

특집 : 마이크로 패키징 연구분야 동향

## 미래를 향하는 한국 마이크로 패키징 학회지의 과거와 현재 연구영역에 관한 연구

이현정<sup>1</sup> · 손 일<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>연세대학교 그린기술연구원

<sup>2</sup>연세대학교 공과대학 신소재공학과

### Past and Present Research Topics within the Korean Microelectronics and Packaging Using Social Network Analysis

Hyunjoung Lee<sup>1</sup> and Il Sohn<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>Institute of Green Technology, Yonsei University, 50, Yonsei-ro, Sedaemungu, Seoul 120-749, Korea

<sup>2</sup>Department of Material Science and Engineering, Yonsei University, 50, Yonsei-ro, Sedaemungu, Seoul 120-749, Korea

(Received August 31, 2015; Corrected September 3, 2015; Accepted September 24, 2015)

**Abstract:** After its inception in 1994, the Journal of the Microelectronics and Packaging Society has continued to make significant strides in the number and quality of publications within its field. The interest in the microelectronics and packaging research has become more critical as consumer electronic products continue its increasing trend towards thinner and lighter devices that tests the boundaries of electronic devices. This study utilizes social network analysis of all published literature in the Journal for the past 22 years. Using the keywords and abstracts available within each individual article, the publications within the Journal has focused on major topics covering ① flip chip, ② reliability, ③ Cu, ④ IMC (intermetallic compounds), and ⑤ thin film. Using the social network relationship between keywords within articles, flip chip was closely associated with reliability, BGA (ball grid array), contact resistance, electromigration in many of the published research works within the Journal. From the centrality analysis, it was found that flip chip, reliability, Cu, thin film, IMC, and RF (radio frequency) to have a high degree of centrality suggesting these key areas of research have relatively high connectivity with other research topics within the Journal and is central to many of the research fields within the micro-electronics and packaging area. The cohesiveness analysis showed research clustering of five major cohesive sub-groups and was mapped to better understand the major area of research within this field. Research within the field of micro-electronics and packaging converges many disciplines of science and engineering. The continued evolution within this field requires an understanding of the rapidly changing industry environment and the consumer needs.

**Keywords:** social network analysis, keyword co-occurrence, centrality, cohesive subgroup

## 1. 서 론

「한국 마이크로 전자 및 패키징 학회지」가 1994년 창간되어 22년이 지나는 동안 한국마이크로 전자 및 패키징 분야의 연구 활동은 많은 발전을 거듭해왔다. 특히 산업과 과학기술이 급격히 발전하고 시장개방이 가속화되고 동시에, 1997년 말부터 시작된 IMF의 영향에 따른 기업 환경의 변화와 경쟁의 심화는 현실적인 측면에서 새로운 기술변화에 대한 관심과 발전을 가져오는 계기로 작용하였다. 기저에는 1960년대 후반부터 외국계업체의 조립생산에서 시작하여 세계 1위의 반도체 산업을 일군 연구자들이 존재했기 때문에 기술의 변화를 유도 할 수 있

었으며, 이들의 연구는 한국 마이크로 전자 및 패키징 연구에 대한 중요성을 더욱 공고히 하고 있다고 할 수 있다. 학문적인 측면과 실무적인 측면에서의 변화로 그동안 국내 마이크로 전자 및 패키징 관련 연구들이 어떠한 형태로 진행되어 왔으며, 현재는 어떠한 상황에 있는지 파악하는 것은 매우 의미 있는 일이라고 할 수 있다. 본 연구는 마이크로 전자 및 패키징 관련 연구를 체계화하고 앞으로 마이크로 전자 및 패키징 분야의 학문적 발전에 필요한 길잡이를 제공해줄 것이다.<sup>1)</sup>

그동안 「한국 마이크로 전자 및 패키징 학회지」에 게재된 논문은 730여 편에 이를 정도로 많은 연구가 수행되었으나 지금까지 활발히 진행된 연구에 비해 연구의

<sup>†</sup>Corresponding author  
E-mail: [ilsohn@yonsei.ac.kr](mailto:ilsohn@yonsei.ac.kr)

© 2015, 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.

흐름을 전체적으로 조망하려는 시도가 이루어지지 못하였다. 이에 본 연구는 소셜네트워크 분석을 토대로 「한국 마이크로 전자 및 패키징 학회지」의 현 상태와 향후 발전방향을 전체적인 시각에서 살펴보고자 한다. 이를 위한 본 연구의 목적은 첫째, 「한국 마이크로 전자 및 패키징 학회지」에 게재된 논문들이 어떠한 주제에 대해 연구되어 왔는지를 분석하는 것이다. 둘째, 이러한 분석을 기초로 세부 연구 분야별로 미진한 연구 분야를 찾아서 한국의 마이크로 전자 및 패키징 분야의 현 상태를 파악하고 미래의 발전을 위한 방향을 제시하는 것이다. 셋째, 마이크로 전자 및 패키징에 관한 논문들을 분류하는 명확한 기준이 없는 국내 현실에서, 마이크로 전자 및 패키징에 대한 주제별 색인(subject index)을 결정하는데 유용한 지침을 제공해주는 것이다.

### 2. 연구방법

본 연구는 그동안 국내 마이크로 전자 및 패키징 연구를 선도해온 「한국 마이크로 전자 및 패키징 학회지」에 1994년 1권 1호에서부터 2015년 22권 2호까지의 22년간 게재된 730여 편의 논문을 연구대상으로 선정하였다 (Fig. 1 참조). 게재된 논문들이 어떤 주제에 대해 연구하였는지를 파악하기 위해, 해당 논문의 연구내용을 대표하는 각 논문의 제목과 초록에 대해 자연어 처리(NLP: natural language processing)의 형태소분석을 활용하여 주제어를 추출하였다. 이때 추출된 주제어들은 저자들마다 표기법의 차이 등으로 인해 동일한 의미를 갖지만 서로 다른 용어로 인지될 수 있는 주제어들이 다수 포함되어 있어 이를 정제(cleansing)하는 절차를 추가적으로 수행하였다. 한국 마이크로 전자 및 패키징 학회지」에 게재된 730여 편의 논문에서 1929개의 주제어가 확인되었다.

본 연구의 분석은 다음과 같이 진행되었다. 먼저, 수집된 데이터를 기반으로 국내 마이크로 전자 및 패키징 관

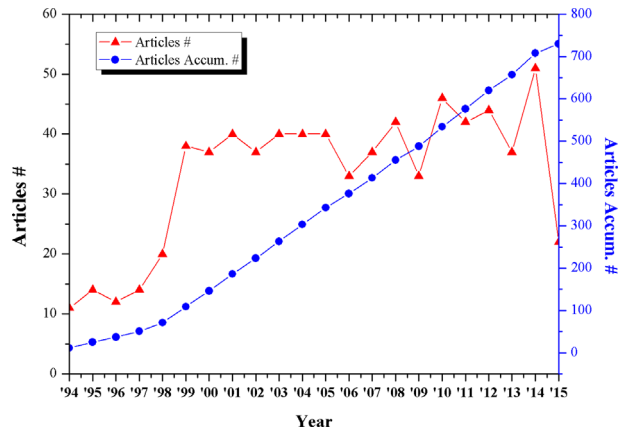


Fig. 1. Number of acquired data per year and annual accumulated data starting from 1994 to 2015.

련 연구의 흐름을 파악하기 위해 주제어에 대한 출현빈도 분석을 수행하였다. 기간별 출현빈도가 높은 주제어들은 해당 시기에 마이크로 전자 및 패키징 연구를 대표하는 주제어로, 연구의 변천사를 확인할 수 있는 대표적인 방법이라고 할 수 있다.<sup>2)</sup>

두 번째로, 주제어의 동시출현(co-occurrence) 분석을 통해 어떤 주제어가 어떤 주제어와 함께 연구되는지를 파악하였다. 주제어의 동시출현분석은 연구 주제어들 사이의 연관관계를 통해 마이크로 전자 및 패키징 분야의 연구구조(research structure)를 효과적으로 파악하기 위한 방법이다.<sup>3)</sup> 마이크로 전자 및 패키징 분야에서 자주 함께 사용되는 주제어들은 공유되고 있는 대상, 방법론, 물질, 장치 등의 명칭을 나타내는 경우가 많아 연구의 내용을 대표한다고 할 수 있다. 따라서 함께 사용되는 주제어들은 연구에 있어서 반드시 함께 살펴봐야 하는 주제어이고, 연구의 확장성을 위한 연결고리가 될 수도 있다. 분석을 위해 Table 1과 같이 ‘논문-주제어’의 관계를 ‘주제어-주제어’의 관계로 변환한 동시출현 행렬을 구성하였

Table 1. Keyword-keyword paired co-occurrence matrix

	BGA (ball grid array)	Cu	electroplating	flip chip	IMC (intermetallic compound)	LTCC (low temperature cofired ceramic)	reliability	RF (radio frequency)	solder joint	thin film
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)
(1)	29	1		8	3		2		5	1
(2)	1	32	5	4	3			1		
(3)		5	21	4	1		1		1	1
(4)	8	4	4	55	5		9	3	1	
(5)	3	3	1	5	30		1		6	
(6)						21		3		
(7)	2		1	9	1		44	2	3	
(8)		1		3		3	2	25		3
(9)	5		1	1	6		3		20	
(10)	1		1					3		30

다. 동시출현 행렬에서 ‘BGA’는 1994년부터 2015년 상반기 까지 22년 동안 총 29번 등장하였으며, 이중 ‘flip chip’ 과 8편, ‘solder joint’와는 5편의 논문에서 함께 등장하였다.

세 번째로, 소셜네트워크 분석의 한 방법인 주제어의 중심성 분석을 통해 마이크로 전자 및 패키징 분야에서의 중요한 주제어를 탐색코자 하였다. 소셜네트워크 분석은 주제어를 노드(node), 주제어들 사이의 관계를 링크(link)로 한 분석을 통해 주제어들 사이의 관계성을 설명하고자 하는 방법이다.<sup>4,5)</sup> 본 연구에서는 논문의 주제어를 노드로 하고 하나의 논문에 함께 등장한 관계를 링크로 하여 네트워크를 구성하였으며, 이를 바탕으로 주제어 중심성(centrality) 분석을 수행하였다. 중심성은 구성된 마이크로 전자 및 패키징 분야에서 가장 핵심이 되는 주제어로, 중심성을 정의하는 방법에 따라 연결중심성(degree centrality), 근접중심성(closeness centrality), 매개중심성(betweenness centrality)로 구분된다.<sup>6)</sup> 연결중심성 분석을 통해 마이크로 전자 및 패키징 연구에 있어 가장 다양한 연구 주제어들과 함께 연구되어 중추적인 역할을 담당하는 주제어를 찾을 수 있다. 근접중심성 분석을 통해서서는 마이크로 전자 및 패키징 연구 전체에 가장 빠르게 영향을 미칠 수 있는 위치에 있는 확장성이 높은 주제어를 확인할 수 있다. 매개중심성 분석을 통해서서는 세부그룹을 형성한 주제어들의 그룹과 그룹 사이를 연결해주는 주제어, 즉 융합연구를 가능하게 하는 주제어를 파악할 수 있다. 각 중심성은 식 (1-3)으로부터 도출되었다. 식 (1)은 연결중심성( $C_d(n_i)$ )을 나타내는 지표로  $d(n_i)$ 는 주제어  $i$ 와 연결된 주제어 수,  $N$ 은 전체 주제어 수를 나타낸다. 식 (2)는 근접중심성( $C_c(n_i)$ )을 나타내는 지표로  $d(n_i, n_j)$  주제어  $i$ 로부터 주제어  $j$ 까지의 최단거리를 말한다. 식 (3)은 매개중심성( $C_b(n_i)$ )을 나타내는 지표이며, 여기서  $N_{jk}$ 는 주제어  $i$ 와 주제어  $k$ 를 연결하는 최단경로의 수,  $N_{jk}(n_i)$ 는 주제어  $i$ 와 주제어  $j$ 를 연결하는 최단경로 중에 주제어  $i$ 를 포함하는 최단경로의 수를 이른다.

$$C_d(n_i) = \frac{d(n_i)}{N-1} \tag{1}$$

$$C_c(n_i) = \frac{(N-1)}{\left[ \sum_{j=1}^N d(n_i, n_j) \right]^{-1}} \tag{2}$$

$$C_b(n_i) = \frac{\sum_{j < k} N_{jk}(n_i)/N_{jk}}{[(N-1)(N-2)/2]} \tag{3}$$

네 번째로, 마이크로 전자 및 패키징 분야의 세부연구영역을 파악하고자 730여 개의 중심으로 소셜네트워크 분석 방법 중의 하나인 응집그룹(cohesive subgroup) 분석을 수행하였다. 이때, 긴 연구기간 동안 출현빈도가 낮은 주제어는 세부연구영역을 구축하기가 어렵기 때문에 분석에서 제외하였다. 본 연구에서는 학술지가 창간된 이

후로 22년 동안 누적 주제어 수의 변곡점(point of inflection)으로 5번미만으로 등장한 주제어는 제외하고 1929개의 주제어 중 121개의 주제어를 응집그룹 분석의 대상으로 하였다. 응집그룹 분석을 통해 도출된 세부연구영역을 대상으로 연구영역지도(research area mapping)을 작성하였다. 연구영역지도는 세부연구영역들 사이의 연결성(intra connection)과 세부연구영역 내의 연결성(inter connection)을 평면상에 나타낸 것으로 활성화되거나 미진한 세부연구영역을 파악하기 위한 방법이다.<sup>7)</sup> 식 (4)와 (5)는 연구영역지도 작성을 위해 제시되었다. 식 (4)는 세부연구영역 내의 연결성을 나타내는 것으로,  $D_i$ 는 주제어  $i$ 의 내부연결성,  $I_{ij}$ 는 주제어  $i$ 와 동일 그룹내 연결된 주제어  $j$ 의 합,  $n$ 은 동일한 세부그룹 내의 주제어 수를 말한다. 식 (5)는 세부연구영역들 사이의 연결성을 나타내는 것으로  $C_j$ 는 주제어  $j$ 의 외부연결성,  $E_{ij}$ 는 주제어  $i$ 와 다른 그룹의 주제어  $j$ 와 연결된 합,  $N$  네트워크 내의 전체 주제어 수를 나타낸다.

$$D_i = \frac{\sum I_{ij}}{n-1} \tag{4}$$

$$C_j = \frac{\sum E_{ij}}{N-n} \tag{5}$$

마지막으로, 「한국 마이크로 전자 및 패키징 학회지」에 논문을 게재한 저자들의 소속기관을 대상으로 하는 분석을 추가적으로 수행하였다. 이를 통해 국내 마이크로 전자 및 패키징 학회의 공동연구 현황을 확인하고자 하였다.

### 3. 연구 결과

「한국 마이크로 전자 및 패키징 학회지」가 1994년 창간된 이후 2015년 6월까지 학술지에 게재된 논문은 730편으로, 연2회 발간된 1994년부터 1998년까지 연평균 게재된 논문의 수는 14편이고, 연4회로 중간한 1999년부터 연평균 39편으로 나타났다. 논문의 수가 증가한 만큼 다양한 연구들이 수행되어 왔다. 본 연구에서는 「한국 마이크로 전자 및 패키징 학회지」에 게재된 논문을 대상으로 어떠한 주제에 대해 연구되었는지를 분석하기 위해 출현빈도 분석을 실시하였으며 그 결과 출현빈도 수가 높은 상위의 주제어를 Table 2에 제시하였다. 1994년부터 2015년까지 22년 동안 가장 많이 등장한 주제어는 ‘flip chip’이 55편의 논문에 등장하면서 가장 많이 연구된 주제어로 나타났으며, 그 다음으로 ‘reliability, Cu, IMC (intermetallic compound)’ 등의 주제어가 각각 44편, 32편, 30편의 논문에 등장하였다. 구체적으로, 전체 주제어를 4년 간격으로 살펴본 결과, 전체 기간에서 출현빈도가 높았던 ‘flip chip’은 1994~1997년 동안에는 한편의 논문에도 등장하지 않았으나 1998~2001년 7편, 2002~2005년 12

**Table 2.** Frequency of keyword from 1994 to 2015

whole period		'94-'97	'98-'01	'02-'05	'06-'09	'10-'13	'14-'15						
flip chip	55	thin film	9	RF(radio frequency)	13	LTCC(low temperature cofired ceramic)	14	flip chip	15	flip chip	18	TSV(through silicon via)	8
reliability	44	BaTiO <sub>3</sub>	6	SEM(scanning electron microscopy)	9	flip chip	12	reliability	13	reliability	18	reliability	7
Cu	32	thick film resistor	5	XRD(X-ray diffraction)	9	IMC(intermetallic compound)	7	Cu	9	IMC(intermetallic compound)	10	Cu	5
IMC(intermetallic compound)	30	SEM(scanning electron microscopy)	4	BGA(ball grid array)	8	electronic packaging	6	electrodeposition	8	BGA(ball grid array)	9	thermal management	5
thin film	30	thick film	4	Cu	7	electroplating	6	solder joint	8	adhesion	8	nanoparticle	4
BGA(ball grid array)	29	green sheet	3	flip chip	7	electromigration	5	BGA(ball grid array)	7	Cu	7	packaging	4
RF(radio frequency)	25	hybrid IC(integrated circuit)	3	MCM(multi chip module)	6	FEA(finite element analysis)	5	IMC(intermetallic compound)	7	LED(light emitting diode)	7	warping	4
electroplating	21	MCM(multi chip module)	3	thick film	6	lead free solder	5	MEMS(micro electro mechanical system)	7	thermoelectric	7	electrical property	3
LTCC(low temperature cofired ceramic)	21	MOD(metal organic decomposition)	3	thin film	6	Pb-free solder	5	contact resistance	6	electroplating	6	electroplating	3
solder joint	20	RF(radio frequency)	3	EMC(epoxy molding compound)	5	reliability	5	electroplating	6	FEM(finite element method)	6	flip chip	3
adhesion	18	Ru	3	wettability	5	RF(radio frequency)	5	luminance	6	moire interferometry	6	graphene	3
Pb-free solder	18	RuO <sub>2</sub>	3	AFM(atomic force microscopy)	4	thin film	5	Pb-free solder	6	thin film	6	high speed shear	3
TSV(through silicon via)	18	XRD(X-ray diffraction)	3	ECR(electron cyclotron resonance)	4	dielectric constant	4	adhesion	5	TSV(through silicon via)	6	LED(light emitting diode)	3
lead free solder	16	(Ba, Sr)TiO <sub>3</sub>	2	IC(integrated circuit)	4	electrical resistance	4	lead free solder	5	PCB(printed circuit board)	5	PoP(package on package)	3
warping	16	Ag	2	IMC(intermetallic compound)	4	ferroelectric film	4	PCB(printed circuit board)	5	power factor	5	Sn-Ag-Cu	3
PCB(printed circuit board)	15	Ar ion	2	low temperature sintering	4	luminance	4	Cu pillar bump	4	solder joint	5	solder	3
SEM(scanning electron microscopy)	15	ATM(asynchronous transfer mode) switching system	2	LTCC(low temperature cofired ceramic)	4	polymer	4	current efficiency	4	thermal deformation	5	solder joint	3
FEM(finite element method)	13	borosilicate	2	MCM-D(multi chip module deposited)	4	shear strength	4	ENIG(electroless nickel with immersion gold coating)	4	warping	5	thermal via	3
XRD(X-ray diffraction)	13	ceramic	2	microelectronic packaging	4	UBM(under bump metallurgy)	4	OTFT(organic thin film transistor)	4	3D IC(integrated circuit)	4	thickness	3
UBM(under bump metallurgy)	12	glass ceramic	2	semiconductor chip	4	activation energy	3	PLED(polymer light emitting diode)	4	4-point bending test	4	3D IC(integrated circuit)	2

**Table 3.** Keyword pairs co-occurrence frequency

keyword pairs	freq.	keyword pairs	freq.
flip chip - reliability	9	BGA(ball grid array) - solder joint	5
flip chip - BGA(ball grid array)	8	bismuth telluride - thermoelectric	5
flip chip - contact resistance	8	adhesion -peel test	5
adhesion - polyimide	6	Cu - electroplating	5
flip chip - electromigration	6	thermoelectric- hot pressing	5
IMC(intermetallic compound) - solder joint	6	flip chip - IMC(intermetallic compound)	5
IMC(intermetallic compound) - UBM(under bump metallurgy)	6	FEM(finite element method) - warpage	5
luminance - PLED(polymer light emitting diode)	6	SEM(scanning electron microscopy) - XRD(X-ray diffraction)	5
moire interferometry - thermo mechanical behavior	6	thermoelectric - thin film	5
power factor - thermoelectric	6	BGA(ball grid array) - moire interferometry	4

편, 2006~2009년 15편, 2010~2013년 18편, 2014~2015년에 3편의 논문에 등장한 것으로 확인되었다. 1990년대에는 등장하지 않았던 ‘electroplating’은 2002~2005년 5편, 2006~2009년 6편, 2010~2013년 6편, 2014~2015년 3편의 논문에 등장하면서 관련된 활발한 연구가 이루어지기 시작한 것으로 파악되었다. ‘TSV(through silicon via)’기술도 2010년대부터 등장하기 시작하여 2010~2013년에는 6편의 논문에서 연구되어졌으며, 2014~2015년에는 8편의 논문에서 언급되어 해당기간 동안 가장 많이 연구된 주제어로 등장하였다. 화두가 되고 있는 ‘graphene’ 또한 2014년 이후에 최근에 새롭게 부각되는 주제어이다. 이와 같은 출현 빈도를 통해서, 2000년대 이전의 연구들이 주로 마이크로 전자 및 패키징에 대한 거시적인 형태의 연구가 주를 이루어졌다면 2000년대 이후에는 연구주제어가 세분화되고, 새로운 테마들이 주로 등장한 것을 확인할 수 있다.

주제어 동시출현분석에 의하면, ‘flip chip - reliability’가 9편의 논문에 함께 등장하여 가장 많은 논문에서 함께 연구되는 것으로 나타났다. 이외에 ‘flip chip’은 ‘BGA(ball grid array), contact resistance, electromigration, IMC(intermetallic compound)’와 각각 8편에서 5편의 논문에 동시출현을 한 것으로 확인되어 다양한 연구에 적용되는 기반 주제어라고 할 수 있다.

국내 마이크로 전자 및 패키징 연구의 중점 연구개념은 소셜네트워크 분석의 하위분석지표인 중심성 분석을 통하여 살펴보았다. 중심성 분석은 마이크로 전자 및 패키징 관련 전체 주제어 중에서 어떠한 주제어가 중심 위치에 있는지를 살펴보기 위한 것이다. 이를 통해 마이크로 전자 및 패키징 연구에 있어 다른 주제어들과 가장 많이 연구되어진 연결중심성이 높은 주제어, 전체 연구에 가장 빠르게 영향을 미칠 수 있는 근접중심성이 높은 주제어, 세부연구영역을 연결해주는 역할을 하는 매개중심성이 높은 주제어를 확인할 수 있다.

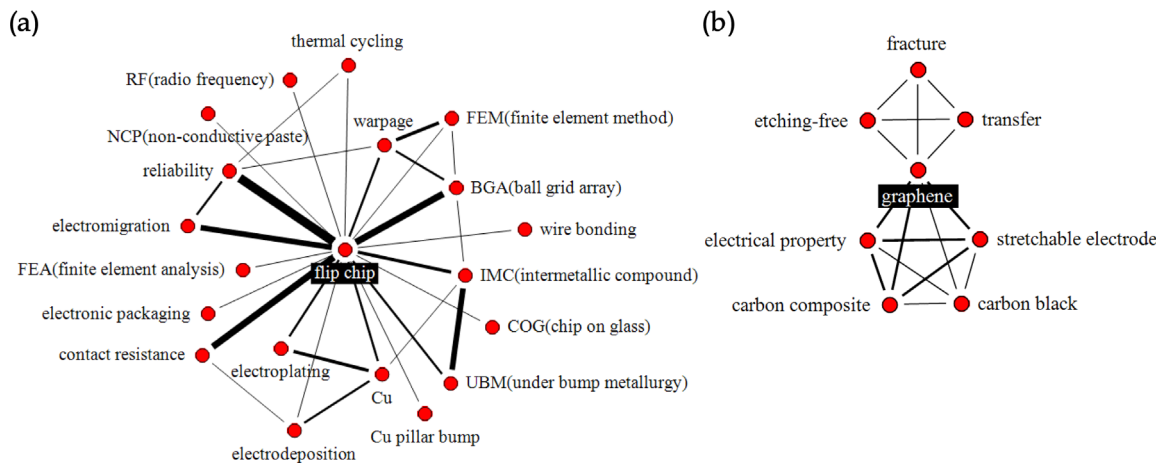
주제어에 대한 중심성 분석을 수행한 결과는 연결정도 중심성이 높은 순으로 Table 4에 제시하였다. 다수의 주제어들과 함께 연구되는 연결중심성이 높게 나타난 주제어는 ‘flip chip(8.61%), reliability(7.00%), Cu(6.79%), thin film(5.39%), IMC(intermetallic compound)(5.19%)’ 순으로 확인되었다. 다음으로, 마이크로 전자 및 패키징 연구에서 가장 확산성이 높은 주제어로는 ‘Cu(37.57%), flip chip(36.99%), reliability(35.86%), RF(radio frequency)(35.57%), BGA(ball grid array)(35.22%)’ 순으로 전체 연구에 빠르게 영향을 미칠 수 있는 근접중심성이 높은 주제어로 파악되었다. 마이크로 전자 및 패키징 연구의 세부연구영역을 연결하는 위치에 있어 융합연구를 가능하게 하는 매개중심성이 높은 주제어는 ‘Cu(11.79%), flip chip(10.20%), thin film(9.00%), reliability(8.77%), RF(radio frequency)(7.52%)’ 순으로 나타났다. 중심성이 높은 주제어들의 대부분은 출현빈도 수 또한 높은 주제어들로 이들이 주제어들이 마이크로 전자 및 패키징 연구에 있어 핵심적인 역할을 수행하고 있는 것으로 판단된다.

그 외에 본 연구에서는 연결중심성이 높은 ‘flip chip’과 최근에 새롭게 부각되고 있는 ‘graphene’의 주제어들과 함께 연구된 주제어들을 Fig. 2에 시각화하여 제시하였다. 그림에서 점(노드)은 주제어, 선(링크)은 한 논문에서 함께 등장한 관계, 선의 굵기는 여러 편의 논문에서 함께 등장하였을 경우 굵게 표시하였다. 그림을 통해서 ‘flip chip’은 ‘reliability, BGA(ball grid array), electromigration, contact resistance, IMC(intermetallic compound)’와 함께 등장하는 비율이 높은 것으로 확인되었으며, 이중 ‘IMC(intermetallic compound)는 UBM(under bump metallurgy)’와도 많은 연구가 이루어지는 것으로 나타났다.<sup>8)</sup> ‘graphene’는 주로 ‘electrical property, stretchable electrode, carbon composite, carbon black’ 등과도 연구되어지는 것으로 확인되었다.<sup>9-11)</sup>

마이크로 전자 및 패키징의 세부연구영역을 파악하기 위해 본 연구에서는 1929개의 주제어중 22년 동안 5번미

**Table 4.** Keyword centrality analysis

keyword	Centrality(%)			keyword	Centrality(%)		
	Degree	Closeness	Betweenness		Degree	Closeness	Betweenness
flip chip	8.61	36.99	10.20	TSV(through silicon via)	2.33	31.67	1.92
reliability	7.00	35.86	8.77	FEM(finite element method)	2.33	31.98	1.82
Cu	6.79	37.57	11.79	shear strength	2.28	32.30	0.94
thin film	5.39	34.58	9.00	FEA(finite element analysis)	2.28	31.35	1.60
IMC(intermetallic compound)	5.19	33.99	4.39	solder	2.23	31.80	1.40
RF(radio frequency)	4.77	35.57	7.52	wettability	2.23	28.60	0.92
BGA(ball grid array)	4.20	35.22	4.36	laser	2.07	30.50	1.74
XRD(X-ray diffraction)	4.05	30.77	3.69	Ag	2.07	32.84	1.78
SEM(scanning electron microscopy)	3.99	35.02	6.42	Ni	2.02	31.51	1.17
electroplating	3.58	34.62	4.88	electromigration	1.97	32.16	0.65
solder joint	3.53	32.64	2.12	packaging	1.97	32.79	3.76
Pb-free solder	3.53	32.28	2.84	MEMS(micro electro mechanical system)	1.92	31.45	1.51
LTCC(low temperature cofired ceramic)	3.48	30.30	3.95	solder bump	1.92	32.50	1.37
adhesion	3.01	34.46	3.77	LED(light emitting diode)	1.87	29.63	1.98
Si	2.75	30.60	3.37	electronic packaging	1.82	31.67	0.79
warpage	2.59	31.77	1.42	electrical resistance	1.76	31.16	2.10
lead free solder	2.49	31.51	1.33	XPS(X-ray photoelectron spectroscopy)	1.76	27.27	1.35
PCB(printed circuit board)	2.49	33.31	2.98	green sheet	1.71	28.57	0.56
UBM(under bump metallurgy)	2.49	31.60	1.15	thermal cycling	1.61	31.65	0.75
thick film	2.39	31.48	2.77	microelectronic packaging	1.61	28.02	0.72



**Fig. 2.** Visualized network structure for ‘(a) flip chip’ and ‘(b) graphene’

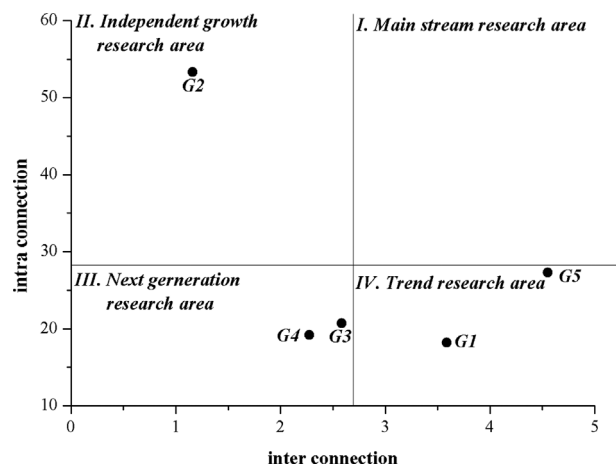
만으로 등장한 주제어를 제외한 121개의 주제어에 대해 응집그룹 분석을 실시하였다. 응집그룹은 커뮤니티 (community) 지표를 통해 세부연구영역 내의 연결이 세부연구영역간의 연결보다 많도록 하여 빈번하게 함께 연구되는 주제어를 하나의 하위그룹으로 구분될 수 있도록 하였다. 이때 응집그룹의 수는 모듈성(modularity)를 통해

서 결정하였는데, 모듈성은 응집그룹에 대한 설명력을 나타내는 지표로 모듈성이 증가하다가 갑자기 감소하는 지점에서 응집그룹의 수를 결정한다.<sup>12)</sup> 본 연구에서는 모듈성 0.74를 기준으로 마이크로 전자 및 패키징 연구영역을 5개로 구분하였으며, 응집그룹의 분석 결과는 Table 5에 제시하였다.

**Table 5.** Subgroup research area of microelectronics and packaging

	cohesive subgroups	No. of keywords	No. of links	Intra connection(%)	Inter connection(%)	Research Area
G1	flip chip, Cu, thin film, RF(radio frequency), electroplating, LTCC(low temperature cofired ceramic), TSV(through silicon via), thermoelectric, UBM(under bump metallurgy), electronic packaging, luminance, MEMS(micro electro mechanical system), contact resistance, electrical resistance, electrodeposition, laser, MCM(multi chip module), Ni, power factor, solder bump, 3D IC(integrated circuit), PLED(polymer light emitting diode), thermal management, bump, thermal via, annealing, bismuth telluride, COG(chip on glass), embedded passive, fatigue, hot pressing, TCR(temperature coefficient resistivity), via filling, wafer, wire bonding	35	108	18.2	7.6	IV
G2	FEA(finite element analysis), moire interferometry, solder ball, thermal deformation, thermo mechanical behavior, thermal stress	6	8	53.3	7.7	II
G3	SEM(scanning electron microscopy), XRD(X-ray diffraction), thick film, Ag, electrical property, BaTiO <sub>3</sub> , dielectric characteristic, ferroelectric film, microwave dielectric property, dielectric constant, low temperature sintering, microelectronic packaging, TEM(transmission electron microscope), thick film resistor, adhesion strength, AFM(atomic force microscopy), EMC(epoxy molding compound), glass ceramic, green sheet, magnetron sputtering, polymer, PTC(positive temperature coefficient) thermistor, RuO <sub>2</sub> , SiO <sub>2</sub> , sol-gel method	25	62	20.7	2.8	III
G4	reliability, adhesion, warpage, PCB(printed circuit board), FEM(finite element method), LED(light emitting diode), packaging, polyimide, Si, peel test, XPS(X-ray photoelectron spectroscopy), multilayer, residual stress, electroless plating, etching, flip chip bonding, humidity, nanoparticle, sputtering, LCD(liquid crystal display), OPCB(optical printed circuit board), sensor, substate, WLP(wafer level packaging)	24	53	19.2	6.9	III
G5	IMC(intermetallic compound), BGA(ball grid array), solder joint, Pb-free solder, lead free solder, electromigration, shear strength, solder, wettability, 4-point bending test, activation energy, lead free, thermal cycling, ENIG(electroless nickel with immersion gold coating), high speed shear, solder paste, aging, CMP(chemical mechanical polishing), Cu pillar bump, microstructure, OSP(organic solderability preservative), ceramic, contact angle, Cu interconnection, epoxy, flexibility, plating, SMT(surface mount technology), Sn-Ag-Cu, solderability, soldering	31	127	27.3	7.0	IV

본 연구에서는 응집그룹의 분석결과를 활용하여 연구 영역지도를 작성하여 연구의 발전상황을 확인해보고자 하였다. 연구영역지도를 통해서 향후 마이크로 전자 및 패키징 연구의 세부연구영역 중 어떤 연구를 전략적으로 다루어야 할지에 대한 의사결정시 지침으로 활용가능 할 것이다. 연구영역지도에서 세부연구영역내의 연결성이 강할수록 확립된 연구 분야로 볼 수 있는 반면, 연결성이 낮을 경우에는 아직 연구가 개별적으로 이루어지고 있고 연구영역의 구조가 재구축되어갈 수 있음을 나타낸다.<sup>13)</sup> 연구영역지도에서 세부연구영역간의 연결성이 높은 것은 다른 세부연구영역으로의 확장을 위해 필요한 연구영역이라고 할 수 있다.<sup>14)</sup> 연구영역지도는 Fig. 3가 같이 지도의 표시된 세부연구영역의 위치에 따라 네 개의 유형으로 구분될 수 있다. 여기서 유형의 구분은 세부연구영



**Fig. 3.** Subgroup area mapping in microelectronics and packaging

**Table 6.** Number of published papers by the research organization

research organization	freq.	research organization	freq.
홍익대학교	67	한국기술교육대학교	19
한양대학교	56	부산대학교	19
단국대학교	55	서울대학교	19
한국과학기술연구원	49	충북대학교	16
전자부품연구원	45	삼성전자	14
한국과학기술원(KAIST)	44	삼성전자종합기술원	13
서울과학기술대학교	44	중앙대학교	13
서울시립대학교	41	STATS ChipPAC Ltd.	13
한국생산기술연구원	40	서울산업대학교	12
삼성전기	35	고려대학교	11
한국전자통신연구원	30	한밭대학교	11
안동대학교	29	국민대학교	11
아주대학교	24	한국기계연구원	11
성균관대학교	24	포항산업과학연구원	11
연세대학교	20	순천향대학교	10

역 내와 세부연구영역 사이의 연결성의 평균값을 기준으로 구분하였다.

우선, I. 주류 연구영역은 성숙된 연구 분야로 현재 주목받고 있는 주제어들을 포함하고 있는 부분이다. II. 독립적 연구영역은 그룹2가 속해 다른 세부연구영역과의 관련성이 상대적으로 적고 그룹2에 속한 주제어들의 독립적인 연구가 주로 이루어지는 부분으로 파악되었다. III. 차세대 연구영역은 아직은 연구영역이 구조화되지 않고, 개별적인 연구가 주로 이루어지고 있기는 하지만 향후 주목받을 수 있는 연구영역으로 그룹3과 그룹4가 해당 부분에 속해 있다. 마지막으로 IV. 유행 연구영역은 현재 확립된 세부연구영역으로 볼 수는 없지만 다른 세부연구영역과 활발히 연구되고 있어 향후 발전가능성이 엿보이는 영역이라고 할 수 있다.

본 연구에서는 추가적으로 「한국 마이크로 전자 및 패키징 학회지」에 논문을 게재한 연구자들의 소속기관을 분석하였다. 연구자의 소속기관의 분석을 통해 국내 마이크로 전자 및 패키징 연구의 공동연구 현황을 파악하고자 하였다.

먼저, 「한국 마이크로 전자 및 패키징 학회지」에 논문을 게재한 해외연구자의 비율을 확인한 결과 730편 중 25편(3.4%)의 논문에 해외연구자가 포함된 것으로 나타났다. 「한국 마이크로 전자 및 패키징 학회지」에 가장 많은 논문을 게재한 기관은 ‘홍익대학교, 한양대학교, 단국대학교, 한국과학기술연구원, 전자부품연구원’ 순으로 각각 67편, 56편, 55편, 49편, 45편의 논문을 게재한 것으로 확인되었다. Table 6은 연구기관별로 논문게재 편수를 나타내며, 여기서는 논문 게재편수가 많은 일부 기관을 제시하였다.

다양한 기관과 공동연구를 가장 많이 한 기관은 한양

대학교와 서울과학기술대학교, 단국대학교, 서울시립대학교로 이들 기관은 18개 기관들과 공동연구를 통한 논문을 게재하였다. 그 외에 공동연구를 공고히 하고 있는 기관은 안동대학교로 나타났다. 안동대학교는 서울대학교와 한국기계연구원과 7편의 논문을 공동으로 게재하였다. 한국과학기술연구원과 고려대학교, 포항산업과학연구원과 부경대학교, 인하대학교와 한국생산기술연구원은 각각 6편의 논문을 통해서 공동연구를 수행한 것으로 확인되었다.

#### 4. 결 론

본 연구의 목적은 주제어의 동시출현분석과 소셜네트워크 분석에 근거하여 국내 마이크로전자 및 패키징 연구의 흐름을 파악하고, 세부연구영역별로 미진한 연구 분야를 찾아서 한국의 마이크로 전자 및 패키징 분야의 발전을 위한 방향을 제시하는 것이다. 이를 위해 「한국 마이크로 전자 및 패키징 학회지」가 창간된 1994년부터 2015년 6월까지의 발표된 730편의 논문에 대해 1929개의 주제어를 추출하여 분석을 실시하였다.

본 연구의 분석결과, 출현빈도가 가장 높은 주제어는 현재 마이크로 전자 및 패키징 연구의 세부연구영역에서 중요하게 다뤄지고 있는 ‘flip chip, reliability, Cu, IMC (intermetallic compound), thin film’ 등으로 확인하였다. 연구대상기간을 구분하여 살펴본 결과, 시간의 흐름에 따라 하위연구영역을 대표하는 주제어들이 발전된 형태로 등장하는 것을 확인할 수 있었다. 이전에는 등장하지 않았으나 가장 최근인 2014~2015년에 ‘graphene, PoP(package on package), carbon composite’ 등의 주제어가 새롭게 부각되고 있었다.

마이크로 전자 및 패키징 연구의 주요 연구 개념을 확인하기 위해 수행된 중심성 분석 결과 flip chip, reliability, Cu, thin film, IMC(intermetallic compound) 등의 주제어가 다양한 주제어들과 함께 연구되는 연구에 있어서 핵심적인 주제어로 확인되었다. 이들 주제어는 근접중심성과 매개중심성 또한 높아 마이크로 전자 및 패키징 연구에 있어서 높은 확장성을 지닌 주제어이면서 세부연구영역을 이어주는 주제어라고 할 수 있다. 중심성 분석결과를 통해 향후 마이크로 전자 및 패키징 연구들은 이들 주제어를 바탕으로 하여 연구가 발전적으로 이루어질 수 있을 것이다. 그러나 중심성이 낮은 주제어들의 경우에도 아직까지 다양한 연구 개념들과의 관련성이 규명되지 않은 주제어일 뿐이지 연구의 중요성이 떨어진다고 판단할 수는 없다. 따라서 향후 연구에서는 중심성이 높은 주제어와 중심성이 낮은 주제어의 관계를 새롭게 규명하려는 시도가 이루어진다면 마이크로 전자 및 패키징 연구의 새로운 이론과 기술 개발에 기여할 수 있을 것이다.

한편, 응집그룹 분석을 통해 5개의 세부연구영역 (cohesive sub-groups)을 밝혀냈으며, 이들을 대상으로 한 연구



영역지도를 통해 마이크로 전자 및 패키징 연구의 세부 연구영역별 발전상황을 확인하였다. 이러한 연구결과는 주제어의 동시출현 관계에 기반을 둔 분석결과로 연구의 특성상 기존의 직관적인 분류개념과는 일치하지 않을 수 있다. 그러나 마이크로 전자 및 패키징 연구가 융합적인 연구의 특성을 가지는 것과 동시에 산업의 환경 변화에 따라 진화 속도가 여타 다른 분야보다 빠르다는 점에 있어서 세부연구영역이 유기적인 형태를 가진다고 할 수 있다. 이러한 현상은 한국 마이크로 전자 및 패키징 연구에 대한 보다 깊이 있는 이론과 기술을 개발할 필요성을 나타낸다. 더불어 마이크로 전자 및 패키징 연구의 연구 개념들 사이의 변화과정을 지속적으로 추적하는 연구도 매우 의미 있는 연구주제가 될 것이다.

본 연구의 결과는 그동안 국내 마이크로 전자 및 패키징 연구에 대한 흐름을 분석하는데 있어 「한국 마이크로 전자 및 패키징 학회지」가 창간된 이후 현재까지 출간된 논문을 전수 조사하였다는 점에 있어 의미가 있다고 판단된다. 뿐만 아니라, 국내 마이크로 전자 및 패키징 연구의 방향을 설정하는데 있어서도 중요한 지침으로 활용이 가능해 관련된 연구를 촉진시킬 수 있는 토대를 제공하는데 기여할 수 있을 것이다.

그러나 본 연구의 의미 있는 시도에도 불구하고 다음과 같은 한계점을 가진다. 먼저, 분석 대상을 하나의 학술지만을 대상으로 하였다는 점이다. 본 연구를 통해 「한국 마이크로 전자 및 패키징 학회지」에 게재된 연구들의 흐름을 파악할 수는 있었지만, 마이크로 전자 및 패키징 분야의 전반적인 흐름을 파악하는데는 한계가 있다. 따라서 향후 연구에서는 분석의 범위를 국내외로 확장하여 국내의 연구흐름과 해외 여타 국가들에서의 연구흐름을 비교분석하는 연구가 이루어질 필요가 있다.

마이크로 전자 및 패키징 관련 연구의 특성은 다양한 기술과 이론을 배경으로 발전한 융합적인 성격을 가지고 있다. 2015년도 현재 시점에서 마이크로 전자 및 패키징 연구를 더욱 발전시키기 위해서는 급속히 변해 가는 기업과 소비자의 1차적인 수요층의 욕구를 반영하여 좀 더 성숙하고 활용가능성이 높은 연구의 발전을 도모하여야 할 것이다.

### 감사의 글

본 연구는 “BK21PLUS” 창의소재 연구단 사업과 산업통상자원부 과제번호 2015-11-0674의 지원을 일부분 받아 수행된 연구결과입니다.

### References

1. H. Lee and I. Sohn, “Looking Back at Steel Research International and Its Future”, *Steel Research Int.*, 86(1), 10 (2015).

2. R. R. Braam, H. F. Moed and A. F. J. van Rann, “Mapping of Science by Combined Co-citation and Word Analysis. I. Structure Aspects”, *J. American Society for Information Science*, 42(4), 233 (1991).

3. H. Qin, “Knowledge Discovery through Co-word Analysis”, *Library Trends*, 48(1), 133 (1999).

4. S. Wasserman and K. Faust, “Social Network Analysis: Methods and Applications (17th ed.)”, Cambridge University Press, New York (2008).

5. M. E. J. Newman, “The Structure and Function of Complex Networks”, *SIAM Rev.*, 45(2), 167 (2003).

6. J. Scott, “Social Network Analysis: A Handbook”, Sage, London (1991).

7. P. Mutschke and A. Quan-Haase, “Collaboration and Cognitive Structures in Social Science Research Fields: Towards Social-Cognitive Analysis in Information Systems”, *Scientometrics*, 52(3), 487 (2001).

8. J. Ma, S. Kim and S. E. Kim, “Study of Micro Flip-chip Process using ABL bumps (in Korean)”, *J. Microelectron. Packag. Soc.*, 21(2), 37 (2014).

9. T. W. Lee, H. S. Lee and H. H. Park, “A Study on the Electrical Resistivity of Graphene Added Carbon Black Composite Electrode with Tensile Strain (in Korean)”, *J. Microelectron. Packag. Soc.*, 22(1), 55 (2015).

10. T. W. Lee and H. H. Park, “The Effect of Graphene on the Electrical Properties of a Stretchable Carbon Electrode(in Korean)”, *J. Microelectron. Packag. Soc.*, 21(4), 77 (2014).

11. T. Yoon, W. S. Jo and T. S. Kim, “High-Yield Etching-Free Transfer of Graphene: A Fracture Mechanics Approach”, *J. Microelectron. Packag. Soc.*, 21(2), 59 (2014).

12. M. E. J. Newman and M. Girvan, “Finding and Evaluating Community Structure in Networks,” *Physical Review E*, 69, 026113 (2004).

13. W. A. Turner, G. Chartron, E. Laville and B. Michelet “Packaging Information for Peer Review: New Co-word Analysis Techniques”, in *Handbook of Quantitative Studies of Science and Technology*, pp. 291-320, A.F.J. van Raan, Ed., Elsevier Science Publishers, Amsterdam (1988).

14. M. Callon, “Some Elements of a Sociology of Translation”, *Sociological Review*, 32, 196 (1984).



- 이현정(李賢貞)
- 연세대학교 그린기술연구원
- 빅데이터분석
- mktbridge@yonsei.ac.kr



- 손 일(孫逸)
- 연세대학교 신소재공학과
- 재료공학
- ilsohn@yonsei.ac.kr