

토픽모델을 이용한 전력반도체 패키징 기술 동향 연구

박근서 · 최경현[†]

한양대학교 기술경영전문대학원

A Study on Technology Trend of Power Semiconductor Packaging using Topic model

Keunseo Park and Gyunghyun Choi[†]

Graduate School of Technology of Innovation Management, Hanyang University, 222, Wangshipriro, Seoul 04763, Korea

(Received June 17, 2020: Corrected June 29, 2020: Accepted June 30, 2020)

초 록: 전기자동차용 전력반도체 패키징 기술에 대한 분석을 수행하였다. 비정형 데이터인 특허들을 수집하여 유효특허를 도출하여 LDA 기법을 적용한 토픽모델링을 수행하였다. 20개의 토픽으로 분류하였고 각 토픽별 추출된 단어를 통해 기술에 대한 정의를 내렸다. 각 토픽의 대한 동향분석을 위해 연도별 빈도수에 대한 회귀분석을 통해 토픽별 Hot토픽과 Cold 토픽을 도출하여 전력반도체 패키징 기술의 동향을 분석하였다. Hot 토픽의 기술로는 내전압에 따른 패키지 구조 기술과 입출력 관련 제어 기술, 방열기술을 도출하였고 Cold 토픽 기술로는 인덕턴스 저감기술이 도출되었다.

Abstract: Analysis of electric semiconductor packaging technology for electric vehicles was performed. Topic modeling using LDA technique was performed by collecting valid patents by deriving valid patents. It was classified into 20 topics, and the definition of technology was defined through extracted words for each topic. In order to analyze the trend of each topic, the trend of power semiconductor packaging technology was analyzed by deriving hot and cold topics by topic through regression analysis on frequency by year. The package structure technology according to the withstand voltage, the input/output-related control technology and the heat dissipation technology were derived as the hot topic technology, and the inductance reduction technology was derived as the cold topic technology.

Keywords: Topic Model, Power Module, Package, Technology Trend, Patent

1. 서 론

화석연료 사용의 제한으로 인해 전기자동차 시대가 점점 다가오고 있다. 매년 약 20% 이상 성장하고 있는 전기 및 하이브리드 전기차 시장에서 전력반도체는 핵심 부품으로써 전력의 변화를 통해 모터 구동의 스위칭 및 제어를 수행하기 위해 사용된다. 친환경차의 전비(km/kW) 개선의 중요도가 점점 커짐에 따라 차량용 전력반도체의 중요성도 점점 커지고 있다. 특히 전기자동차의 인버터는 차량의 구동을 위한 트랙션 모터를 구동하기 위한 전력반도체가 핵심부품인데 시장에는 신뢰성이 검증된 외국 선진사의 부품이 독과점 형태로 적용되고 있다. 따라서 국내 기업의 제품경쟁력 확보 및 기술중속에서 벗어나기 위해서는 전력반도체의 국산화가 반드시 필요하

다. 하지만 한국의 메모리반도체 분야는 세계최고의 수준이나 산업적 특성이 서로 다른 전력반도체가 속해 있는 비메모리 시스템 반도체 분야는 아직까지 취약한 구조를 가지고 있다. 메모리 제품에 지나치게 편중된 반도체 혁신체제의 특징으로 인해 시스템 분야인 비메모리 제품군에는 세계 반도체 시장에서 그 중요성이 확대됨에도 불구하고 상대적으로 발전이 지체되는 기형적인 구조를 가지게 되었다.¹⁾ 이에 따라 2013년 산업통상자원부는 반도체 산업 재도약 전략 발표를 통해 시스템 반도체 산업 7대 핵심 추진과제 중 중점추진과제로 선정하였다.²⁾

파워반도체 산업의 주요 기술은 크게 두 가지로 나눌 수 있다. 첫째, 소자 기술은 고온 환경의 다이오드와 MOSFET, JFET 등의 단극소자와 HEMT, IGBT 등의 양극소자로 구분되며 최근 전력반도체에 대한 수요가 급증

[†]Corresponding author

E-mail: ghchoi@hanyang.ac.kr

© 2020, The Korean Microelectronics and Packaging Society

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.

하면서 전력반도체 소자의 전력밀도 증가에 대한 많은 연구가 보고되고 있다.^{3,4)} 둘째, 전력반도체에서 패키지 모듈의 신뢰성 설계는 또 다른 매우 중요한 분야이다. 전력반도체에서 발생된 열은 패키지 각 부분의 열-기계적 응력을 발생시키고, 접합부의 열 피로에 의하여 접합부 및 소자의 수명이 열화 된다. 따라서 소자를 잘 패키징 할 수 있는 기술 또한 소자 자체의 기술 못지않게 중요한 부분을 차지한다.

전력반도체 패키징 기술의 기술동향에 대해 여러 선행 연구를 살펴보면 Liang에 의하면 비용, 신뢰성, 효율, 폼팩터, 무게 및 부피 측면의 포괄적 요구 사항이 자동차 전력 패키징 기술의 개발을 집중적으로 이끌었으며 특히, 재료, 상호 연결 및 처리 기술의 혁신으로 인해 전력 모듈이 크게 개선되었다.⁵⁾ Liang은 그의 연구에서는 전력 모듈 패키징의 기술 개발 및 동향을 산업용 제품의 예와 함께 기술적 세부 사항을 검토하고 평가하였고 미래의 전력 모듈 패키징을 위한 문제와 개발 방향에 대한 분석을 수행하였다.

Guth et al.는 IGBT의 작동 온도가 높고 전류 밀도가 높아지면 실리콘 내부의 열 방출이 증가하여 거의 200°C의 최대 작동 온도가 발생하므로 향후 전력 모듈의 요구에 부응하기 위해서는 새로운 패키징 기술이 필요하며, 칩과 기판의 상호 연결을 위해 두가지의 칩접합관련 전력 패키징 기술 동향을 비교하였다.⁶⁾

Lee et al.은 전력 모듈 패키징 기술은 우수한 성능을 가진 새로운 SiC 전력 장치가 상용화되면서 광범위하게 변화하고 있으며 현재 표준 패키징이 직면 한 과제, 향후 전력 모듈 패키징이 충족해야하는 요구 사항 및 최근 패키징 기술의 발전에 중점을 둔 전력 모듈 패키징 기술에 대한 소개하였다.⁷⁾ 또한 SiC 장치를 패키징하는 데 널리 사용되는 현재의 표준 전력 모듈 구조를 검토하고 새로운 패키징 기술을 개발해야하는 이유를 고속 스위칭, 열 관리, 고온 작동 및 고전압 절연과 관련하여 분석하였다. 마지막으로 새로운 소프트 스위칭 전력 변환기로 향하는 추세와 비 전통적인 모듈 구성, 항공 우주 응용 분야와 같은 잠재적인 응용 분야 적용을 위한 SiC 패키징에 저온 문제에 대한 새로운 분야의 주요 이슈를 소개하였다.

이처럼 전력모듈 패키징 산업에 있어서 기술 추세를 파악하는 것은 매우 중요하다. 하지만 현재까지 대부분의 연구는 일부 연구자의 분석역량을 기반으로 정성적인 분석과 시장에 출시된 제품에 적용된 기술의 분석이 대부분이다. 하지만 전기차용 전력모듈 패키징 기술의 체계적이고 정량적인 기술분석 및 예측에 대한 연구는 매우 부족한 상황이다.

기술예측에 관한 정량적인 선행연구를 살펴 보면 Chen et al.은 수소에너지와 연료전지 기술에 대하여 미국 특허청의 데이터를 이용하여 로지스틱 성장곡선 모델을 통한 기술별 성장곡선을 제시함으로써 각 기술에 대한 성장단계와 특허 전략을 제시하였다.⁸⁾ Ho et al.은 기존의 개인

적이고 주관적인 기술 분석과는 달리 선행논문의 서지정보와 인용 네트워크 분석 (Citation Network Analysis)을 통하여 연료전지 기술의 기술적 장벽과 연구 동향에 대해 분석하였다.⁹⁾ Web of Science 에서 1965년에서 2011년 사이의 7,313개의 연료전지 관련 논문을 추출하여 인용 네트워크 분석을 통해 논문 인용의 주경로 분석 (Main Path Analysis) 을 수행하였다. 연료전지의 주요 기술들의 연구 동향을 분석하였고 로지스틱 성장 곡선을 이용하여 연료전지 기술의 성장 단계를 제시하였다. Chiu et al.은 건물일체형 태양광 발전(Building Integrated Photovoltaic) 기술에 대해 특허 문서를 구조화 된 데이터로 변환하고 로지스틱 성장 모델을 사용하여 BIPV 기술 수명주기를 설명하였고 특허 매트릭스 맵 분석을 통해 R&D 전략을 제시하였다.¹⁰⁾ 로지스틱 성장모델을 활용해 BIPV 기술은 신생단계에서 성장단계로 진입하고 있음을 시사하였다. 남대경 외는 특허분석과 토픽모델의 LDA(Latent Dirichlet Allocation) 모델을 활용하여 차량용 반도체 기술 추세를 분석하였다.¹¹⁾ 1세대부터 4.5세대까지 토픽들을 도출하고 각 토픽별 기술을 정의 및 기술 추세에 대한 정성적 분석을 수행함으로써 이러한 기술 추세를 통해 차량용 반도체 산업분야의 R&D 정책수립과 기술전략 수립의 의사결정에 기여하고자 하였다.

유망기술의 정의는 개념에 따라 Promising technology, Emerging technology, Key technology 처럼 여러 가지 개념으로 사용되고 있으며, 각각이 혼용되어 사용되기도 한다.¹²⁾ 이런 개념의 다양성에 따라 유망기술의 분석과 탐색은 크게 정량적, 정성적, 통합적 분석으로 분류가 가능하다. 통계학, 추세분석, 기계학습 등을 이용한 정량적 분석방법, 델파이, 설문조사, 시나리오 분석 등에 의한 정성적 분석방법, 그리고 정량적 방법과 정성적 방법을 상호 보완한 통합적 방법이 사용되고 있다.

정량적 분석 중 특허정보를 활용한 유망기술 연구가 활발하게 이루어지고 있는데 특허분석은 단순한 기술 정보 뿐만 아니라 기술경쟁력과 기술개발방향 연구에 유용하며 기술발전과 변화의 트렌드를 파악하여 기업 및 국가 차원의 R&D 방향설계, 투자, 사업전략 등 혁신전략을 수립하는데 객관적인 지표로 활용되고 있다.

따라서 본 연구는 비메모리 반도체 분야에서도 특히 전자자동차용 파워반도체 패키지 산업에 대해 특허 데이터를 활용하여 기술의 트렌드를 먼저 예측하고, 미래 시장을 선점하기 위한 주요 기술에 대한 방향을 제시함으로써 한정된 자원에서 선택과 집중을 통한 사업 모델에 활용할 수 있는 기초 정보를 제공하고자 한다.

2. 연구 방법

2.1. 연구모형

본 연구의 목적인 차량용 전력반도체 분야 기술 동향을 분석을 위해 Fig. 1과 같이 연구모형을 도식화 하였

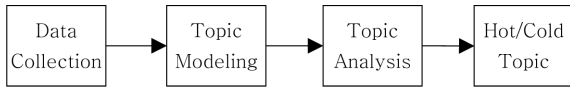


Fig. 1. Research method.

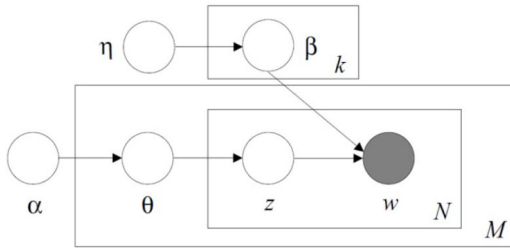


Fig. 2. LDA (Latent Dirichlet Allocation).

다. 먼저 관련 분야의 특허를 수집하고 데이터의 전처리를 수행하고 토픽모델링을 수행한다. 이후 도출된 토픽에 대한 분석을 수행하고 연도별 도출된 토픽의 빈도를 회귀분석을 통해 Hot 토픽과 Cold 토픽으로 분류하여 최신 연구 동향을 파악한다.

2.2. 토픽모델

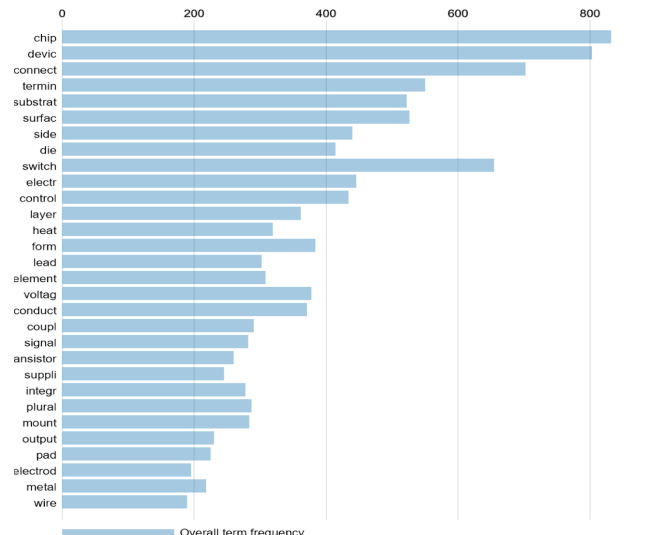
본 연구에서는 토픽모델을 대표하는 LDA 모델을 활용한다. LDA는 주어진 문서집단에 대하여 각 문서에 잠재되어 있는 토픽의 존재를 디리클레(Dirichlet) 확률분포를 기반으로 판단하는 생성확률모형(Generative Probabilistic Model)으로 LDA 프로세스는 Fig. 2와 같다.¹²⁾ Fig. 2에서 α, η 는 하이퍼 파라미터(Hyperparameter)이며, β 는 η 에 의해 결정되어지는 디리클레 확률분포의 파라미터로 토픽별 단어생성확률이다. 문서 w 에서 관찰되는 단어는 토픽으로부터 생성되며, 해당문서가 생성되는 토픽비율 θ 는 디리클레 분포를 따르는 값으로 α 값에 의해 결정된다. z 는 문서별 토픽비율로 θ 로부터 결정된다.

k 는 토픽의 개수, M 은 전체 문서의 개수, N 은 단어의 개수를 나타낸다. 즉, N 개의 단어로 이루어진 M 개의 문서를 대상으로 k 개의 토픽을 결정하였을 때, α 값에 의해 토픽비율 θ 가 결정되고, θ 에 의해 각 단어의 토픽을 나타내는 값인 z 가 결정된다. 또한, η 값에 따라 토픽별 단어생성확률인 β 값이 결정되고, 최종적으로 z 와 β 에 의해 단어 N 개의 집합인 문서 w 가 결정된다. 문서집합은 토픽들로 구성되고 토픽은 단어들로 구성되므로, 문서에 대한 단어와 토픽의 분포를 추정하고 이 과정을 반복하여 문서집합을 구성하는 토픽들을 파악할 수 있다

3. 실증분석

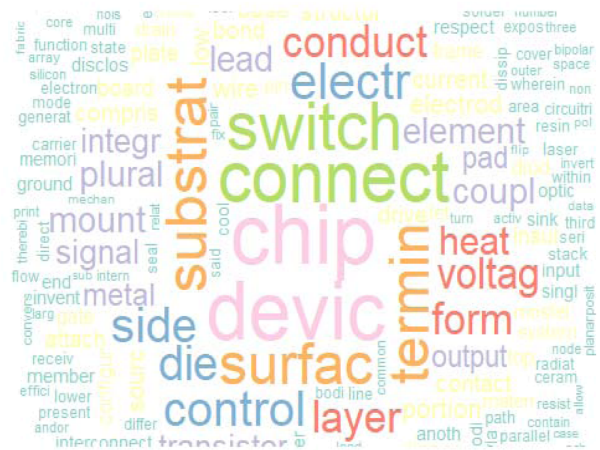
3.1. 데이터 수집 및 전처리

특허데이터는 특허검색 로직을 활용하여 US 특허 1,059 개를 수집하였다. 이중 유효특허만을 추출하여 총 685개의 특허를 사용하였다.



1. saliency(term w) = frequency(w) * [sum_1 p(t | w) * log(p(t | w)/p(t))] for topics t; see Chuang et. al (2011)
 2. relevance(term w | topic t) = $\lambda * p(w | t) + (1 - \lambda) * p(w | t)p(w)$; see Sievert & Shirley (2014)

(a)



(b)

Fig. 3. Word frequency (a) and word cloud (b) for total patent.

특허 데이터는 미국 특허청에 출원된 특허를 대상으로 전력 반도체 패키징 기술의 특허 수집을 위해 키워드를 활용하여 수집하였다. 검색식은 “((((전력 or 파워) and (모듈 or 스위치 or 스위칭)) and (반도체)) or (((power) and (module or switch*)) and (semiconduct*)) and (packag* or 패키지 or 패키징))”으로 하였다. 전기차 분야로 제한하여 특허를 수집하면 특허의 수가 너무 제한적이고 또한 패키징 기술은 전 산업용으로 활용할 수 있는 기술이라 본 특허 수집시 전기차로 제한을 두지는 않았다.

유효특허는 자체 개발한 방법으로 키워드를 활용한 스코어링을 통해 진행하였고 타이틀, 요약, 청구항에 유효 키워들이 많이 들어간 순서로 스코어링을 하여 유효특허의 우선순위를 1차적으로 선정하였다. 시스템적으로 추출된 특허 중 불필요한 특허들에 대해서 수작업을 통해 2차적으로 걸러냄으로써 특허 추출에 대한 오류를 최소화 하였다.

특허데이터는 전처리 및 LDA 분석을 위해 공개 소프트웨어인 R 프로그램(버전 3.6.1)을 사용하였고, R 프로그램 패키지는 “tm”, “topicmodels”, “LDAvis” 등을 활용하였다.

3.2. 토픽 분석

전력반도체 분야의 핵심 기술을 파악하기 위하여 각 특허의 초록(Abtract)을 대상으로 수집된 특허의 단어 빈도수를 Fig. 3에 나타내었다. Fig. 3(a)는 전체 특허 중 가장 많은 빈도수를 보인 단어들을 나타내며 주요 단어로는 Chip, Device, Connect, Terminal, Substrate 등이 나타났다. 워드클라우드 기법으로 나타낸 (b)의 경우도 특허 초록 내에서 자주 활용되는 단어일수록 폰트의 크기가 크고 중앙에 배치되도록 설정하여 직관적으로 빈도수가 높은 단어들을 파악할 수 있게 하였다.

전력반도체 패키징 기술의 세부 기술로 추출된 20개의 토픽과 토픽 내에서 도출된 주요단어 100개 중 확률값이 높은 단어와 각 토픽별 기술 정의를 Table 1에 나타내었다. 각 토픽의 주제는 각 토픽에 높은 확률로 나오는 단어들의 조합으로 토픽의 명칭을 나타내었다. 정의된 20개의 토픽들은 전력반도체 패키지의 세부 기술을 의미한다. 전처리 과정에서 표준형변환(Stemming)을 수행하였기 때문에 일부단어들은 어미가 제거된 형태로 나타나는 것을 볼 수 있다.

도출된 토픽별 단어를 기준으로 각 토픽의 기술을 살

펴보면 토픽1은 내전압구조, 토픽2는 방열패키지, 토픽3은 전기전도, 토픽4는 접합, 토픽5는 다이칩, 토픽 6은 회로, 토픽7은 스위칭효율, 토픽8은 신뢰성시험, 토픽9는 터미널, 토픽 10은 와이어본딩, 토픽 11은 제조방법, 토픽 12는 전압조정, 토픽 13은 인덕턴스, 토픽 14는 멀티레이어, 토픽 15는 방열 구조, 토픽 16은 입출력, 토픽 17은 프로세싱, 토픽 18은 몰딩구조, 토픽 19는 전력제어, 토픽 20은 절연구조 기술로 정의하였다. 토픽에 대한 기술정의의 연관성을 높이기 위해 각 토픽으로 분류된 특허들의 일부 내용을 참고하여 기술 정의를 도출하였다. 토픽 분석에서 각 토픽의 기술정의는 연구자의 주관적인 판단으로 보통 내리게 되는데 보다 객관적으로 신뢰도를 높일 수 있는 방법이 있다면 해당분야의 전문가 혹은 전문가에 준하는 식견을 가진 그룹들의 리뷰를 통해 각 토픽들의 기술 분야의 정의를 내릴 수 있다.

3.3. Hot Topic/Cold Topic

1977년부터 2019년까지 도출된 미국 특허 685건을 5년 단위로 분류하고 각 기술(토픽)별 빈도수를 분석하였다. 전체 기간동안 연도별 각 기술의 비중 추이를 분석하여 특허 출원되고 있는 기술이 증가하는 경우는 Hot 기술이고 감소하는 추세이면 Cold 기술로 정의 하였다. 개별기술에서의 추이를 판단하는 기준은 선형회귀분석을 사용하여 회귀계수값을 사용하였다. 설명변수로 출원 연도를 사용하였고 종속변수로 각 토픽별 특허출원수를 사용하

Table 1. 20 Topics and Keyword in Topic

No.	Definition	Topic Word					
T1	Withstand Voltage Structure	substrat	layer	metal	structur	dielectr	ceram
T2	Heat Dissipation Package	integr	compon	embodi	electron	singl	capacitor
T3	Electrical Conductivity	electr	coupl	conduct	plural	isol	core
T4	Bonding	form	pad	bond	region	lower	upper
T5	Die	transistor	switch	diod	base	two	voltag
T6	Circuit	chip	electrod	contact	area	top	flip
T7	Switching Efficiency	side	switch	low	mosfet	driver	convert
T8	Reliability Test	signal	memori	line	set	amplifi	test
T9	Terminal	termin	gate	pin	arrang	sourc	main
T10	Wire Bonding	connect	wire	extern	pattern	end	electr
T11	Manufacturing Method	devic	improv	invent	process	structur	aspect
T12	Voltage Regulation	voltag	suppli	output	current	input	sourc
T13	Inductance Reduction	reduc	ground	path	induct	plane	state
T14	Mutilayer	board	leadfram	top	bottom	multi	print
T15	Heat Dissipation Structure	heat	plate	thermal	sink	member	dissip
T16	Input/Output	die	conduct	control	fet	attach	drain
T17	Processing	control	switch	drive	current	configur	detect
T18	Molding Structure	surfac	mount	portion	mold	resin	seal
T19	Power Control	temperat	optic	laser	posit	light	communi
T20	Insulation Structure	element	lead	frame	insul	electr	encapsul

여 단순선형회귀분석을 수행하였다. 유의수준은 5% 유의수준 이내에서 의미있는 기술만 Hot 기술, Cold 기술로 선정하였다.

개별기술에 대한 회귀분석 결과는 Table 2와 같다. 회귀분석 결과 Hot 토픽은 내전압에 따른 패키지 구조 기술[토픽 1]과 입출력 관련 제어 기술[토픽 16]이 도출되었다. 다만 방열기술[토픽 15]은 유의수준 5%에서 유의미한 값을 가지지는 못했지만 이는 특허의 특성상 최신 특허들의 공개가 되지 않았기 때문에 통계적인 영향을 주었을 수 있다는 점과 토픽의 랭킹수를 감안했을 때 과거부터 지속적으로 많은 연구가 진행되고 있음을 추론할 수 있어 Hot 토픽으로 봐도 무방할 것으로 판단된다. Cold 토픽은 인덕턴스 저감기술[토픽 13]로 나타났는데 이는 인덕턴스 관련 연구의 중요도가 낮다는 의미로 해석하기 보다는 기본적인 파워모듈 기술이기에 특허 출원의 대상 기술로의 관심도가 낮아지고 있음으로 보는 것이 타당할 것이다.

전기자동차 인버터에 사용되는 전력반도체 패키징은 여러타입으로 구분될 수 있는데 패키징 기술을 위한 주요부품들로 구성되어 있다. 가장 중요한 부품은 전기적인 온/오프 스위칭을 통해 전력 소스(Source)에서 로드(Load)로 파워를 변환시키는 [토픽 5]로 분류된 전력반도체 소자로 표준품으로 사용하고 있는 것으로 MOSFET, IGBT 와 다이오드등이 사용되고 있다. 최근에는 인버터

의 효율 및 패키징 사이즈를 줄이기 위해 기존의 Si 기반의 소자 대신 SiC (Silicon Carbide)나 GaN (Gallium Nitride)등의 WBG (Wide Band Gap) 반도체 제품들의 개발이 활발히 진행되고 있다.

절연기판은 반도체 부품과 터미널등의 전기적 연결과 동시에 냉각을 위한 히트싱크 등과는 전기적 절연과 열 방출의 통로로의 기능을 하는데 열적으로 우수한 특성과 기계적인 특성으로 인해 중간 Layer 는 세라믹으로 구성된 DBC (Direct-Bonded Copper) 타입의 기판이 많이 사용되고 있다. [토픽 4]인 접합 기술은 접합을 위한 재료의 성질이 매우 중요한데 반도체 소자와 기판, 터미널등의 파워모듈 패키징의 주요 부품들을 기계적, 열적, 전기적으로 안정적으로 접합 할 수 있어야 한다. 다이칩과 기판 부속품들의 접합 재료로서는 SnPb와 SnAgCu 등의 솔더 합금이 주로 사용되고 있으며 중요한 성질로는 사양에 따른 적절한 용융온도, 구성부품들과의 호환성, 기계적 강도, 낮은 탄성계수 높은 크리프(Creep) 및 피로저항, 높은 열전도율과 열팽창계수 등이 있다. 와이어본딩 공정은 전력반도체와 전기전도체 및 모듈의 입출력 단자[토픽 16] 사이를 전기적으로 연결하는 것이다. 와이어본딩에 사용되는 일반적인 재료는 알루미늄이 사용되며 전력등급이 높은 파워모듈의 경우 저항을 낮추고 열 성능을 향상시키기 위해 무거운 알루미늄의 와이어본딩 혹은 리본 본딩을 사용할 수 있다. 몰딩 기술[토픽 18]의 주요 목적은 반도체 장치 및 와이어로 조립된 구성요소를 습기와 이물질등의 환경으로부터 보호하는 역할과 구성요소들 사이에 전기절연 및 열방출의 매개체로의 기능이다. 전력반도체 패키지에서 몰딩재의 재료로 사용되고 있는 것은 실리콘겔, 실리콘, 폴리 파라실리렌, 아크릴, 폴리 우레탄, 에폭시 등이 있다. 트래션 인버터에 사용되고 있는 파워모듈의 경우 제한된 패키지 공간과 가격, 요구되는 전력량 및 방열특성등에 의해 새로운 패키징 구조가 개발되고 요구되고 있다. 최근 연구개발 되고 있는 양면냉각 패키지 기술, 다층구조 패키지 기술 등은 높은 신뢰도와 재현성이 요구되며 높은 수율을 보증할 수 있는 패키징 설계 및 제조 기술에 대한 상용화 기술이 연구가 수행되어야 한다.

[토픽 7]과 연관이 있는 고속 스위칭 기술은 Si-IGBT에서 SiC-MOSFET 적용으로 발전되고 있다. Si 반도체 대신 SiC 반도체를 사용하면 빠른 스위칭이 가능한데, 이러한 높은 스위칭 주파수에서 작동할 수 있다는 것은 전력 변환기에서 더 높은 주파수 사용과 함께 패시브 부품의 크기를 줄여 전체 시스템 크기를 최소화 하고 전력밀도를 높일 수 있다. [토픽 15]로 분류된 방열 기술은 전력모듈의 작동에서 효율과 연관이 있는 매우 중요한 분야이며 지속적으로 연구가 되어 왔다. 반도체 소자로부터 스위칭 손실은 열의 발생으로 나타나며 이러한 열을 반도체 칩에서부터 냉각제까지의 열 경로에 따라 열유속 밀도를 생성하며 이러한 열 유속에 따라 전력모듈의 성능

Table 2. Regression coefficient and significance level by power module package

Topic	Regression Coefficient	P-value	Hot/ Cold	Weight	Ranking
T1	1.513616	0.018	Hot	8.61%	1
T2	-0.8353222	0.533	-	4.67%	8
T3	0.1472995	0.895	-	4.53%	9
T4	0.6803594	0.488	-	3.50%	11
T5	0.7633588	0.524	-	4.67%	8
T6	-0.7524272	0.429	-	5.55%	5
T7	0.4146341	0.44	-	4.53%	9
T8	-1.977401	0.085	-	4.67%	8
T9	0.8024691	0.287	-	5.11%	6
T10	0.7530648	0.511	-	3.50%	11
T11	0.4464286	0.808	-	2.63%	12
T12	1.470588	0.318	-	5.55%	5
T13	-2.568807	0.039	Cold	4.53%	9
T14	-0.0540541	0.963	-	4.67%	8
T15	0.9126595	0.283	(Hot)	8.47%	2
T16	1.363116	0.005	Hot	6.13%	3
T17	0.5719557	0.492	-	5.69%	4
T18	0.787309	0.4	-	4.82%	7
T19	-0.9307876	0.486	-	4.09%	10
T20	0.4810127	0.728	-	4.09%	10

및 패키지의 열 신뢰성과 밀접한 연관이 있다.

[도픽 1]과 [도픽 20]은 특히 내전압 특성과 관련이 있는 기술이다. 몰딩구조[도픽18]는 고온에서의 동작이외에도 높은 전기장을 견뎌야 하며 동시에 접도 측면에서도 고사양의 재료 개발을 요구하고 있다. 또한 반도체 칩의 기술 최대 지역 전압은 WBG 반도체 기술의 발전으로 점점 높아지고 있으며 표준 패키징 방법으로는 높은 전기장을 컴팩트한 형태로 견딜 수 없으며 이러한 높은 내전압 특성에 견디기 위한 패키징 기술의 개발의 연구가 활발히 수행되고 있다.

4. 결 론

본 연구는 최근 급속히 성장하고 있는 전기자동차에 적용되는 전력모듈 패키징 기술의 동향을 분석하기 위해 기존의 문헌조사등을 통한 정성적인 기술 분석과는 다르게 기술 지표인 특허데이터를 사용하여 토픽모델을 사용하여 정량적인 기술 동향 분석을 수행하였다. 전력반도체 패키지 기술 관련하여 미국에 출원한 특허데이터를 수집하고 유효특허만을 사용하여 토픽모델링과 회귀분석을 사용해 기술을 분류하고 각 기술별 동향을 분석하였다. 특허 검색식을 사용하여 전력모듈 패키징 기술과 연관된 유효특허만을 사용하였고 오픈소스인 R 패키지를 사용하여 전처리등의 데이터 처리와 토픽모델링을 통해 토픽별 유효 단어들을 도출하였다. 도출된 토픽들을 기반으로 각 20개의 기술 분야를 도출하였다. 특허출원을 기반으로 추출된 기술들에 대해 회귀분석을 수행하여 유의미한 기술에 대해 상승 추세를 보이는 기술은 Hot 토픽으로 하락 추세를 보이는 기술에 대해서는 Cold 토픽으로 분류하였다.

결과적으로 Hot 토픽의 기술로는 내전압에 따른 패키지 구조 기술[도픽1]과 입출력 관련 제어 기술[도픽16], 방열기술[도픽1]을 도출하였고 Cold 토픽 기술로는 인덕턴스 저감기술[도픽13]이 도출되었다.

연구의 한계로는 특허출원 후 18개월 후에 특허가 공개되는 특허제도의 특성상 최신 특허들의 반영에 한계가 있어 동향을 판단할 때 회귀분석의 한계점이 있을 수 있으며 특허 제조방법의 경우 특허출원을 하지 않고 영업비밀로 간주하기 때문에 주요기술에 정보의 한계점이 존재한다. 또한 특허 출원자의 경우 특허 출원을 가능하면 타인의 인용을 최소화하기 위해 복잡하고 어렵게 출원하는 경향이 있기 때문에 하나의 특허식으로 유효특허만을 검색하기에는 어려움이 따른다. 따라서 특허데이터의 수집 시 유효특허에 대한 수집방법에 대한 연구도 하나의 연구주제로 될 수 있을 것이다.

하지만 본 연구는 기존의 단순한 전력반도체 분야의 기술 분석과는 다르게 전력반도체 패키징 기술분야에 대한 특허데이터의 초록을 이용하여 AI 기법 중 텍스트마이닝 기법을 활용한 토픽모델링을 통한 정량적인 방법으로 기

술 분석을 했다는 점에서 큰 의의가 있다. 전통적 공학분야에 기술경영의 학문을 적용해 봄으로서 정량적인 분석을 통해 기술예측과 분석이 가능함을 보였다는 점에서 다른 논문과 차별점을 갖는다. 또 다른 지표인 학술논문을 동일한 방법으로 분석을 하여 기술예측을 수행하면 특허데이터의 결과와 더불어 더욱 객관적인 데이터를 활용한 기술예측 및 동향 분석을 할 수 있을 것이다. 또한 각 국가별 특허-논문 데이터를 분석한다면 국가별 연구방향에 대해서도 비교해 볼 수 있을 것으로 기대된다.

References

1. H. R. Hwang, "National innovation system and industrial innovation system: focusing on the Korean IT industry innovation system", *Science & Technology Policy*, 153, 17 (2005).
2. Korea Institute of Science and Technology Evaluation and Planning, "New industry creation power semiconductor commercialization business(in Kor.)" (2017).
3. J. W. Yoon, J. H. Bang, Y. H. Ko, S. H. Yoo, J. K. Kim, and C. W. Lee, "Power Module Packaging Technology with Extended Reliability for Electric Vehicle Applications", *J. Microelectron. Packag. Soc.*, 21(4), 1 (2014).
4. K. H. Kim and S. H. Choa, "Recent Overview on Power Semiconductor Devices and Package Module Technology", *J. Microelectron. Packag. Soc.*, 26(3), 15 (2019).
5. Z. Liang, "Status and trend of automotive power packaging", *Proc. 24th International Symposium on Power Semiconductor Devices and ICs (ISPSD)*, Bruges, 325, IEEE Power Electronics Society (PELS) (2012).
6. K. Guth, N. Oeschler, L. Boewer, R. Speckels, G. Strotmann, N. Heuck, S. Krasel, and A. Ciliox, "New assembly and interconnect technologies for power modules", *Proc. 7th International Conference on Integrated Power Electronics Systems (CIPS)*, Nuremberg, 1 (2012).
7. H. Lee, V. Smet, and R. Tummala, "A Review of SiC Power Module Packaging Technologies: Challenges, Advances, and Emerging Issues", *IEEE Journal of Emerging and Selected Topics in Power Electronics*, 8(1), 239 (2020).
8. Y. H. Chen, C. Y. Chen, and S. C. Lee, "Technology forecasting and patent strategy of hydrogen energy and fuel cell technologies", *International Journal of Hydrogen Energy*, 36(12), 6957 (2011).
9. J. C. Ho, E. C. Saw, L. Y. Lu, and J. S. Liu, "Technological barriers and research trends in fuel cell technologies: A citation network analysis", *Technological Forecasting & Social Change*, 82, 66 (2014).
10. Y. J. Chiu and T. M. Ying, "A Novel Method for Technology Forecasting and Developing R&D Strategy of Building Integrated Photovoltaic Technology Industry", *Mathematical Problems in Engineering*, 2012, 24 (2012).
11. D. K. Nam and G. H. Choi, "Technology Trend Analysis in the Automotive Semiconductor Industry using Topic Model and Patent Analysis", *Journal of Korea Technology Innovation Society*, 21(3), 1155 (2018).
12. D. M. Blei, A. Y. Ng, and M. I. Jordan, "Latent Dirichlet Allocation", *The Journal of Machine Learning Research*, 3, 993 (2003).