

동적 토픽분석을 활용한 스마트그리드 연구동향 분석

Research Trend Analysis for Smart Grids Using Dynamic Topic Modeling

나 상 태* · 안 주 언** · 정 민 호*** · 김 자 희*
(Sang-Tae Na · Joo-Eon Ahn · Min-Ho Jung · Ja-Hee Kim)

Abstract - The power grid has been changed to a smart grid system to satisfy the growing need for power grid complexity, demand, reliability, security, and efficiency with a combination of existing power and ICT technology. This study analyzes the research trends in smart grid technology in the period since the introduction of the smart grid system and compares it with industrial trends to grasp the progress and characteristics of Smart Grid technology and look for ways to innovate the technology. To do this, we analyze the research trends using dynamic topic modeling, which is capable of time-series research topic analysis. Next, we compare the results of research trends with industrial trends analyzed by Gartner's experts to demonstrate that smart grid research is evolving to the level of industrialization. The results of this study are quantitative analysis through data mining, and it is expected that it will be used in many fields such as companies that want to participate in industry and government agencies that need to establish policies by showing more objective analysis results.

Key Words : DTM (Dynamic topic modeling), Topic analysis, LDA (Latent Dirichlet Allocation), Smart Grid

1. 서 론

2000년대 이후 전력생산의 주원료였던 화석연료의 가격이 상승하고, CO₂ 저감을 위한 기후협약에 따라 전력부문에서는 스마트그리드의 필요성이 강조되었다[1]. 스마트그리드란 발전, 송전, 배전, 판매의 단계로 이루어지던 기존의 단방향 전력망에 정보통신기술을 접목하여 전력공급자와 소비자가 양방향으로 실시간 정보를 교환함으로써 에너지 효율을 최적화하는 지능형 전력망이다[2-3]. 1990년대에 개념이 소개된 스마트그리드는 에너지 소비패턴 분석을 통해 비용을 절감하고, 정전의 영향과 탄소배출량을 줄이기 위해 발전하면서 최근에는 전력망 그 자체를 의미할 정도로 전 세계적으로 확산되었다[4]. 미국은 2000년 캘리포니아 대 정전 사고 이후 노후한 송배전설비를 업그레이드와 스마트미터 설치를 통한 수요관리 촉진 및 신재생에너지 확대보급에 주력하고 있으며, 유럽은 회원국 간 전력거래 활성화에 초점을 맞추고 있다. 일본은 신재생에너지 확대와 전기자동차 기반 구축에 중점을 두고 있다[5-7]. 한국에서는 2009년부터 2013년에 걸쳐 정부가 주도한 제주실증단지 구축사업을 통해 스마트미터, 지능형 송배전기기, 디지털변전시스템, 전기자동차 충전소, 신재생 발전원 품질개선, 전력망 통합운영 등의 기술개발이 활발히 진행되었고[8], 2015년 11월에 정부는 신재생에너지나 AMI, 주파수 조정용

ESS, 전기차충전소 등 신산업을 집중적으로 육성하기 위해 “2030 에너지신산업확산전략”을 발표하였다[9]. 이처럼, 전 세계적으로 발전하고 있는 스마트그리드 기술에 대해 연구발전의 정도를 분석한다면, 4차 산업혁명 속에서의 스마트그리드 재도약이 어떤 형태로 나아갈 것인지 예측하는데 도움이 될 것이다. 이를 위해 현시점의 스마트그리드 연구동향을 분석할 필요가 있다.

그간 Smart Grid 연구동향분석은 사업프로젝트 사례를 분석하거나 문헌조사 및 전문가 설문조사와 같은 정성적 연구방법이 주로 사용되었다[10-11]. 하지만 정성적 방법론은 많은 시간과 비용이 소요될 뿐만 아니라 전문가의 주관적인 관점이 반영될 가능성이 있다[12-13]. 최근에는 정성적 방법론의 한계를 극복하기 위해 빅데이터 기반의 토픽분석과 같은 정량적 분석을 사용하기도 한다. 가장 많이 사용하는 토픽분석 알고리즘은 LDA (Latent Dirichlet Allocation)이지만 이 알고리즘은 각 토픽이 전체기간에 걸쳐 변경 없이 유지된다는 가정 하에 수행되기 때문에 대규모 글모음의 분석이 가능한 반면, 다양한 토픽이 서로에게 영향을 주면서 생성, 병합, 분화, 소멸하는 시계열적 동적 변이과정을 나타내지 못한다[14]. 또한 전체기간에 걸쳐 지속적으로 출현한 키워드만이 이슈 키워드로 도출되기 때문에, 세부기간에 파악되는 이슈가 전체기간분석에서는 큰 이슈에 가려지는 현상이 발생할 수 있다[15]. 이러한 한계를 극복하기 위해 최근에는 DTM (Dynamic Topic Modeling) 알고리즘을 사용하여 각 세부기간의 문서에 대한 기간별 토픽을 도출한 후, 각 토픽의 유사도에 기반을 두어 토픽동향을 파악하는 연구가 시도되고 있다[16]. 본 연구에서는 DTM 알고리즘을 사용하여 스마트그리드 연구 분야의 핵심토픽을 도출하고 연구동향을 파악한다. 아울러 해외 지명된 기관이분석한 기술동향을 참조하여 향후 개발기술을 전망한다.

† Corresponding Author : Graduate school of policy and information technology, SeoulTech, Seoul, Korea.
E-mail: jahee@seoultech.ac.kr

* Dept. of Industry Information System, SeoulTech, Korea.
Received : March 16, 2017; Accepted : March 22, 2017

본 연구의 전체구성은 다음과 같다. 1장에서 본 연구의 필요성에 대한 문제를 제기하고, 2장에서 본 연구의 연구절차와 각 절차에서 이용한 방법론을 정리한 후 동적토픽분석을 실시한다. 아울러 미국의 정보기술 연구 및 자문회사인 가트너의 스마트그리드 기술동향 분석결과와 비교하며, 한국전력공사에서 분석한 스마트그리드 동향분석을 참조하여 연구동향의 특성을 국내 산업현황에서 확인한다. 마지막으로 3장에서는 본 연구의 결론을 기술한다.

2. 본 론

2.1 연구방법

본 연구는 국내 스마트그리드 연구동향을 시계열적으로 분석하기 위해 그림 1과 같이 연구논문을 취득 후 동적토픽모델링을 하고 해외 기술동향과 비교하는 순서로 연구를 진행하였다.

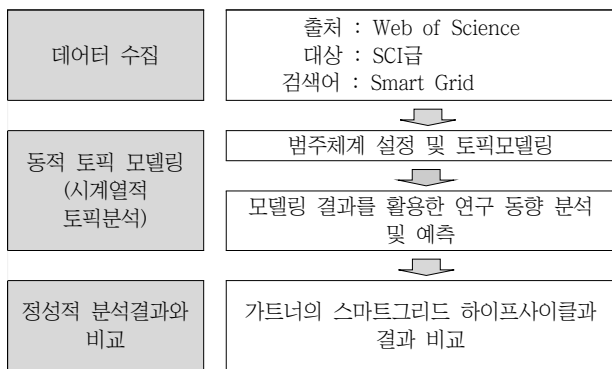


그림 1 동적 토픽분석 흐름도

Fig. 1 Flowchart of dynamic topic analysis

2.1.1 데이터의 수집 및 정리

일정수준 이상의 연구논문만을 자료추출 대상으로 삼기위해 톰슨로이터(Thomson Reuters Co.)의 Web of Science에 1997년부터 2016년까지 게재된 논문 중 Smart Grid라는 영어검색어로 검색된 3,723건의 논문에서 명사형 단어를 분석대상으로 삼기위해 키워드를 추출하였다. 토픽들의 범주는 2011년 한국전력공사에서 제작한 스마트그리드 용어사전의 범주에 기반하여 결정하였다. 본 연구의 정량적 분석결과와 비교할 수 있는 정성적 분석결과물은 가트너에서 2016년에 발표한 “Hype Cycle for Smart Grid Technologies”와 한국전력공사에서 2016년에 발표한 “Smart Grid & 신사업 동향 및 전망”을 참조하였다[17-18].

2.1.2 토픽분석 방법론

텍스트 마이닝은 비정형 데이터인 텍스트로부터 유의미한 정보를 추출하는 기법으로[19], 사회과학분야에 이어 최근 과학기

술분야에서도 활용도가 높아지고 있다[20]. 텍스트 마이닝 기법 중 하나인 토픽모델링은 문서 내 주제를 찾아주며, 구조화 되지 않은 방대한 문서의 집합에서 핵심주제를 탐색할 수 있는 통계알고리즘이다[21]. 본 연구에서는 LDA를 시계열적 토픽분석에 적합하게 확장한 DTM을 사용한다[22].

LDA의 기본적 접근방법은 문서를 구성하는 각 단어들이 주제집합에 대한 확률분포를 가지고 있으며 이 분포에 따라 각 문서는 특정주제들로 구성되고, 주제들에 포함된 단어들이 각 문서를 구성하게 된다는 가정 하에 시작된다. 그림 2의 음영으로 표시한 영역이 LDA의 문서생성 과정을 시각화한 것이다. 관찰된 변수인 단어 ω , 문서별 주제 분포 매개변수 α 와 주제별 단어분포 매개변수 β 를 통해 보이지 않는 변수인 문서별 주제비율 θ , 단어별 주제지정 Z 및 주제별 단어의 확률분포 ϕ_k 를 예측한다. 전체주제에 대한 각 단어의 비율인 ϕ_k 에 따라 단어 ω 가 결정됨으로써 토픽 K 를 발견할 수 있다[23].

DTM은 토픽동향을 시계열적으로 분석하기 위해 LDA를 확장한 알고리즘이다[24]. DTM에서는 연도와 같은 시간조각으로 데이터가 분할된다고 추정하며, 토픽과 토픽비율분포를 함께 묶음으로써 순차적인 토픽모델의 연결이 가능하다. 동적 토픽모델링의 생성과정은 그림 2에서와 같이 시간 t 조각에서 K 번째 토픽은 $t-1$ 조각에서 K 번째 토픽으로 원활하게 진화한다[25].

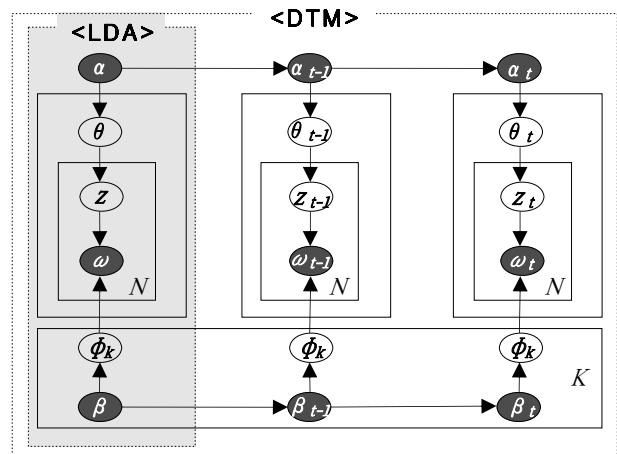


그림 2 LDA와 동적토픽모델(시간조각)의 도식

Fig. 2 Schematic of LDA and DTM (time slice)

2.2 연구결과

2.2.1 토픽분석 분류 설정

동적 토픽분석에서 유의미한 결과를 도출하기 위해서는 토픽 개수 결정이 중요하다. 토픽수량이 늘면 다양한 연구동향을 추출할 수 있지만, 유사토픽이 발생하여 토픽별 진화과정이 왜곡될 수 있기 때문이다. 본 연구에서는 스마트그리드 용어사전의 범주가 모두 도출될 정도로 충분한 토픽 수량 중 최솟값으로 토픽수량을 설정한다[26]. 반복적인 시도를 통해 표 1에서와 같이 스마

표 1 토픽모델링분류

Table 1 Classification of topic modeling

용어사전 범주	1	2	3	4	5	6	7	8
	Grid	AMI/Service	Renewable Energy	EV	ICT			
토픽모델링 범주	1	2	3	4	5	6	7	8
	Grid Plan	Grid Operation	AMI	Service	Energy Resource	ESS	EV	ICT
1	Method	Power	System	Price	Energy	Battery	Grid	Network
2	Model	Control	Grid	Electricity	System	Material	Technology	Sensor
3	System	System	Security	Load	Storage	Cell	Vehicle	Comm
4	Distribution	Grid	Comm	Cost	Generation	Application	Develop	System
5	Problem	Voltage	Model	Demand	Power	Water	Power	Scheme
6	Result	Load	Data	Response	Electricity	Energy	Paper	Data
7	Optimize	Paper	Information	Consumption	Wind	Temperature	EV	Power
8	Power	Distribution	Paper	Consume	Source	Grid	Charge	Paper
9	Approach	Generation	Network	User	Grid	Perform	System	Result
10	Network	Operation	Infra	Market	Build	Device	Electricity	Grid
11	Paper	MicroGrid	Power	Energy	Paper	Storage		Application
12	Algorithm		Meter	Grid	Manage	Cycle		Wireless
13	Load			Manage		Application		Transmission
14				Model				Perform
15								Fault

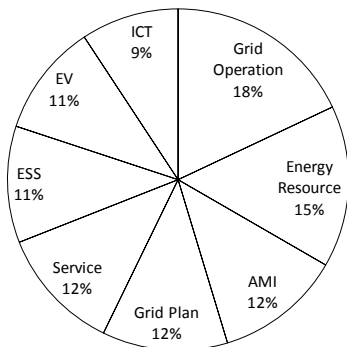


그림 3 8개 토픽의 연구점유율

Fig. 3 Pie graph based on sharing research of the eight topics

트그리드 용어사전의 5개 카테고리(송배전계통, AMI/서비스, 신재생에너지, 전기자동차, 정보통신)에 부합하는 분류체계가 만들어지는 8개의 토픽과 토픽 내 연구이슈에 해당하는 단어를 해당 토픽과 근접확률이 높은 순서로 10개씩 추출하였다. 표 1에서와 같이 분석기간 중 10개 순위에서 벗어난 이슈는 대각선을 그었으며, 새롭게 순위로 오른 이슈는 음영처리 하였으며, 소멸과 생성을 반복한 이슈는 대각선과 음영을 모두 표시하였다. 예를 들어 EV 토픽에서는 생성과 소멸하는 연구이슈가 없으며 이슈 간에 순위변동만 있다. 이에 비해 ICT 토픽에서는 토픽의 생성, 병합, 분화, 소멸하는 동적 변화과정을 보인다. 즉 Scheme은 2008년에 소멸하고 같은 해에 Perform이 생성된다. Data는 소멸된 후 2014년과 2015년에 Transmission과 Fault로 분화된다. 이를 통해 Data 관련 연구가 정보분야 보다는 통신분야로 집중화 되

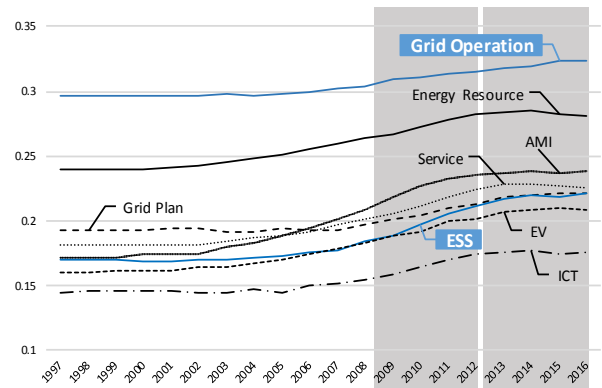


그림 4 연구증감 추이 그래프

Fig. 4 Linear graph showing the trend of research

고 있음을 알 수 있다.[27].

위 여덟 개 토픽의 연구점유율은 그림 3과 같다. 가장 높은 점유율을 보이는 토픽은 Grid Operation 이며, Grid 연구는 Operation과 Plan 분야를 합쳐 30%를 점유하고 있다. 이는 전력망이 스마트그리드의 모든 기술들을 포괄시키는 플랫폼이기 때문이며, 분산형전원 증가에 따른 기존 전력망의 전력품질 및 안정성 회복 관련 연구가 활발히 진행 중이다[28].

그림 4는 여덟 개 연구토픽의 연구증가율이 2009년 이후 증가하는 동향을 보여준다. 이는 스마트그리드 주요 선도국에서 국가단위 실증사업이 공히 2009년에 시작되던데 기인하며, 이를 통해 사업화전망이 불투명한 시점에서 국가단위 프로젝트의 중요성을 알 수 있다. 미국의 대표적인 스마트그리드 실증 프로그램은 ‘스마트그리

드 실증 프로그램'으로 미국정부는 2009년부터 2012년까지 29억 달러를 지원하였다. 일본정부는 2009년부터 4개 목적별(대도시, 산업도시, 지방소도시, R&D중점) 차별화된 대규모 스마트그리드 실증 프로젝트를 시작하였다. 한국의 대표적 스마트그리드 실증 프로젝트는 2009년부터 2013년까지 정부가 주도하고 한전 등 관련 회사가 참여한 '제주 스마트그리드 실증사업'이며, 2011년에 '지능형 전력망의 구축 및 이용촉진에 관한 법률'이 제정되어 세계 최초로 국가단위 스마트그리드 구축을 위한 특별법을 갖게 되었다[29]. 전 세계적으로 국가단위 스마트그리드 실증사업이 시작된 2009년부터 2016년까지의 기간을 양분하여 살펴보면 상반기에 연구 상승률이 높은 세 개 토픽은 ESS, Service, ICT 이며, 하반기인 2013년 이후에는 Grid Operation, ESS, Grid Plan의 순서를 보인다. 전체 기간에서 공통적으로 높은 상승률을 보이는 ESS 토픽을 시계열적으로 분석한다.

2.2.2 동적토픽분석

본 절에서는 Grid Operation, ESS 토픽에 대해 DTM 분석결과를 보여준다. 먼저, 표를 이용하여 각 토픽의 연구이슈에 대한 연도별 동향을 빈도기준으로 최상위 열개씩 나열한다. 다음으로 토픽 내에서 증가율이 가장 높은 세 개 연구이슈는 굵은 글씨로 구분하고 동향파악을 위해 그래프로 가시화한다.

먼저, 가장 높은 연구점유율을 보이는 Grid Operation 토픽의 동적 토픽분석 결과는 표 2와 같다. 열 개 연구이슈 중 Load가 2013년에 소멸하면서 특정지역 내에서 자체적으로 전력을 생산하고 소비할 수 있도록 구축한 독립적인 소규모 전력망을 의미하

는 Microgrid 연구이슈가 생성 된다.

다음으로, 그림 5는 Grid Operation 토픽과 근접확률이 높은 키워드인 다음의 세 개 연구이슈인 Voltage, Operation, Microgrid에 대한 연도별 동향을 보여준다. 가장 높은 연구증가율을 보이는 Microgrid의 전 세계적인 투자규모는 2013년 50억 달러규모에서 매년 30%씩 성장하고 있으며 2020년에는 200억 달러 규모에 이를 것으로 전망한다[18]. 국내에서도 2012년 가파도의 에너지 자립섬 구축으로 2013년부터 활발한 연구가 시작되었으며, 에너지관리시스템을 도입한 전남가사도에 이어 울릉도와 제주도 등 탄소 없는 섬과 서울대 캠퍼스에 대한 Microgrid 구축 등 다양한 사업화가 예정되어있기 때문에 더욱 활발한 연구가 예상된다[30]. 두 번째로 평균증가율이 높은 Voltage는 분산형전원에 따른 전압의 불균형을 해결하기 위한 연구가 지속적으로 증가하고 있으며, 이 이슈는 분산형전원의 전력계통 접속에

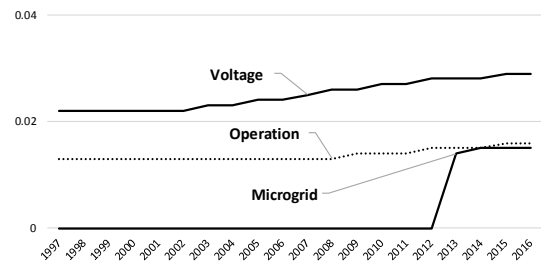


그림 5 Grid Operation 토픽 중 3개 주요 연구이슈의 동적 변이
Fig. 5 Time-series transition of three major issues in the grid operation topic

표 2 Grid Operation 토픽의 시계열 분석('97~'16)

Table 2 Time-series analysis of Grid Operation topics between 1997 and 2016

1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006
Power	Power	Power	Power	Power	Power	Power	Power	Power	Power
Control	Control	Control	Control	Control	Control	Control	Control	Control	Control
System	System	System	System	System	System	System	System	System	System
Grid	Grid	Grid	Grid	Grid	Grid	Grid	Grid	Grid	Grid
Voltage	Voltage	Voltage	Voltage	Voltage	Voltage	Voltage	Voltage	Voltage	Voltage
Load	Load	Load	Load	Load	Load	Load	Load	Load	Paper
Paper	Paper	Paper	Paper	Paper	Paper	Paper	Paper	Paper	Load
Distribution	Distribution	Distribution	Distribution	Distribution	Distribution	Distribution	Distribution	Distribution	Distribution
Generation	Generation	Generation	Generation	Generation	Generation	Generation	Generation	Generation	Generation
Operation	Operation	Operation	Operation	Operation	Operation	Operation	Operation	Operation	Operation
2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
Power	Power	Power	Power	Power	Control	Control	Control	Power	Power
Control	Control	Control	Control	Control	Power	Power	Power	Control	Control
System	System	System	System	System	System	System	System	System	System
Grid	Voltage	Voltage	Voltage	Voltage	Voltage	Voltage	Voltage	Voltage	Voltage
Voltage	Grid	Grid	Grid	Grid	Grid	Grid	Grid	Grid	Grid
Paper	Paper	Paper	Paper	Paper	Paper	Paper	Paper	Paper	Paper
Load	Load	Load	Load	Distribution	Generation	Operation	Operation	Operation	Operation
Distribution	Distribution	Distribution	Distribution	Generation	Operation	Generation	Microgrid	Microgrid	Microgrid
Generation	Generation	Generation	Generation	Load	Distribution	Microgrid	Generation	Generation	Generation
Operation	Operation	Operation	Operation	Operation	Load	Distribution	Distribution	Distribution	Distribution

필요한 계통용량 확충만큼이나 중요한 분산형전원의 계통접속 조건이다[31]. 연구증가율 순위가 세 번째인 Operation은 배전 계통 운영효율 향상 및 최적화를 위하여 다양한 기능들을 활용한 배전운영시스템(Distribution Management System)에 타 시스템간 상호운영까지 고려하는 차세대 배전운영시스템(Advanced Distribution Management System)으로의 확장개발이 진행 중이며, 분산형전원의 원격감시 및 제어연구가 확대될 것이다 [32-33].

스마트그리드 주요 선도국에서 국가단위 실증사업이 시작된 2009년 이후 가장 높은 연구 증가율을 보이는 ESS 토픽의 동적 토픽모델링 결과는 표 3과 같다. ESS 토픽에서는 Device, Perform, Grid 이슈가 소멸되면서 Storage, Cycle, Application 이슈가 생성되는 동적 변화과정이 나타난다. 특히, 2011년에 Grid 이슈가 Application 이슈로 전이되는 현상을 통해 ESS 연구가 계통 지원용에서 일반고객용 전력저장장치로 연구 관심도가 바뀌고 있다는 것을 알 수 있다.

그림 6은 ESS 토픽 내에 연구증가율이 높은 이슈인 Battery, Cycle, Storage에 대한 연도별 동향을 보여준다. 가장 증가율이 높은 Battery는 순위 변동 없이 상위권을 유지하고 있으며, 두 번째로 증가율이 높은 Cycle 이슈는 2010년에 순위권 안으로 들어오는 현상이 나타난다. 배터리의 수명과 관련된 총방전 Cycle 이슈 동향 및 배터리 효율 관련 Temperature 이슈가 지속적으로 다뤄지는 현상, 그리고 2014년부터 Material 연구가 감소하는 동향을 통해 ESS 연구가 단순한 기술개발에서 효율 및 수명 등 경제성을 분석하는 연구로 발전하고 있다는 것을 알 수 있다 [34]. 세 번째로 증가율이 높은 Storage는 2004년에 순위권 안으로 들

어오면서 총방전 운영의 시스템개념이 연구분야에서 뚜렷이 나타났다.

2.3 가트너 하이프 사이클과 비교

본 절에서는 가트너에서 2016년 발표한 "Hype Cycle for Smart Grid Technologies"를 통해 전문가들이 정성적으로 관측한 스마트그리드 기술동향과 본 연구에서 동적 토픽모델링을 통해 정량적으로 분석한 연구동향을 비교한다. 하이프 사이클은 신기술이 시장에서 미디어에 의해 어떻게 인식되고 사라지며 사용되는지를 각 기술별로 성숙도, 기대감, 적용시기로 보여준다. 즉, x축은 시간의 경과에 따른 기술의 성숙도를 다섯 단계로 구분하고, y축은 시장에서의 기대감을 가늠케 한다. 그리고 각 기술이 안정시기까지 도달하는데 소요되는 기간은 도형으로 구분하여 그림 7과 같이 보여준다[35-36].

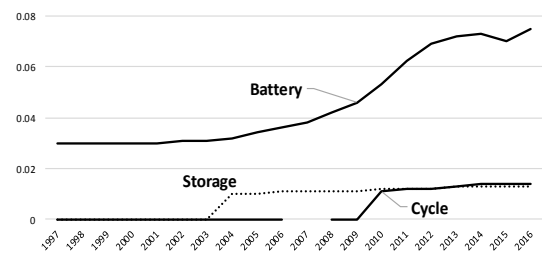


그림 6 ESS 토픽 중 3개 주요 연구이슈의 동적 변이
Fig. 6 Time-series transition of three major issues in the ESS topic

표 3 ESS 토픽의 시계열 분석('97~'16)

Table 3 Time-series analysis of ESS topics ('97~'16)

1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006
Battery	Battery	Battery	Battery	Battery	Battery	Battery	Battery	Battery	Battery
Material	Material	Material	Material	Material	Material	Material	Material	Material	Material
Cell	Cell	Cell	Cell	Cell	Cell	Cell	Cell	Cell	Cell
App	App	App	App	App	App	App	App	App	App
water	water	Water	Water	Water	Water	Water	energy	energy	energy
Energy	Energy	Energy	Energy	Energy	Energy	Energy	Water	Water	Water
Temperature	Temperature	Temperature	Temperature	Temperature	Temperature	Temperature	Temperature	Temperature	Temperature
Grid	Grid	Grid	Grid	Grid	Grid	Grid	Grid	Grid	Grid
Perform	Perform	Perform	Perform	Perform	Perform	Perform	Perform	Perform	Perform
Device	Device	Device	Device	Device	Device	Device	Storage	Storage	Storage
2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
Battery	Battery	Battery	Battery	Battery	Battery	Battery	Battery	Battery	Battery
Material	Material	Material	Material	Material	Material	Material	Water	Water	Water
Cell	Cell	Cell	Cell	Cell	Energy	Energy	Energy	Energy	Energy
App	App	Energy	Energy	Energy	Water	Water	Material	Material	Material
Energy	Energy	App	App	Water	Cell	Cell	Cell	Cell	Cell
Water	Water	Water	Water	App	App	App	App	Temperature	Temperature
Temperature	Temperature	Temperature	Temperature	Temperature	Temperature	Temperature	Temperature	App	App
Grid	Grid	Storage	Storage	Storage	Storage	Cycle	Cycle	Cycle	Rate
Perform	Storage	Grid	Cycle	Cycle	Cycle	Storage	Rate	Rate	Cycle
Storage	Perform	Perform	Grid	Rate	Rate	Rate	Storage	Storage	Storage

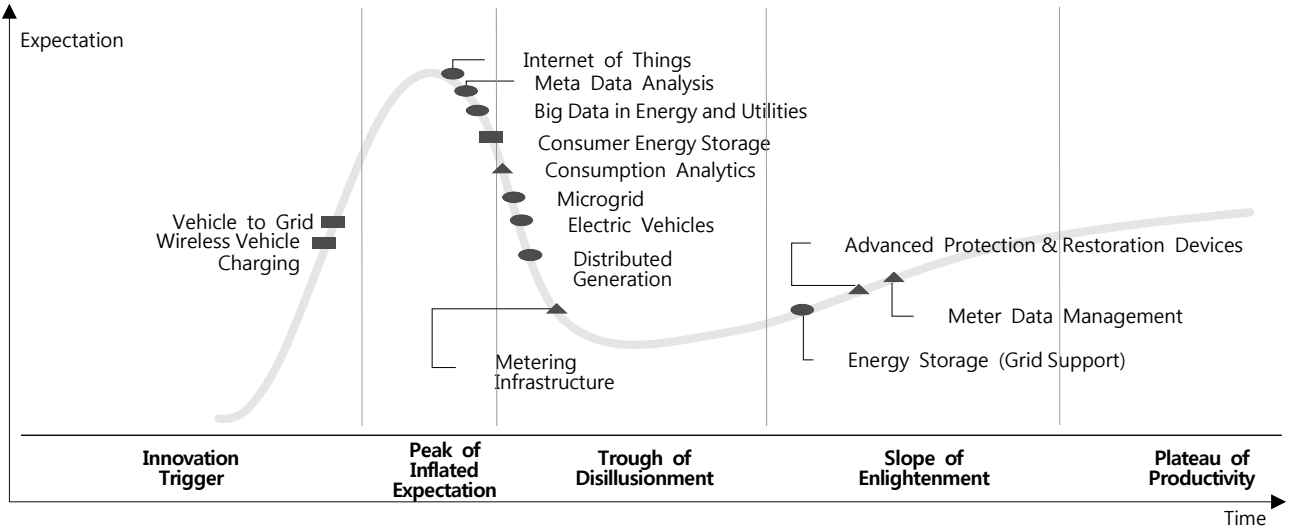


그림 7 스마트그리드 기술의 하이프사이클(가트너, 2016)
 Fig. 7 Hype Cycle for Smart Grid technologies(Gartner, 2016)

그림 7에 의하면 신기술의 출현이 언론 등 각종매체의 집중 조명을 받으면서 사회의 관심을 끌기 시작 하는 시기인 Innovation Trigger에 포함되는 기술은 Vehicle to Grid와 Wireless Vehicle Charging이 있는데, 이 두 기술은 EV 토픽에 해당한다. 신기술에 대한 막연한 기대가 일부 성공사례로 더욱 증폭되어 최고조에 이르지만 성공보다는 실패 사례가 주로 나타나는 Peak of Inflated Expectation 시기에 포함된 기술인 Internet of Things와 Big Data in Energy and Utilities는 ICT 토픽, Meter Data Analysis는 AMI 토픽, Consumer Energy Storage는 ESS 토픽에 해당한다. 세 번째시기로 신기술의 기대와 실제 성능간의 괴리, 다양한 한계점의 노출, 수익모델의 부재 등이 실망으로 작용하여 기대가 최저점에 이른다. Trough of Disillusionment 시기에 포함된 기술인 Consumption Analytics는 Service 토픽, Microgrid는 Grid Operation 토픽, Electric Vehicles는 EV 토픽, Distributed Generation은 Energy Resource 토픽, Metering Infrastructure는 AMI 토픽에 해당한다. 네 번째 단계인 Slope of Enlightenment는 일부의 성공사례와 실패에 대한 교훈으로 기술에 대한 현실인식이 새로운 적용 가능성을 높여주어 기대감이 상승하는 시기로 여기에 포함된 기술인 Energy Storage (Grid Support)는 ESS 토픽, Advanced Protection & Restoration Devices는 Grid Operation 토픽, Meter Data Management는 AMI 토픽에 해당한다. 마지막 다섯 번째시기로 신기술의 가시화된 가치의 정도에 따라 현실인식이 확산되면서 응용 분야가 확대되고 안정적인 사회 수용 단계를 맞이하는 Plateau of Productivity 단계에 포함된 스마트그리드 기술은 아직 없다고 가트너는 파악한다.

먼저, 동적 토픽분석에서 토픽의 연구증가율은 Hype Cycle에서 기술성속도(x축) 형태와 유사한 상관관계가 있다. 즉, 기술 성속도 초기에 시장의 기대감으로 연구증가율이 상승하지만 거품제거기에서 연구증가율이 잠시 하락하고 거품제거기와 재조명기에 증가율이 다시 상승한다. 예를 들어 ESS 토픽의 Battery 연구이

수와 Hype Cycle에서 Consumer Energy Storage를 비교해 보면, Battery는 그림 6에서와 같이 연구증가율이 2014년에서 2015년까지 잠시 정체를 보이다가 다시 상승하고 있다. 이는 그림 7에서와 같이 Consumer Energy Storage가 거품을 지나 거품제거기로 진입하고 있기 때문이다. 또한, 동일한 ESS토픽의 Grid 이슈와 Hype Cycle의 Energy Storage (grid support)를 비교하면, Grid는 표 3에서와 같이 연구증가율이 하락하다가 2011년 소멸하며 Energy Storage (grid support)는 재조명기에 있다. 이를 통해 연구토픽에서 조만간 Grid 이슈가 다시 순위권 안으로 생성될 것이라는 예측이 가능하다. Grid Operation 토픽의 Power 및 Control 이슈와 Advanced Protection & Restoration Devices를 비교하면, 동적 토픽모델링에서는 연구 증가율이 중간 정도이며 Hype Cycle에서의 기술 성속도는 재조명기이다.

다음으로 동적 토픽분석에서 연구점유율은 하이프 사이클에서 기대감(y축)과 양의 상관관계가 있다. 시장에서 신기술의 기대감으로 관련토픽에 연구가 집중되기 때문이다. 예를 들어 ESS 토픽의 Battery와 Grid 이슈를 하이프 사이클의 Consumer Energy Storage 및 Energy Storage (grid support)와 각각 비교하면, 점유율과 기대감 정도가 일치함을 알 수 있다. 다만, Microgrid 토픽은 표 2에서와 같이 DTM에서 중하위권의 점유율을 보이는 반면, 하이프 사이클에서 중간정도의 기대감을 나타내고 있다. 이러한 동향 불일치는 Microgrid 구축대상과 설정규모가 국가별로 다양하기 때문이라고 볼 수 있다. 예를 들어 한국이나 일본은 섬 단위로, 아프리카와 남미지역은 육지 내에 인구 밀도와 전력망의 접근성이 낮은 특정지역에 마이크로그리드가 개발되고 있다[37].

이상과 같이 기술성속도와 산업계의 시장성을 동시에 감안한 가트너의 하이프 사이클과 연구논문을 대상으로 분석한 동적 토픽모델링 결과의 비교에 한계가 있겠으나 전문가 집단이 작성한 정성적 분석결과와 동적 토픽모델링을 통한 정량적 분석결과가

비슷한 추이를 보인다는 점에서 스마트그리드 연구동향이 산업계의 기술개발 진도와 동등한 수준임을 알 수 있다.

3. 결 론

본 연구는 스마트그리드 기술동향을 정량적으로 분석하기 위해 Web of Science에 저장된 3,723건의 논문을 대상으로 동적 토픽분석을 하였다. 모델링한 5개 범주의 8개 토픽 중 연구점유율과 증가율을 기준으로 Grid Operation 토픽과 ESS 토픽을 선정하여 전반적인 연구동향은 물론, 생성 및 소멸하는 연구이슈의 시계열적 트래킹을 통해 특징적인 진화과정도 확인할 수 있었다. 아울러, 스마트그리드 연구동향과 가트너가 분석한 기술동향의 비교를 통해 본 연구결과의 신뢰도와 확장성을 확인하였으며, 스마트그리드 연구방향 및 진도가 산업화에 상응하는 수준임을 입증하였다. 또한 분석과정에서 스마트그리드 연구의 발전에 정부가 지원하는 국가단위 실증사업이 많은 도움을 주었다는 것을 확인할 수 있었다. 이에 앞으로 국내 스마트그리드의 학술적 발전을 위해서 정부의 지속적인 지원이 필요할 것이다. 마지막으로 지면의 한계로 두 개 토픽에 대해서만 분석한 본 연구의 확대조사와 함께 국내 연구논문에 대한 토픽분석을 실시한다면 국내외 연구동향과 사업화에 대한 정량적 비교가 동시에 가능할 것이다.

References

- [1] J. R. Han, "Green Technology and Prospects for Green Growth," Communications of the Korean Institute of Information Scientists and Engineers, pp. 42-47, Nov. 2009.
- [2] M. Amin and J. Stringer, "The electric power grid: Today and tomorrow," MRS bulletin, 2008.
- [3] H. Farhangi, "The path of the smart grid," IEEE Power and Energy Mag. vol. 8, no. 1, pp. 18-28, Dec. 2009.
- [4] W. H. Hwang, "New Technology of Smart Grid," Journal of Electrical World Monthly Magazine, pp. 61-73, Mar. 2012.
- [5] D. W. Cha, "Smart Grid Overseas Trends(USA)," Journal of Electrical World Monthly Magazine, pp. 40-42, Jul. 2010.
- [6] D. W. Cha, "Smart Grid Overseas Trends(Europe)," Journal of Electrical World Monthly Magazine, pp. 43-45, May. 2010.
- [7] D. W. Cha, "Smart Grid Overseas Trends(Japan)," Journal of Electrical World Monthly Magazine, pp. 53-55, Mar. 2010.
- [8] C. W. Eom, "National Loadmap for Smart Grid," TTA Journal, 2010.
- [9] G. H. Kim, "2030 Energy New Industry Proliferation Strategy," Journal of Electrical World Monthly Magazine, Jan. 2016.
- [10] Y. H. Jeon and G. S. Jang, "Smart Grid: Overseas Trend Analysis," Journal of Electrical World Monthly Magazine, Aug. 2009.
- [11] S. M. Rue, "Study on Smart Grid Trend and Policy Enforcement Way," Journal of Korean Institute of Information Technology, vol. 12(7), pp.163-177, Jul. 2014.
- [12] M. J. Cobo, A.G. López-Herrera, and E. Herrera-Viedma, "An approach for detecting, quantifying, and visualizing the evolution of a research field: A practical application to the fuzzy sets theory field," Journal of Informetrics, 2011.
- [13] M. Callon, J.P. Courtial, and W. A. Turner, "From translations to problematic networks: An introduction to co-word analysis," Social Science Council, 1983.
- [14] S. A. Jin, C. E. Heo, Y. K. Jeong and M. Song, "Topic-Network based Topic Shift Detection on Twitter," Journal of the Korean Society for Information Management, vol. 30(1), Mar. 2013.
- [15] M. S. Lim and N. G. Kim, "Analyzing the Issue Life Cycle by Mapping Inter-Period Issues," Journal of Intelligence and Information Systems, vol.20(4), pp. 25-41, Dec. 2014.
- [16] D. M. Blei and J. D. Lafferty, "Dynamic topic models," presented at the Proceedings of the 23rd international conference, 2006.
- [17] Z. Sumic, "Hype Cycle for Smart Grid Technologies," Gartner. Stamford, CT, USA. Jul. 2016.
- [18] H. W. Hwang, "Smart Grid & New Business Trend and Prediction," KEPCO, 2016, pp. 6-20.
- [19] A. H. Tan, "Text mining: The state of the art and the challenges," presented at the Proceedings of the PAKDD 1999 Workshop, 1999.
- [20] J. Asmus, C. Bonner, D. Esterhay, and A. Lechner, 2005. "Instructional design technology trend analysis," Retrieved April, 20, 2009.
- [21] C. Wang and D.M. Blei, "Collaborative topic modeling for recommending scientific articles," presented at the Proceedings of the 17th ACM SIGKDD international conference on Knowledge discovery and data mining. ACM, 2011.
- [22] D. Blei, L. Carin, and D. Dunson, "Probabilistic topic models," IEEE signal processing magazine, vol. 27, no. 6, pp. 55-65, 2010.
- [23] Z. Jiang, "Chronological scientific information recommendation via supervised dynamic topic modeling," presented at the Proceedings of the Eighth ACM International Conference on Web Search and Data Mining. ACM, 2015.
- [24] A. Ling and M. Masao, "Smart Grid Information Security Functional Requirement," arXiv.org, Sep. 2011.
- [25] A. Bhadury, J. Chen, J. Zhu, and S. Liu, "Scaling up Dynamic Topic Models," presented at the Proceedings of the 25th International Conference on World Wide Web. International World Wide Web Conferences Steering Committee, 2016.

[26] S. H. Bae, "Smart Grid Technology Glossary," in KEPCO, pp. 1-137, 2011.

[27] S. S. Choi, H. M. Oh, Y. S. Kim and Y. H. Kim, "Study on Very High-Rate Power Line Communications for Smart Grid," The transactions of The Korean Institute of Electrical Engineers, pp. 1255-1260, Jun. 2011.

[28] J. S. Kim and M. Y. Kim, "The Method for Increasing DG Introduction in Smart Grid," Symposium of The Korean Institute of Electrical Engineers, Jul. 2010.

[29] J. S. Lee "Comparison of Smart Grids Demonstration Projects and Strategies in Major Leading Countries," New & Renewable Energy, pp. 40-48, Feb. 2010.

[30] C. J. Moon, Y. H. Jang and M. S. Jung, "Status and prospect of technology to build eco-friendly energy island," Journal of Electrical World Monthly Magazine, pp. 53-55, Nov. 2015.

[31] D. K. Kang and J. H. Lee, "International Case study on the Voltage Management Standard Interconnected with Dispersed Generators," Symposium of The Korean Institute of Electrical Engineers, Jul. 2012.

[32] I. H. Lim, S. J. Lee, J. H. Park and Y. H. Shin, "Introduction of IT/OT Convergence-based Advanced Distribution Management System," Symposium of The Korean Institute of Electrical Engineers, Jul. 2016.

[33] Kobayashi, M. Takasaki, "Demonstration study of autonomous demand area power system." Transmission and Distribution Conference and Exhibition, 2006.

[34] H. Y. Kim and H. J. Song, "Study of the Application Method of ESS for Electric Power Demand Management," Review of Korean Society for Internet Information, pp. 11-17, Jun. 2015.

[35] H. S. Ahn and H. Y. Shin, "System Dynamics Modeling of Gartner's Hype Cycle," presdnted at the Korea Industrial Engineering Conference Fall Conference, 2008.

[36] A. Linden and J. Fenn, "Understanding Gartner's hype cycles," Strategic Analysis Report R-20-1971 Gartner, 2003.

[37] S. M. Kim, "Application and Operation of Micro Grid Technology," Journal of the Electric World/Monthly Magazine, pp. 37-44, 2014.

저 자 소 개



나 상 태 (Sang-Tae Na)

1998년 가천대학교 전기공학과 학사. 2010 헬싱키경제대학 MBA 석사. 2012년~현재 서울과학기술대학교 산업정보시스템 박사과정. 1998년~현재 한국전력공사 계통계획처 차장
E-mail : amfree@kepcoco.kr



김 자 희 (Ja-Hee Kim)

1995년 KAIST 전산학과 학사. 1997년 KAIST 전산학과 석사. 2003년 KAIST 산업공학과 박사. 2005년~현재 서울과학기술대학교 IT정책전문대학원 교수
E-mail : jahee@seoultech.com



안 주 언 (Joo-Won Ahn)

2013년 서울과학기술대학교 산업정보시스템 전공 학사. 2015년~현재 서울과학기술대학교 SW분석·설계학과 석사과정
E-mail : llchybbang@naver.com



정 민 호 (Min-Ho Jung)

2015년 대구대학교 전산공학 학사. 2015년~현재 서울과학기술대학교 SW분석·설계학과 석사과정
E-mail : odinhero@naver.com