

VOL 22-6
2022.6

KEIT PD

Issue Report

PD 기술 이슈

ISSUE 1 건설·산업기계용 수소엔진 기술동향

ISSUE 2 긍정 디자인 패러다임의 변화

ISSUE 3 언더필 소재 기술 동향

ISSUE 4 AlN(Aluminium Nitride) 기반의 센서 기술 동향

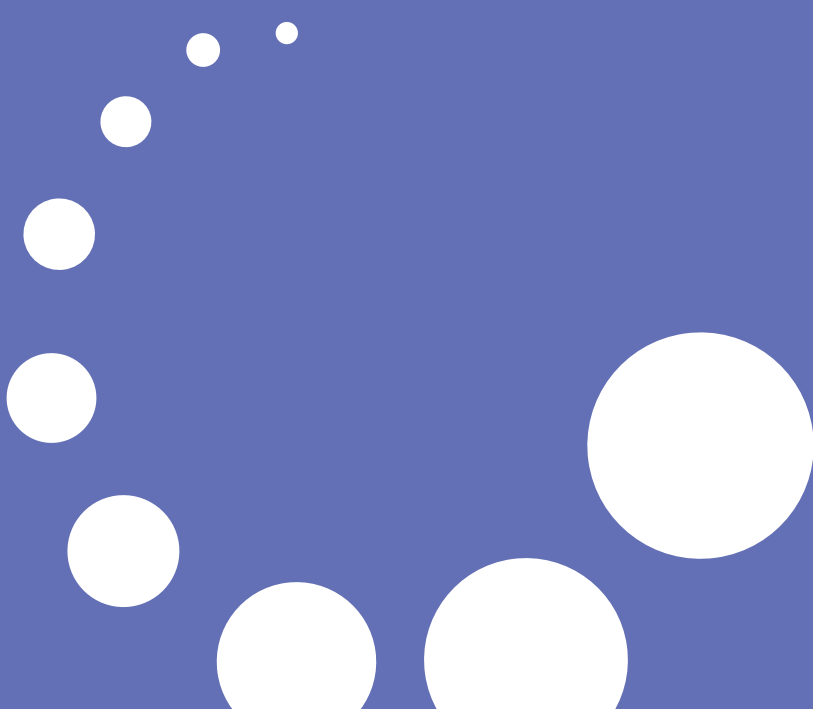
Keit 한국산업기술평가관리원
Korea Evaluation Institute of Industrial Technology





VOL 22-6 2022.6
KEIT PD ISSUE REPORT

❶ [PD 기술 이슈 1] 건설·산업기계용 수소엔진 기술동향	05
❷ [PD 기술 이슈 2] 긍정 디자인 패러다임의 변화	18
❸ [PD 기술 이슈 3] 언더필 소재 기술 동향	24
❹ [PD 기술 이슈 4] AlN(Aluminium Nitride) 기반의 센서 기술 동향	39



VOL 22-6

2022.6

KEIT PD

Issue Report

PD 기술 이슈

ISSUE 1 건설·산업기계용 수소엔진 기술동향

ISSUE 2 공정 디자인 패러다임의 변화

ISSUE 3 언더필 소재 기술 동향

ISSUE 4 AlN(Aluminium Nitride) 기반의 센서 기술 동향





PD 기술 이슈

ISSUE 1

건설·산업기계용 수소엔진 기술동향

- KEIT 첨단기계PD

ISSUE 2

공정 디자인 패러다임의 변화

- KEIT 디자인PD

ISSUE 3

언더필 소재 기술 동향

- KEIT 화학공정PD

ISSUE 4

AlN(Aluminium Nitride) 기반의 센서 기술 동향

- KEIT 시스템반도체PD

건설·산업기계용 수소엔진 기술동향

|저자| 전형호 첨단기계PD / KEIT
김준석 그룹장 / 건설기계부품연구원

SUMMARY

/// 탄소제로 친환경 수소엔진 연구개발 필요

- ★ 국내외 건설·산업기계 관련 환경규제(이산화탄소 및 유해물질 배출) 강화로 탄소제로 친환경 동력원 수요는 앞으로 꾸준히 증가할 것으로 전망됨
- ★ 기존 엔진 산업을 기반으로 탄소제로 친환경 동력원 수요에 빠르게 대응 가능한 수소엔진의 중요성이 부각될 것으로 보이며, 수소엔진 연구개발 및 실차 탑재 기술 실증 필요

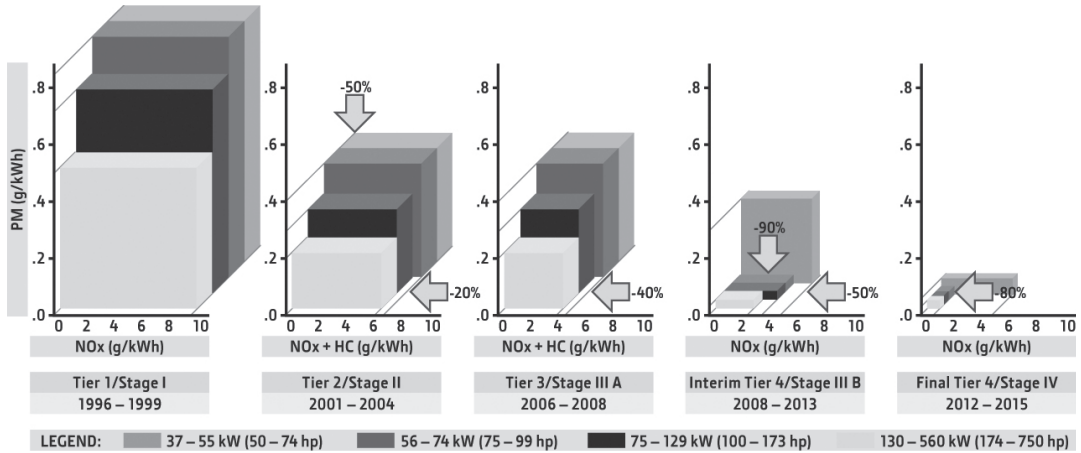
/// 시사점 및 정책제안

- ★ 수소엔진 시장에 빠른 대응을 위해 수소 연료 포트 분사 방식 기반 수소엔진 개발 필요
- ★ 수소 연료 직접 분사 시스템 핵심 부품 및 요소기술 개발 필요
- ★ 수소 연소 안정성 확보 및 고효율 연소를 위한 연소 요소기술 개발과 수소 엔진 통합 제어 시스템(EMS) 개발 필요
- ★ 수소엔진 탑재 장비의 상용화 제반 마련을 위한 실증 기반 기술 효용성 검증과 관련 인증 및 표준 수립 필요

1. 건설·산업기계

// 동력원 환경규제

★ 전 세계적으로 건설·산업기계 탑재 엔진의 배출가스 규제가 강화되고 있으며 강화 규제에 대응하지 못할 경우 배기인증을 받지 못해 상품 판매 불가

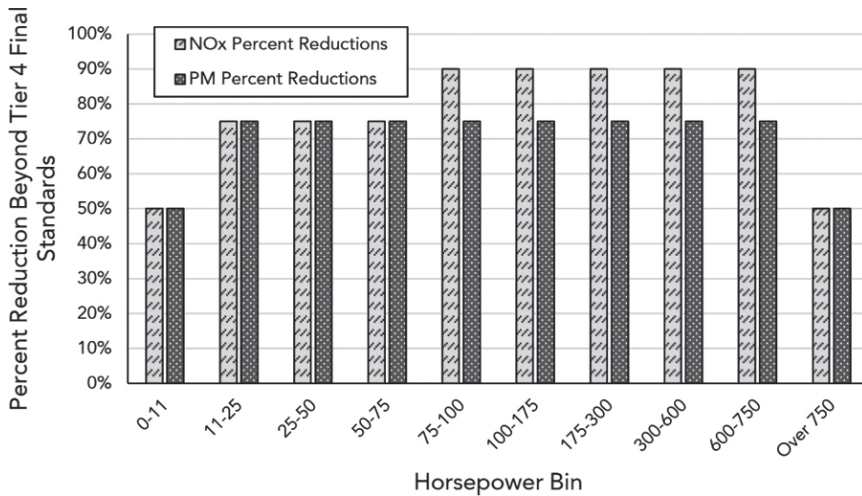


| 그림 1. 미국·유럽의 비도로 배출가스 과거 규제 동향 [1] |

- (미국) Tier 4 규제를 통해 8kW 미만 소형 엔진부터 900kW 초과 대형 엔진까지 NMHC, NMHC+NOx, NOx, PM, CO, Smoke에 대해 고시 내구수명 내에서 배출량을 강력히 규제 중
- (미국) 현재 논의 중인 차기 Tier 5 규제를 통해 현행 Tier 4 대비 NOx, PM 50~90% 추가 저감, 고시 내구수명 연장 등 유해 배출물질 규제 강화 예정

| 표 1. Tier 4 출력별 CI 엔진 유해배출물질 규제치 [2] |

최고출력 (kW)	제작년도	NMHC (g/kWh)	NMHC+NOx (g/kWh)	NOx (g/kWh)	PM (g/kWh)	CO (g/kWh)	Smoke (%)
P<8	2008+	-	7.5	-	0.40	8.0	20/15/50
8≤P<19	2008+	-	7.5	-	0.40	6.6	
19≤P<37	2013+	-	4.7	-	0.03	5.5	
37≤P<56	2013+	-	4.7	-	0.03	5.0	
56≤P<75	2014+	0.19	-	0.40	0.02	5.0	
75≤P<130	2014+	0.19	-	0.40	0.02	5.0	
130≤P<225	2014+	0.19	-	0.40	0.02	3.5	
225≤P<450	2014+	0.19	-	0.40	0.02	3.5	
450≤P<560	2014+	0.19	-	0.40	0.02	3.5	
560≤P<900	2015+	0.19	-	3.5	0.04	3.5	
900≤P	2015+	0.19	-	3.5	0.04	3.5	



| 그림 2. Tier 5 규제의 Tier 4 대비 NOx 및 PM 추가 저감 컨셉 [3] |

- (유럽) Stage V 규제를 통해 엔진의 형식 및 적용 형태별 출력에 따라 CO, HC, NO_x, PM, PN을 강력히 규제 중

| 표 2. Stage V 형식 및 적용 형태별 출력에 따른 유해배출물질 규제치 [4] |

카테고리	적용형태	최고출력	엔진형식	CO (g/kWh)	HC (g/kWh)	NO _x (g/kWh)	PM (g/kWh)	PN (#/kWh)
NRE-v-1/c-1	Other non-road mobile machinery	0<P<8	CI	8.00	HC+NO _x ≤7.50		0.40	-
NRE-v-2/c-2		8≤P<19	CI	6.60	HC+NO _x ≤7.50		0.40	-
NRE-v-3/c-3		19≤P<37	CI	5.00	HC+NO _x ≤4.70		0.015	1x10 ¹²
NRE-v-4/c-4		37≤P<56	CI	5.00	HC+NO _x ≤4.70		0.015	1x10 ¹²
NRE-v-5/c-5		56≤P<130	All	5.00	0.19	0.40	0.015	1x10 ¹²
NRE-v-6/c-6		130≤P≤560	All	3.50	0.19	0.40	0.015	1x10 ¹²
NRE-v-7/c-7		560<P	All	3.50	0.19	3.50	0.045	-
NRSh-v-1a	Equipment with SI engines	0<P<19	SI	805	HC+NO _x ≤50		-	-
NRSh-v-1b		0<P<19		603	HC+NO _x ≤72		-	-
NRS-vr-1a/vi-1a		0<P<19		610	HC+NO _x ≤10		-	-
NRS-vr-1b/vi-1b		0<P<19		610	HC+NO _x ≤8.00		-	-
NRS-v-2a		19<P<30		610	HC+NO _x ≤8.00		-	-
NRS-v-2b/v-3		19≤P≤56		4.40	HC+NO _x ≤2.70		-	-

장비 대상 환경규제

- ★ 전 세계 온실가스 배출량의 10% 이상, CO₂ 배출량의 38% 이상이 건설 부문에서 발생, 유럽을 중심으로 탄소중립 건설기계 사용 의무현장 운영 혹은 운영 예정
 - (유럽) Fossil Free Construction site, Zero CO₂ 동력원 탑재 건설기계 사용 의무
 - (유럽) Zero Emission Construction site, 무배출 동력원 탑재 건설기계 사용 의무



| 그림 3. 노르웨이 오슬로의 Zero Emission Construction site [6] |

2. 수소엔진 기술동향

수소엔진의 개념 및 특징

★ 수소를 연료로서 연소시켜 출력을 내는 엔진

- (탄소중립) 엔진의 연료로서 적합한 연소 특성 및 연소 생성물로 탄소 포함 물질이 없는 수소를 직접 연소시키는 탄소제로($CO_2 < 1g/kWh$) 동력원
- (친환경) 동급 경유엔진 대비 NO_x , PM, HC, CO 대폭 저감 가능

표 3. 독일 KEYOU 수소엔진 이산화탄소 및 유해배출물질 배출량 결과 [7]

엔진종류	CO ₂ (g/kWh)	NO _x (g/kWh)	PM (g/kWh)	HC (g/kWh)	CO (g/kWh)
H ₂ -PFI	0.08	0.046	0.002	0.01	0.01

★ 수소 연료 분사 방식에 따라 PFI(Port Fuel Injection), DI(Direct Injection)으로 구분

- (PFI) 수소 연료를 흡기 포트에 분사하는 방식으로, 분사 압력이 낮아 DI 방식에 비해 시스템 개발·구성 난이도가 비교적 낮고 원가가 저렴하나 엔진의 비출력 및 열효율이 높지 않고 연소제어가 어려운 단점이 있음
- (DI) 수소 연료를 연소실 내부에 직접 분사하는 방식으로, 분사압력이 높아 분사기 및 연료공급계 개발·구성 난이도가 높으나 엔진의 비출력 및 열효율이 높고 연소제어 측면에서 용이한 장점이 있음

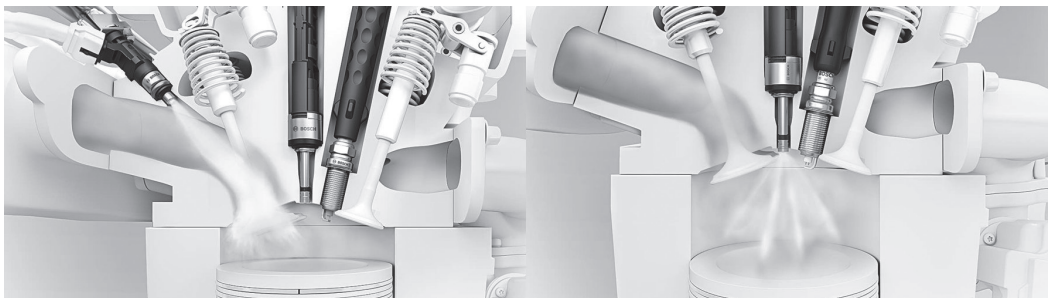
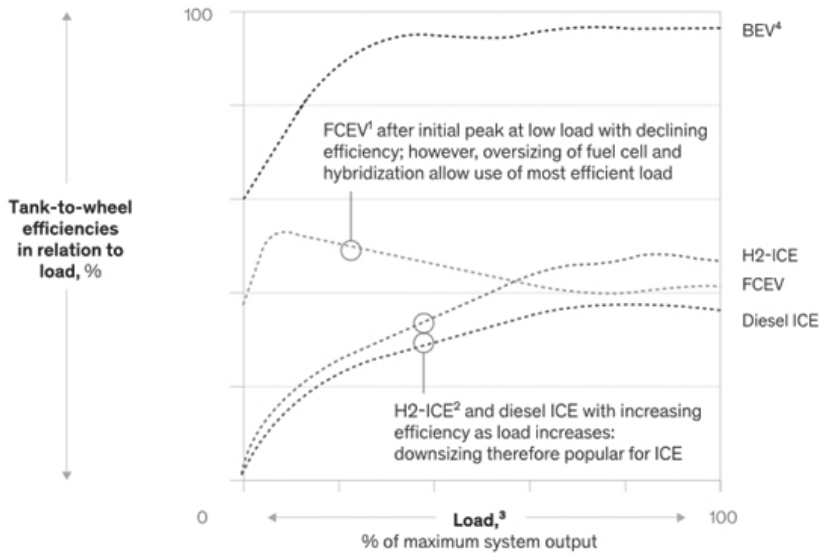


그림 4. (좌) 연료 분사 방식에 따른 PFI 방식, (우) DI 방식 [8]

★ 수소엔진의 동력 특성 상 중부하 이상에서 높은 열효율로 운전이 가능하여 중·고부하 작업이 빈번한 건설·산업기계의 동력특성에 적합함

Powertrain technologies behave differently under high loads.

Efficiency variations (lines on graph are illustrative)



| 그림 5. 동력원별 부하에 따른 효율 특성 [9] |

- ★ 수소엔진은 현재 기술수준 기준, 차세대 동력원인 배터리 전기식·수소연료전지 전기식에 비해 내구성 확보 측면에 장점이 있고 대량 생산 시 낮은 단가로 공급 가능
 - (내구성) 수소 연료 분사계의 내구성 확보가 관건이나, 그 외 다른 부품들은 검증된 기존 엔진 기술 기반으로 다른 차세대 동력원 대비 비교적 수월하게 내구성 확보 가능
 - (경제성) 수소 엔진은 다른 차세대 동력원에 비해 귀금속·희토류 사용량이 적고 기존 엔진 산업 기반을 사용할 수 있어 낮은 단가로 공급이 가능하며, 전기식 동력원의 경제성이 확보되기까지 탄소 및 유해배출물질을 저감할 수 있는 최적의 동력원임

| 표 4. 동력원별 기존 경유엔진 대비 구입 가격 및 총 소유 비용 비교 [7] |

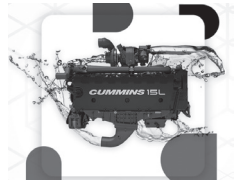
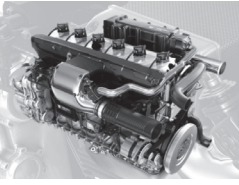
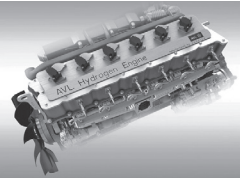
(상용차 수명 1,000,000km/연간 100,000km 주행, 그 외 기준 참고문헌 참조)

항목	경유	배터리	수소 연료전지	수소엔진
구입 가격	80,000 EUR	×8.6배	×7.5배	×2.6배
총 소유 비용	822,000 EUR	×1.7배	×2.3배	≈ 1배

// 수소엔진 기술개발 동향

- ★ 배터리 전기식·수소연료전지 동력원 대비 경쟁력이 높을 것으로 예상되는 고효율 수소엔진 위주로 기술개발 진행 중
 - (운전특징) 중·대형 건설·산업기계의 경우 평균 부하율 및 고효율 운전 빈도가 높고 운전 환경이 가혹하여 현재 기술수준에서 배터리 전기식·수소연료전지 전기식 대비 수소엔진의 경쟁력이 높음
- ★ 국내 기존 연구 목적의 차량용 소형 수소 엔진 연구는 일부 진행되었으나 상용화 수준의 건설·산업기계에 적용 가능한 수준의 수소엔진 시스템 개발 성과는 전무함
 - (현대두산인프라코어) 산업통상자원부 지원 '건설기계용 상용차용 300kW급 Zero-CO₂ 수소 연소 엔진 시스템 및 저장 공급계 개발' 과제를 통해 대형 수소엔진 개발 착수('22년)
- ★ 해외의 경우 기술 선진사 주도로 고효율 위주 수소 엔진 연구가 이루어지고 있으며 PFI 방식의 경우 양산 계획을 발표하는 등 상용화 단계에 진입, DI 방식 또한 경쟁적으로 연구개발 진행 중
 - (KEYOU) '24년 7.8L 배기량의 수소 PFI 엔진 양산 계획 발표
 - (AVL) 12.8L 배기량의 350kW급 수소 엔진 기술 개발 중
 - (커민스) 6.7/15L 배기량의 수소 엔진 기술 개발 중

| 표 5. 모빌리티용 주요 수소엔진 기술개발 동향 |

엔진 형태	업체명	사진	제원
수소 전소 (탄소제로)	커민스		<ul style="list-style-type: none"> • 배기량 : 6.7/15L • 기존 경유엔진 기반 연구개발 • 영국 Advanced Propulsion Centre로부터 720만 파운드 지원
	KEYOU		<ul style="list-style-type: none"> • 배기량 : 7.8L • 출력 : 210kW • 기존 Deutz 경유엔진 기반 연구개발 • '24년 양산계획 발표 • 13.5/15L 수소 PFI 엔진 및 7.8/13L 수소 DI 엔진 연구개발 중
	AVL		<ul style="list-style-type: none"> • 배기량 : 12.8L • 출력 : 350kW • 기존 천연가스엔진 기반 연구개발 • 수소 전소 PFI, DI 엔진 외 디젤 극미량 혼소 방식인 HPDI(High Pressure Direct Injection with pilot ignition) 연구 또한 진행

엔진 형태	업체명	사진	제원
수소 전소 (탄소제로)	도요타- 아마하		<ul style="list-style-type: none"> • 배기량 : 5L • 출력 : 331kW / 6,800RPM • 기존 가솔린엔진 기반 아마하 합작 연구개발
	도요타		<ul style="list-style-type: none"> • 배기량 : 1.6L • 기존 가솔린엔진 기반 연구개발 • 수소 DI 엔진
	Yuchai		<ul style="list-style-type: none"> • 배기량 : 5.1L • 기존 경유엔진 기반 연구개발
	JCB		<ul style="list-style-type: none"> • 배기량 : 4.8L • 출력 : 70kW • 기존 경유엔진 기반 연구개발
	마쯔다		<ul style="list-style-type: none"> • 배기량 : 1.3L • 출력 : 80kW • 기존 가솔린엔진 기반 연구개발 • 수소-가솔린 이중연료 엔진
	BMW		<ul style="list-style-type: none"> • 배기량 : 6L • 출력 : 191kW / 5,100RPM • 기존 가솔린엔진 기반 연구개발 • 수소-가솔린 이중연료 엔진
	포드		<ul style="list-style-type: none"> • 배기량 : 6.8L • 출력 : 175kW / 4,000RPM • 기존 가솔린엔진 기반 연구개발 • 수소-가솔린-에탄올 삼중연료 엔진

3. 수소엔진 시장 현황 및 전망

수소엔진 적용 특징

★ 수소엔진은 기존 엔진식 건설·산업기계에 바로 적용 가능한 동력원

- (엔진기반) 수소엔진은 엔진 기반의 탄소제로 친환경 동력원으로서 기존 엔진식 건설·산업기계의 구동장치 등을 그대로 사용 가능, 배터리 전기식·수소연료전지 전기식과 같이 최적화를 위한 특화 구동장치 불필요
- (저비용) 현재 기술수준 기준으로 수소엔진은 차세대 동력원인 배터리 전기식·수소연료전지 전기식 대비 저렴한 가격을 바탕으로 차세대 동력원의 기술 고도화 기반 본격 상용화 전까지 탄소제로 동력원으로서 경쟁력 높은 동력원임

수소엔진 시장 현황

★ 수소엔진은 현재 본격 상용화 전인 동력원으로 유의미한 규모의 시장이 형성되지 않았으나, 신규 수요 창출보다 기존 엔진식 건설·산업기계를 대체하는 방식으로 시장이 형성될 것으로 전망

- (국내) '21년 10월말 실적 기준 추정 '21년 건설기계 완성차의 생산은 9만 4,690대로 전년대비 27.0% 증가, 총 출하량은 10만 2,725대로 전년대비 34.7% 증가로 성장 추세에 있음

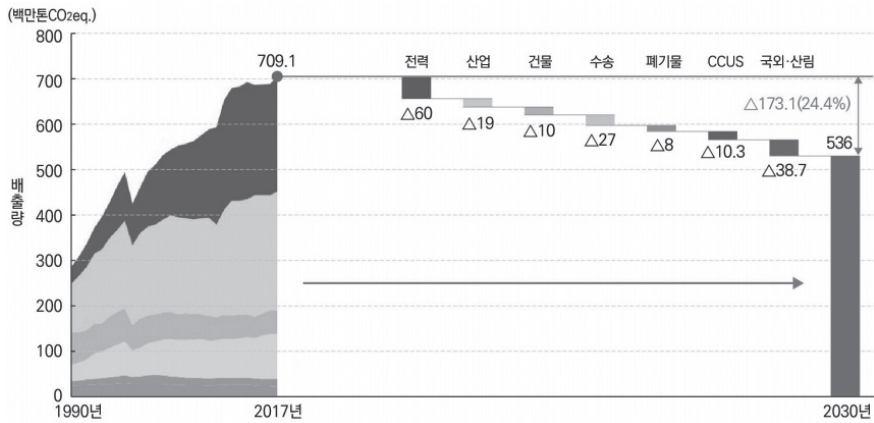
| 표 6. 연도별 국내 건설기계 산업전망 [19] |

연도	생산 (십억 원)	내수 (십억 원)	수출 (백만 불)	수입 (백만 불)	무역수지 (백만 불)
2019	8,484	1,899	5,804	936	4,868
2020	7,671	2,020	4,907	851	4,056
2021	9,942	2,525	6,460	1,187	5,273
2022	10,682	2,512	7,235	1,284	5,951
2022 증가율	7.4%	-0.5%	12.0%	8.2%	12.9%

- (해외) 영국 오프하이웨이리서치 발표 자료에 기준 '25년까지 북미시장 규모는 18%, 신흥시장 규모는 17% 성장할 것으로 전망

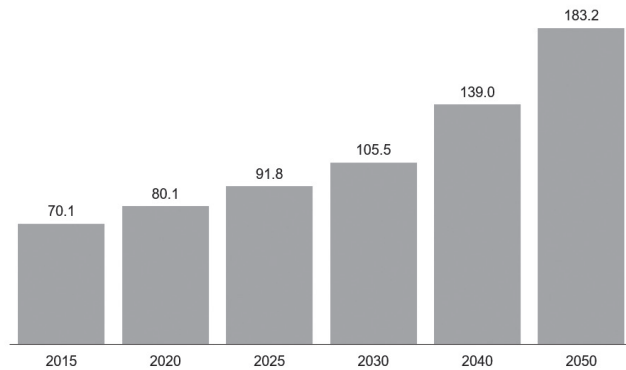
★ 수소엔진은 엔진기반의 넓은 범용성과 다른 탄소제로 동력원 대비 낮은 가격으로 탄소제로 건설·산업기계 수요의 증가와 함께 주류로 급부상할 것으로 전망

- (탄소중립) 국내의 경우 2050 탄소중립 전략 기반 에너지 공급, 산업, 수송, 건물, 폐기물, 농축수산, 탄소 흡수원 분야에 있어 단계적 탄소 배출저감 예정으로 건설·산업기계 분야도 탄소제로 동력원 수요가 늘어날 것으로 예측



| 그림 6. 동력원별 부하에 따른 효율 특성 [20] |

- (수소사회) 탄소중립과 맞물려 전 세계적으로 에너지원으로서 수소가 각광받으며 수소 수요 증가와 함께 수소 사회로의 가속화 진행 중, 이에 수소 연료 탄소제로 동력원이 각광받을 것으로 전망



| 그림 7. 세계 수소 수요 전망(백만 톤/연) [21] |

4. 결론 및 정책제언

// 주요 출력대 수소 PFI 엔진 개발 필요

★ 소형/중형/대형 장비에 적용 가능한 주요 출력대 수소 PFI 엔진 라인업 구축 필요

- 수소 DI 엔진에 비해 빠르게 개발할 수 있는 수소 PFI 엔진 방식으로 주요 건설·산업기계 요구 출력 대응 가능 엔진 라인업 구축 필요

// 수소 DI 시스템 핵심 부품 및 요소기술 개발 필요

★ 차세대 수소 엔진 기술의 핵심인 DI 시스템 핵심 부품 및 요소기술 개발 필요

- 수소 PFI 엔진 개발과 동시에 수소엔진의 성능을 극대화시킬 수 있는 주요 기술인 DI 시스템 핵심 부품 및 요소기술을 개발하여 수소엔진의 상품 경쟁력 확보 필요

// 수소 연소 안정성 확보 및 고효율 연소를 위한 연소 요소기술 개발과 수소 엔진 통합 제어 시스템(EMS) 개발 필요

★ 수소 연소의 안정성 확보 및 고효율 연소 구현을 위한 연소 요소기술 개발 필요

- 수소 연료 분사 시스템과 연계해 이상연소를 억제·회피 및 고효율 연소를 구현 가능한 점화시스템 등 연소 요소기술 개발 필요

★ 수소 엔진 통합 제어 시스템(EMS) 개발 필요

- 개발된 기술의 잠재력을 100% 활용하여 최적의 수소 연소 동력성능을 구현하며 동시에 후처리장치까지 통합 제어할 수 있는 수소 엔진 특화 통합 제어 시스템(EMS) 개발이 요구됨

// 수소엔진 탑재 장비의 상용화 제반 마련을 위한 실증 기반 기술 효용성 검증과 관련 인증 및 표준 수립 필요

★ 개발된 수소엔진을 장비에 탑재, 기술의 효용성을 검증할 수 있는 실증 연구 필요

★ 수소엔진 탑재 장비의 상용화 제반 마련 필요

- 실증을 통해 완성된 수소엔진 탑재 장비의 상용화를 위한 관련 인증 및 표준 수립이 요구됨

[참고문헌]

1. “John Deere/Engines and Drivetrain/Diesel Engine Technology”, John Deere 홈페이지
2. “EPA(United States Environmental Protection Agency)/Regulations for Emissions from Vehicles and Engines”, EPA 홈페이지
3. “CARB developing Tier 5 emissions standards for off-road engines”, 2021.11.5., Dieselnet
4. “European Stage V Non-Road Emission Standards“, 2016.11.21., The International Council on Clean Transportation
5. “The Scandinavian way to zero-carbon construction/Cities like Oslo, Helsinki and Copenhagen are working to clean up one of the world’s most high-emission industries”, 2021.6.23., BBC Future Planet
6. “Quiet, clean and green: discover Oslo’s zero-emissions construction site”, 2020.11.25., EUROCITIES
7. “The New Generation of Hydrogen Internal Combustion Engines”, 2020.9., KEYOU
8. “Bosch Mobility Solution/Solutions/Powertrain/Gasoline/Gasoline Direct Injection”, Bosch Mobility Solution 홈페이지
9. “How hydrogen combustion engines can contribute to zero emissions”, 2021.6.25., McKinsey & Company
10. “Making a Splash With Hydrogen Internal Combustion Engines”, 2022.1.27., Cummins Newsroom
11. “CO2 reduction in commercial vehicles – the AVL hydrogen engine”, 2021.3.2., AVL Webinar
12. “Toyota commissions Yamaha to develop hydrogen-fueled 5.0L V8; follow-on from Nov 2021 announcement”, 2022.2.19., Green Car Congress
13. “日 도요타, 수소연료 전용엔진 개발”, 2021.5.26., 가스신문
14. “China Yuchai launches China’s first operating hydrogen engine for commercial vehicles”, 2022.1.2., Green Car Congress
15. “What was the 2021 Newsmaker of the Year?”, 2022.1.7., Diesel Progress
16. “Mazda/Environmental Technology/Hydrogen Vehicle”, Mazda 홈페이지
17. “BMW Hydrogen 7”, NetCarShow 홈페이지
18. “Ford Begins Production of V-10 Hydrogen-Fueled Engines”, 2006.7.17., Green Car Congress
19. “2022 건설기계산업 전망”, 2021.12.29., 한국건설신문
20. “지속가능한 녹색사회 실현을 위한 대한민국 2050 탄소중립 전략”, 2020., 대한민국 정부
21. “Hydrogen is back in vogue”, 2020.1.15., ADI Forum

긍정 디자인 패러다임의 변화

| 저자 | 이태림 디자인PD / KEIT
김차중 교수 / UNIST

SUMMARY

// 디자인의 새로운 패러다임으로 떠오르고 있는 긍정 디자인 기술

- ★ 매일 수많은 제품, 서비스, 시스템들이 디자인되고 시장으로 쏟아지고 있지만 여전히 당연한 문제해결에만 그 초점이 맞추어져 있어 긍정적 가치경험을 통한 디자인의 새로운 가능성과 긍정적인 경험에 대한 디자인 새로운 역할을 간과하고 있음
- ★ 긍정적 경험의 다양성과 그것을 통한 우리들의 행복의 연장 혹은 확장과 직결될 수 있는 새로운 디자인 패러다임이 부각되고 있으며 그 중요성에 대한 미국 및 유럽의 관심이 증대되고 있음

// 시사점 및 정책제안

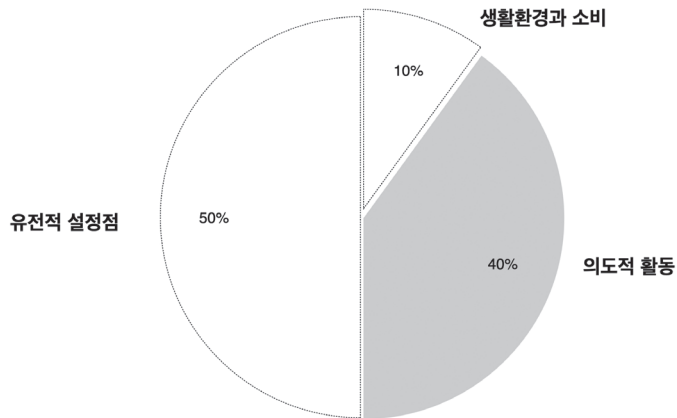
- ★ 제품, 서비스 혹은 시스템이 제공할 수 있는 다양하고 가치적 의미가 있는 경험들에 대한 관심이 요구되는 시대가 되면서 디자인의 기능을 기존의 문제해결형의 프레임에 고착되지 않고 긍정적 가치경험으로 확장하여 작게는 산업계에 새로운 파장을 만들고 크게는 인류 행복에 기여할 수 있는 새로운 디자인 정책의 패러다임 시프트가 디자인 정책에 적극 반영될 필요가 있음

1. 긍정의 디자인

// 인류 행복의 요인들

★ 우리의 행복은 유전적 설정점, 의도적인 행위, 그리고 환경과 소비 3가지 요소로 구성됨

- 유전적 설정점 : 행복은 유전적으로 결정되며 고정적이고, 시간이 지남에 따라 안정적이며, 영향이나 통제에 면역이 되는 것으로 가정됨
- 의도적 활동 : 이것은 우리가 참여하기 위해 선택하는, 목적적 노력이 필요한 긍정적인 인지 및 행동 과제임(예, 감사함을 표현, 삶의 기쁨을 음미, 긍정적인 마인드 함양, 과도한 생각이나 사회적 비교 지양, 친절함 행동 연습, 용서하는 것을 배움, 신체를 돌보기, 종교적 그리고 영적인 훈련 등)
- 생활환경과 소비 : 여기에는 인구통계학적 요인, 개인의 이력, 결혼 여부, 직업 상태, 직업 안정성, 소득, 건강 및 종교적 소속과 같은 생활 상태 변수가 포함됨(예, 새로운 휴대폰 소유, 정원이 있는 집에 거주, 승진, 높은 학점 취득, 본인의 기업 성공, 더 잘 꾸미는 것, 호화로운 자동차 구입 등)



| 그림 1. 행복의 3가지 구성요소와 행복에 대한 기여도 |

- ★ 생활환경과 소비에 의한 행복은 오래 지속되지 않고 단기적으로만 지속됨. 다시 말해, 평소에 사고 싶었던 구두를 사기 위해 돈을 모으고 그리고 구입하는 그 순간들은 행복하지만 구입이후의 그 행복감은 시간이 지남에 따라 급감함. 이런 현상을 유희적 적응(Hedonic Adaptation)이라고 하는데, '생활환경과 소비'가 장기적인 행복에 기여를 하지 않는 이유가 여기에 있음



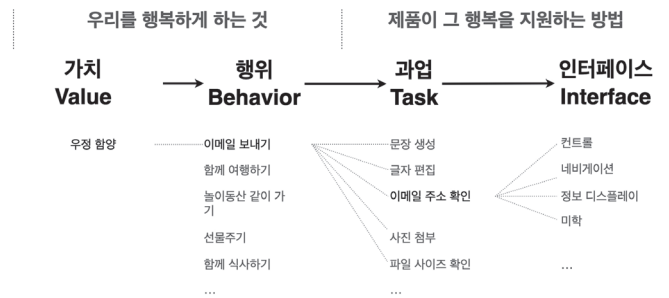
| 그림 2. 긍정적인 경험에 대한 유희적 적응 현상 |

- ★ '유전적 설정점'은 유전적인 것이고 '생활환경과 소비'는 순간적인 행복에만 기여하기 때문에 우리들의 장기적 행복을 위해서는 '의도적 활동'에 디자인이 기여

2. 긍정 디자인 기술

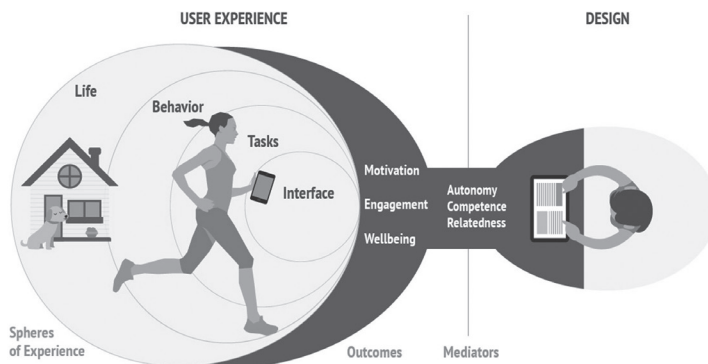
// 긍정 디자인 기술의 접근법

- ★ ‘의도적 활동’은 인류의 보편적인 가치 추구하고 관련되어 있으며, 이 가치들은 시간이 지나더라도 오랫동안 기억되는 긍정적인 경험들임. 그래서 이 가치들을 경험토록 하는 제품, 서비스 혹은 시스템을 디자인하는 것이 긍정 디자인 기술임
- ★ 긍정 디자인 기술은 아래 그림과 같이 우리를 행복하게 하는 가치로부터 시작되며 그 가치를 경험하게 하는 행위들은 무엇이고 그 행위가 일어나게 하기 위해서 제품은 어떤 과업을 사용자에게 제공해야하고 최종적으로 그 과업을 위해 제품, 서비스 혹은 시스템이 어떤 인터페이스를 가져야하는지의 탐다운 접근법으로 구성



| 그림 3. 긍정 디자인 기술의 접근법: 가치-행위-과업-인터페이스 |

- ★ 예를 들면, 한 사용자가 건강한 삶을 행복의 가치로 추구하는 경우, 그 시작점이 휴대폰이 아니라 건강한 삶에서 출발하여 건강한 삶을 위해서는 조깅이나 운동을 하도록 유도해야하고 그렇게 하기 위해서 제품, 서비스, 시스템은 사용자에게 그 행위 유도를 위한 긍정적인 과업들을 제공하고 그 과업들이 효율적으로 사용될 수 있는 인터페이스를 제공하여야함



| 그림 4. 긍정 디자인 기술의 접근법을 보여주는 예시(행복을 위한 스마트 제품/서비스 디자인) |

// 긍정 디자인 프레임워크

- ★ 인류의 보편적 가치는 디자인적 관점에서 즐거움을 위한 디자인(Design for Pleasure), 개인적 의미를 위한 디자인(Design for Personal Significance), 사회적 미덕을 위한 디자인(Design for Virtue) 3가지 영역에 반영
- ★ 긍정 디자인 기술은 이 3가지 영역의 프레임워크를 가지며, 제품, 서비스, 시스템이 이 프레임워크 속에서 디자인될 때 사용자는 긍정적 경험을 향유



| 그림 6. 긍정 디자인 기술의 프레임워크 |

3. 시사점 및 정책제안

// 디자인 패러다임의 변화와 긍정 디자인을 위한 정책 제안

- ★ 오늘날 수많은 제품, 서비스, 시스템들이 디자인되고 있지만 여전히 당면한 문제해결에만 그 초점이 맞추어져 있어 디자인의 새로운 가능성과 긍정적인 경험에 대한 디자인 새로운 역할을 간과하고 있음. 따라서, 긍정적 경험의 다양성과 그것을 통한 우리들의 행복의 연장 혹은 확장과 직결될 수 있는 디자인 패러다임의 변화가 요구됨
- ★ 따라서, 제품, 서비스 혹은 시스템이 제공할 수 있는 의미있는 경험들에 대한 관심이 요구되는 시대가 되면서 디자인의 기능을 기존의 문제해결형의 프레임에 고착되지 않고 가치경험을 통한 작게는 산업계에 새로운 파장을 만들고 크게는 인류 행복에 기여할 수 있는 새로운 디자인 정책의 패러다임 시프트가 요구됨

[참고문헌]

1. Seligman, M. E. P. (2011). Flourish: A Visionary New Understanding of Happiness and Well-Being. New York, NY: Simon & Schuster.
2. Lyubomirsky, S., Sheldon, K.M., & Schkade, D. (2005). Pursuing Happiness: The architecture of sustainable change. *Review of General Psychology*, 9(2), 111-131.
3. Seligman, M.E. (2002). Positive psychology, positive prevention, and positive therapy. In C. R. Snyder & S. J. Lopez (Eds.), *Handbook of positive psychology* (pp.3-9). Oxford University Press.
4. Diener, E., Lucas, R. E., & Scollon, C. N. (2006). Beyond the hedonic treadmill: Revising the adaptation theory of well-being. *American Psychologist*, 61(4), 305-3014.
5. Desmet, P. M. A., & Pohlmeier, A. E. (2013). Positive design: An introduction to design for subjective well-being. *International Journal of Design*, 7(3), 5-19.
6. Pohlmeier, A.E. & Desmet, P.M.A. (2017). From good to the greater good. In J. Chapman (ed.) *The Routledge handbook of sustainable product design*. London: Routledge. Pp. 469-486.
7. Calvo, R. & Peters, D. (2014) *Positive computing: technology for wellbeing and human potential*, MIT Press, Cambridge, MA
8. Peters, D., Calvo, R. A., & Ryan, R. M. (2018). Designing for motivation, engagement and wellbeing in digital experience. *Frontiers in Psychology*, 9, Article 797

[국내외 주요 기술개발 현황]

연구기관명	프로젝트명	개요	연구기간
울산과학기술원-미국 코넬대학교	<ul style="list-style-type: none"> 디자인을 통한 행복 : 긍정적인 감정 증대 및 지속을 위한 인간-컴퓨터 인터랙션 	<ul style="list-style-type: none"> 인간-컴퓨터 상호작용에서 긍정 디자인을 통한 사용자의 장기적 행복에 기여하는 디자인 기술 개발 	2020.07.-2023.06.

언더필 소재 기술 동향

| 저자 | **한정우 화학공정PD** / 한국산업기술평가관리원
박지선 책임연구원 / 한국전자기술연구원
김재필 센터장 / 한국광기술원

SUMMARY

// 목적

- ★ 반도체 패키징용 언더필 소재 기술을 전반적으로 소개하고, 관련 핵심기술 개발 현황을 화학소재 관점에서 구체적으로 소개
- ★ 국내·외 화학소재 기반 언더필 기술 개발 동향 및 시장 현황을 제공하고 향후 기술 개발 추진 방향에 대한 고찰

// 시사점 및 정책제안

- ★ 4차 산업혁명 시대에 따른 첨단기술(인공지능, 5G, 자율주행 등)의 확대로 빠른 데이터 처리속도에 대한 니즈가 커짐에 따라, 고성능, 초소형 반도체 기술에 대한 수요가 폭증하고 있으며, 고도화된 반도체 칩의 고성능화를 가능케 하는 패키징용 화학소재가 주목받고 있음
- ★ 그 중에서도 반도체 칩과 기판 틈새에 적용되어 반도체 소자의 신뢰성과 구동 성능을 높이는 언더필 소재는 반도체 소자와 기판 간의 간격이 미세화 트렌드로 인해 좁아짐에 따라, 충전시간 증가와 생산수율이 감소하는 문제점이 발생하여 이를 개선할 수 있는 초미세 피치용 언더필 소재의 개발 필요
- ★ 초미세 피치 플립 칩 패키징용 언더필 소재는 전 세계시장의 약 80%를 일본의 특정 기업이 독과점하고 있어, 소재 자립화 및 국내 공백 기술 강화를 위한 지원이 절실
- ★ 최근에는 플립 칩 패키지의 범프 피치가 100~150 μm 의 넓은 피치에서 50 μm 이하의 초미세 피치로 전환 중에 있으며, 흐름성 및 내열 충격성을 향상시키고 초미세 범프 피치에 대응할 수 있는 언더필 소재 기술(원소재 기술, 복합화 기술) 및 공정 기술 개발 지원이 필요함

1. 언더필 소재의 개념 및 정의

★ 언더필 소재는 반도체 칩과 기판 틈새에 열경화성 절연 수지를 보강하여 칩과 기판의 열팽창계수 차이로 인한 스트레스를 흡수하고, 솔더 범프가 지나는 접착력을 보완하여, 최종적으로 전자소자의 신뢰성을 향상시켜 소자의 구동 성능을 높이는 반도체 패키징용 화학소재로서, 세계 반도체 시장 확대 및 고성능화에 따라, 초미세 피치용 신규 언더필 소재 및 패키징 공정 기술 개발이 필요함

- 언더필은 솔더 조인트의 신뢰성 확보를 위해 필수적으로 사용하는 소재로서, 사용 단계에 따라 어셈블리 전에 사용하는 Pre-assembly 언더필(no-flow underfill(NUF), nonconductive paste(NCP), nonconductive film(NCF))과 어셈블리 후에 사용하는 Post-assembly 언더필(capillary underfill(CUF), molded underfill(MUF))로 구분

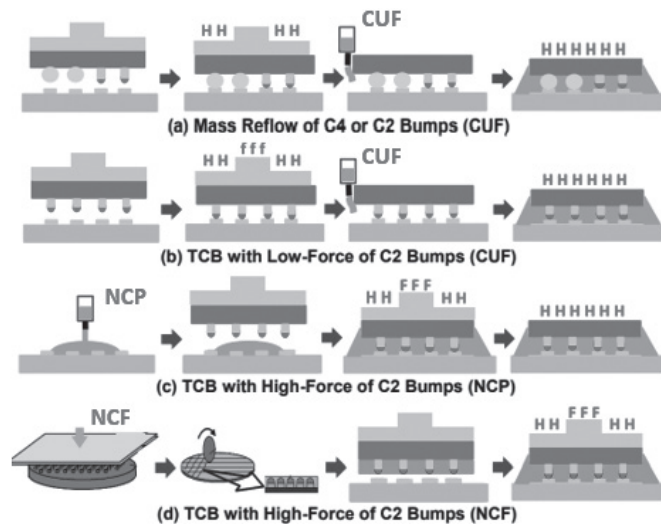
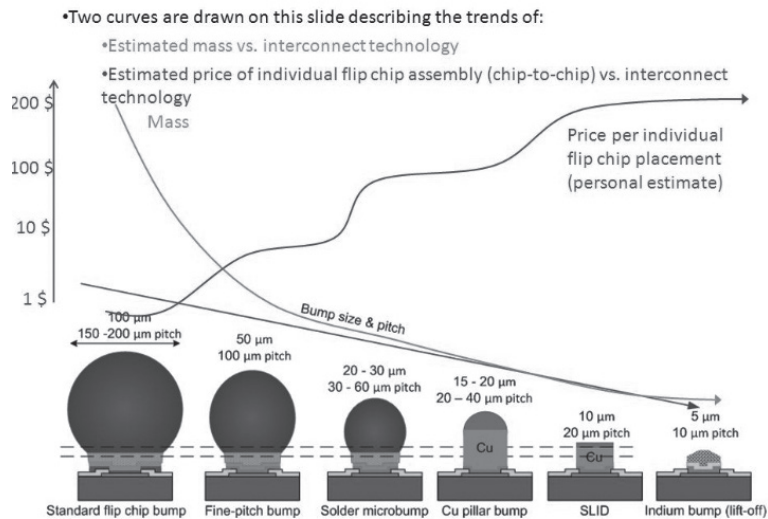


그림 1. Flip Chip Assembly : (a), (b) Post-assembly 언더필 및 (c), (d) Pre-assembly 언더필의 공정 예시 |

- I/O 증가에 따라, Cu 볼이 솔더 범프 기술로 바뀌면서, 칩에 형성된 C2(Cu-pillar with solder cap) 및 C4(Controlled-collapse chip connection) 범프가 널리 이용되고 있으며, 이러한 범프와 마이크로 범프를 다이에 본딩하기 전에 언더필을 적용하는 것이 Pre-assembly 언더필, 본딩 후에 적용하는 것이 Post-assembly 언더필임
- 그 중, CUF는 양산에 적용된 최초의 언더필 방식으로, 기판이나 칩 한쪽 혹은 양쪽 면에 니들이나 제트 방식으로 투입된 언더필 소재가 모세관 작용으로 칩솔더 조인트-기판 사이의 공간을 채운 뒤, 경화 공정에 의해 견고하게 본딩되는 방식임
- CUF는 Mass reflow를 수반하는 Low-bonding Force의 TCB(Thermocompression bonding) 공정 플립 칩 어셈블리에 사용함

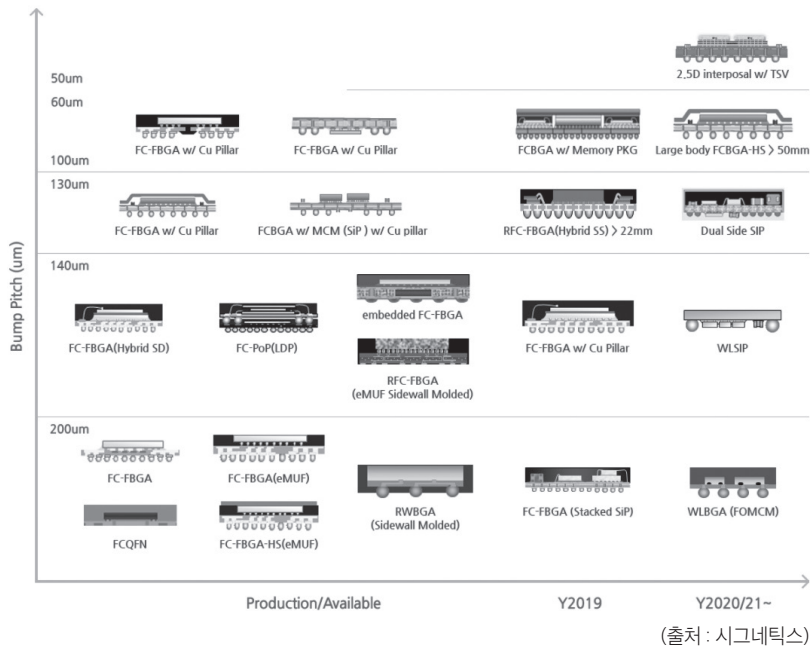
- ★ 선진 패키징의 대부분이 플립 칩 기술을 근간으로 고집적화를 위해 POP(package on package), TSV(through silicon via), WLP(wafer level package) 등의 패키징 기술을 개발하고 있으며, I/O Counter를 늘리기 위해 범프 크기가 작아지고, 피치 간격이 좁아지는 추세에 있음

Wafer Bumping – Bump Sizes and Pitches

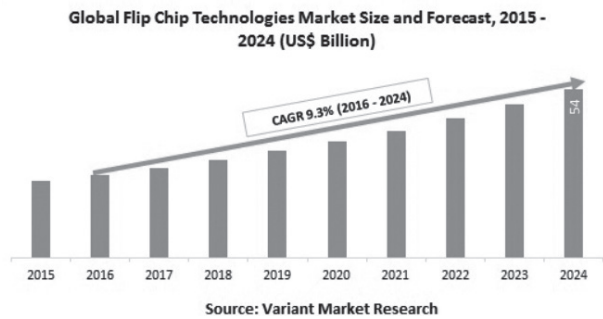
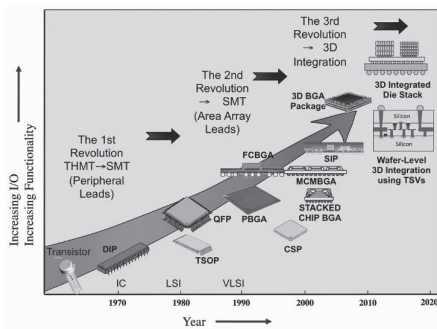


| 그림 2. 범프 크기 및 피치 간격 변화 |

- 플립 칩 패키지의 범프 피치는 현재 100~150 μm 의 넓은 피치에서 40 μm 대의 Fine Pitch로 전환 중
(출처 : Yole Development, "Flip-Chip technology & Market trends report" 및 "Status of the Advanced Packaging Industry 2020")
- 플립 칩 패키지 시장은 향후 28nm 이하 CMOS IC, 차세대 DDR 메모리, 3D IC/2.5D 인터포저 등의 수요 증가로 첨단 패키지 시장에서 가장 높은 매출 전망
- 플립 칩 시장은 연평균 9.3%씩 성장하여, 2024년에는 54억 불의 시장을 형성할 것으로 전망



| 그림 3. 플립 칩 패키지 로드맵 |



| 그림 4. (좌) 패키징 트렌드 및 글로벌 플립 칩 패키지 시장 규모 |

- ★ 플립 칩 패키지의 고집적화 수요에 따라, 반도체 칩의 미세화된 인터커넥션 범프 피치(interconnection bump pitch)에 대응할 수 있는 초미세 피치($\leq 50\mu\text{m}$)용 고성능 액상 언더필 소재 및 충전 공정 기술 개발이 요구됨
- 특히, CUF 언더필은 열팽창계수, 유리전이온도, 외부 충격에 견딜 수 있는 내열충격성, 내인성 등이 달성해야할 중요 물성들이나, 이들은 서로 trade-off 관계에 있기 때문에, 이를 해결할 수 있는 언더필 기술 개발이 중요하며, 모세관 현상을 이용하여 칩과 기판 사이의 틈을 효과적으로 채워야하기 때문에 흐름성이 우수해야 함

- 내·외부의 물리적 충격을 흡수하기 위한 적합한 레진 소재가 필요하고, 열 충격을 흡수하기 위한 열팽창계수가 낮은 레진 소재를 적용해야 하며, 열팽창계수의 조절, 높은 신뢰성에 영향을 주는 구형 미세필러의 함량을 높여야 함. 그러나 필러의 함량을 높일 경우, 점도가 높아지고 흐름성이 저하되는 문제점이 발생 할 수 있어 이를 해결하는 것이 중요한 과제임

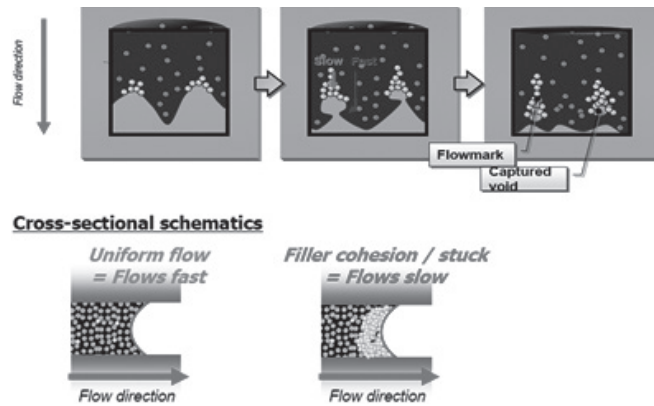


그림 5. 필러 미분산에 따른 void 발생 문제

★ 현재 초미세 피치 플립 칩용 언더필 소재는 세계시장의 약 80%를 일본의 Namics社가 독과점 중으로, 국산화 및 국내 공백 기술 강화를 통해 밸류체인 구축 및 신시장 창출 필요

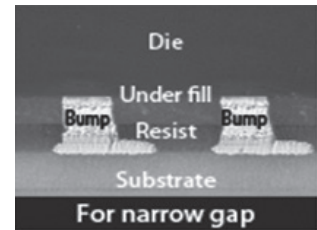
* 밸류체인 : 에폭시, 경화제, 촉매, 고순도 미세필러 등(원소재) → 고성능, 고신뢰성 언더필 소재(중간재) → 고집적 반도체 패키지/ 모듈(부품)



초미세 피치용 언더필 원소재 기술¹⁾



초미세 피치용 액상 언더필 복합화 기술²⁾



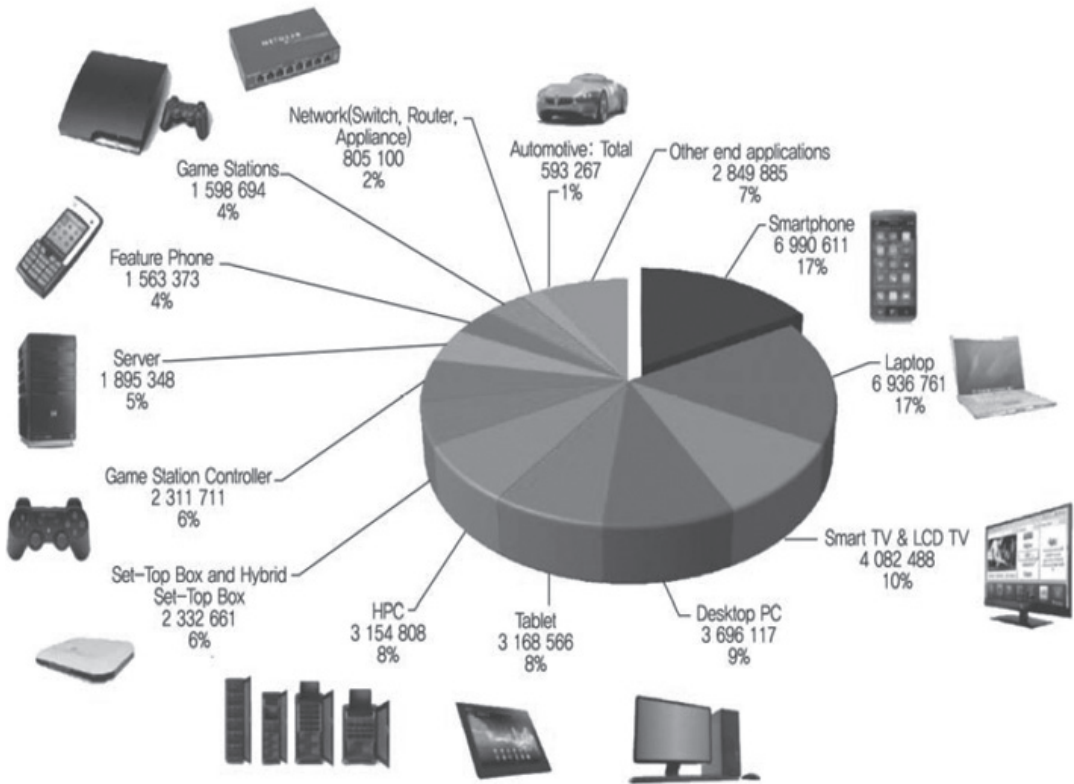
초미세 피치 액상 언더필 적용 플립 칩 패키지 공정 기술³⁾

- 1) 고내열/저온 속경화 기술, 미세분말 기술
- 2) 액상 언더필 조성물 설계, 분산/배합, 물성제어 기술
- 3) 액상 언더필 충전/수치 해석, 범프 어레이 설계/제조, 언더필 충전 공정, 플립칩 패키지 제조, 신뢰성 확보 기술

그림 6. 초미세 피치 플립 칩 패키징용 언더필 소재 및 공정 기술

2. 적용부품 또는 시스템

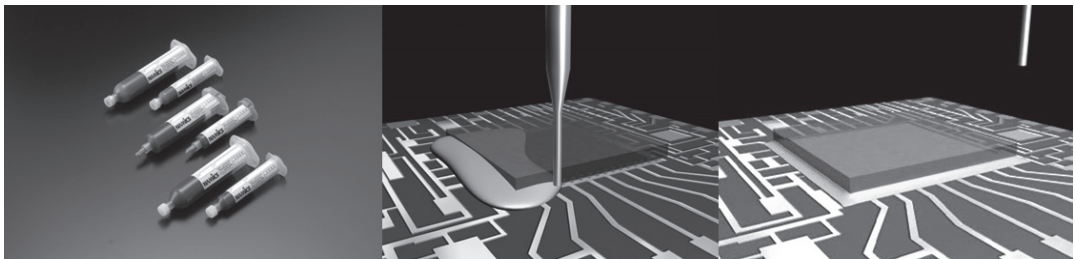
★ IT/모바일, 디스플레이, 자동차, 신재생에너지 등에 적용되는 반도체 패키지 부품 분야



| 그림 7. 플립 칩 패키지 적용 대표 제품군 |

3. 언더필 소재의 국내외 기술 동향 및 시장 전망 분석

- ★ 플립 칩 패키징용 언더필은 JEDEC 신뢰성 조건을 만족시킬 것을 요구하며, 기판 차원의 언더필보다 더 높은 수준의 습기 저항 특성을 필요로 하나, 국내기술 제품은 아직 여기에 크게 미치지 못하고 있는 실정임
- ★ 원재료 제조 기술의 해외 의존도가 매우 크며, 대외 무역수지 악화의 요인으로 작용하기도 함. 이에 따라, 플립 칩 언더필 소재의 경우, 해외제품을 벤치마킹하는 수준에서 머무르거나 R&D 단계에서만 연구가 진행되었으며, 지금까지 국내 양산 및 패키징에 적용된 실적이 거의 없는 실정임
- ★ 해외의 경우, 반도체용 언더필 소재는 일본(Namics, Showa Denko, Shin-Etsu) 및 독일(Henkel)의 선도 기업들이 주도하고 있으며, 패키징 사양(Fine Pitch&Narrow Gap, Medium Pitch&Gap, Finer Gap & More Flex 등)에 따라 다양한 스펙의 언더필 제품을 선보이고 있음



(출처 : Namics 홈페이지)

| 그림 8. 미세피치용 액상 언더필 소재 및 공정 모식도 |

- ★ 초미세 피치용 언더필 소재가 가져야 할 특성으로는, 경화되기 전에는 점도가 낮고 흐름성이 뛰어나 공정 시간을 단축시키고 공극 현상을 최소화할 수 있어야 하고, 경화 시간이 짧아야 하며, 경화된 후에는 적절한 유리전이온도와 높은 방열 특성 및 내습성을 가져 장치의 신뢰성을 확보할 수 있어야 함
- ★ 특히, 언더필 소재의 방열 특성 확보를 위해서는 무기 필러의 도입이 필수적인데, 이러한 무기 필러를 언더필 내 고충진시키게 되면 점도가 높아지기 때문에 이를 해결하기 위한 기술 개발이 필요함. 이러한 기술을 기반으로 한 고신뢰성, 고필러 함량(>60wt%)의 미세피치용 언더필 기술은 현재 Namics社(일본)를 비롯한 일부 일본 업체만이 기술력을 보유하고 있는 실정임

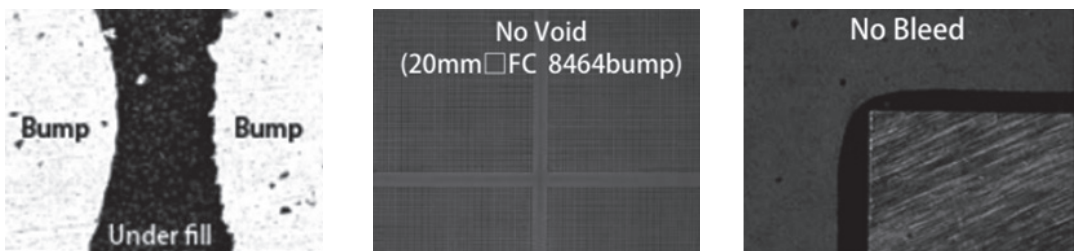
★ Namics社(일본)는 국내뿐 아니라 국외에서도 플립 칩용 언더필 시장의 대부분을 독과점하고 있으며, 독자 기술로부터 언더필을 개발하고 자체 연구소를 통해 적극적인 투자와 연구 환경을 조성 중임. 다양한 점도와 모듈러스, 유리전이온도를 갖는 제품군들을 개발하여 미세피치 및 초미세 피치 대응용 제품군을 공급하고 있으며, 무연 범프용, 대형 IC칩용 등 플립 칩 패키지에 대한 다양한 요구에 대응하는 광범위한 라인업을 보유하고 있음

Product Number	Characteristics	Viscosity [Pa·s]	Tg [°C]	Modulus of Elasticity [GPa]	C.T.E \leq Tg [ppm]
U8443-14	Low viscosity; for tight spaces	10	135	6.5	42
U8410-73C	For low K, Pb-free bumps and tight spaces	50	88	11.5	31
U8410-73CF3	For low-K, Cu-pillar and Pb-free bumps and tight spaces	33	88	8.8	31
U8410-99	For low-K, Pb-free bumps	50	100	11	29
U8410-302	For low-K, Cu-pillar and Pb-free bumps	55	95	12	22
U8410-377	Low viscosity; for tight spaces	15	128	8.6	30
U8439-1	For low K and large ICs	60	70	8	36
U8439-105	For low K, large ICs and tight spaces	55	70	8.5	34

(출처 : Namics 홈페이지)

| 그림 9. 플립 칩 패키지용 언더필 제품군 |

- ★ Showa Denko社(일본)는 기존 언더필 시장 점유율 3위를 보유하던 Hitachi(일본)를 인수하여 언더필 제품을 개발 중임. 커플링제와 이중 직경 실리카 필러를 이용한 물성 제어를 바탕으로 미세피치용 에폭시계 언더필 소재를 개발하고 있으며, 플립 칩-BGA에 적용 가능한 액상 타입의 언더필 제품을 개발하여 판매 중임
- ★ Masterbond社(미국)는 높은 기계적 강도와 열전도성을 제공하는 저점도 일액형 에폭시계 언더필을 개발함. 해당 언더필은 경화를 위해 혼합이 필요하지 않으며, 실온에서 무제한 작업 수명을 가져 취급이 용이하기 때문에 빠른 경화가 필요한 마이크로 전자장치 패키징에 적용에 널리 사용되고 있음
- ★ Panasonic社(일본)는 우수한 흐름성과 속경화가 가능한 언더필 소재 개발을 통해, Fine Pitch 및 Narrow Gap에 대해 우수한 충전력과 공극현상 및 블리드 아웃을 방지하는 기술을 보유함



(출처 : Panasonic 홈페이지)

| 그림 10. 언더필 소재의 충전력, 공극 및 블리드 아웃 |

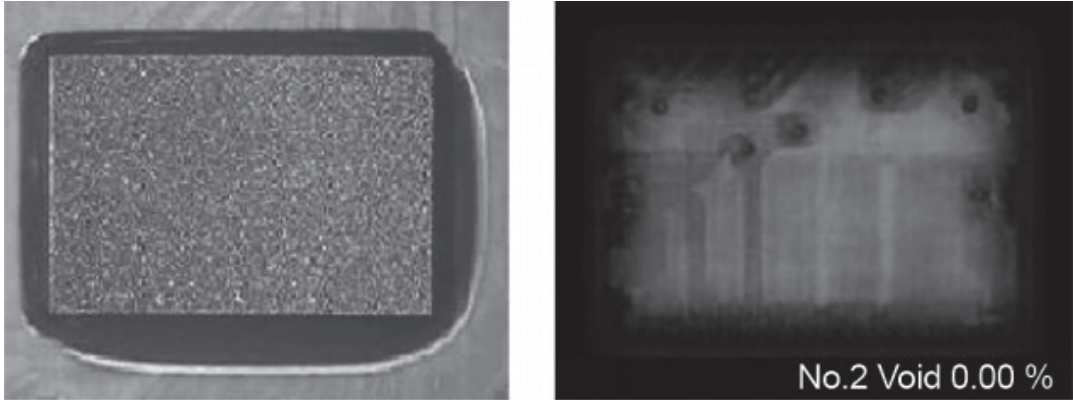
- ★ Henkel社(독일)는 CSP(Chip scale package), Wafer-level CSP, BGA, LGA 등 다양한 부품 군에 따른 언더필 제품을 보유하고 있으며, 경화 메커니즘을 중심으로 기술개발을 진행하여, Narrow Gap에 적용 가능한 저점도 액상 언더필 소재를 보고함
- ★ 최근에는 높은 유리전이온도와 낮은 열팽창계수를 갖는 고온 발열 환경을 견딜 수 있는 디스펜싱형 언더필 소재를 개발함

Product	Key Attributes	Viscosity	Cure Condition	Reliability Rating	Coefficient Of Thermal Expansion, CTE (ppm/°C)		Glass Transition Temperature, T _g (°C)
					Below T _g	Above T _g	
LOCTITE ECCOBOND FP4526	<ul style="list-style-type: none"> For capillary flow on flip chip applications with excellent reliability Suitable for application that require high thermal cycling performance 	4,700 cP at 10 rpm	15 min. at 165°C (heat sink or hot plate)	★★★★★	33	101	133
LOCTITE ECCOBOND FP4530	<ul style="list-style-type: none"> For flip chip on flex applications with a 25 µm gap Material color will change from blue to green when cured 	3,500 cP at 20 rpm	7 min. at 160°C	★★★★★	46	150	145
LOCTITE ECCOBOND FP4531	<ul style="list-style-type: none"> For flip chip on flex applications with a 25 µm gap 	10,000 cP at 20 rpm	7 min. at 160°C	★★★★★	28	104	161
LOCTITE ECCOBOND E 1172 A	<ul style="list-style-type: none"> For use with very fine area array devices with 25 µm geometries where transparent processing is critical Uniform and void-free encapsulant underfill minimizes induced stress at the solder joint to improve thermal cycling performance 	17,000 cP at 5 rpm	6 min. at 135°C	★★★★★	27	85	135
LOCTITE ECCOBOND E 1216M	<ul style="list-style-type: none"> For high volume assembly operations requiring a very fast flowing underfill that fully cures in a single reflow cycle, but is stable enough to be easily shipped and used in large volume cartridges Formulated to eliminate anhydride-type curing agents 	4,000 cP at 20 rpm	10 min. at 130°C	★★★★★	35	131	125
LOCTITE 3563	<ul style="list-style-type: none"> Rapid curing, fast flowing, liquid epoxy designed for packaged integrated circuits such as CSPs and BGAs Can penetrate gaps as small as 25 µm When fully cured, it minimizes induced stress at the solder joint to improve thermal cycling performance 	5,000 – 12,000 cP at 20 s ⁻¹	7 min. at 150°C	★★★★☆	35	110	130

(출처 : Henkel 홈페이지)

| 그림 11. Henkel의 액상 언더필 제품군 |

- ★ Panacol社(독일)는 실리카가 함유된 에폭시계 언더필을 이중으로 경화시켜 안정성을 확보하는 제품을 개발하여 판매 중임. 미세관 흐름에 의해 주입된 언더필은 UV 광에 의해 1차적으로 가장자리 부분이 경화되어 위치가 고정되고, 2차적으로 열경화 과정을 거쳐 경화되면서 언더필의 블리드 아웃 현상을 최소화할 수 있음
- ★ Lord社(미국)는 CoolTherm 시리즈로 명명된 다양한 열관리용 제품군들을 개발하고 있으며, 특히 플립 칩 적용을 위한 anhydride-free 열전도성 에폭시계 언더필을 개발하여 판매 중임. 해당 언더필 소재는 유동 중에 필러의 분리가 없고 유동 선단이 균일함. 또한, 260°C의 리플로우 온도를 견디도록 설계된 무연 솔더용 언더필 제품도 개발되어 있음



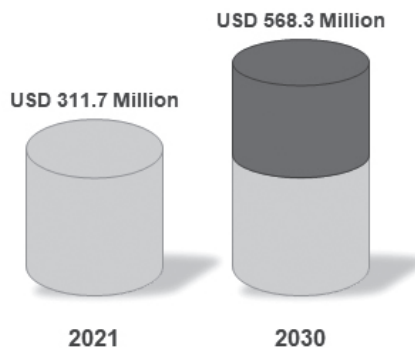
(출처: Lord 홈페이지)

| 그림 12. CoolTherm 언더필 제품 이미지 |

- ★ Global Industry Analysts, Inc. 리포트에 따르면, 전 세계 언더필 시장은 2021년 현재 \$311.7M(약 3,700억 원) 규모에서 2030년에는 6.9%의 연평균 성장률로 \$568.3M(약 6,780억 원) 규모의 언더필 시장을 형성할 것으로 전망 (출처: Underfill Materials - Global Market Trajectory & Analytics 2021, GIA)

Global Market for Underfill Materials

Market forecast to grow at CAGR of 6.9%

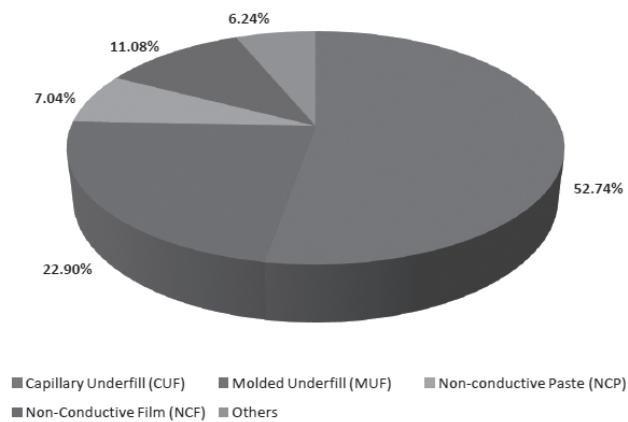


(출처: Underfill Materials-Global Market Trajectory & Analytics 2021, GIA)

| 그림 13. 글로벌 언더필 시장 규모 |

★ 국가별 언더필 시장 규모는 2021년 기준으로 대만(\$65.18M), 중국(\$60.95M), 미국(\$46.54M), EU(\$42.02M), 일본(\$29.90M), 한국(\$32.81M), 기타(\$34.30M) 순으로 시장 규모가 추산되고 있으며, 제품 타입에 따른 언더필 시장 점유율은 CUF가 52.74%로 가장 높음

(출처 : Underfill Materials-Global Market Trajectory& Analytics 2021, GIA & Global Underfill Market 2018, Zion Market Research Analysis)



| 그림 14. 언더필 타입에 따른 제품별 시장 점유율 |

★ 글로벌 언더필 제조사별 연간 생산량 및 시장 점유율은 아래 [그림 15]와 같으며, Henkel社(독일)의 경우 연간 50톤 이상(시장 점유율 : 8.45%), Namics社의 경우 연간 30톤 이상(시장 점유율 : 4.71%)을 생산하고 있음

Consumption	2013	2014	2015	2016	2017	2018(E)
Henkel	38.56	41.33	44.30	47.48	49.56	53.12
Namics Corporation	21.00	22.49	24.09	25.80	27.64	29.61
Hitachi Chemical	17.26	18.10	17.41	17.42	18.66	20.00
Shin-Etsu Chemical	32.19	34.51	37.00	39.30	41.75	44.76
Bondline Electronic	2.16	2.32	2.48	2.63	2.82	3.02
AIM Metals & Alloys	18.46	19.64	20.91	22.25	23.68	25.20
Zymet, Inc.	1.38	1.48	1.59	1.70	1.82	1.96
PANACOL-ELOSOL	0.67	0.71	0.77	0.82	0.88	0.95
Masterbond	5.71	6.13	6.58	7.06	7.58	8.13
Others	320.08	339.41	362.24	386.86	413.94	441.96
Total	457.46	486.13	517.36	551.32	588.32	628.69

(출처 : Zion Market Research Analysis, 2018)

| 그림 15. 주요 언더필 제조업체의 연간 생산량 |

Consumption Share	2013	2014	2015	2016	2017	2018(E)
Henkel	8.43%	8.50%	8.56%	8.61%	8.42%	8.45%
Namics Corporation	4.59%	4.63%	4.66%	4.68%	4.70%	4.71%
Hitachi Chemical	3.77%	3.72%	3.37%	3.16%	3.17%	3.18%
Shin-Etsu Chemical	7.04%	7.10%	7.15%	7.13%	7.10%	7.12%
Bondline Electronic	0.47%	0.48%	0.48%	0.48%	0.48%	0.48%
AIM Metals & Alloys	4.03%	4.04%	4.04%	4.04%	4.02%	4.01%
Zymet, Inc.	0.30%	0.30%	0.31%	0.31%	0.31%	0.31%
PANACOL-ELOSOL	0.15%	0.15%	0.15%	0.15%	0.15%	0.15%
Masterbond	1.25%	1.26%	1.27%	1.28%	1.29%	1.29%
Others	69.97%	69.82%	70.02%	70.17%	70.36%	70.30%
Total	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%

| 그림 16. 주요 언더필 제조업체의 시장 점유율 |

4. 결론 및 시사점

- ★ 현재 반도체, 특히, 플립 칩 반도체의 범프 피치 사이즈는 향후 50 μm 이하의 고밀도 피치가 적용될 예정이며, 이에 대한 "반도체 grade의 신규 미세분말 제조 기술(50 μm 이하 피치 사이즈 대응용)", "미세 패턴 wetting을 위한 신규 에폭시계 고분자 수지, 첨가제 기술" 및 이를 기반으로 한 "언더필 복합화 제조 기술 및 미세패턴 충전 공정 기술" 등의 신규 개발이 필요함
 - 다기능성(저점도, 고내열, 저온 반응성 등)을 필요로 하는 첨단 전자산업용 에폭시 수지, 경화제, 촉매, 희석제 등의 경우, 국내 기술 부족으로 대응 어려움
 - 국내 고순도 미세 필러의 합성 및 표면처리 기술 극도로 미흡
 - 해외 선진사(일본, 독일 등)의 초미세 피치 대응 언더필 원천 기술 선점
- ★ 기존 액상 언더필 소재 관련 국내 기술들은 100 μm 내외 수준의 솔더 범프 피치를 타겟으로 상대적으로 점도가 높은 페이스트 형태로 개발되었기 때문에, 50 μm 이하 초미세 피치 반도체 패키징용으로는 적용 불가
 - 반도체 소자와 기판 간 간격이 미세화되고 좁아짐에 따라, 언더필 소재의 점도와 요변성으로 인하여 충전시간이 길어지고 생산수율이 떨어지는 문제점이 발생함으로써 초미세 피치 반도체 패키징에 적합한 고성능, 고신뢰성의 액상 언더필 소재 개발이 시급

- ★ 초미세 피치 반도체 패키징용 언더필 소재 및 공정 기술 개발은 대외적으로 열세인 언더필 소재의 국산화에 기여할 수 있고, 반도체 패키징 분야 뿐만 아니라 고내열 접착제, 열계면 소재(thermal interface material) 등에 적용될 수 있기 때문에 국가적 차원에서 선제적 대응이 필요
 - 일본 Namics社は 초미세 피치 언더필 시장의 80%를 독과점 중
 - 언더필 소재는 패키지 구성 원가의 2% 내외로 상당히 높기 때문에 기술 개발 및 국산화를 통해 소재 기술 경쟁력 및 관련 국내 산업 기술 경쟁력을 높일 수 있음
 - 언더필 소재는 소재 기술 지배력이 강한 고부가가치 산업 분야임
 - 일본, 독일, 미국 등의 해외 선진 기술 대비 열세인 초미세 피치용 액상 언더필 소재 기술의 자립화 및 대외 무역의존도 해소 필요
- ★ 미래의 자율주행차, 스마트폰, AI 관련 산업, 스마트 모빌리티, 가상현실 등에 사용되는 시스템 반도체는 50 μ m 이하의 초미세 피치 플립 칩 기술이 적용될 가능성이 높아, 초미세 피치용 언더필 소재의 미래 수요 및 산업계 니즈가 큼
- ★ 소재업체, 부품업체 간의 협업을 통해 동반 성장이 가능한 자발적 생태계 및 대·중·소 협력 네트워크 구축 필요

[참고문헌]

1. Yole Development, “Flip-Chip technology & Market trends report” (October 2015)
2. Yole Development, “Status of the Advanced Packaging Industry 2020”
3. <https://www.circuitinsight.com/programs/54967.html>, “Status and outlooks of flip chip technology”, John H. Lau
4. Yole Development, “Flip-Chip Market & Technology Trends” (September 2013)
5. <https://www.signetics.com>
6. GIA, “Underfill Materials - Global Market Trajectory & Analytics 2021”
7. Zion Market Research Analysis, “Global Underfill Market 2018”
8. <https://www.namics.co.jp>
9. <https://industrial.panasonic.com>
10. <https://www.henkel-adhesives.com>
11. <https://www.ma.showadenko.com>
12. <https://www.masterbond.com>
13. <https://www.panacol.com/adhesive-applications/electronics/encapsulation-of-electronic-components>
14. <https://www.lord.com/>

[국내외 주요 기술개발 현황]

연구기관명	프로젝트명	개요	연구기간
(주)에버텍 엔터프라이즈	<ul style="list-style-type: none"> 50μm 이하 Fine Pitch용 반도체 언더필 소재 및 패키징 기술 개발 	<ul style="list-style-type: none"> 50μm 이하 Fine Pitch용 Capillary Flow 언더필 소재 / 공정 기술 개발 및 개발 언더필 적용 플립칩 패키지 제조 / 신뢰성 확보 기술 개발 	2016.07-2017.12
(주)원케미컬	<ul style="list-style-type: none"> 열충격 2000cycle 이상 신뢰성을 갖는 모바일용 내충격 언더필 소재 및 접합모듈 기술 개발 	<ul style="list-style-type: none"> 40$^{\circ}$C에서 50시간 이상의 가사시간을 가지며, 열충격 1,500회 이상 / 낙하충격 700회 이상 동시 만족하는 언더필 접착제 개발 및 양산화 / 사업화 기술 검증 	2020.08-2022.12
호전에이블	<ul style="list-style-type: none"> 반도체 칩 접합용 100μm 이하 마이크로 범프 / 언더필 지능형 소재 개발 	<ul style="list-style-type: none"> 100μm 범프 / 언더필 지능형 소재의 설계/합성, 물성 최적화 및 신뢰성 확보 기술 개발 	2021.04-2024.12
엔트리움(주)	<ul style="list-style-type: none"> 2W/mK 이상급 반도체 플립칩 패키징용 언더필 소재 	<ul style="list-style-type: none"> 범용(Bump 직경 70-100μm) 플립칩 패키지에 고열전도 언더필을 적용한 패키지 신뢰성 확보(JEDEC Level 3) 기술 개발 	2014.11-2017.08

AlN(Aluminium Nitride) 기반의 센서 기술 동향

|저자| 김진섭 시스템반도체PD / KEIT
 홍성민 팀장 / KEIT
 차철웅 센터장 / KEIT

SUMMARY

/// 압전 센서 적용을 위한 AlN 소재 주요 동향 및 전망

- ★ 압전 소자는 기계적 에너지와 전기적 에너지의 상호 변환의 기능을 수행하는 소자로서 통신용 필터, 공진기, 초음파 의료기기, 압전 모터, 스피커, 각종 센서 등 다양한 분야에서 활용되고 있음
- ★ 압전 센서의 글로벌 시장 규모는 2018년 238억 달러에서 2024년 485억 달러에 이를 것으로 예상되어 연평균 12.6%의 성장이 전망됨
- ★ 기존 벌크(Bulk)형 압전센서의 시장 점유율이 아직까지는 높지만 저전력화, 소형화, 내환경성 확보 등의 요구 증가에 따라 박막 압전 센서의 수요 증대가 예상됨
- ★ 이로인해 고압전 특성, MEMS 공정과의 정합성, 내환경성 확보 측면에서 적합한 질화알루미늄(AlN) 계열 박막 소재에 대한 관심이 증대되고 있으며, AlN 계열 소재를 적용한 압전형 MEMS microphone의 경우 이미 해외에서 상용화되어 여러 기기에 탑재되고 있음
- ★ AlN 계열 소재가 적용될 수 있는 센서 등 MEMS 시장의 국내 시장 규모는 2020년 6,449억 원, 2025년 15,238억 원이 될 것으로 예상하며, 향후 5년간 시장 성장율은 평균 18.8% 수준으로 전망함되며, 글로벌 시장 규모는 2020년 92.1억 달러에서 2025년 218.5억 달러에 이를 것으로 예상됨

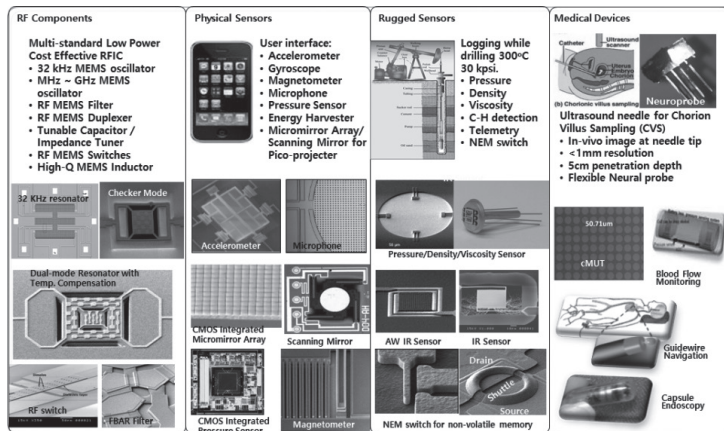
/// 시사점 및 정책제안

- ★ 압전센서의 수요가 전기 자동차, 차세대 통신, 모바일 기기 등 차세대 산업분야로 확대되면서 저전력화, 소형화, 내환경성 확보가 가능한 MEMS 기반 박막 압전 센서의 수요가 증대되고 있음
- ★ 미국, 일본 등 해외 주도로 초기 개발이 진행되고 있고 AlN 소재 기반 박막 압전 센서에 대한 국내 연구 수준은 도입 단계로 적용 가능 세부분야, 기술개발 참여 기업 및 개발 수준, 요구수준(소형화, 저전력화 등)의 전략 분석 수행 필요
- ★ 소재, 공정, 소자 등 다양한 Value Chain의 연계가 필요하므로 국내 공급망과 세계 공급망에 대한 선행 분석 필요
- ★ AlN 계열 소재가 응용되는 MEMS 센서 분야는 대기업이 주도하는 시스템 반도체나 메모리 반도체 사업과는 달리 수입 의존도가 높고 중소기업 중심의 소량 다품종형 시장이기 때문에 국가 주도의 원천기술 확보와 이를 기반으로한 기업 참여와 기업 지원 계획 수립 필요
- ★ MEMS 및 압전 센서 시장은 미래에 크게 확대될 것으로 전망되는데 AlN 계열 소재는 다양한 응용 분야에 적용될 수 있으므로 소재, 공정, 소자 등 핵심기술의 개발 지원을 통한 선행기술 확보가 필요

1. 압전 센서 및 AIN 소재

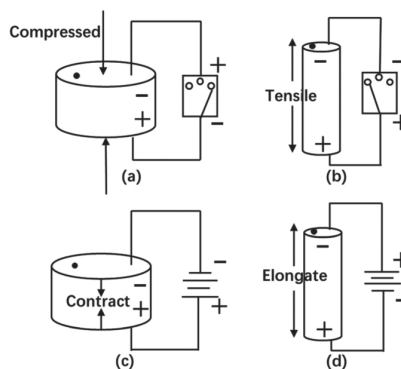
/// 압전 센서

★ 압전 소자는 기계적 에너지를 전기적 에너지로 변환해주는 센서이며, 역으로 전기적 에너지를 기계적 에너지로 변환하는 것도 가능함. 이러한 특성에 기반하여 필터, 공진기, 초음파 의료기기, 압전 모터, 스피커, 각종 센서 등 다양한 분야에서 압전 센서가 활용되고 있음



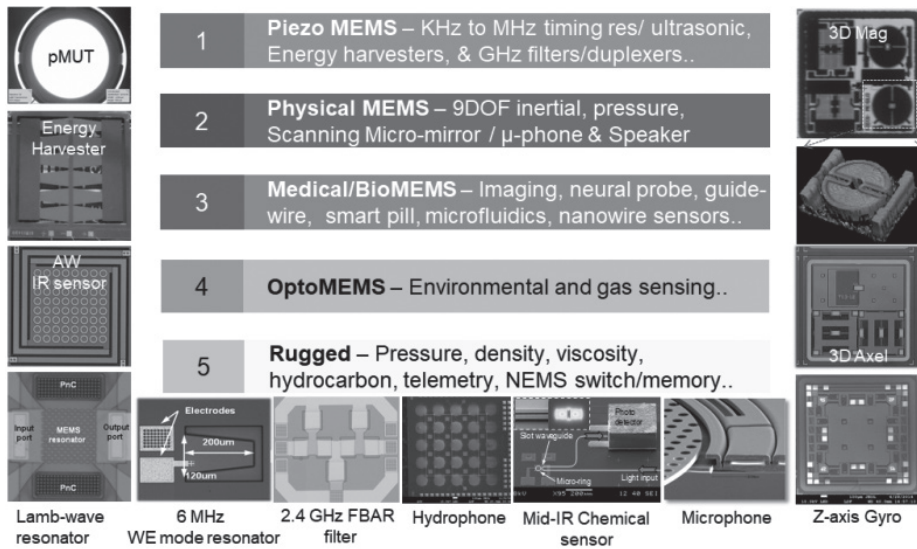
| 그림 1. 압전 소자 이용 분야 |

★ 압전 센서를 구성하는 압전 소재는 기계적 변형이 일어날 때 전기 분극이 발생하기 때문에 이를 응용하여 다양한 압전 센서를 구현할 수 있음

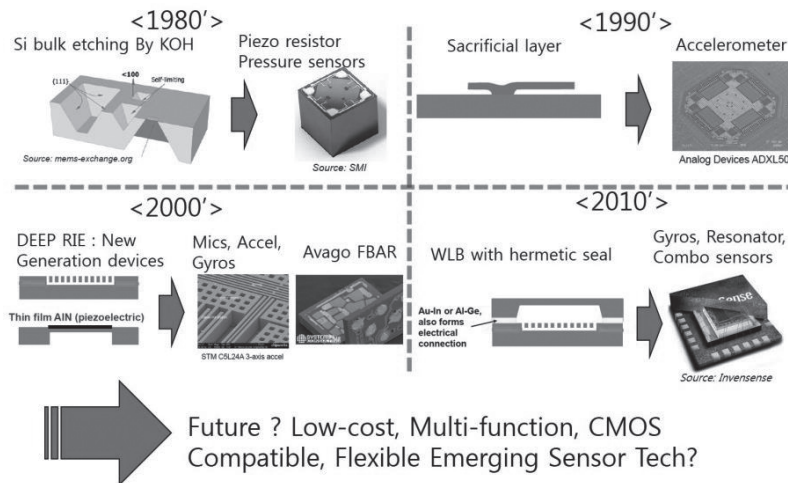


| 그림 2. 압전 센서의 원리 [1] |

★ 전기 자동차 시대가 열림으로 인하여 piezoelectric micromachined ultrasonic transducers(pMUTs) 그리고 piezoelectric microphone 등의 압전 음향센서들이 각광을 받고 있음. 더불어 반도체 공정 기술의 발전으로 인해 압전 소재의 박막을 제조하여 압전 센서에 활용하려는 시도가 활발히 진행되고 있음. 특히 저전력, 소형화, 우수한 내환경성을 달성하기 위해 micro electro mechanical system(MEMS) 기술에 기반한 센서 개발이 매우 중요해짐



| 그림 3. 보쉬의 MEMS 기술을 활용한 개발 제품군 |

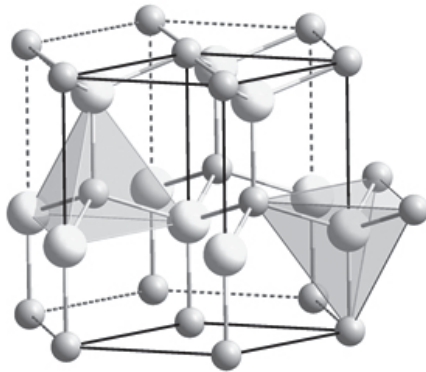


| 그림 4. AMFitgerald, 2017, MEMS Sensor Industry Group Executive Congress |

★ 널리 사용되는 압전재료인 lead zirconate titanate(PZT)를 구성하고 있는 납이 가지고 있는 독성으로 인하여 이를 대체할 무연계 압전재료의 필요성이 대두되었고 압전 특성, MEMS 공정과의 적합성, 내환경성 등에서 우수한 결과를 얻을 수 있는 aluminum nitride(AlN) 계열 소재에 대한 관심이 증가함

/// AlN 소재

★ AlN 박막의 경우 경쟁 재료인 PZT, ZnO에 비하여 piezoelectric constant 및 dielectric constant는 작지만 온도 및 습도 변화 환경에서 안정적이며 complementary metal oxide semiconductor(CMOS) 공정과의 호환성 측면에서 훨씬 우수함. 특히 주어진 stress 환경에서 압전 성능은 AlN이 PZT에 비하여 우수하기 때문에 차세대 센서 응용 분야나 flexible 센서 분야에 적용이 가능함



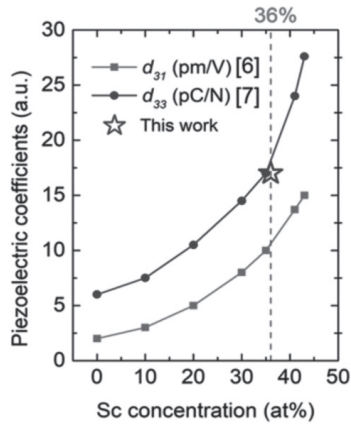
Chemical formula	AlN
Molar mass	40.9882 g/mol
Density	3.260 g/cm ³
Melting point	2,200 °C (3,990 °F; 2,470 K)
Boiling point	2,517 °C (4,563 °F; 2,790 K)
Band gap	6.015 eV
Electron mobility	~300 cm ² /(V·s)
Thermal conductivity	285 W/(m·K)
Refractive index	1.9-2.2
Crystal structure	Wurtzite
Coordination geometry	Tetrahedral

| 그림 5. AlN 결정과 물질 특성 |

Property	PZT	LiNbO ₃	AlN	ZnO
Piezoelectric constant (C/m ²)	$e_{31} = -6.5$ $e_{33} = 23.3$	$e_{31} = 0.23$ $e_{33} = 1.33$	$e_{31} = -0.58$ $e_{33} = 1.55$	$e_{31} = -0.57$ $e_{33} = 1.32$
Piezoelectric coefficient (pm/V)	$d_{31} = -120$ $d_{31} = -170$ $d_{33} = 60-130$	$d_{31} = -7.4$	$d_{31} = -2.0$ $d_{33} = 3.9$	$d_{31} = -5.0$ $d_{33} = 5.9$
Electromechanical coupling coefficient k^2	0.57-0.69	5.5	0.24	0.33
Elastic modulus (GPa)	68	203	308	201
Hardness (GPa)	8.0	-	17	5.0
Resistivity (Ω cm)	1×10^9	2×10^{10}	1×10^{11}	1×10^7
Thermal expansion α (°C)	2×10^{-6}	1.5×10^{-5}	4.3×10^{-6}	6.5×10^{-6}
Acoustic velocity (m/s)	3,900	3,980	10,127	5,700
Dielectric loss angle $\tan \delta$ (10^5 V/m)	0.01-0.03	-	0.003	0.01-0.1

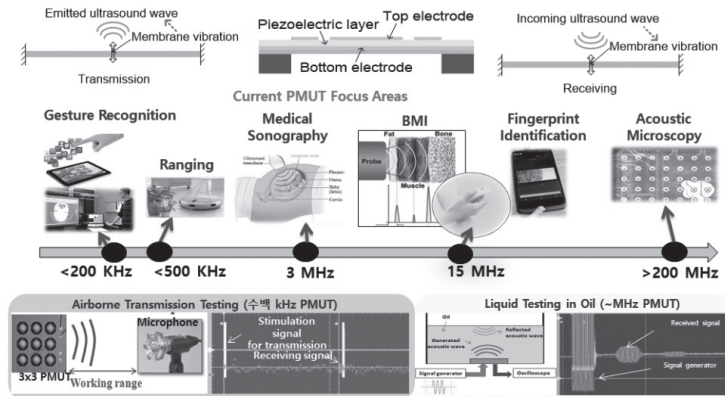
| 그림 6. AlN과 기존 압전 소재의 특성 비교 [2] |

- ★ AlN의 piezoelectric 특성을 향상시키려는 연구가 계속되어 왔으며 대표적인 방안으로 불순물을 첨가하는 것이 있음
 - 특히 scandium(Sc)을 첨가하여 piezoelectric 특성을 향상시킨 Sc-AlN 소재는 MEMS/nano 분야의 박막 센서 재료로서 각광을 받고 있음
 - 센서에 적용 가능한 압전 특성이 나타나는 Sc-AlN 박막을 성장시키기는 것은 매우 까다로움. 전기 자동차 등의 가혹한 환경에서 안정적인 구동이 가능하고 micro-nano device에 적용 가능하며, 특히 CMOS와의 공정 호환성을 갖도록 공정 조건을 개발하고 최적화하는 것이 과제임



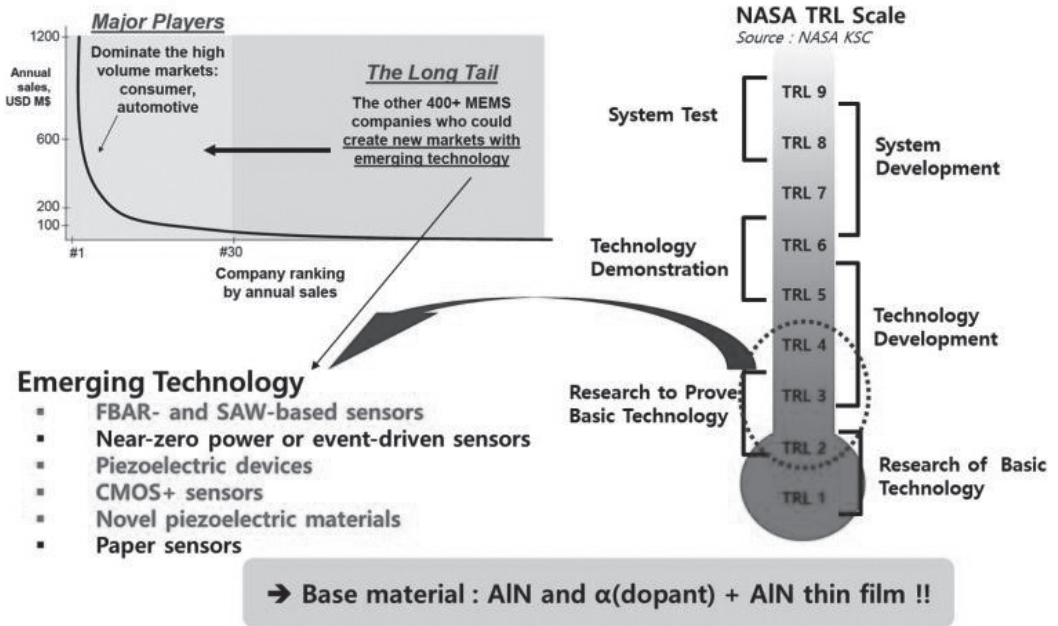
| 그림 7. Sc 함량에 따른 AlN의 piezoelectric 특성 향상 [3] |

- Sc-AlN 박막의 압전 특성을 활용하여 pMUT 등의 센서를 제작할 경우, 주파 변조에 따라 다음과 같이 다양한 분야의 핵심 부품으로 활용 가능성이 높음



| 그림 8. 주파 변조에 따른 다양한 응용 분야 |

- 따라서 Sc-AlN은 MEMS 압전 센서를 위한 차세대 박막 재료로서 큰 관심을 모으고 있으며 이에 따른 세계 각국의 연구가 활발히 진행 중에 있음



| 그림 9. 차세대 AlN 소재. AMFitzgerald, 2017, MEMS Sensor Industry Group Executive Congress |

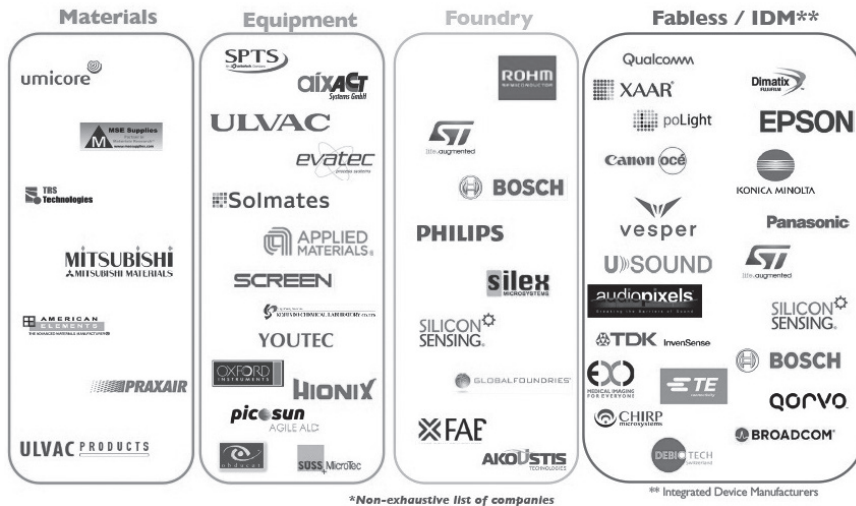
2. AlN 소재 국내외 기술 동향

// 해외 기술 동향

★ 압전 박막 소재 기술은 장비회사와 연구 개발 기관과의 협력을 통하여 최상의 특성을 나타내는 박막을 얻기 위한 연구가 진행 중

Thin-film piezoelectric ecosystem: the major players*

(Source: Piezoelectric Devices: From Bulk to Thin-Film 2019, Yole Développement, June 2019)



| 그림 10. 글로벌 압전 박막 개발 업체 현황 [4] |

★ AlN 계열 압전 박막을 활용한 pMUT 기반 초음파 지문 센서, 압전 MEMS microphone 등의 제품화가 진행 중

- InvenSense사는 GlobalFoundrie와 협력하여 AlN 기반 pMUT을 개발하여 이를 응용한 초음파 지문 인증 솔루션을 발표함 [5]
- Vesper사는 AlN 계열 박막을 이용하여 개발된 cantilever 구조의 압전형 MEMS microphone을 발표함
- 압전형 MEMS microphone에서는 진동하는 다이어프램에서 전기신호가 생성되는 반면, 기존에 널리 사용되던 정전용량형 MEMS microphone에서는 움직이는 다이어프램과 백플레이트 사이의 간격 변화에 비례하는 전기신호가 생성됨. 압전형의 경우 백플레이트와 에어갭이 없기 때문에 보다 나은 신뢰성과 견고함을 보장함. 정전용량형의 경우 먼지, 물, 습기 등과 같은 주변의 오염 물질이 에어갭으로 들어가 다이어프램과 백플레이트가 달라붙는 현상을 일으킬 수 있음. 또한 다이어프램이 백플레이트에 달라붙지 않더라도 다이어프램과 백플레이트 사이의 오염 물질로 인해 감도와 주파수 응답에 변화를 일으킬 수 있음

- 또한 항상 파워를 필요로 하는 정전용량식과 달리 압전형은 음파가 압전 캔틸레버에 부딪혀 캔틸레버가 움직일 때 생성되는 전압을 초저전력의 회로가 감지하여 시스템을 깨우는 방식을 도입할 수 있으므로 스마트 스피커 등의 저전력 제품 개발에 유리함

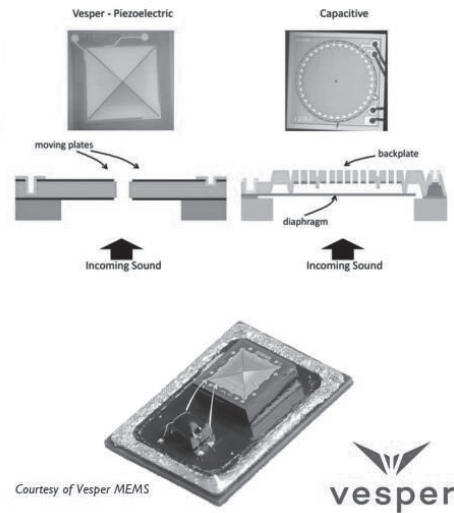
New piezoelectric MEMS are disrupting the traditional capacitive microphone approach. This could have huge implications for noise-canceling technology.

For now, capacitive technology is widely used in the mobile phone market but the preferred high-end technology remains ECMs.

Features

- Small size: 3.76mm x 2.65mm x 0.96mm package
- Ultra-low noise, bottom-port
- Low part-to-part variation
- High dynamic range
- Durable piezoelectric MEMS construction
- Drop-in replacement for existing capacitive MEMS microphones

Vesper is now selling parts on Digikey and other online distributors.



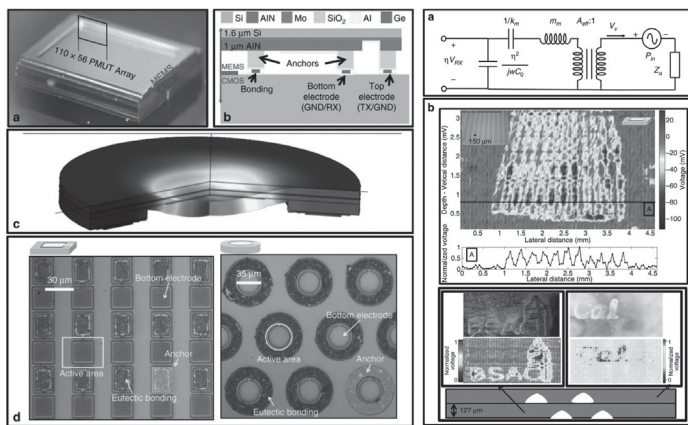
| 그림 11. Vesper사의 AlN 기반 microphone |



| 그림 12. Vesper사의 AlN 기반 microphone 제품 및 내부 구조 |

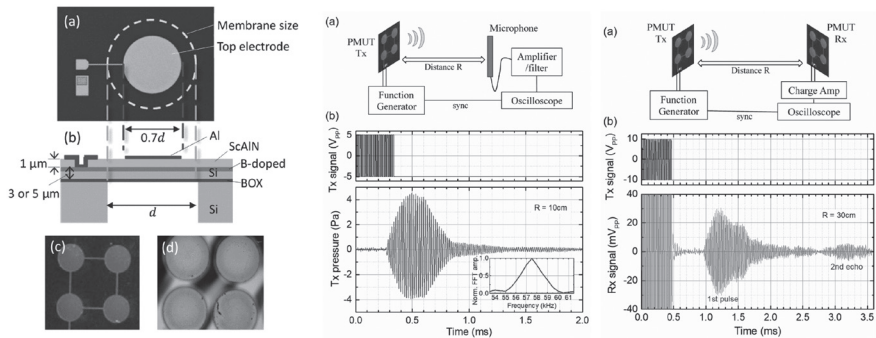
★ AlN 계열 압전 박막의 성능을 높이고 각종 센서에 응용하기 위한 연구 기관들의 연구 결과 발표가 활발히 진행 중

- Univ. of California, Davis의 Horsley 교수팀은 2017년 실리콘 기판에 AlN 및 PZT 박막을 이용하여 압전 튜랜스듀서 구조물을 제작하고 별도로 제작된 CMOS 회로 기판과 웨이퍼 본딩하여 진공 cavity를 형성 및 본딩된 기판의 상부를 CMP 공정으로 얇게 하여 membrane을 형성하는 방법으로 pMUT 디바이스를 제작함. 이를 110×56의 어레이로 확장하여 초음파 센서를 개발함 [6]



| 그림 13. Jiang, Xiaoyue, et al. “Monolithic ultrasound fingerprint sensor.”
Microsystems & nanoengineering 3.1 (2017): 1-8. |

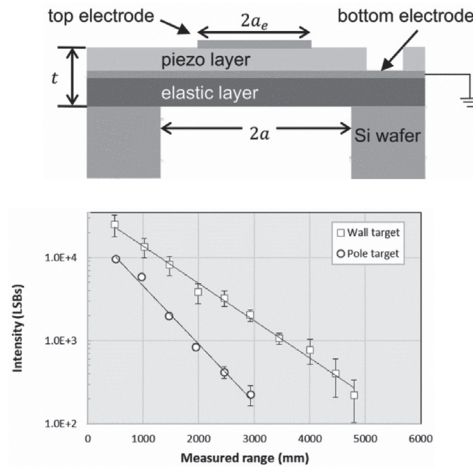
- 또한 Horsley 교수팀은 2019년 36% Sc을 AlN에 도핑하여 10cm 거리에서 105-dB SPL의 높은 출력 압력과 2m 거리에서 30-dB 감쇠 특성을 나타내는 pMUT 디바이스를 개발함 [7]



| 그림 14. Kusano, Yuri, et al. “High-SPL air-coupled piezoelectric micromachined ultrasonic transducers based on 36% ScAlN thin-film.”

IEEE Transactions on Ultrasonics, Ferroelectrics, and Frequency Control 66.9 (2019): 1488-1496. |

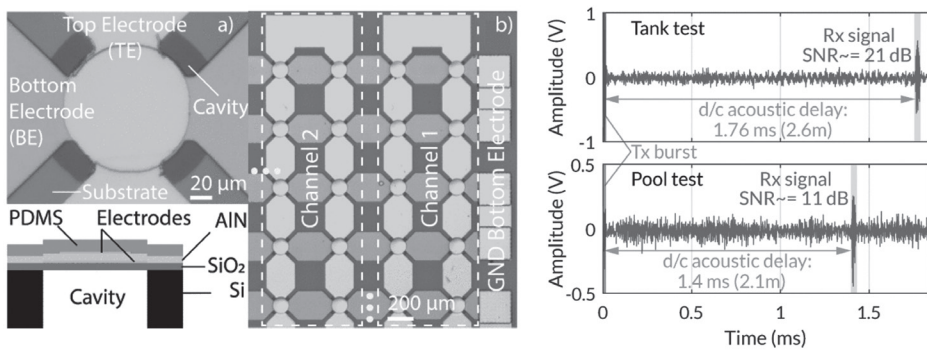
- Horsley 교수팀은 2021년 Sc-AlN 박막을 이용하여 time-of-flight(ToF) 거리 감지 응용을 위한 pMUT 센서를 개발 및 발표함 [8]



| 그림 15. Horsley, David A., et al.

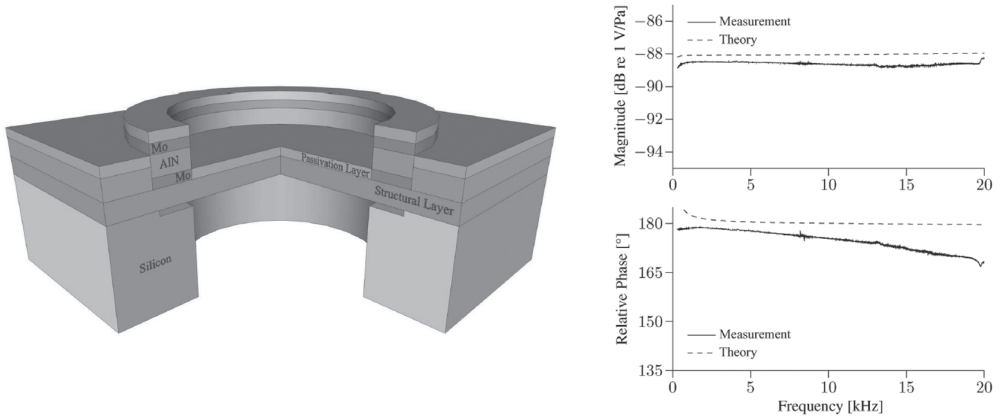
“Piezoelectric Micromachined Ultrasonic Transducers for Range-Finding Applications.”
2021 5th IEEE Electron Devices Technology & Manufacturing Conference (EDTM). IEEE, 2021. |

- Northeastern Univ.의 Rinaldi 교수팀은 underwater acoustic networking 응용을 위한 AlN pMUT receiver를 개발 및 발표함 [9]



| 그림 16. Herrera, Bernard, et al. “Miniaturized PMUT-based receiver for underwater acoustic networking.” Journal of Microelectromechanical Systems 29.5 (2020): 832-838. |

- Univ. of Florida의 Sheplak 교수팀은 2012년 AlN 박막을 이용하여 -39uV/Pa의 감도를 갖는 microphone을 개발 및 발표함 [10]

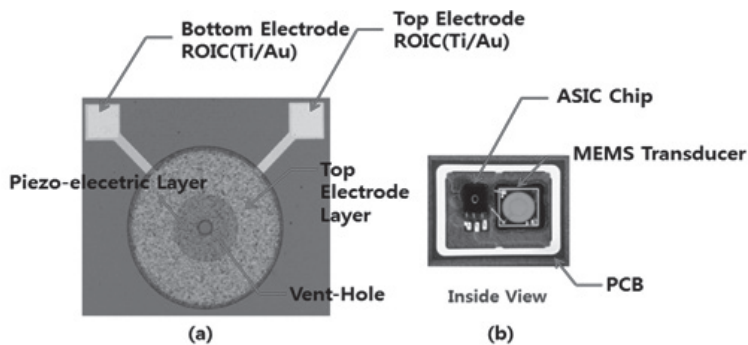


| 그림 17. Williams, Matthew D., et al.
 “An AlN MEMS piezoelectric microphone for aeroacoustic applications.”
 Journal of Microelectromechanical Systems 21.2 (2012): 270-283. |

// 국내 기술 동향

- ★ 압전 세라믹 PZT 소재 기반의 초음파 트랜스듀서 및 초음파 장비 기술은 세계적인 수준을 보유하고 있으나, 압전 센서 응용을 위한 AlN 계열 소재 및 플랫폼 기술은 연구소 및 대학에서 기초 연구를 수행하는 초기 단계로 제품화를 위한 추가 연구개발을 통한 개발 역량 확보가 필요함

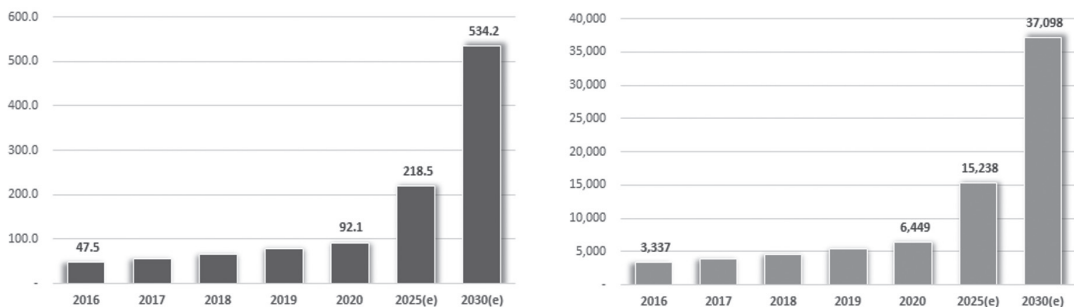
- 한국세라믹기술원에서는 2018년 AlN 박막 압전 MEMS 마이크로폰의 최적구조를 설계하고 그 결과를 발표함 [11]



| 그림 18. 권민형, et al. “MEMS 구조 압전 마이크로폰의 최적구조 설계.” 센서학회지 27.4 (2018): 269-274. |

3. AIH 소재 시장 전망

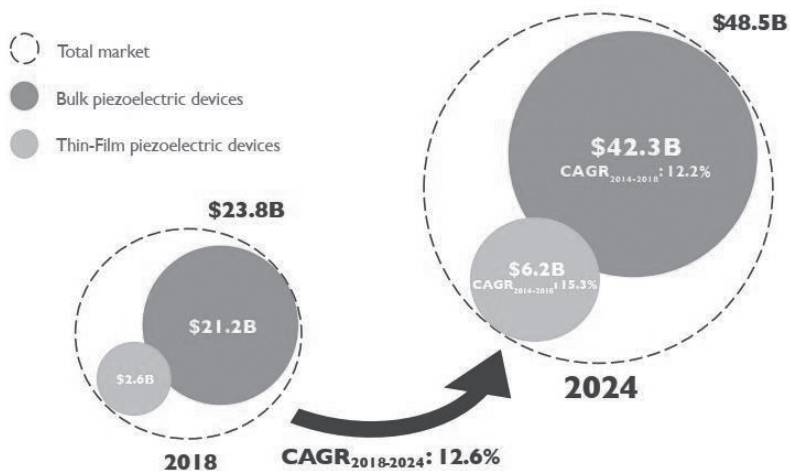
★ AIH 계열 소재가 적용될 수 있는 smart sensor, MEMS 시장의 국내 시장 규모는 2020년 6,449억 원, 2025년 15,238억 원이 될 것으로 예상하며, 향후 5년간(2020~2025년) 시장 성장율은 평균 CAGR은 18.8% 수준으로 전망함. 글로벌 시장 규모는 2020년 92.1억 달러에서 2025년 218.5억 달러에 이를 것으로 예상됨



| 그림 19. (좌) 글로벌(억 달러), (우) 국내(억 원) 시장 규모 [12] |

★ 압전 센서 글로벌 시장 규모는 2018년 238억 달러에서 2024년 485억 달러에 이를 것으로 예상되어 연평균 12.6%의 성장이 전망됨. 벌크 압전센서의 시장 점유율이 높지만 압전 박막을 이용한 MEMS 박막 압전센서의 성장폭이 더 클 것으로 예상됨

2018 - 2024 piezoelectric-based device market: thin-film vs. bulk



| 그림 20. 압전 센서 시장 규모 [4] |

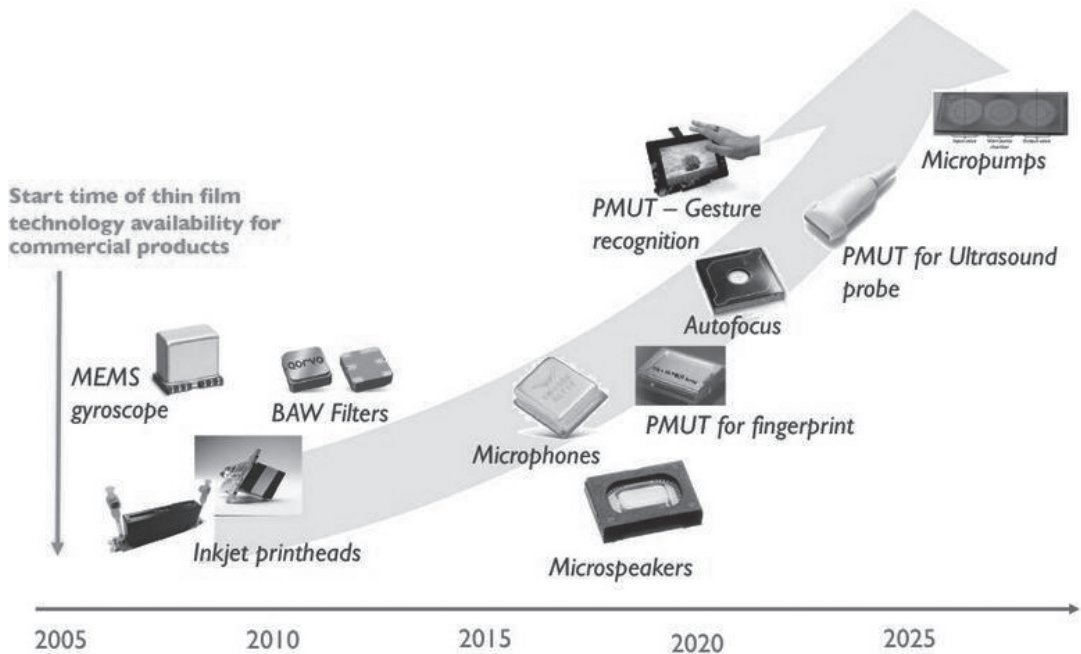
4. AlN 소재의 발전 전망

// 다양한 압전 센서로의 적용

- ★ Apple의 iPhone, Amazon의 Echo에는 이미 다수의 MEMS 압전형 microphone이 탑재되고 있으며 방수, 방진 및 초저전력 소비 특성으로 인해 기존의 정전용량형 MEMS microphone을 급격하게 대체하고 있음
- ★ 압전 기술은 급성장할 것이며 AlN 계열 소재는 이미 상품화 된 microphone뿐 아니라 pMUT, micro-speaker, 액추에이터 및 통신을 위한 각종 필터류에 적용될 것으로 전망됨

Piezo MEMS time to market: 2018-2025

(Source: Status of the MEMS Industry 2019, Yole Développement, June 2019)



| 그림 21. 압전 센서 발전 방향 [4] |

5. 결론 및 시사점

// 새로운 압전 소재

- ★ 반도체 공정 기술의 발전으로 인해 압전 소재의 박막을 활용한 초소형 압전 센서 제작이 가능해졌으며 저전력, 소형화, 우수한 내환경성 등의 특성을 구현할 수 있는 MEMS 기반 압전 센서가 각광을 받음
- ★ 널리 사용되는 압전재료인 PZT가 주성분 납의 독성으로 인해 대체가 필요한 상황에서 압전 특성, MEMS 공정과의 정합성, 내환경성 등에서 우수한 결과를 얻을 수 있는 AlN 계열 소재에 대한 관심이 증가함
- ★ AlN 계열 박막은 경쟁 재료에 비해 piezoelectric constant가 작지만 주변 환경 변화에서 안정적이며 CMOS 공정과의 호환성 측면에서 훨씬 우수하기 때문에 MEMS 모듈 구현에 훨씬 유리함
- ★ MEMS 및 압전 센서 시장은 미래에 크게 확대될 것으로 전망되고, AlN 계열 소재는 다양한 분야에 적용이 가능하기에 미래 부품 사업의 핵심 기술이 될 수 있음
- ★ 현재 해외에서 활발하게 연구가 진행되고 있지만 국내 연구는 초기 단계로 몇몇 학교 및 연구소 등에서 제한적으로 진행되고 있음
- ★ 반도체 소재부품 분야의 국산화는 매우 중요하기 때문에, 정부의 지원 하에 AlN 계열 소재 관련 연구를 독려하여 차세대 고효율 센서 시장의 원천기술 확보 및 시장을 선점할 필요가 있음
- ★ MEMS 센서 분야는 대기업이 주력하고 있는 시스템 반도체나 메모리 반도체 사업과는 달리 수입의존도가 높은 소량 다품종의 분야로서 획일적인 기술개발이 아닌 수요자 맞춤 중심의 발 빠른 대처가 요구됨
- ★ 따라서 대기업 중심의 지원을 통한 발전 전략보다는 기술력과 일정 이상의 규모를 갖추고 있는 중소중견기업의 참여가 중요하다고 판단되며, 원천기술 개발을 통해 새로운 먹거리와 일자리가 창출될 것으로 기대함

[참고문헌]

1. Wei, Huige, et al. "An overview of lead-free piezoelectric materials and devices." *Journal of Materials Chemistry C* 6.46 (2018): 12446-12467.
2. Fraga, Mariana Amorim, et al. "Wide bandgap semiconductor thin films for piezoelectric and piezoresistive MEMS sensors applied at high temperatures: an overview." *Microsystem technologies* 20.1 (2014): 9-21.
3. Kusano, Yuri, et al. "36% scandium-doped aluminum nitride piezoelectric micromachined ultrasonic transducers." 2018 IEEE International Ultrasonics Symposium (IUS). IEEE, 2018.
4. Yole Developpement, <https://yole.fr>
5. TDK InverSense, <https://inversense.tdk.com/>
6. Jiang, Xiaoyue, et al. "Monolithic ultrasound fingerprint sensor." *Microsystems & nanoengineering* 3.1 (2017): 1-8.
7. Kusano, Yuri, et al. "High-SPL air-coupled piezoelectric micromachined ultrasonic transducers based on 36% ScAlN thin-film." *IEEE Transactions on Ultrasonics, Ferroelectrics, and Frequency Control* 66.9 (2019): 1488-1496.
8. Horsley, David A., et al. "Piezoelectric Micromachined Ultrasonic Transducers for Range-Finding Applications." 2021 5th IEEE Electron Devices Technology & Manufacturing Conference (EDTM). IEEE, 2021.
9. Herrera, Bernard, et al. "Miniaturized PMUT-based receiver for underwater acoustic networking." *Journal of Microelectromechanical Systems* 29.5 (2020): 832-838.
10. Williams, Matthew D., et al. "An AlN MEMS piezoelectric microphone for aeroacoustic applications." *Journal of Microelectromechanical Systems* 21.2 (2012): 270-283.
11. 권민형, et al. "MEMS 구조 압전 마이크로폰의 최적구조 설계." *센서학회지* 27.4 (2018): 269-274.
12. MarketsandMarkets, Smart Sensor Market, 2020 및 Marketsandmarkets, Micro-Electro-Mechanical System (MEMS) Market, 2017, <https://www.marketsandmarkets.com/>

[국내외 주요 기술개발 현황]

연구기관명	프로젝트명	개요	연구기간
소프트주식회사	<ul style="list-style-type: none"> SNR 70dB 이상의 특성을 보유한 압전 방식의 차세대 마이크로폰용 MEMS 센서 모듈 개발 	<ul style="list-style-type: none"> 압전 방식 마이크로폰용 MEMS 트랜스듀서(Transducer) 및 구동 ASIC 개발 - AlN 압전박막 양산 공정기술 확보 : 본 개발 과제는 피에조 방식의 MEMS 마이크로폰 용 센서(트랜스듀서) 개발이므로 압전 박막의 양산 기술 확보 	2016.07-2017.12
포톤웨이브	<ul style="list-style-type: none"> 바이러스 살균용 200mW급 265nm 자외선 LED 기술 개발 	<ul style="list-style-type: none"> - 고품위 AlN 박막 결정성(XRD(102) 반폭치) : ≤ 400(@ 두께 3μm 기준) - n-AlGa_N 박막 결정성(XRD(102) 반폭치) : ≤ 400(@ 두께 2 μm 기준) - p-AlGa_N 도핑농도 : $> 1E17$cm⁻³ 이상 - 파장 : 265nm \pm 5nm 	2020.08-2022.12
(주)제니컴	<ul style="list-style-type: none"> 2DEG AlGa_N기반 UV센서와 300°C 고온환경 Hall센서의 정보 IoT용 센서 융합기술개발 	<ul style="list-style-type: none"> AlGa_N기반 MSM 광센서는 일반적인 MSM 광센서와 달리 2-DEG로 인한 Hall accumulation 효과가 발생하여 gain이 존재함. 높은 Gain으로 인해 10⁶ 이상의 가시광 감쇄율을 구현할 수 있을 것으로 보이며 불꽃감지 센서로 이용을 기대 	2021.04-2024.12

작성자/문의처

// 정책기획팀	▶ 이정우 팀장		042-712-9300		jwlee@keit.re.kr
	▶ 이철주 수석		042-712-9305		lcj08@keit.re.kr
	▶ 정찬혁 수석		042-712-9304		supei@keit.re.kr
	▶ 임문혁 수석		042-712-9303		mhyim@keit.re.kr
	▶ 차현진 책임		042-712-9302		fmcha@keit.re.kr
	▶ 유동훈 선임		042-712-9307		yudonghun@keit.re.kr
	▶ 이준용 선임		042-712-9308		jylee06@keit.re.kr
	▶ 진명현 주임		042-712-9306		ayoayd1314@keit.re.kr

| 주력산업 |

// 전기수소차	▶ 이봉현 PD		02-556-9532		gear1@keit.re.kr
// 자율주행차	▶ 서재형 PD		02-556-9533		sjhbjj@keit.re.kr
// 조선해양	▶ 류민철 PD		02-556-9531		okpo6000@keit.re.kr
// 첨단기계	▶ 전형호 PD		02-556-9535		hhchun@keit.re.kr
// 첨단장비	▶ 심창섭 PD		02-556-9534		caleb92@keit.re.kr
// 로봇	▶ 이준석 PD		02-556-9536		ssesera@keit.re.kr
// 우주항공	▶ 박 흰 PD		02-556-9530		liftoff@keit.re.kr

| 신산업 |

/// 바이오	▶ 김형철 PD		02-6009-8771		hckim@keit.re.kr
/// 지식서비스	▶ 김돈정 PD		02-6009-8772		jamesdon@keit.re.kr
/// 디자인	▶ 이태림 PD		02-6009-8777		lilia@keit.re.kr
/// 의료기기	▶ 박지훈 PD		02-6009-8773		jihoon@keit.re.kr
/// 이차전지	▶ 송준호 PD		02-6009-8774		battery@keit.re.kr
/// 스마트제조	▶ 고재진 PD		02-6009-8775		jaejini@keit.re.kr
/// 스마트전자	▶ 변기영 PD		02-6009-8776		gybyun@keit.re.kr

| 소재부품산업 |

/// 화학공정	▶ 한정우 PD		02-556-9572		jwhan@keit.re.kr
/// 섬유	▶ 윤석한 PD		02-556-9573		yshs@keit.re.kr
/// 세라믹	▶ 이건훈 PD		02-556-9571		khoon17@keit.re.kr
/// 탄소·나노	▶ 최영철 PD		02-556-9575		carbonnano@keit.re.kr
/// 뿌리기술	▶ 이병현 PD		02-556-9577		bhlee@keit.re.kr
/// 시스템 반도체	▶ 김진섭 PD		02-556-9579		keti3@keit.re.kr
/// 반도체 공정장비	▶ 이정호 PD		02-556-9574		plasma@keit.re.kr
/// 디스플레이	▶ 박영호 PD		02-556-9576		yhopark@keit.re.kr
/// 금속재료	▶ 김도근 PD		02-556-9578		dogeunkim@keit.re.kr

PDI슈리포트 발간 목록

발간호	발간분야	이슈제목
20-특집호	21대 분야	2019년 연구개발 주요성과 및 2020년 추진 계획
20-3호	FOCUSING ISSUE	수소전기버스용 대용량 수소탱크 개발
	탄소-나노	표준화를 통한 나노제품의 기술선도와 규제대응
	디스플레이	미래 디스플레이 : 평판 디스플레이를 뛰어넘어 탈평판 디스플레이로
	세라믹	밀가루, 세라믹 분말 그리고 국내 세라믹 원료산업의 현황
	로봇	웨어러블 로봇의 기술동향과 산업전망
	의료기기	디지털치료제 기술동향과 산업전망
20-4호	뿌리기술	'주조, 용접, 표면처리 최신 기술 개발 동향'
	스마트전자	공기산업을 선도하는 스마트 센서기술
	이차전지	고에너지 고안전성 전고체전지 기술
	특집	'CES(Consumer Electronics Show) 2020'를 통해 본 소비자가전 주요 산업동향
20-5호	FOCUSING ISSUE 1	자율주행 인지 대응형 코팅 소재 및 공정기술 개발
	FOCUSING ISSUE 2	CMOS 호환 고성능 GaN 전력반도체 개발
	첨단장비	공정혁신 제조장비 국내외 기술동향 및 수요 분석
	지식서비스	디지털엔지니어링 기술동향 및 전망
	자율자동차	자율주행 사용을 위한 차량 안전기술 동향
	첨단기계	승강기산업의 기술동향과 산업전망
20-6호	FOCUSING ISSUE	As 및 Sb 미합유 친환경 원적외선 광학유리 소재 및 광학렌즈 기술 개발
	해양조선	IMO 친환경선박 관련 규제 및 대응 방안
	디자인	소재 및 표면처리 특허 빅데이터를 활용한 디자인 프로세스 개발
	전기수소차	대형 상용차 전기구동시스템 기술 동향
	화학공정	위·변조 방지 태그 기술 현황 및 개발 방향

발간호	발간분야	이슈제목
20-7호	FOCUSING ISSUE 1	다양한 물품을 운반할 수 있는 사람 추종형 이송로봇 개발
	FOCUSING ISSUE 2	온실가스 저감용 방오성능을 갖는 선박용 저마찰 필름 기술 개발
	반도체	경량 인공지능 반도체의 발전 전망
	섬유	친환경 섬유 기술동향 및 전망
	바이오	EAP 서비스산업 동향 분석
20-8호	FOCUSING ISSUE	초실감 미래형 디스플레이를 위한 마이크로디스플레이 기술 개발
	탄소·나노	탄소섬유 소재산업 및 기술개발 동향
	디스플레이	OLED 발광재료 기술개발 현황 및 전망
	세라믹	세라믹 소재와 단일도메인항체의 융합 그리고 감염병 진단 기술
	의료기기	이동형병원 산업동향과 개발전망
	로봇	직접교시기술의 동향 및 전망
20-9호	FOCUSING ISSUE	빅데이터 기반 시의 산업특화 활용을 위한 개방형 시 클라우드 서비스 시스템 개발
	첨단장비	절삭공구 데이터 플랫폼 관련 국내의 기술동향
	금속재료	미래 선도형 금속재료산업 기술동향 및 전망
	이차전지	이차전지산업 현황 및 전망
	스마트전자	전장용 MLCC 기술동향과 산업전망
	스마트제조	증강기술을 활용한 스마트제조 기술동향
20-10호	FOCUSING ISSUE 1	잔존 혈액암세포 검사용 혈구 분석시스템 개발
	FOCUSING ISSUE 2	미래 선박 - 자율운항선박 기술개발
	첨단기계	굴착기용 전기구동 실린더 기술개발 동향
	지식서비스	비대면서비스 산업동향 및 기술현황
	자율주행차	미래 교통수단 퍼스널 모빌리티 산업 생태계

PDI이슈리포트 발간 목록

발간호	발간분야	이슈제목
20-11호	FOCUSING ISSUE	토공작업 자동화를 위한 양방향 실시간 3D 측량정보를 제공하는 스마트건설기계연동형 드론측량시스템 개발
	조선해양	친환경선박 대체연료 기술개발 동향
	화학공정	카메라 적외선 차단(흡수) 필터 소재 기술 동향
	디자인	에코패키지 디자인 동향
	전기수소차	수소전기차용 수소저장용기 기술동향
20-12호	FOCUSING ISSUE	리튬이차전지용 파우치
	섬유	방역용 섬유소재 산업동향
	바이오	3차원 생체조직 칩 기반 신약개발 플랫폼 기술
	스마트제조	산업일자리 고도화 기술동향
	뿌리기술	3D 프린팅 기술을 접목한 금형 제조기술 동향
21-특집호	21대 분야	2020년 연구개발 주요성과 및 2021년 추진 계획
21-3호	FOCUSING ISSUE	장시간 무인가공을 위한 유연 라인 가공시스템 실증
	이차전지	전기차용 고성능 배터리의 니켈계 양극소재 기술
	세라믹	양방향 세라믹연료전지의 기술개발 동향과 방향
	금속재료	항공용 금속소재 자립화 현황 및 전망
	전기수소차	전기자동차 배터리 팩 고밀도화 기술
21-4호	FOCUSING ISSUE	5G 연계 산업유형별 폼팩터를 적용한 산업용 AR기기 참조모델 개발
	로봇	비대면 휴먼케어 서비스 로봇 기술 현황 및 발전 방향
	바이오	의약품 3D 프린팅 기술의 현재와 미래
	탄소·나노	탄소소재 적용 전자파 차폐 산업현황과 기술전망
	자율주행차	자율주행기술 활용 상용차 위험환경 극복 기술 동향

발간호	발간분야	이슈제목
21-5호	FOCUSING ISSUE	비정상 비행상황 대응 팀 단위 협업 훈련을 위한 가상 운항승무원 트레이닝 서비스 시스템 개발
	지식서비스	디지털 유통물류 기술동향과 산업전망
	스마트전자	광융합휴먼케어 기술동향과 산업전망
	뿌리	지능형 소성가공기술 동향 및 전망
	스마트제조	스마트공장을 위한 수직 통합패키지 개발
21-6호	FOCUSING ISSUE	생체의료용 고기능성 타이타늄(Ti) 합금 소재 및 응용제품 개발
	첨단기계	광산장비의 친환경 스마트 기술혁신
	디자인	휴먼팩터 지능화의 디자인 기술동향과 산업전망
	화학공정	국내 불소화학 산업 동향
	반도체	반도체 소부장 산업현황 및 투자전략
21-7호	FOCUSING ISSUE	퍼스널 모빌리티 플랫폼 핵심기술 개발 및 실증
	첨단장비	3D Printed Electronics(3DPE) 분야 국내·외 기술동향
	의료기기	신경자극 의료기기 기술 및 시장동향
	섬유	자원순환 화학재생 섬유 기술동향 및 전망
	디스플레이	디스플레이용 QD 소재 기술 동향 및 향후 추진 방향
21-8호	FOCUSING ISSUE	AI 반도체 기술 소개
	전기수소차	중대형 수소상용차의 기술개발 방향
	로봇	유연물 핸들링 로봇 시스템을 위한 인식, 파지, 조작 기술
	이차전지	리튬-황 차세대 이차전지의 기술 동향 및 전망
	금속재료	수소 파이프라인 강재 기술개발 동향

PDI슈리포트 발간 목록

발간호	발간분야	이슈제목
21-9호	자율주행차	자율주행차 인지센서 상용화기술과 산업전망
	바이오	기술기반의약품(TBM)의 기술개발 동향과 미래가치
	스마트제조	임베디드 인공지능 SW 기술맵 동향
	탄소·나노	이차전지 음극재용 탄소나노소재 기술동향 및 전망
21-10호	FOCUSING ISSUE	탄소 감축을 위한 LNG 냉열 발전 재기화 기술
	조선해양	선박·해양 프로세스 시스템 디지털 트윈 개발 방향
	지식서비스	디지털엔지니어링 설계기술과 탄소저감
	스마트전자	인공지능가전 기술동향과 산업전망
	뿌리기술	주조산업의 최신 기술 활용 사례
21-11호	첨단기계	극저온 냉동기 기술 및 시장 동향
	디자인	CMFD디자인 기술동향과 산업전망
	화학공정	국내 촉매 산업의 기술 동향
	시스템반도체	전력반도체 최신 기술 이슈 및 향후 전망
21-12호	FOCUSING ISSUE	디지털 유통물류 기술 동향과 산업 전망
	첨단장비	주력가공장비용 핵심부품 기술동향 및 개발방향
	의료기기헬스케어	헬스케어 서버타이제이션(Servitization) 기술 및 시장동향
	섬유	친환경 라이오셀(Lyocell) 섬유 산업동향
	디스플레이	디스플레이용 초소형 마이크로 LED 기술 동향 및 향후 추진 방향
22-특집호	22대 분야	2021년 연구개발 주요성과 및 2022년 추진계획

발간호	발간분야	이슈제목
22-3호	조선행양	선박운항 탄소중립을 위한 재생에너지 활용·풍력추진선박의 개발 동향
	로봇	재난 대응 로봇 기술 동향 및 발전 방향
	이차전지	고성능 리튬이차전지의 실리콘계 음극소재 기술
	세라믹	전기차 고출력 파워모듈용 세라믹 방열소재 기술
22-4호	자율주행차	자율주행 휴먼 머신 인터페이스(HMI) 기술 동향
	바이오	바이오 소부장 기술개발 동향 및 전망
	스마트제조	스마트공장 빅데이터 분석 플랫폼 기술동향
	탄소·나노	인조흑연 소재산업의 동향과 기술개발 방향
	금속재료	액체수소 저장용 소재 기술개발 동향
22-5호	FOCUSING ISSUE	디지털 마커 기반 맞춤형 불면증 디지털치료제 개발
	전기수소차	전기자동차 배터리 팩 시스템의 열 안전성 향상 기술
	지식서비스	감성인식 기술과 지식서비스
	스마트전자	전력기기의 지능화를 위한 디지털 변전소 동향 및 발전방향
	뿌리기술	반도체·디스플레이 습·건식 표면처리 최신 기술개발 동향
22-6호	첨단기계	건설·산업기계용 수소엔진 기술동향
	디자인	긍정 디자인 패러다임의 변화
	화학공정	언더필 소재 기술 동향
	시스템반도체	AlN(Aluminium Nitride) 기반의 센서 기술 동향

KEIT PD Issue Report

| 발행일 | 2022년 6월

| 발행처 | 한국산업기술평가관리원(KEIT)

| 주 소 | (대구본원) 41069 대구광역시 동구 침단로 8길 32(신서동 1152번지) TEL. 053-718-8114

(대전본원) 35262 대전광역시 서구 문정로 48길 48(탄방동 647) 계룡빌딩 3층 TEL. 042-712-9300~5

| 홈페이지 | www.keit.re.kr

이 책자의 저작권은 한국산업기술평가관리원에 있습니다. 무단전재와 복제를 금합니다.

ISSN 2234-3873

평범한 우리가
세상을 바꾸는 방법

공익신고



공익신고자 보호 더욱 강해졌습니다

보호

- 비밀보장, 신분보호, 불이익조치 금지, 책임감면

보상

- 내부 공익신고자에게 최대 30억원의 보상금 지급
- 공익에 기여한 경우 최대 2억원의 포상금 지급
- 구조금(치료비, 이사비, 소송비용 등) 지원

상담

- 국번없이 **110** 또는 **1398**

신고

- 홈페이지 **1398.acrc.go.kr**
- 우편(서울시 서대문구 통일로 87)

신고대상 : 6대 분야, 284개 법률 위반행위

건강

- 불량식품 제조·판매
- 무면허 의료행위

안전

- 부실시공
- 소방시설 미설치

환경

- 폐수 무단방류
- 폐기물 불법 매립

소비자이익

- 개인정보 무단 유출
- 허위·과장광고

공정경쟁

- 기업 간 담합
- 불법 하도급

기타 공공의 이익

- 거짓 채용광고
- 방위산업기술 불법사용



기술강국코리아를 향한 R&D지원 글로벌 리더 *Keit*



R&D 골든타임을 찾다! **—기획—**

—평가— R&D 가치를 높이다!

—관리— R&D 성과를 창출하다!