 있음.	·전체가 연결되어 있음.
응용 분야	· 문헌 동시 인용 분석 (Small, 1973) · 공저자 분석(Newman 2001) 이외 다수 · 동시출현 단어 분석 (Co-work analysis)에서도 사용	· 사회과학분야에서 설문, 관찰을 통해 주로 사용하였음(사회연결망 조사) · 동시인용자료와 계량서지 자료에 적용한 경우는 없음	· 일반적으로 정보시각화에서 주로 사용 · 계량서지 학분야에서는 Noel(2002), Chen과 Morris(2003)정도만 사용되어 짐.	· 인지심리학에서 개발되어 인지적인 연상구조나 연결구조 적당함(검색(검색, 브라우저 UI등) · 동시분류분석(McCain, 1995) - 생물공학특허분야 분석, 저자 동시인용분석(Chen, 2001), 저널 동시인용분석(Marion&McCain, 2001), 문헌동시인용분석(Chen, 2001)

하였다. 요소기술의 영문표기와 검색용 키워드의 적절한 사용을 위하여 건설분야 전문가에 의해 검토되어 졌다.

3. 연구내용

3.1 후보기술

해당 기술들을 분석하면, 각 기술별로 과거·현재·미래와 관련된 기술들이 혼재하거나 각 기술별 레벨이 맞지 않는 기술들이 존재하고 있었으나, 같은 기술을 비교 및 검증하기 위하여 기술명은 수정하지 않았다. 또한, 검색되는 데이터의 양과 질을 확보하기 위하여 한글을 영문으로 1차 번역하였으며, 웹검색의 통일성과 적절한 수준의 검색결과를 위하여 1차 번역된 기술명을 검색용으로 단순화시켰다. 또한, 검색범위를 로봇분야로 한정하기 위하여, 검색키워드에 'construction'이라는 검색어와 두 키워드를 같이 검색

표 3. 29개의 후보 기술들

분류	기술명(한글)	기술명(영문)
건설	건축물 이동 기술	building motion
건설	국토공간정보 활용	spatial information
건설	대규모 구조물	large structure
건설	도시방재	urban disaster prevention
건설	무인시공현장	automated construction
건설	시설물 안정성	facility safety
건설	우주기지 건설	space station construction
건설	인공섬	Artificial island
건설	지하공간	deep underground
건설	첨단 폐기물 시설	Waste Manifest System
건설	초고층 빌딩	Skyscraper

건설	해양도시	ocean city
건설	해저터널	undersea tunnel
교통	개인선택형 대중교통	Personal Rapid Transit(PRT)
교통	대량 물류 수송수단	large transportation
교통	대심도 지하도로	deep road
교통	대심도 지하철도	deep railroad
교통	무인 자동 운전 시스템	unmanned vehicles
교통	수소자동차	hydrogen car
교통	실시간 차량정보 시스템	Vehicle Information Communication System(VICS)
교통	연료전지 교통기관	fuel cell transportation
교통	우주 수송기	space transportation
교통	유비쿼터스 통합물류 정보기술	ubiquitous logistics
교통	자기부상열차	magnetic levitation train
교통	지능형 화물 운송 및 관리	intelligent logistics
교통	진공터널 등의 고속 물류운송 튜브망	tube transportation
교통	첨단ITS	intelligent transportation system
교통	첨단 자동차 안전기술	Transportation safety
교통	파일럿 정보시스템	Head Up Display(HUD)

3.2 네트워크 최적화

검색엔진을 활용한 검색결과를 도출하기 위하여, Google AJAX Search API를 이용하여 웹시스템을 개발하였다. 개발된 웹시스템을 이용하여 구글 검색사이트에서 기술들의 검색값들을 도출하였다. 웹시스템에 활용된 Google AJAX Search API는 Google API를 활용해 자신의 홈페이지에 구글 검색엔진을 서비스하거나 구글검색 결과값을 다양하게 활용하도록 지원하는 구글의 공개 API 서비스이다.



그림 4. 구글 Open API를 이용한 검색결과

또한, 각 기술별로 연결된 링크의 최적화를 위하여 패스파인더방식(Pathfinder : PFNet) 방식을 이용하여

비방향성의 $n(n-1)/2$ 링크수를 간소화하였다.

3.3 네트워크 분석

(1) 연결중심성 분석

연결중심성(Degree Centrality)을 분석한 결과, 대량 물류 수송수단, 연료전지 교통기관 순으로 나타났다. 과학기술 미래비전에서는 대량 물류수송과 새로운 교통기관과 관련된 기술들이 허브역할을 담당하고 있는 것으로 나타났다. 특히, 미래에서는 교통수단이 중요하다고 나타났다.

표 4. 과학기술 미래비전 연결중심성 분석

우선순위	중심성 분석	
	기술	지수
1	대량 물류 수송수단	65.428571
2	연료전지 교통기관	54.428571

(2) 매개중심성 분석

매개중심성(Betweenness Centrality) 분석에서는 기술간의 중개역할을 담당하는 중요한 기술로써, 초고층빌딩, 유비쿼터스 통합물류 정보기술 순으로 나타났다. 이러한 결과로 인해 허브를 담당할만큼 중심적이지 않지만 타 기술간에서 연결고리 및 연관관계를 나타내는 중요한 기술이다.

표 5. 과학기술 미래비전 매개중심성 분석

우선순위	중심성 분석	
	기술	지수
1	초고층빌딩	0.648148
2	유비쿼터스 통합물류 정보기술	0.526455

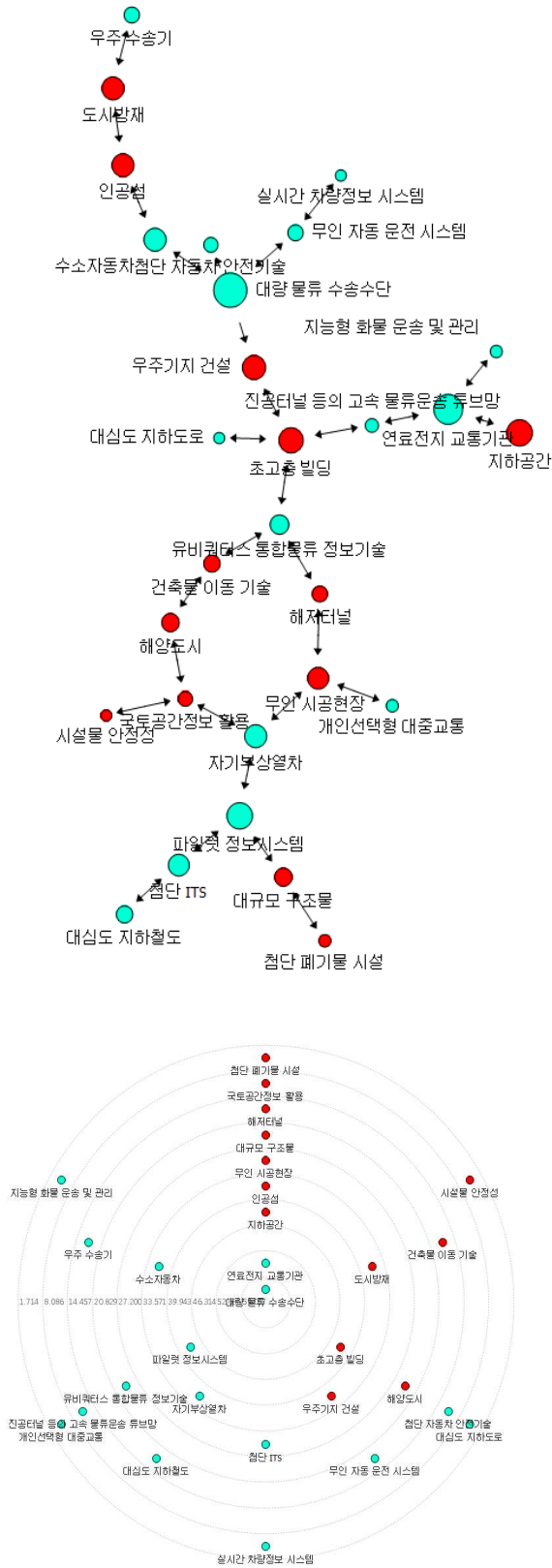
(3) 근접중심성 분석

근접중심성(Closeness Centrality)은 전체 네트워크에서 어떤 기술이 중심에 있는가를 파악하는 방법으로, 네트워크 내에 가장 중심에 있으면서 많은 영향력을 많이 미치는 기술로 나타났다. 즉, 모든 기술과 가장 근접해 있는 기술이다.

표 6. 과학기술 미래비전 근접중심성 분석

우선순위	중심성 분석	
	기술	지수
1	초고층빌딩	0.280000

(4) 다이어그램 분석



4. 결론

2010.2월에 발표된 과학기술 미래비전의 내용중 건설분야와 관련된 내용을 선정하여 미래기술을 도출하였다. 특히, 초고층빌딩, 대량운송수단과 연료전지운송수단, 통합물류정보기술이 중요한 기술로 나타났다. 이는 미래에 건설과 관련하여 향후 투자하여야할 중요기술로 도출되었다.

본 연구는 미래지향적인 기술을 도출할 수 있는 방법을 제시하였다. 특히, 전문가가 예측할 수 있도록 부가적인 정보를 제공하는 방법을 제시하였으며, 일부는 전문가 예측을 대치할 수 있을 것으로 예상된다.

또한, 본 연구에서는 복잡계 네트워크의 방법론을 도입하여 활용하였지만 좀더 다양한 정량적인 방법을 지속적으로 연구할 필요가 있다.

향후 이러한 방법을 활용하여 선거, 게임예측 등 미래예측이 필요한 분야에 다양하게 응용될 것으로 예상된다. 또한, 본 연구에서 제시된 연구방법은 IT, 공학, 자연과학, 사회과학들간의 학문을 연결하는 학문의 방법으로 통섭(Consilience)이 자유롭게 이루어질 것으로 예상된다.

참고문헌

1. B. Park., Development of method and framework for Korean Technology Foresight Program, KISTEP Press(2007)
2. M. Marien, Future Studies in the 21st Century: A Reality-Based. View, Futures, Vol. 34 261- 281(2002)
- OECD, Governance in the 21st Century: FUTURE STUDIES, OECD Press, Paris(2001)
3. J.Ginsberg, M.H. Mohebbi, R.S. Patel, L. Brammer, M.S. Smolinski & L. Brilliant, Detecting influenza epidemics using search engine query data, Nature 457, 1012-1014(2009)
4. J.A. Dator, Advancing Futures: Futures Studies in Higher Education, Westport Press(2002)
5. J.Y.Lee, A Study on the Network Generation Methods for Examining the Intellectual Structure of Knowledge Domains, Korean Society for Library and Information Science 40 333-355(2006)
6. S.H. Lee, P.J. Kim, Y.Y. Ahn, H. Jeong, Googling hidden interactions: Web search engine based weighted network construction, PACS(2008)
7. H. Grupp and H.A. Linstone, National Technology Foresight Activities Around the Globe: Resurrection and New Paradigms, Technological Forecasting and Social

Change, Volume 60, Issue 1, 2 January 85-94(1999)

8. M. Hilbert, I.Miles, and J. Othmer, Foresight tools for participative policy-making in inter-governmental processes in developing countries: Lessons learned from the eLAC Policy Priorities Delphi, Technological Forecasting and Social Change, Volume 76, Issue 7 880-896(2009)

9. J.H. Pau, 1995. Scenario Planning: A Tool for Strategic Thinking, Sloan Management Review. Winter 25-40(2007)

논문접수일 (2012. 5. 7)

심사완료일 (1차 : 2012. 5. 23, 2차 : 해당 없음)

게재확정일 (2012. 5. 30)