미래소재산업 선도국 실현을 위한

그래핀 사업화 촉진 기술 로드맵

(2015~2020)

2015. 4. 6



미래창조과학부



산업통상자원부

목 차

Ⅰ. 추진배경 ····· 1

Ⅱ. 그래핀 사업화 환경분석 ····· 3

Ⅲ. 비전 및 추진전략 ····· 10

Ⅳ. 세부 추진과제 ····· 11

1. 그래핀 원소재 양산 및 합성시스템 기술 확보

2. 그래핀 규격화 및 실시간 측정 기술 확보

3. 6대 그래핀 전략사업의 응용제품 개발

Ⅴ. 추진체계 ····· 17

Ⅵ. 기대효과 ····· 18

※ 참고자료 ····· 19

I. 추진배경

▢ 차세대 핵심소재 그래핀

○ 높은 강도, 전자이동도 등 **여러 특성이 현존물질 중 가장 뛰어난 신소재**로 전 세계적으로 기술개발 경쟁이 치열

○ 투명 유연(flexible) 디스플레이, 초경량 자동차·비행기, 고용량 배터리 등 **기존에 존재하지 않았던 신제품의 출현을 가능**하게 할 것으로 전망

▢ 그래핀 시장형성 가시화와 세계 각국의 투자정책 변화

○ 해외 리딩기업 일부가 **연구용 그래핀 원소재 등 판매를 시작**하였고 **저품질 그래핀 응용제품***의 경우 2~3년 내 시장진입이 가능할 것으로 전망

* 그래핀 응용 정전기 방지막, 터치패널 등으로 현재 기존 제품의 성능과 동등 또는 능가하는 수준의 성능이 확보되었으나 경제성 확보를 위한 추가 연구가 필요한 단계

○ 주요 선진국은 그래핀 관련 R&D 정책을 기초·원천기술 개발에서 **상용화를 통한 미래 신산업·신시장 창출형 선도기술 개발로 전환**

※ 유럽, 미국 등 주요 선진국들을 중심으로 그래핀 기술의 상용화를 위해 정부 차원의 체계적인 R&D 지원, 산업단지 설립 등 추진

▢ 그래핀 시장 선점을 위한 체계적인 R&D 투자 전략 필요

○ 그래핀 산업은 기술우위, 수요기반을 바탕으로 **선도자**(First Mover) **전략을 통한 신시장 창출 및 선점이 가능**하므로 전략적 육성 필요

※ CVD(화학기상증착법) 그래핀 특허는 세계 1위, 그래핀 플레이크 특허는 세계 2위 수준이며 주요 응용분야는 우리나라의 시장점유율이 높은 디스플레이, 휴대폰, 에너지 등임

- 그래핀 **산업경쟁력 향상을 도모**할 수 있는 **전략적이고 체계적인 R&D 투자 및 사업화 전략** 필요

⇨ **그래핀 세계 시장 선점을 통한 미래소재산업 선도국 실현**을 위해 **'그래핀 사업화 촉진 기술 로드맵'** 수립 필요

< 그래핀의 특성과 산업적 응용 >

□ 특성

o 그래핀은 각각의 **탄소원자들이 강한 공유결합을 통해 3개의 이웃한 원자들에 결합하는 2차원 구조의 원자막**으로 이에 따른 다양한 물질 특성을 지님

< 그래핀의 기존 소재 대비 주요 우수 특성 >

성질	특성	그래핀	비교
전기적 성질	전하이동도	200,000	실리콘의 100배, 구리의 150배
	최대허용 전류밀도	~ 5.0 X 10^8	구리의 100배
	면저항	< 50	구리의 35% 미만, 탄소나노튜브(CNT)의 10% 미만
기계적 성질	강도	1,100	강철의 200배, 다이아몬드의 2배
	유연성/신축성	원면적의 20%	ITO* : 1% 미만
열적 성질	열전도율	5,000	다이아몬드의 2배, 탄소나노튜브(CNT)의 1.5배
광학적 성질	투명도	98%	ITO*와 유사

* ITO(Indium Tin Oxide) : 전기전도성을 가지는 투명한 무기산화물로 투명전극 등에 사용

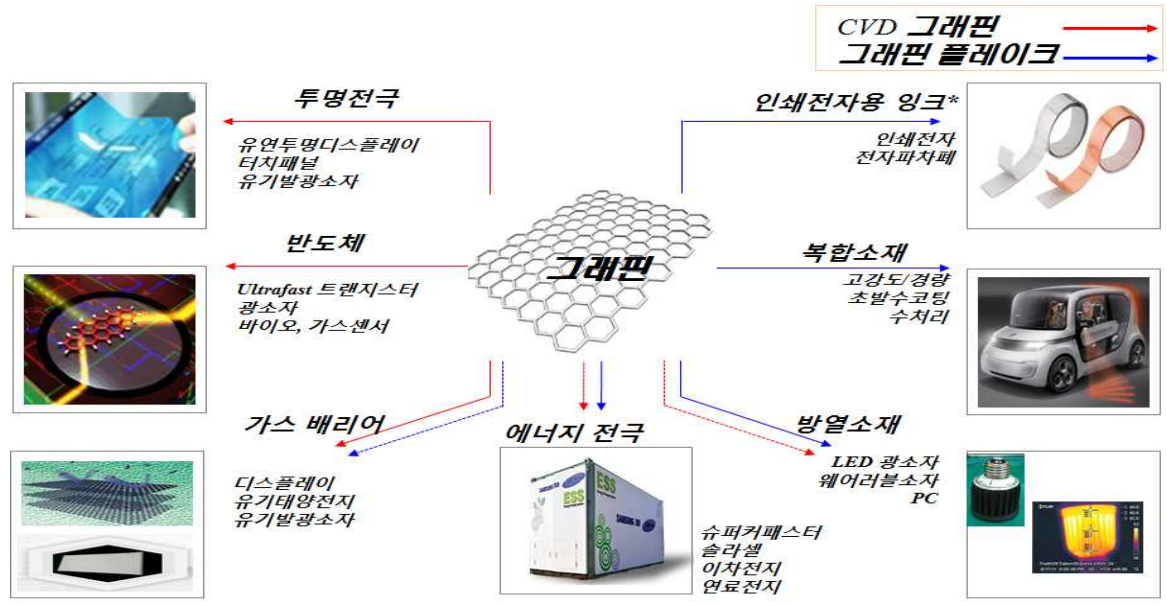
□ 산업적 응용

o 그래핀은 **생산 방식에 따라 그래핀 플레이크(Flake)와 CVD* 그래핀으로 구분**되며 응용분야도 생산 방식에 따라 달라짐

* CVD(Chemical Vapor Deposition) : 화학기상증착법

- **(플레이크)** 흑연 결정으로부터 그래핀을 박리하는 방법으로 생산되며 **저렴한 비용으로 대량생산이 가능**할 수 있어 **복합재료, 방열소재, 전자파 차폐** 등에 응용 가능

- **(CVD)** 고온에서 탄소를 가스화하여 금속표면에 증착시키는 방법으로 생산되며 **대면적·고품질의 그래핀 제작이 가능**하여 **투명전극, 차세대 전자소자, 에너지용 전극 소재** 등에 응용 가능



Ⅱ. 그래핀 사업화 환경분석

1 시장전망 및 사업화 동향

◈ 저품질 그래핀을 응용한 인쇄전자용 잉크, 터치패널용 투명 전극 등은 초기 시장이 형성되었거나 곧 형성될 것으로 전망

◈ 국내 기업들도 응용제품 연구개발을 다수 추진 중이나 산업 미형성 단계의 불확실성으로 인해 사업화 투자에 소극적

가. 시장전망

▢ 그래핀 플레이크

○ 샘플용 원소재 등 초기시장 형성 단계로 **'18년 이후 급속 성장** 전망

※ 인쇄전자용 그래핀 잉크시장 : '14년 0.9억불 → '20년 63억불

* 인쇄전자 : 전도성 잉크 제품 표면에 인쇄하는 방식으로 만들어진 전자소자, 전기회로

- 향후 **고기능성 배리어, 에너지 전극** 등에 응용되어 '20년 47.5억불에서 '25년 171억불로 시장 성장 전망(SNE 리서치 2014)

▢ CVD 그래핀

○ 양산화를 위한 핵심적인 기술이 확보되지 않아 분야별로 **시장 형성에 최소 3년에서 10년의 시간 소요 예상**

< CVD 그래핀 현황 및 시장전망 >

응용분야	현 황				시장규모	예상소요기간
	연구	응용	시연	상용화		
투명전극 (디스플레이, 터치센서)			○		29억불('14) 51억불('20)	3~5년
광검출소자			○		10억불('14)	5년~10년
센서		○			100억불('14)	5년~10년
수처리		○			4,000억불('14)	5년~10년
반도체	○				3,330억불('14)	8년 이상
배리어		○			67억불('12)	3~5년

※ Future Markets inc. 2014 'The global market for graphene to 2020'를 기반으로 추정

○ 품질 향상 및 경제성 확보에 따라 **유연 디스플레이, 고기능성 배리어, 해수담수화 등 수처리막** 등에 응용될 것으로 예상되며 '25년 65.2억불 시장 형성 예상(SNE 리서치 2014)

나. 사업화 동향

▢ 그래핀은 촉망 받는 신소재로 **제조 및 응용에 많은 국내 기업의 투자의향이 있고*** **사업화 연구개발을 추진중**이나 시장초기 단계에서의 불확실성과 위험성으로 **본격적인 사업화 투자는 아직 미흡**

* 2011년 그래핀 워크샵 참여 기업 대상 조사 결과 그래핀 합성 및 응용에 50여개 이상의 기업이 투자의사 표명(한국산업기술평가관리원, '11.12월)

▢ 그래핀 플레이크

○ 일부 리딩기업*이 **연구 샘플용 또는 저품질의 그래핀 플레이크 원소재와 방열필름과 인쇄전자용 잉크소재를 생산·판매중**

* Angstron Materials, XG Sciences, Vorbeck Materials(이상 미국), Xiamen Knano(중국) 등

- 점착소재, 배리어소재, 경량소재 등 **다양한 제품의 상용화 개발** 진행중

※ 점착소재 : 떼었다 붙였다 할 수 있는 소재, 배리어소재 : 수분이나 공기를 투과하지 못하도록 하여 전자기기의 성능·수명 등을 향상시킬 수 있는 소재, 경량소재 : 작은 중량·부피에 고강도를 지닌 소재

○ 국내의 경우 소재 전문기업인 일진머티리얼즈, 한화, 동진세미켐, 대주전자재료 등이 그래핀 플레이크 생산에 관심

- 응용소재의 경우, 다수 기업이 **원소재를 생산하는 해외 리딩기업의 지분 매입 또는 원소재 수입을 통해 사업화 연구 중**

▢ CVD 그래핀

○ 국내외 **대기업**이 그래핀의 우수한 특성을 적용하여 **신시장 창출이 가능한 차세대 반도체 등 개발**을 위한 연구 추진 중

※ IBM(미국)은 저전력 트랜지스터, 록히드마틴(미국)은 해수담수화막, 삼성(한국)은 반도체, 필립스(네덜란드)는 OLED 조명 등 연구

○ 중소·중견기업인 일진머티리얼스, 이엔에이치 등에서도 CVD 그래핀 합성을 위한 **동박제조** 및 응용제품인 **터치패널 개발**에 투자

2 국내외 기술역량

◈ 그래핀에서 기대되는 물성 및 가격경쟁력을 가진 그래핀 원소재 제조기술은 전세계적으로 아직 개발되지 못함

- 플레이크 원소재·중간재 제조기술 및 CVD 합성·전사 기술 확보 필요

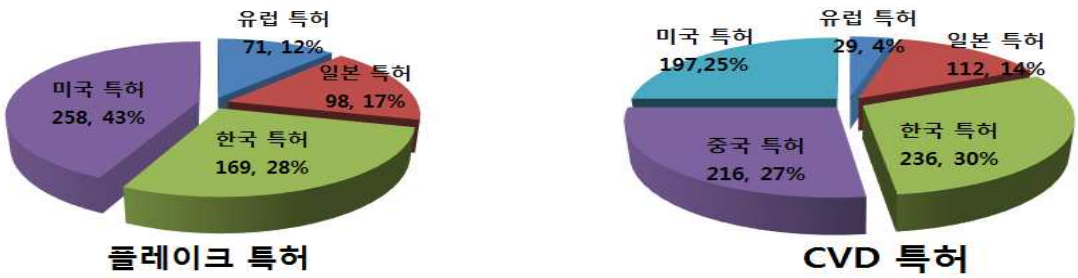
◈ 원소재의 신뢰성 확보를 위한 품질관리가 필요하나 관련 연구는 기초 수준

가. 국내외 특허분석

▢ 특허출원 동향

○ 플레이크 특허는 미국에 출원된 특허가 전체 특허의 43%를 점유*, **미국이 그래핀 플레이크 생산기술을 주도**(한국출원 특허 28%)

○ CVD 특허는 '09년부터 출원이 급증하였으며, **한국출원 특허 점유율이 30%로 기술을 선도**하고 미국(25%) 및 중국(27%)이 그 뒤를 따름



< 그래핀 기술분야 국가별 출원동향 >

▢ 플레이크 특허 내용분석

○ 그래핀 플레이크 기술을 주도하는 리딩기업*의 미국특허를 중심으로 분석하면 **플레이크 원소재 제조 및 품질 향상 관련 특허가 다수**

* Angstron Materials, XG Sciences, Vorbeck Materials 등 미국기업

- 수십~수백 층을 갖는 흑연 분리 관련 특허가 대다수이며 **단일 또는 수층의 고품질 그래핀 양산기술에 대한 특허는 미출원 상태**

※ 고기능성 배리어, 에너지전극 등 응용을 위해서는 단일 또는 수층의 고품질 그래핀이 요구되며, 본격적인 시장형성을 위해서는 경제적인 가격에 대량생산이 가능하여야 함

▢ CVD 특허 내용분석

○ **원소재인 그래핀 합성** 관련 특허와 응용제품인 **그래핀 투명전극 제조 공정** 관련 특허가 다수를 차지

○ 사업화의 핵심인 양산성, 품질, 가격경쟁력 등을 갖는 **합성 장비 및 일부 후공정 기술 관련 특허가 없어 개발이 필요한 기술***로 판단됨

* 합성 : 촉매 전처리 기술, 고속·대면적 고품질 CVD 그래핀 합성 및 합성 열원 핵심 기술
후공정 : 촉매 재활용·직접전사, 전사시 그래핀 품질저하 문제 해결 등

나. 국내 기술개발 동향 및 과제

▢ 그래핀 플레이크

○ **(원소재)** 포스코는 비산화 그래핀 양산 기술을, 아이디티 인터내셔널(IDT)은 산화그래핀 양산 기술을 개발중이나 **수~수십층의 고품질 그래핀 대량제조 기술 확보를 위해서는 추가 연구 필요**

- 플레이크의 광범위한 응용을 위해서는 고품질의 중간재(잉크·페이스트, 복합체) 제조가 가능하여야 하나 **분산, 배향* 기술 미확보**

* 분산 : 서로 다른 물질을 균일하게 혼합; 배향 : 원하는 방향으로 정렬, 구조화

○ **(품질관리)** 나노미터 수준의 크기를 갖는 그래핀은 **약간의 크기 및 두께 변화에 의해서도 물질특성이 크게 변화**하므로 상용화를 위해서는 **응용소재별 규격 설정과 신뢰성 평가기술 개발이 필수**

※ 대량 생산 후 샘플 조사 방식으로 품질을 관리하는 플레이크의 경우 응용소재별 규격 설정 및 이에 대한 신뢰성 평가의 방식으로 품질관리 필요

- **세계적으로 그래핀 규격화 연구는 시작단계**로 원소재 판매회사가 신뢰성이 낮은 기초물성(순도, 크기, 두께 등) 정보만 제공하는 수준

○ **(응용분야)** '09년부터 에너지 저장, 방열, 전자파 차폐 등 **다양한 플레이크 응용제품 연구에 대해 세계 최고 수준의 결과를 보고**

- **균일한 품질의 그래핀 수급이 어려운 점이 응용제품 사업화 개발에 장애로 작용**하고 있어, 저가격의 고품질 그래핀 공급체계 확보 필요

* 수입 그래핀 플레이크의 경우 성격(산화·비산화) 등에 따라 $50-$45,000로 가격 편차가 크며 품질규격이 확보되지 않은 상황

▢ CVD 그래핀

○ **(원소재)** '09년 Wafer 크기(직경 1인치)의 CVD 그래핀 합성 성공 후, 삼성테크윈 등 **국내 연구진은 CVD 그래핀 대면적화 기술을 주도**

- CVD 그래핀 합성 기술의 지속적인 발전에도 불구하고 ITO* 등 **경쟁소재 대비 특성 및 양산성의 열세로 추가 개선 필요**

< CVD 그래핀과 경쟁재 비교 >

기관		CVD 그래핀	ITO	비고
특성	면저항(Ω)	250	150	열세
	균일도(%)	15	< 5	열세
	투과도(%)	90	90	동등
	신축성(%)	10	< 2	우세
양산성	Size(mm)	350 x 250	500 x ∞ (roll)	열세
	생산속도(m2/h)	0.6	30	열세

* ITO(Indium Tin Oxide) : 전기전도성을 가지는 투명한 무기산화물로 투명전극 등에 사용

○ **(품질관리)** 상용화를 위해서는 합성-동박제거-전사-회로형성 **각 공정 후 그래핀 실시간 측정을 통한 품질관리가 요구**되나 **실시간 비파괴 검사법의 부재**로 공정 및 품질 개선에 애로

※ 대면적의 그래핀이 제품의 일부로 들어가게 되는 CVD 그래핀의 경우 생산과정에서 전수조사의 방식으로 품질을 관리하므로 비파괴 검사법이 필요

○ **(응용분야)** '09년부터 다양한 응용제품 개발 연구가 진행중이나 **대부분 시제품 제작에 불과하여 상용화와는 격차 존재**

- **그래핀 제조기술이 아직 기대수준에 도달하지 못하는 상황 및 소재 변경에 소극적인 전자부품 기업의 특성*** 등으로 상용화 미흡

* 반도체, 디스플레이 등 전자부품 제조의 경우 소재 변경시 대규모 설비투자가 필요하고, 소재 신뢰도가 낮을 경우 대규모 불량 발생 우려가 있어 기업이 소재 변경에 소극적

3 정부 R&D 지원 현황

◈ 그래핀 관련 정부 R&D 투자규모가 급격히 증가중이나, 응용분야 기술에 집중되어 있어 원소재 제조개발에 대한 투자는 상대적으로 미흡

▢ 2차원 나노소재 R&D 정부지원 개괄

○ **그래핀을 포함한 2차원 나노소재*** 관련 정부 R&D 투자규모는 '09년에 급격히 상승하여 '13년까지 꾸준히 증가되는 추세

* 붕화질소, 실리렌, 금속 다이칼코제니드, 금속산화물, 수산화물 등 이차원 물질 물성 및 응용소자 연구

※ '08~'10년 440억원 → '11~'13년 1,637억원 투자(미국은 '14년까지 200억달러 투자)

▢ 그래핀 플레이크

○ '11년 이후 그래핀 플레이크 관련 기술에 264억원이 지원되었으며, **대량합성 및 가격경쟁력 확보 관련 기술보다는 응용기술 위주로 지원**

- 주요 분야는 복합 기능 구현을 위한 복합응용(18%), 방열복합소재(17%), 센서시스템(16%), 투명전극(15%), 에너지용 전극소재 순으로 **원소재 합성 기술에 대해서는 지원이 이루어지지 않음**

▢ CVD 그래핀

○ CVD 그래핀 관련 정부 투자 방향은 장기적인 관점에서 새로운 산업 창출을 위한 차세대 전자소자 원천기술 개발이며, 이에 따라 **절반이 넘는 R&D 자금이 차세대 전자 소자 분야에 집중**

- 주요 분야별로 보면 총 92개의 과제 가운데 차세대 전자소자 (54%), 투명전극(9%), 에너지용 전극소재(9%), 복합응용(9%), 센서 시스템(7%) 순으로 **응용분야가 93%를 차지**

4 당면과제

▢ **그래핀 제조기술 확보를 통한 원소재 공급체계 구축 필요**

○ 기업의 응용제품 생산에 활용가능한 **가격경쟁력이 있으며 신뢰성이 높은 원소재의 원활한 공급원 확보 요구**

- 그래핀 시장 주도를 위해서는 **원소재-응용소재·부품-응용제품의 가치사슬을 아우르는 산업생태계 구축 필요**

○ 국내 **그래핀 원소재 공급체계 구축**을 위한 **고품질 그래핀 제조기술**과 함께 그래핀 규격화 및 실시간 측정 등 **품질관리 기술 확보 필요**

- 우리 연구진의 CVD 그래핀 대면적화 기술 주도 및 해외 연구진의 고품질 그래핀 플레이크 제조기술 특허 미출원 등은 **우리나라가 그래핀 원소재 생산을 선도할 가능성이 높음**을 의미

▢ **그래핀 응용제품의 전략적 사업화를 통한 세계 시장선점 필요**

○ 상대적으로 **저품질 그래핀을 응용한 인쇄전자용 잉크, 터치패널용 투명전극 등은 초기시장이 형성**되었거나 곧 형성될 것으로 전망

- 또한, 응용제품 사업화 연구개발이 다수 진행되는 등 **다양한 그래핀 응용제품 시장이 가까운 미래에 형성되어 크게 성장**할 것으로 전망

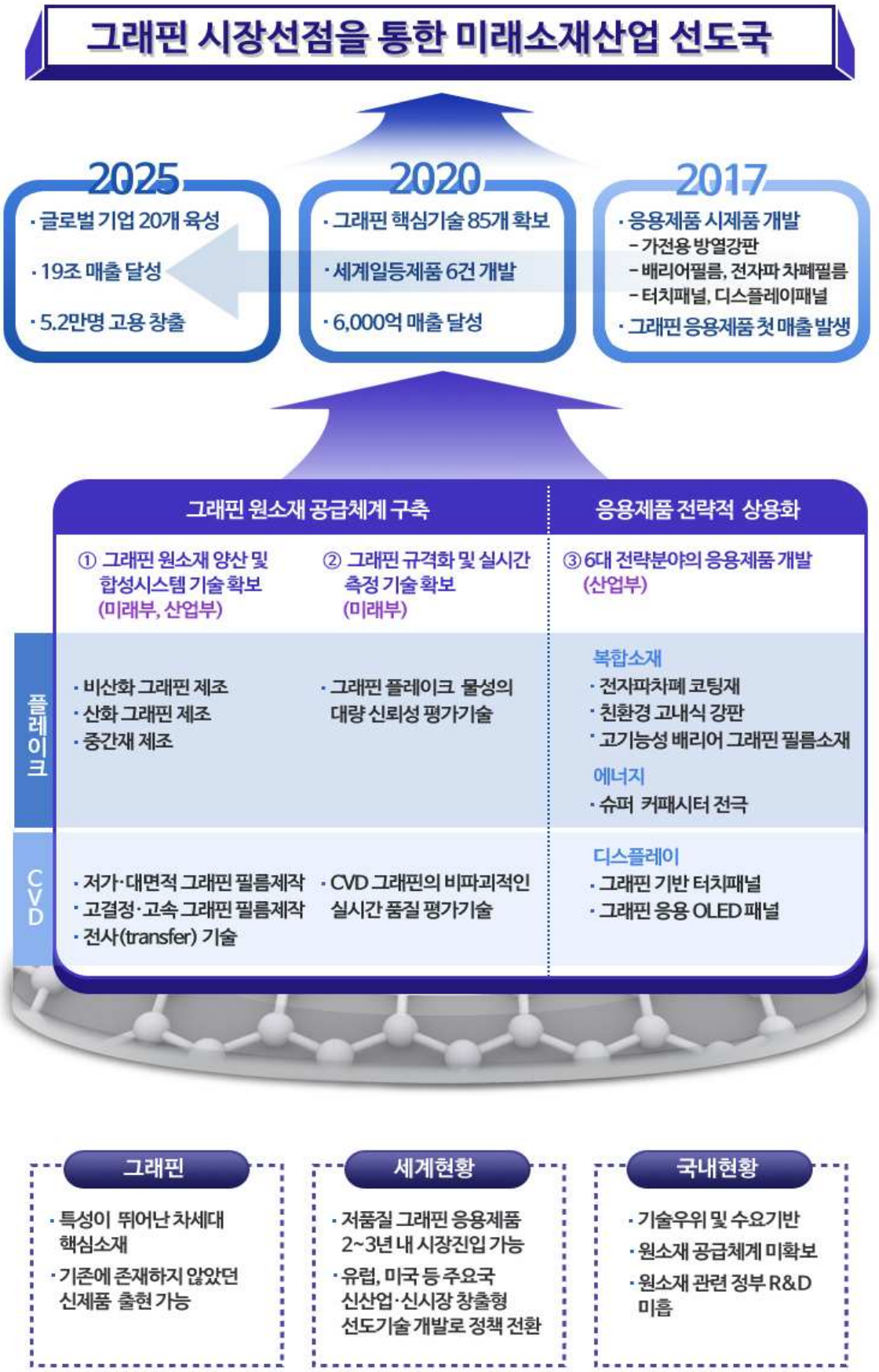
○ 이에 대응하여 그래핀 R&D 성과를 토대로 **조기 상용화가 가능한 응용제품을 전략적으로 선택하여 적극적인 사업화 추진 필요**

▢ **그래핀 산업경쟁력 향상을 위한 효율적인 R&D 투자체계 필요**

○ 사업화의 불확실성과 위험성이 큰 초기 상용화 단계에서 **투자의향 보유 기업들의 자발적 투자 유인이 가능한 R&D 투자 전략** 필요

○ **국내 기술 미확보 분야 및 민간투자가 어려운 부분에 대한 R&D를 지원**하고 이를 **기업이 효과적으로 활용하여 상용화를 할 수 있는 연구체계를 구축**하여 그래핀 사업화 촉진 요구

Ⅲ. 비전, 목표, 추진전략


그래핀 시장선점을 통한 미래소재산업 선도국
2025
· 글로벌 기업 20개 육성
· 19조 매출 달성
· 5.2만명 고용 창출
2020
· 그래핀 핵심기술 85개 확보
· 세계일등제품 6건 개발
· 6,000억 매출 달성
2017
· 응용제품 시제품 개발
- 가전용 방열강판
- 배리어필름, 전자파 차폐필름
- 터치패널, 디스플레이패널
· 그래핀 응용제품 첫 매출 발생
그래핀 원소재 공급체계 구축
응용제품 전략적 상용화
① 그래핀 원소재 양산 및 합성시스템 기술 확보 (미래부, 산업부)
② 그래핀 규격화 및 실시간 측정 기술 확보 (미래부)
③ 6대 전략분야의 응용제품 개발 (산업부)
플레이크
· 비산화 그래핀 제조
· 산화 그래핀 제조
· 중간재 제조
· 그래핀 플레이크 물성의 대량 신뢰성 평가기술
복합소재
· 전자파차폐 코팅재
· 친환경 고내식 강판
· 고기능성 배리어 그래핀 필름소재
에너지
· 슈퍼 커패시터 전극
CVD
· 저가·대면적 그래핀 필름제작
· 고결정·고속 그래핀 필름제작
· 전사(transfer) 기술
· CVD 그래핀의 비파괴적인 실시간 품질 평가기술
디스플레이
· 그래핀 기반 터치패널
· 그래핀 응용 OLED 패널
그래핀
· 특성이 뛰어난 차세대 핵심소재
· 기존에 존재하지 않았던 신제품 출현 가능
세계현황
· 저품질 그래핀 응용제품 2~3년 내 시장진입 가능
· 유럽, 미국 등 주요국 신산업·신시장 창출형 선도기술 개발로 정책 전환
국내현황
· 기술우위 및 수요기반
· 원소재 공급체계 미확보
· 원소재 관련 정부 R&D 미흡

Ⅳ. 추진과제

1 원소재 양산 및 합성시스템 기술 확보

①-1 그래핀 플레이크 양산기술 확보

▢ 과제 목표

○ **고품질, 균일성을 갖는 단일 또는 수층의 그래핀 플레이크 원소재를 저가격에 양산**할 수 있는 기술을 확보하여 **공급체계 구축**

< 그래핀 플레이크 양산기술 확보의 세부과제 >

세부과제기술	세부과제 목표	특징 및 필요성	구분
① 비산화 그래핀 제조기술	• 전자파차폐필름 등 조기 상용화 응용제품에 응용가능한 수준의 비산화 그래핀 양산기술 확보	• 기술협력을 통해 국내에 기술 일부가 확보되어 있는 등 단기 양산기술 확보에 유리	단기
② 산화 그래핀 제조기술	• 다양한 제품에 응용가능한 저가격 고품질 산화 그래핀 제조기술 확보	• 국내외 기술 수준이 낮음 • 고품질 그래핀 대량생산 및 기능화에 유리하여 응용분야가 넓을 것으로 기대	중기
③ 중간재 제조기술	• 그래핀 플레이크 응용을 위한 중간재 제조기술 확보	• 분산, 배향 등 중간재 제조기술 미흡이 플레이크 응용제품을 개발하는 다수 기업의 사업화 장애요인으로 작용	공통

▢ 기술 확보방안

◈ **기업주관 과제 수행 또는 기업 주도의 세부목표 설정을 통해 기업 기술이전 및 사업화 성공 극대화**

○ 기 확보기술 수준 및 기술이전 용이성 등을 고려 기업주관 과제와 학연과제를 구분, 기업주관 과제는 학연이 참여하여 지원

○ 학연과제는 **수요기업 또는 잠재적 수요기업 협의체가 세부목표를 설정**하고, **사업화를 위한 필요 기술군 단위로 과제를 수행**하도록 하여, 기술이전 용이성 증진 및 기술이전 후 사업화 기간 단축 도모

①-2 CVD 그래핀 합성시스템 기술 확보

▢ 과제 목표

○ **대면적의 균일하고 결함이 없는 CVD 그래핀**을 **경제성이 있는 비용 및 속도로 합성·전사**할 수 있는 기술을 확보하여 양산

< CVD 그래핀 합성시스템 기술 확보의 세부과제 >

세부과제기술	세부과제 목표	특징 및 필요	구분
④ **저가·대면적 그래핀 필름 제작 기술**	• 조기 상용화 응용제품에 응용 가능한 수준의 저가·대면적 그래핀 필름 제작 기술 확보	• 단기적으로 터치패널 등 응용제품이 기존제품을 대체할 수 있도록 하는 성능과 경제성을 갖는 그래핀 공급 필요	단기
⑤ **고결정·고속 그래핀 필름 제작 기술**	• 에너지 전극 등 고사양 제품에 응용 가능하고 경제성이 있는 고결정성 대면적 그래핀 필름 고속 제작 기술 확보	• 반도체, RF 소자 등에 적용하려면 고결정 CVD 그래핀 고속 제작 기술 필요	중기
⑥ **전사 기술**	• CVD 그래핀의 목적기판 전사 기술 확보	• 디스플레이 등 응용을 위해 전사과정에서의 성능 저하를 최소화하고, 잔류물이 남지 않도록 전사, 필름화 할 수 있는 기술 필요	공통

▢ 기술 확보방안

◈ **다수의 장비개발·구축이 요구되는 과제로 기업 주관의 산학연 컨소시엄을 구성, 역할을 분담하고, 모사(simulation) 기술을 적극 활용**

○ 최종 합성시스템 구축 및 CVD 그래핀 합성·평가는 주관기업이 담당하되 개별 장비 개발은 중소·중견기업이, 공정개발·설계 등은 학연이 참여하여 개발하도록 역할을 분담

○ 최적화된 조건·구조 설계에 **모사(simulation) 기술을 개발·활용**함으로써 기술개발 기간 및 비용을 감축

2 규격화 및 실시간 측정 기술 확보

▢ 과제 목표

○ 그래핀 원소재와 응용제품에 대한 **규격화 및 실시간 품질측정**을 통해 시장형성에 필수적인 **원소재, 응용소재·응용부품, 응용제품간 공급 품질의 신뢰성 확보**

< 그래핀 규격화 및 실시간 측정 기술 확보의 세부과제 >

세부과제기술	세부과제 목표	특징 및 필요	구분
① 그래핀 플레이크 물성의 대량 신뢰성 평가기술	• 플레이크의 용도별 체계적인 규격화 • 대량 양산형 플레이크의 신뢰성 평가기술 확보	• 대량생산된 그래핀 플레이크는 기능화 공정 및 제품 사양에 따라 화학·물리적 물성의 변화 폭이 크므로 규격화 및 신뢰성 평가 기술 확보 필요	공통
② CVD 그래핀의 비파괴적인 실시간 품질 평가기술	• 대면적 양산형 그래핀의 비파괴 실시간 품질 평가 기술을 개발하여 그래핀 생산공정에 적용	• CVD 그래핀은 생산면적을 전수 조사해야 디스플레이와 같은 최종 제품의 신뢰성 확보가 가능하므로 비파괴 평가기술 확보 필요	공통

▢ 기술 확보방안

◈ 그래핀 산업 생태계 조기 구축을 위해 학연의 과제를 기업의 생산 공정과 연결하여 산업계 요구에 부응

○ 장·단기 연구를 병행 추진하여 현재 기술수준이 낮은 약점을 극복하고, 단기적인 수요 및 장기적인 목표 모두 충족

- **(단기) 산업적으로 유용한 그래핀 원소재 물성 요소들을 선별하여 규격화 연구**를 수행, 산업적 생산 규모에서의 신뢰성 판별 기술 확보
- **(장기)** 장기적으로 그래핀 응용제품별 요구사양의 세분화가 예상되므로 **개별 수요 대응형 신뢰성 평가 시스템 및 피드백 플랫폼 구축**

○ 학연은 역할을 분담하여 기업의 생산 공정과 연결된 과제를 수행

- 연구소는 시장성이 있으며 산업체 요구에 부합하는 상품별 규격을 설정하고 신뢰성 평가 시스템 및 품질관리 시스템을 개발
- 학교는 기술 및 적용상품별 그래핀 물성의 신뢰성 평가기술 개발

3 6대 전략분야의 응용제품 개발

▢ 과제 목표

○ 그래핀 3대 응용산업 6대 전략분야의 응용제품을 개발, 사업화

- 국내 주력사업과 연관되어 **수요기반이 풍부**하면서 기술개발 가능성이 높은 분야를 3대 응용산업으로 선정하고, **6년 내 상용화 가능성**이 있고, **핵심기술 확보 가능성이 높은 품목**을 6대 전략분야로 선정

< 그래핀 6대 전략분야 및 상용화 추진 응용제품 >

산업	그래핀 6대 전략 분야	상용화 추진 그래핀 응용제품	예상 상용화 시기	예상 기술수준
복합 소재	전자파차폐 코팅재	50dB급 전자파차폐**필름**	4년 이내	3년 이내 TRL 8단계
	친환경 고내식 강판	폭 800mm 가전용 고방열/고전도성 코팅 **강판**	4년 이내	3년 이내 TRL 8단계
	고기능성 배리어 그래핀 복합필름소재	OLED 소자 수명 10년을 보장하는 폭 300mm **투과방지막** (산소·수분투과율 $10^{-6}g/m^2$·일 이하)	6년 이내	5년 이내 TRL 8단계
디스 플레이	그래핀 기반 터치패널	10인치 터치**패널**	3년 이내	3년 이내 TRL 8단계
	그래핀 응용 OLED 패널	대각 1,600mm 디스플레이 **패널**	5년 이내	3년 이내 TRL 8단계
에너지	슈퍼 커패시터	비표면적 $1,500m^2/g$급 그래핀 슈퍼 커패시터 **전극**	5년 이내	5년 이내 TRL 8단계

▢ 제품 개발 및 사업화 방안

◈ 기업 중심의 산학연 컨소시엄을 구성하여, 제품 사업화를 위한 과제의 요소기술별 역할 분담형 기술개발을 통해 신속한 사업화 추진

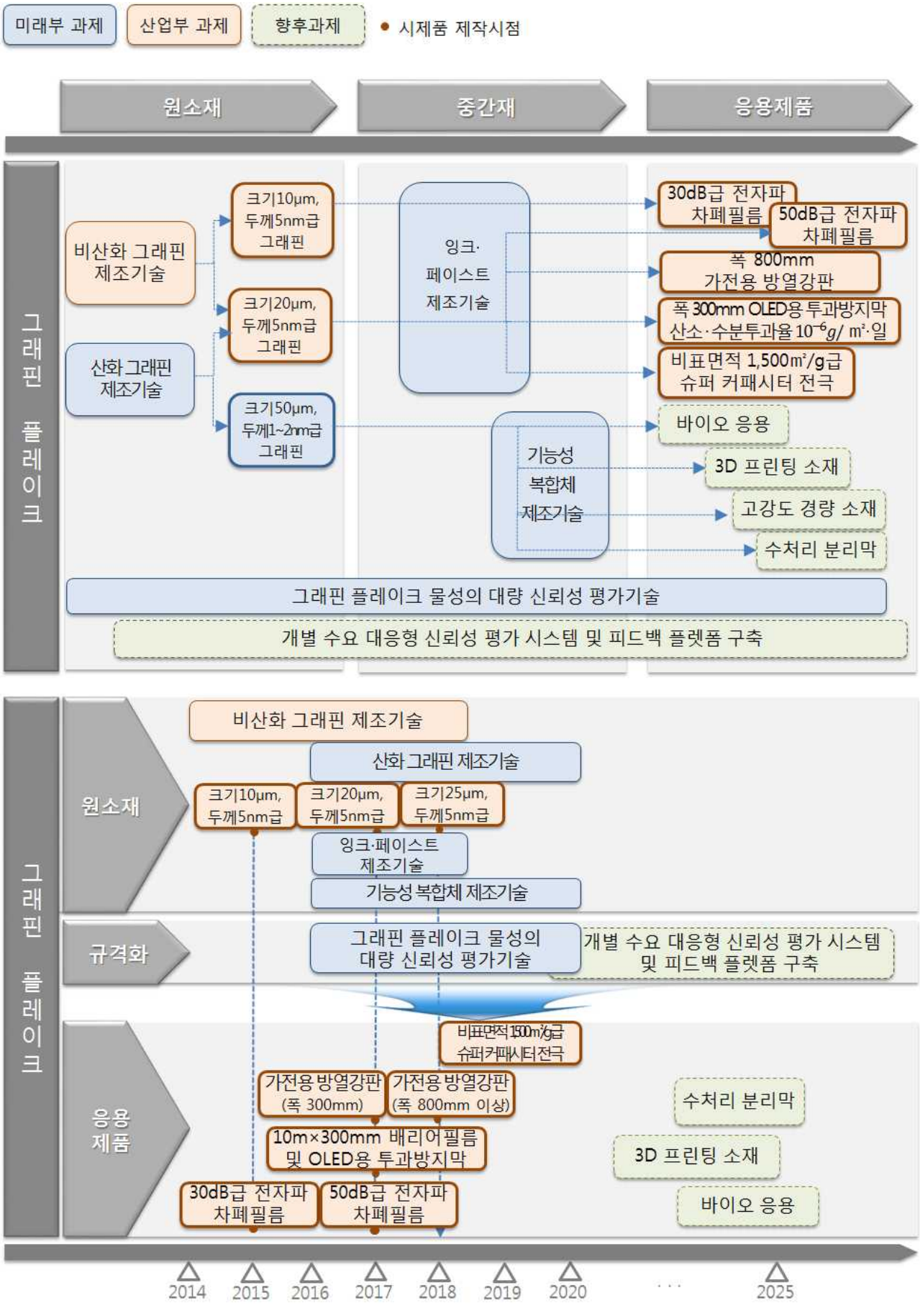
○ **(주관기관)** 기업이 각 세부과제를 총괄관리하고 세부과제의 결과물을 융합·연계하여 책임지고 사업화를 수행

○ **(참여기관)** 관련 기술을 일부 보유하였거나 해당분야 기술 개발 역량이 뛰어난 기업·대학·연구기관 등으로 구성하며, 기업은 장치·공정 개발 등을 수행하고, 학연은 기초기술 개발 등 지원

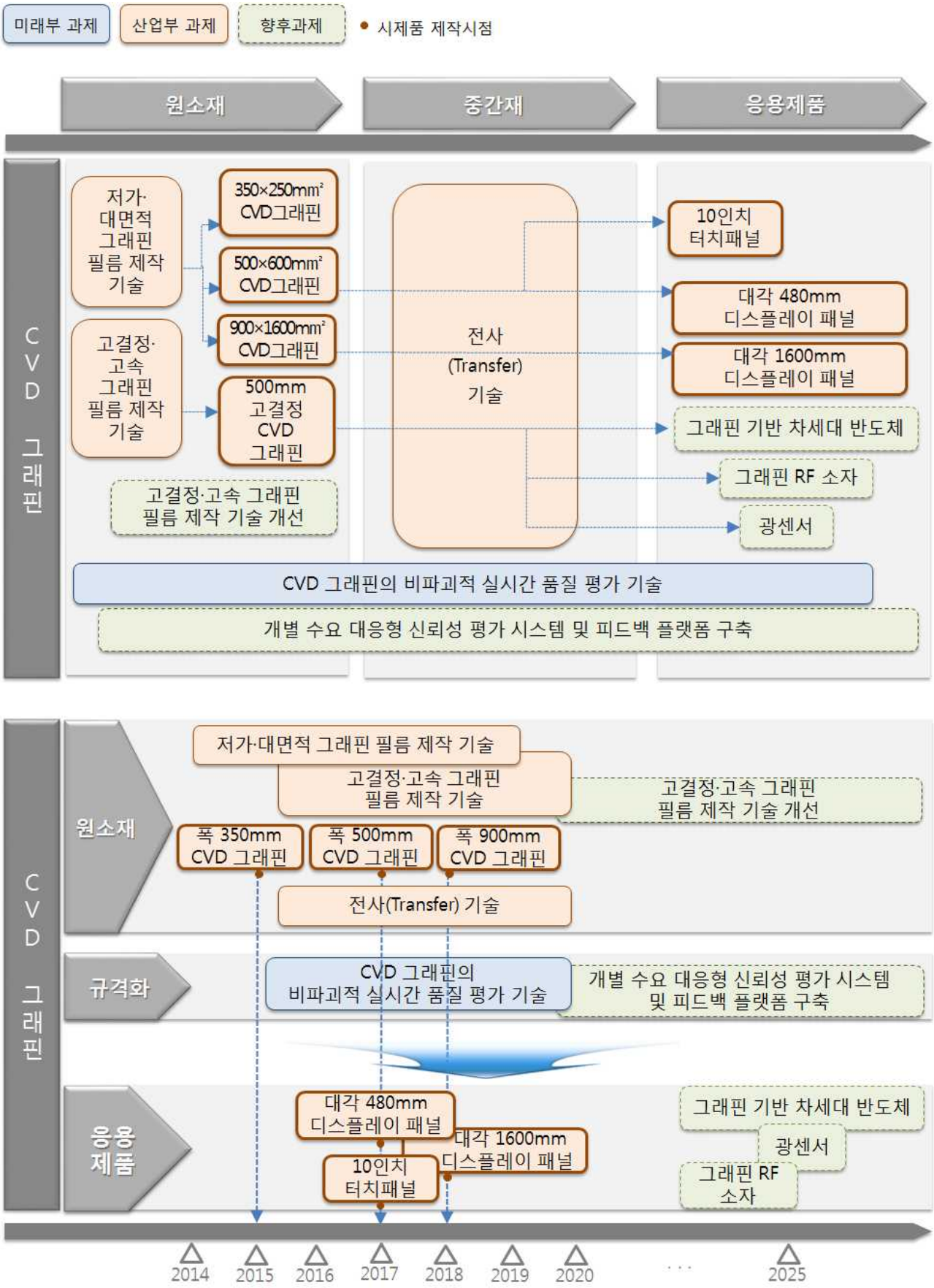
○ **(수요기업)** 최종 수요기업을 과제에 참여 또는 관여하도록 하여 신소재 제품 개발에 가장 큰 위험요소인 판로 확보의 문제를 해소

※ 최종 수요 예 : 터치패널용 필름, OLED용 필름 - 디스플레이·핸드폰 제조사
슈퍼 캐퍼시티 전극 - 이차전지·축전지 제조사 등

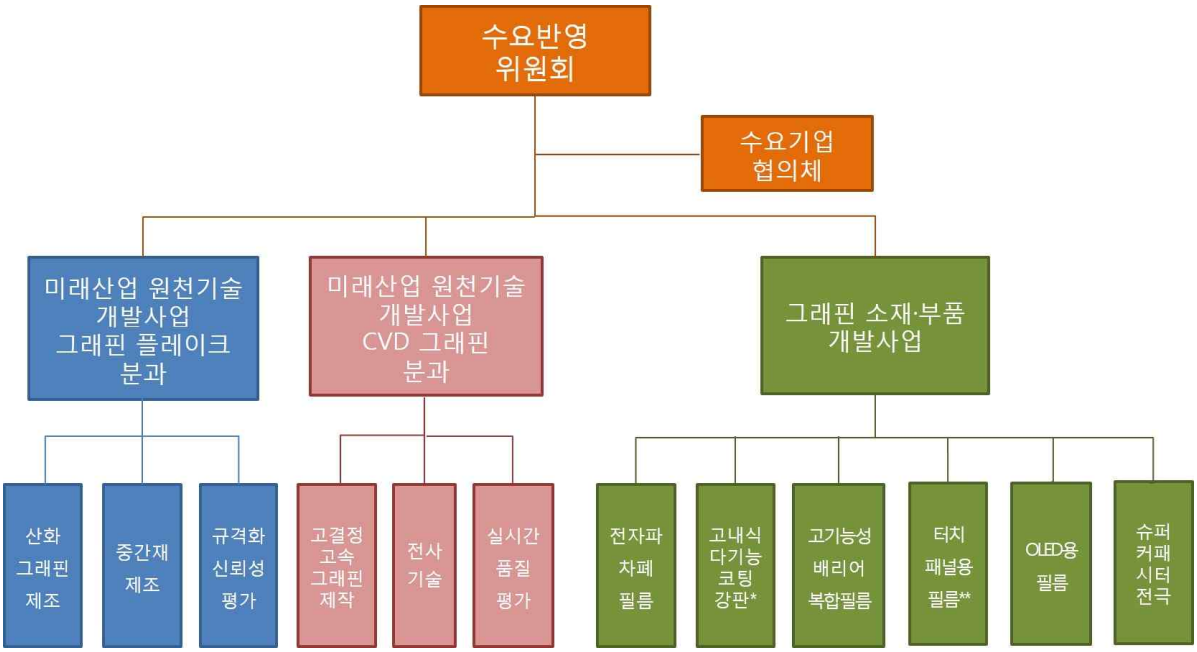
< 그래핀 플레이크 핵심기술 확보 및 응용제품 사업화 로드맵 >



< CVD 그래핀 핵심기술 확보 및 응용제품 사업화 로드맵 >



Ⅴ. 추진체계 (3개 사업, 12세부)



* 비산화 그래핀 제조기술 포함, ** 저가·대면적 그래핀 제작 포함

▢ 기업 중심의 산학연 컨소시엄 구성

○ 각 세부별로 기 확보 기술수준에 따라 **기업이 주관·참여기관 및 수요기업으로 참여**하도록 하여 기술이전 단계에서의 비효율 최소화

▢ 원천기술 확보-응용제품 개발 역할분담 및 연계추진

○ 미래산업 원천기술 개발사업단은 **학연중심의 상용화를 위한 원천기술** 또는 **개발 위험성이 높은 상용화 원천기술 확보 과제**를 담당

- 소재·부품 개발사업단은 **원천기술이 확보된 원소재 제조** 또는 **응용제품에 대해 기업중심의 상용화를 위한 기술 개발**을 담당

○ 원소재 제조, 품질관리, 응용제품 개발이 연계되어 추진될 수 있도록 **수요반영 위원회*를 구성·운영하고, 수요기업 협의체가 과제수행 전반에 관여**하도록 하여 기업수요에 부합하는 기술개발 도모

* 미래부, 산업부, 과제 참여기관, 수요기업으로 구성 : 진행상황 평가 및 계획 조정 기능 (산하에 플레이크 분과와 CVD 분과 회의 운영)

Ⅵ. 기대효과

▢ 그래핀 기술의 상용화를 통한 신시장·신산업 창출

○ 세계최고수준 그래핀 핵심기술 85개 확보 및 세계시장 선도형 일등 제품 6건 개발, 그래핀 글로벌 선도기업 20개 육성

○ '17년 전자파차폐 코팅제 분야에서 첫 매출이 발생하기 시작하여 '25년 국내 그래핀 산업 매출 19조원 달성, 신규 고용 약 5.2만명 창출

< 6대 그래핀 전략분야 국내 시장 전망 >

(단위 : 억원)

구 분	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025
터치패널 모듈	1,307	3,283	8,246	15,535	26,014	36,754	51,288
OLED패널	1,202	3,648	9,732	19,597	34,947	52,753	78,576
High-barrier 복합필름	753	1,671	3,707	6,168	9,123	11,386	14,034
전자파차폐 코팅재	505	1,111	2,457	4,110	6,174	7,925	10,205
고내식강판코팅 복합소재	1,094	3,562	6,446	9,798	12,157	14,848	17,912
슈퍼커패시터	916	1,564	2,666	4,546	7,752	13,219	22,540
합 계	5,777	14,839	33,254	59,754	96,167	136,885	194,555

▢ 국가 그래핀 기술·산업 기반 마련

○ 글로벌 그래핀 신시장을 선점하고 그래핀 소재에서 완제품까지 가치사슬을 아우르는 **그래핀 산업 생태계 조성**

○ 원소재·부품·완제품·장비 등의 **원천기술 확보**, 소재 단계 공정 및 장비 기술 확보로 **소재 및 장비 국산화, 규격화 주도 및 글로벌 시장 선도**

▢ 핵심 부품소재 수입국에서 수출국으로의 입지 마련

○ 일본, 독일 등 해외에 의존했던 **핵심 부품소재에 대한 자립화 및 글로벌경쟁력 향상**을 넘어 수입국에서 수출국으로의 전환 기반 구축

참고1 추진과제별 요소기술 개발 로드맵

1 원소재 양산 및 합성시스템 기술 확보

미래부 산업부

구분	핵심기술	요소기술	년도	'15	'16	'17	'18	'19	'20	기간	과제 구분
그래핀 플레이크	비산화 그래핀 제조 기술	고효율 층간삽입 및 박리기술	층간삽입물 합성 기술	■	■	■				'15~'18년	산업부
			고효율 흑연 층간삽입 공정 및 박리 시스템 기술		■	■	■				
			흑연 층간삽입 공정 기술	■	■						
			흑연층간물질 박리공정 기술	■	■						
		품질향상	고비표면적화 기술	■	■	■					
			비산화 그래핀 층수 저감 기술	■	■	■					
			비산화 그래핀 재응집 방지 기술	■	■	■					
		양산화 기술	그래핀 사이즈에 따른 분급기술		■	■	■				
			고품질 비산화 그래핀 대량제조기술		■	■	■				
	산화 그래핀 제조 기술	고효율 산화 박리 기술	그래핀 크기 균일성 향상을 위한 흑연 전처리 기술		■	■				'16~'20년	미래부
			친환경 고효율 산화제 합성 기술		■	■	■				
			고효율 연속 산화반응 시스템 및 수율 향상 기술		■	■	■	■	■		
			공정부산물 제거를 통한 순도향상기술			■	■	■	■		
			그래핀 분급 및 건조 기술			■	■	■	■		
		산화반응 제어기술	그래핀 층수 균일화를 위한 산화반응 제어기술		■	■	■	■	■		
			폐수저감을 위한 산화제 및 산 제어기술			■	■	■	■		
		환원 기술	환원 그래핀 특성 향상 기술		■	■	■	■	■		
			환원 그래핀 결함 치유 기술				■	■	■		
	중간재 제조 기술	고전도성 그래핀 잉크 및 페이스트 제조기술	무분산제형 그래핀 페이스트 형성기술		■	■	■			'16~'18년 '16~'20년	미래부
			그래핀 페이스트 분산안정화 및 고농도화 기술		■	■	■				
			대면적/저결함 박리그래핀 페이스트화 기술		■	■	■				
			고전도성 그래핀 페이스트 형성 기술		■	■	■				
			저비중고전도성 소재 제조기술		■	■	■				
			그래핀 액상 분산 정량적 평가기술		■	■	■				
		기능성 그래핀 복합체 제조기술	복합체를 위한 그래핀 기능화 기술		■	■	■	■			미래부
			그래핀 복합체 고농도화 기술		■	■	■	■			
			복합체 내 그래핀 분산, 배향 및 네트워크 형성 기술			■	■	■	■		
			그래핀 하이브리드 복합체 형성 기술			■	■	■	■		
			복합체 내 그래핀 네트워크 구조 측정 기술		■	■	■	■	■		
CVD 그래핀	저가 대면적 그래핀 필름 제작 기술	저가화 기술	그래핀용 전해동박 제조 기술	■	■	■	■			'15~18년	산업부
			전해동박 표면제어 공정 기술	■	■	■	■				
		대면적화 기술	고온 CVD 챔버 설계 기술	■	■	■	■				
			대면적 그래핀 합성 최적화 기술	■	■	■	■				
	고결정 고속 그래핀 필름 제작 기술	고결정그래핀 합성 기술	고결정성 그래핀용 촉매금속 제조 기술		■	■	■	■		'16~'20년	산업부
			그래핀 합성 모사 기술		■	■	■	■			
			고결정 그래핀 합성 기술		■	■	■	■			
		그래핀고속 제조기술	고결정 그래핀 합성용 열원 설계 기술		■	■	■	■			
			고결정 그래핀 고속 합성 시스템화 기술		■	■	■	■			
	전사기술	무잔유물 전사기술	무잔유물 지지층 형성 및 분리 기술		■	■	■	■		'16~'20년	산업부
			직전사용 그래핀 필름 기판 접합기술			■	■	■	■		
			그래핀 기판 접착력 향상 기술		■	■	■	■	■		

2 규격화 및 실시간 측정 기술 확보

미래부

구분	핵심기술	요소기술 \ 년도	'15	'16	'17	'18	'19	'20	예산	과제 구분
규격화 및 실시간 측정 기술	그래핀 플레이크 물성의 대량 신뢰성 평가기술	대량 그래핀 플레이크의 순도 신뢰성 평가기술							'16~'20년	미래부
		그래핀 플레이크의 화학적 물성 신뢰성 평가기술								
		그래핀 플레이크의 물리적 및 기하적 특성 신뢰성 평가기술								
	CVD 그래핀의 비파괴적 실시간 품질 평가 기술	CVD 그래핀 도메인의 고속 측정 및 실시간 품질 평가기술							'15~'20년	미래부
		CVD 그래핀의 층수 및 공극률 고속 측정기술								
		CVD 그래핀의 화학적 결함 및 품질 평가기술								
		대면적 CVD 그래핀의 전기전도도 신뢰성 평가기술								

3 6대 전략분야의 응용제품 개발

산업부

구분	품목	요소기술 \ 년도	'15	'16	'17	'18	'19	'20	예산	과제 구분
복합소재 산업	전자파 차폐 필름	플라즈마 기반 그래핀 분말 고순도화/고품질화 기술							'15~'18년	산업부
		고전도성을 위한 그래핀-금속 하이브리드 기술								
		그래핀-자성체 하이브리드 기술								
		그래핀 전도성 페이스트 제조 기술								
		그래핀 페이스트 연속인쇄 및 코팅 기술								
		차폐필름 다층복합화 코팅 기술								
	고내식 다기능 코팅강판	그래핀용 신분산제 개발 기술							'15~'18년	산업부
		그래핀 코팅 용액 제조 기술								
		그래핀 기능화를 위한 초임계 유체 공정 기술								
		고전도 유/무기 도핑 기술								
		그래핀 배향성 제어 기술								
		코팅제 및 코팅기술 최적화 기술								
디스플레이 산업	고기능성 배리어 복합필름	고압 건식 연속 박리 공정을 이용한 그래핀 형상 제어기술							'15~'18년	산업부
		기체/수증기 차단용 그래핀/그래핀옥사이드 분산기술								
		기체/수증기 차단용 Si계 유무기 하이브리드 코팅 기술								
		기체/수증기 차단용 무기물 스퍼터링 기술								
		기체/수증기 차단용 CVD 그래핀 접합 기술								
		코팅제 및 인쇄공정 최적화 기술								
	터치패널용 그래핀 필름	저결함 촉매금속 식각 기술							'15~'18년	산업부
		평면 기판 상 전사 기술								
		굴곡 유리 기판 상 전사 기술								
		터치패널용 전도도 향상 기술								
		그래핀/와이어 복합화 기술								
		고전도성 전사 그래핀 도핑 기술								
		고전도성 전사 그래핀 도핑 기술								
		터치패널 모듈용 그래핀 패터닝 기술								
		그래핀 터치모듈 제조 기술								
	OLED용 그래핀 필름	다층 그래핀 제조 장비/필름 기술							'15~'18년	산업부
		전도도 향상용 도핑 기술								
		전도도 향상용 결함 치유 기술								
		고효율 그래핀 투명전극 OLED 소자 기술								
		그래핀 필름 OLED 투명전극 시스템화 기술								
에너지 산업	슈퍼 커패시터 전극	복합전구체/전구체 형상 제어 및 특성 평가 기술							'18~'20년	산업부
		도전재, 바인더, 집전체-free 그래핀 전극 기술								
		그래핀 전극-단자 접합기술								
		전극 조성 최적화 제조기술								
		양극/전해액/음극 최적화 기술								
		양/음극 용량, 전압 밸런싱 기술								

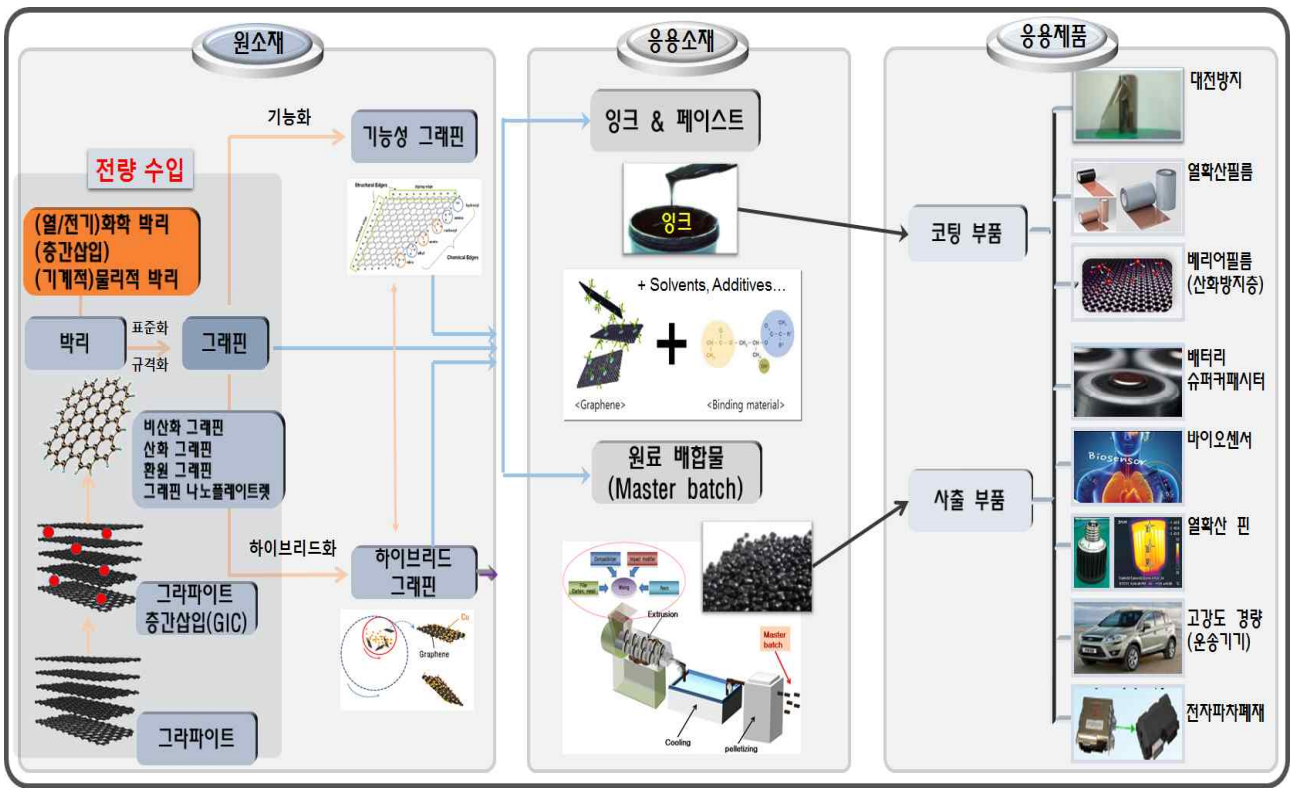
참고2 그래핀 공급사슬 단계에 따른 시장진입 형태와 기회

가. 공급사슬 단계에 따른 시장진입 형태

▢ 그래핀 플레이크

○ 그래핀 플레이크는 공급사슬에 따라 원소재, 응용소재, 응용제품의 각 단계에서 시장진입이 가능

- **(원소재)** 흑연을 박리하여 제조한 그래핀 플레이크와 중간재·최종 소비재로 응용할 수 있도록 기능화한 그래핀 플레이크 소재 등
- **(응용소재)** 원소재인 그래핀 플레이크를 최종 응용제품으로 적용하기 위한 중간단계 소재로 용액공정이 가능한 잉크, 페이스트 등
- **(응용제품)** 응용소재 형태의 그래핀을 응용·가공하여 최종적으로 생산한 제품으로 전자파 차폐막, 고내식 강판, 고용량 배터리 등



< 그래핀 플레이크 공급사슬 및 응용제품>

▢ CVD 그래핀

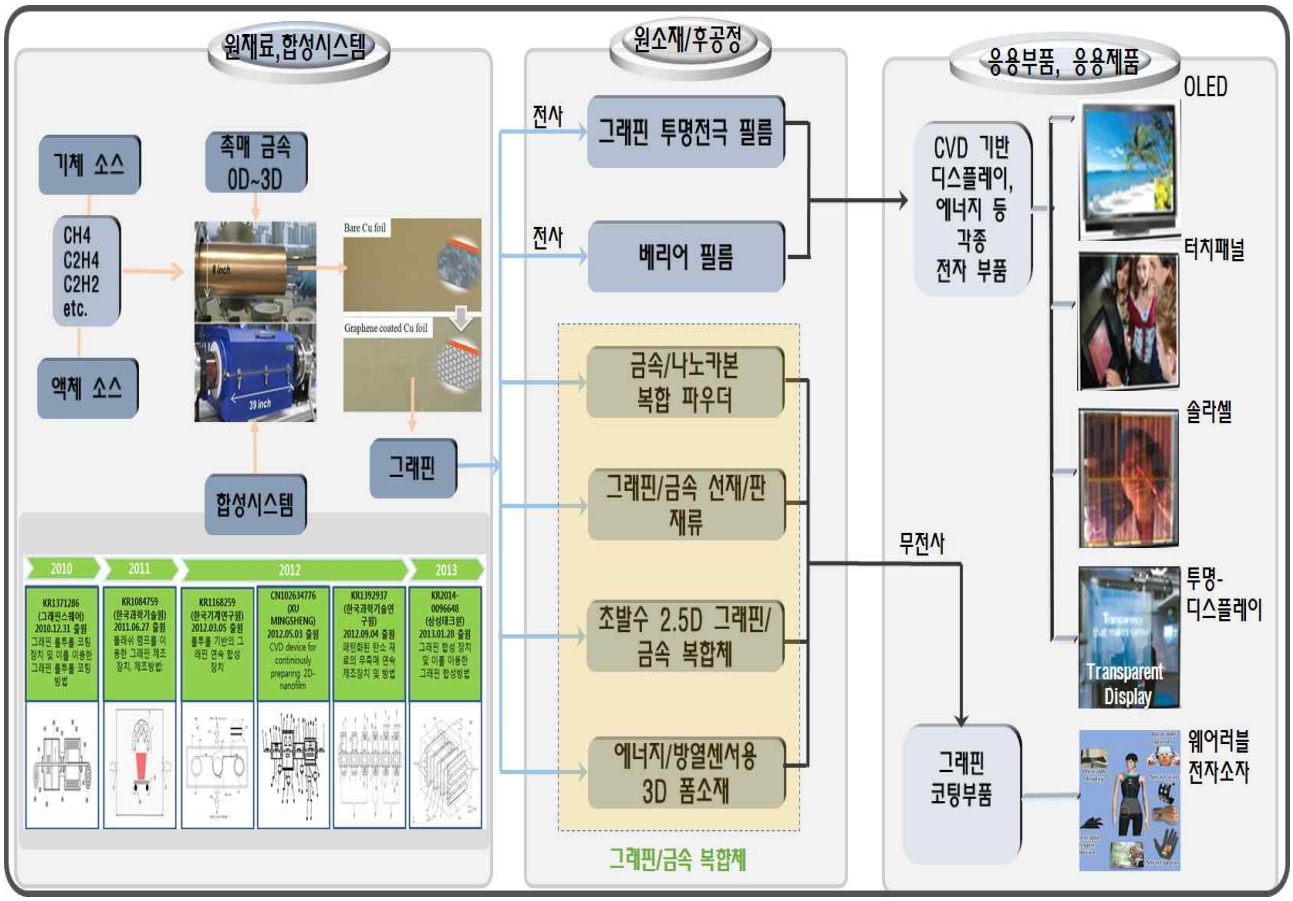
○ CVD 그래핀과 관련하여 그래핀용 원재료 및 합성시스템, 응용부품, 응용제품 시장 형성 가능

- **(원재료 및 합성시스템)** 그래핀 제작에 맞춤화된 합성용 동박, 고순도 탄화수소 및 그래핀 합성용 맞춤형 장비 등

- **(응용부품)** 그래핀을 목적기판에 전사한 중간 단계의 소재·부품으로 그래핀 투명전극, 방지막 필름 등

※ 원소재인 동박위에 증착된 CVD 그래핀은 목적기판에 전사하는 후공정이 필요하여 원소재의 형태로는 판매되기 어려우며, 동박을 제거하고 목적기판에 전사한 응용부품의 형태로 판매

- **(응용제품)** 소비자가 사용하는 제품으로 응용부품인 그래핀 필름을 적용한 터치패널, 디스플레이, 태양전지, 반도체 소자 등



< CVD 그래핀 공급사슬 및 응용제품>

나. 그래핀 응용제품 시장기회

▢ 그래핀 플레이크

○ 그래핀 플레이크는 **복합재료, 에너지, 친환경** 등 다양한 산업분야에 높은 활용도를 보일 것으로 예상

○ **(복합재료)** 그래핀을 전도성 잉크·페이스트 형태로 가공하여 **대전방지·전자파차폐 필름, 수분 투과방지막 등에 적용** 가능

- 기존 제품에 비해 **향상된 품질**과 한 번의 공정으로 **다양한 기능 구현이 가능**하여 경제성이 확보된다면 기존 제품 대체 예상

○ **(고내식·기능성 강판)** 산화방지 보호막 형성을 통한 부식방지의 효과뿐 아니라 내스크래치성, 방열성, 윤활성, 대전방지 등 **다양한 기능을 가진 고내식 강판 기술 개발 기대**

- 부식방지를 위한 그래핀은 순도가 높고 얇아야 한다는 특성상 **기능 구현이 가능한 그래핀 개발에 상당한 시간이 소요**될 것으로 전망

○ **(에너지)** 전지(Battery)의 음극에 사용하는 흑연 대신 그래핀을 사용하면 **충전속도가 빠른 소형의 고용량 이차전지*** 제조 가능

* 이차전지 : 충전이 가능하여 재사용이 가능한 전지

- 이차전지 시장은 국내업체가 세계시장을 주도 중으로 그래핀 응용제품 상용화시 글로벌 시장 선점 가능성이 높을 것으로 전망

○ **(친환경)** 그래핀의 경량, 고강도 특성을 활용하여 **자동차, 비행기 등 운송수단의 경량화** 가능

- 지구 대기오염 악화 방지를 위해 선진국에서 강력하게 추진중인 **운송수단의 경량화 및 탄소규제 추세에 대응하는 수단으로 향후 개발이 필수적인 분야**

▢ CVD 그래핀

○ CVD 그래핀은 **투명전극 소재인 ITO 필름을 대체**하여 터치패널, 유연 디스플레이, 스마트 윈도우 등에 적용 가능

* ITO(Indium Tin Oxide, 인듐 주석 산화물) : 전기전도성을 가지는 투명한 무기 산화물로 디스플레이(투명 전극), 휴대폰(투명 필름) 등에 사용

- **(대체소재 필요성)** ITO 필름 합성을 위한 **천연재료 인듐의 고갈 위험성에 직면***해 있고, **ITO 필름은 일본이 독점 공급에 의존***

* 인듐은 중국이 세계 자원의 70% 이상을 보유하고 있으며 '35년 이후 고갈 전망, ITO 필름 제조는 일본의 Nitto Denko社가 원천기술을 보유

- **(타 신소재 대비 성능우위)** ITO을 대체하는 신소재 중 그래핀의 성능이 가장 우수한 것으로 평가

- **(공정 호환성 우수)** 투명전극에서 ITO 필름의 대체재로 그래핀 사용시 **거의 동일한 공정 적용이 가능할 정도로 호환성이 탁월**

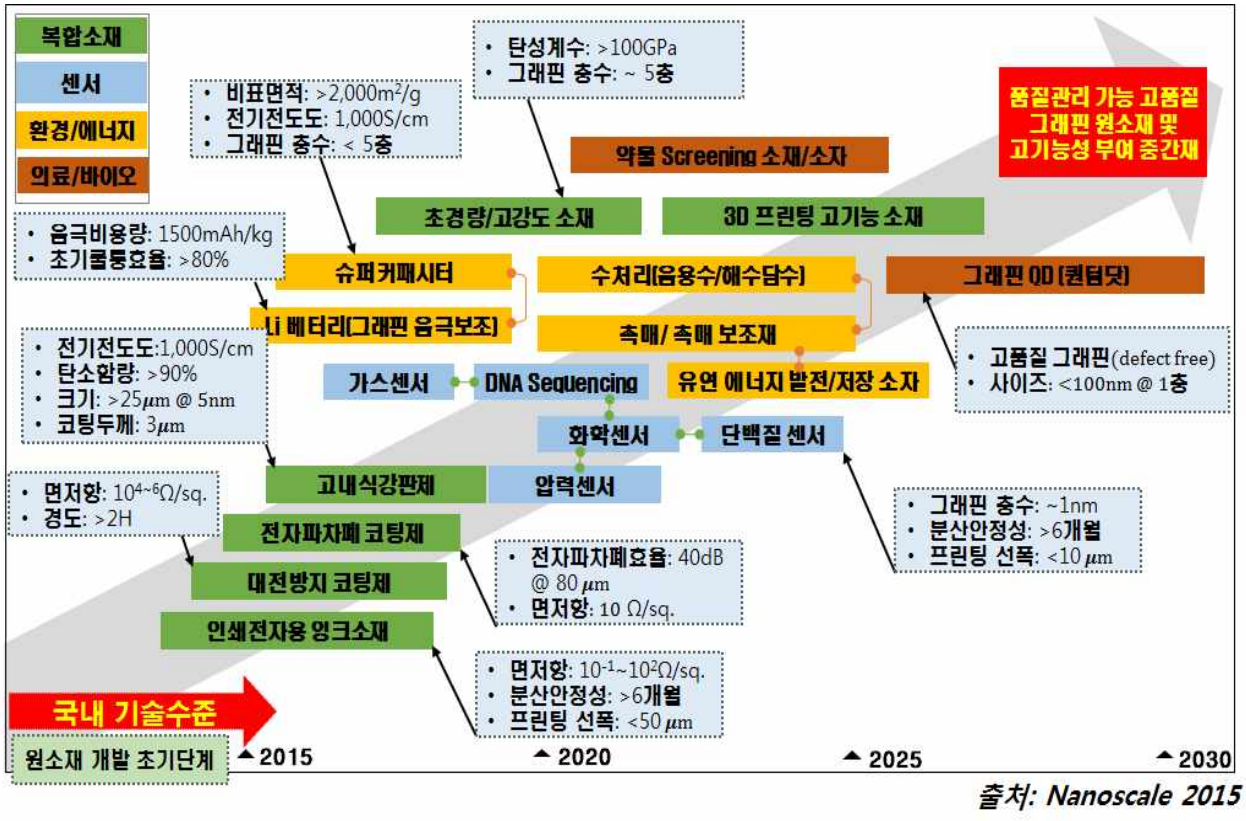
○ 향후 대면적에 균일성을 갖는 고품질 그래핀 제조가 가능해지면 태양전지 등 **광전소자***, **웨어러블 전자기기** 및 새로운 구조와 기능을 갖는 **차세대 반도체**의 출현이 가능할 것으로 기대

* 광전소자 : 흡수된 빛에너지를 전류로 변환하여 빛 에너지의 양 등을 측정하는 전자 부품

- **(광전소자)** 기존의 **광전소자보다 넓은 파장대역에서 작동 가능하며 유연한 초고속 광전소자** 구현 가능

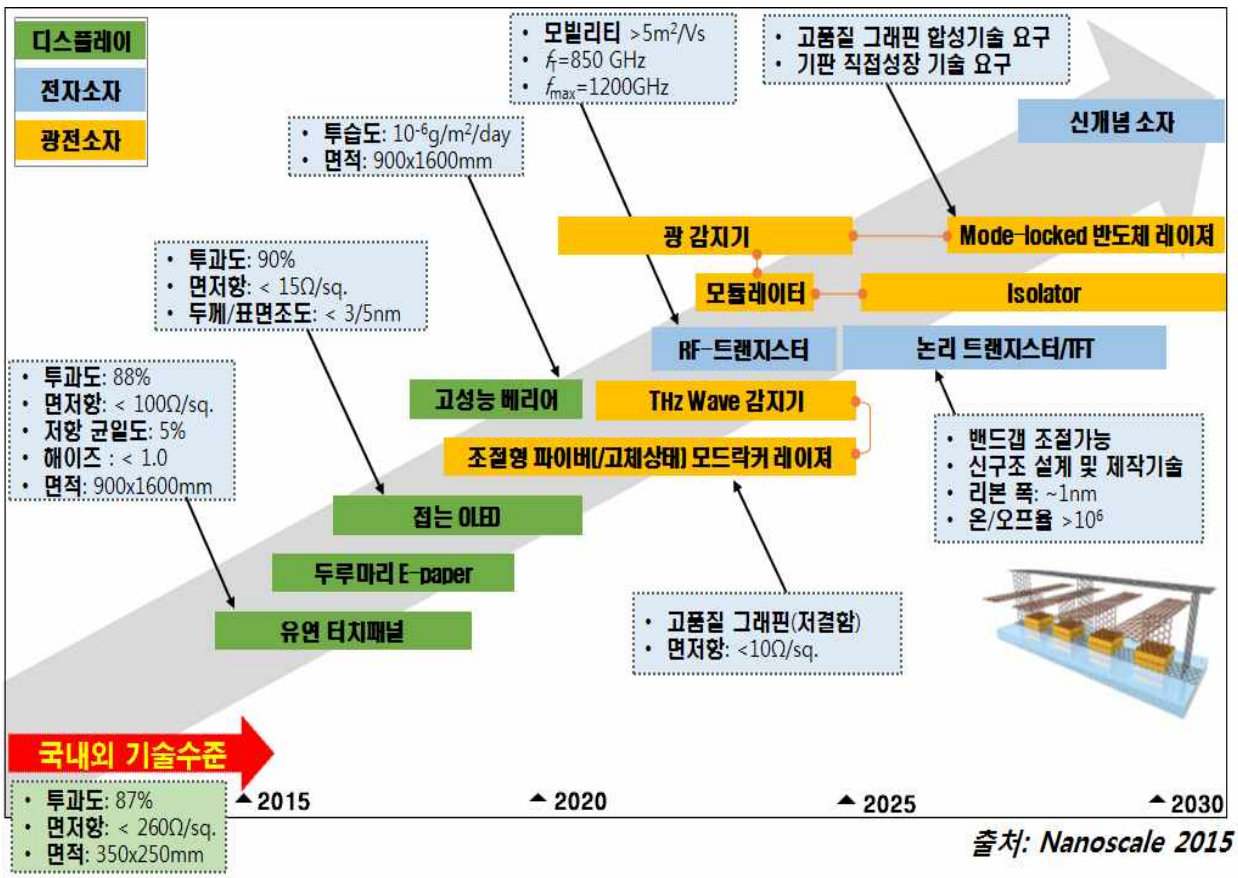
- **(웨어러블 전자기기)** 높은 강도 및 전도성과 유연성을 지니 그래핀은 타 신소재에 비하여 웨어러블 전자기기 구현에 유리한 소재

- **(차세대 반도체)** 실리콘(Si)과 같은 단결정 그래핀 합성기술 확보 및 밴드 갭 구현이 가능할 경우 高집적, 초고속 반도체 실현 가능



출처: Nanoscale 2015

< 그래핀 플레이크 응용분야별 요구 물성 및 출현 예상시기 >



출처: Nanoscale 2015

< CVD 그래핀 응용분야별 요구 물성 및 출현 예상시기 >

다. 그래핀 응용제품 시장전망

○ **그래핀 플레이크** 시장은 **'18년 이후 급속히 성장**할 것으로 전망

- **(원소재)** 생산업체의 증가와 대량생산이 가능해짐에 따라 '13년 130만불(155톤)에서 '20년 6.75억불(3,672톤)로 연평균 71.6% 성장 전망

- **(인쇄전자용 잉크)** 전도성 잉크* 시장과 동반 성장할 것으로 예측되며, '14년 900만불에서 '20년 63억불로 연평균 198% 성장 전망

* 기존 전도성 잉크 소재는 은(Sliver)으로 저가 그래핀 생산 가능시 그래핀 잉크의 전도성 잉크 시장 점유율은 '14년 0.4%에서 '20년 46.7%로 성장 예상

< 전도성 잉크 시장규모 >

단위:백만불

구분	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
전도성 잉크	10,350	10,700	11,450	11,800	12,300	12,900	13,500
인쇄전자용 그래핀 잉크	9	103	360	854	1,751	4,050	6,300

출처 : SNE 리서치 2014

- 가장 먼저 사업화가 예상되는 **그래핀 투명전극은 '17년부터 터치패널에 적용되어 응용제품 시장을 형성**하고, '20년 ITO 투명전극을 대체하여 투명전극 시장의 10%를 점유하여 5억불로 성장 전망

※ 터치패널, 디스플레이 등의 핵심 부품인 ITO 투명전극은 일본이 원천기술을 보유하고 전 세계에 독점 공급 중이며 주 재료인 인듐(Indium)은 중국이 70% 이상 보유

< 투명전극 시장규모 >

단위:백만불

구분	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
투명전극 전체	1,924	2,300	2,638	2,905	3,162	3,513	3,946	4,458	5,077
그래핀 투명전극	-	-	-	-	-	35	118	222	508

출처 : 투명전극 기술동향 및 시장전망 2013(Displaybank) 등 정리

참고3 국내외 기업 그래핀 생산 및 개발 현황

< 해외 주요 그래핀 플레이크 원소재·중간재 생산 및 개발 현황 >

기업체	생산 및 개발 현황
XG Science(미)	방열 소재, 인쇄전자용 잉크, 에너지 저장 소재용 원소재, 방열필름 XG Leaf™생산 및 2차전지용 음극재 개발 중
Angstrone Materials(미)	전자파 차폐제, 에너지 저장 소재용 원소재 생산 및 2차전지용 음극재, 점착소재, 배리어소재, 커패시터용 전극소재 개발 중
Vorbeck Materials(미)	원소재, 인쇄전자용 잉크소재 생산 및 전도성 페이스트, 복합소재 개발 중
Xiamen Knano(중)	원소재 생산 및 복합소재 개발 중
Applied Graphene Materials(미)	경량화 제품 적용을 위한 원료 배합물 소재 개발 중
Haydale(영)	플라즈마 전처리를 통한 고분산, 고기능화 그래핀 나노분말 소재 개발중

< 국내 그래핀 플레이크 응용소재 개발 업체 >

구분	기업명	원소재 수급 방법	개발중인 중간재
대기업	한화	XG Science 지분 매입	코팅용 페이스트
	포스코	XG Science 지분 매입	고내식 강판
	일진	Angstron에서 수입	에너지 저장, 투명전극
중견기업	동진세미켐	Angstron에서 수입	전자파 차폐막
	상보	XG Science에서 수입	배리어
	창성	Angstron에서 수입	전자파 차폐막
	대주전자재료	Angstron, XG Science에서 수입	에너지 저장
	솔브레인	Angstron, XG Science에서 수입	잉크, 페이스트
중소기업	에버켐텍	Angstron, XG Science에서 수입	정전기 방지막, OLED 적용 부품
	월드튜브	Angstron에서 수입	방열시트
	제이오	Angstron에서 수입	잉크, 페이스트
	유민에쓰티	Angstron에서 수입	센서
	라미나	Angstron에서 수입	잉크, 페이스트

< 국내외 대기업 CVD 그래핀 응용제품 개발 현황 >

국적	기업명	개발중인 제품	장 점	비 고
미국	IBM	저전력 트랜지스터	저전력	향후 5년간 30억불 투자
	록히드마틴	해수담수화막	담수용량 5배	
한국	삼성	반도체	고속	그래핀 인력 20명 보유
네덜란드	필립스	OLED 조명, 진단기기	발광효율, 고해상도	

참고4 그래핀 분야별 투자의향 국내기업 조사 결과

○ 조사기관 : 한국산업기술평가관리원 지식경제R&D 전략기획단

○ 조사기간 : 2012. 01. 31.(화) ~ 2012. 02. 07.(화)

○ 조사대상 : 2011 그래핀 워크샵 참석자 및 사전등록자

※ 산업계 411명(46%), 연구계 121명(14%), 대학 303명(34%), 정부 및 유관기관 51명(6%) 등 총 886명이 워크샵 참석

기관유형	대기업	중견기업	중소기업	벤처기업	연구소	대학	정부기관	유관기관	합계
명수	141	57	178	35	120	304	31	20	886
비율	15.9%	6.4%	20.1%	4.0%	13.5%	34.3%	3.5%	2.3%	100.0%

< 그래핀 분야별 투자의향을 보이는 국내 기업 >

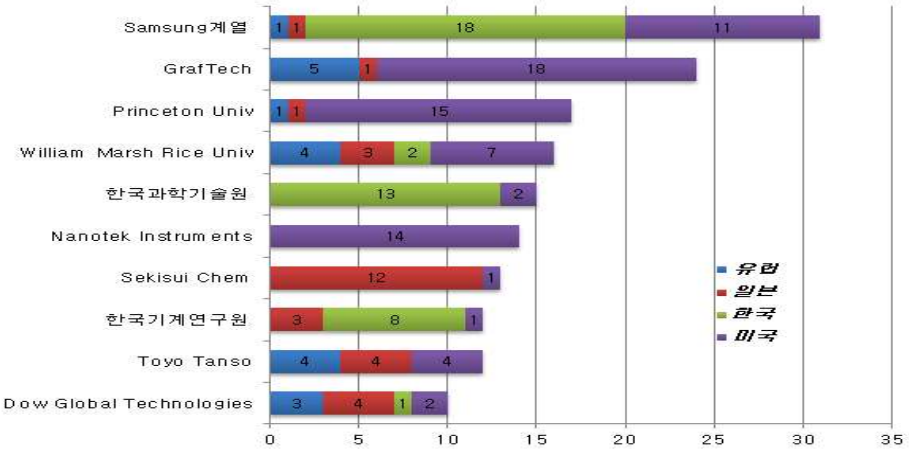
분야	세부기술	투자의향 기업
투명전극	터치패널	삼성테크윈(대), LG이노텍(대), 엘엠에스(중), 디에치이앤이(중), 레이딕스텍(중), 솔켐(중) 등
	태양전지	코오롱인더스트리(대), LG화학(대), 시노펙스(중견), 지아이텍(중), 큐닉스(중), 에스엔텍(중) 등
	OLED	율촌화학(대), 코윈디에스티(중), 톱텍(중), 엘엠에스(중)
차세대 반도체	RFIC 및 메모리	삼성테크윈
에너지용 전극재료	이차전지전극	LG화학(대), GS칼텍스(대), 삼성코닝정밀소재(대), OCI(중견), 성형산업(중), 디에치이앤이(중), 지아이텍(중) 등
	슈퍼커패시터	삼성코닝정밀소재(대), GS칼텍스(대), 코칩주식회사(중)
초경량/고강도 복합소재	차량용 구조재 및 복합재 양산	현대모비스(대), LS 전선(대), KCC(대), 금강쿼츠(중), 디와이엠(중), 상아프론테크(중), 대원케미칼(중), gratube(중), 어플라이드카본나노(중) 등
방열재료	LED방열 및 자동차 ECU	한국 로디아(대), KCC(대), LG 이노텍(대), 율촌화학(대), 케이티에스(중), 나노미래주식회사(중), gratube(중), 상아프론테크(중), 금강쿼츠(중) 등
배리어/ 코팅 재료	봉지재 및 포장재	율촌화학(대), LS전선(대), 엘엠에스(중)
나노잉크용 소재	전도성잉크	애경화학(대), LG이노텍(대), 웅진케미칼(중견), 세진에스엠(중), 케이티에스(중), 필스(중) 등
	전자파 차폐	동부CNI(대), 한화케미칼(대), 세진에스엠(중), 상아프론테크(중), 나노미래주식회사(중) 등
대면적 그래핀 합성		삼성테크윈(대), LG 화학(대), SRC(중), 디에치이앤이(중), 아텍시스템(중), 앤피에스(중) 등
그래핀 플레이크 합성		포스코(대), 금호석유화학(대), 애경유화(중), 디지켐(중), gratube(중), 대주전자재료(중), IDT(소) 등

참고5 그래핀 특허 주요 출원주체 및 질적수준 분석

▢ 그래핀 플레이크

○ 미국 5개, 한국 3개, 일본 2개의 주요 특허 연구주체를 보유, 그래핀 플레이크 분야에서 미국의 연구 선도 확인

- 10개 중 4개 다출원 주체가 대학 또는 연구소로 그래핀 연구의 상당 부분이 정부 지원으로 추진되고 있는 것으로 분석



< 그래핀 플레이크 분야 주요 특허출원인 현황 >

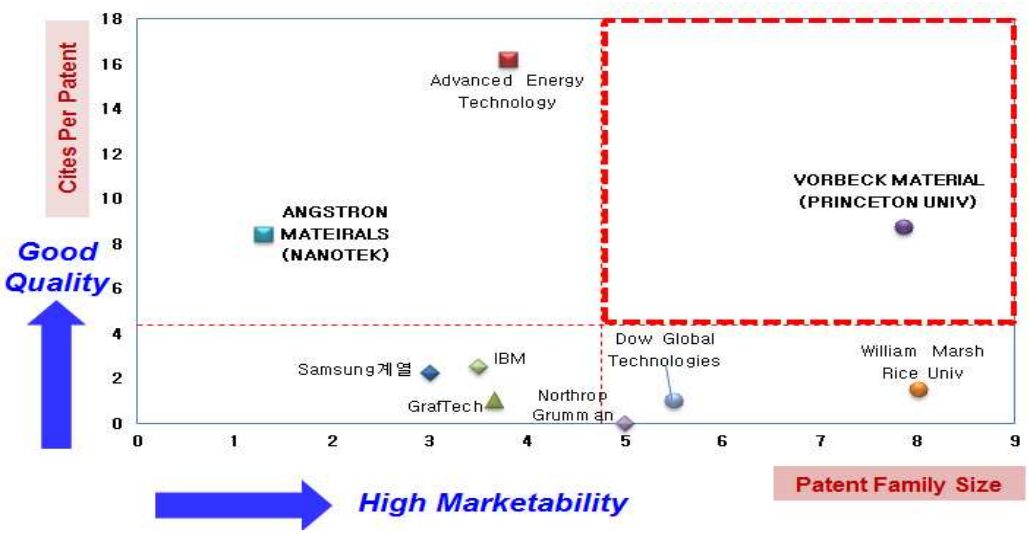
○ 그래핀 플레이크 관련 미국 특허*의 주요 특허출원 주체를 살펴보면 Angstron Materials(Nanotek Instruments 포함), Graftech, Advanced Energy Technology, Vorbeck Materials(Princeton University 포함), 삼성전자가 특허출원 건수 기준으로 빅 5를 구성

* 그래핀 플레이크 관련 기술은 미국이 주도하므로 미국 특허를 분석

- 피인용도 지수(Cites Per Patent) 및 패밀리특허 크기(Patent Family Size)를 기준으로 질적 수준을 분석하면, Advanced Energy Technology, Angstron Materials 및 Vorbeck Materials가 가장 우수

※ 3개 기업 모두 대학으로부터 특허를 이전 받아 설립된 그래핀 플레이크 제조 전문 기업

- 삼성전자는 미국 특허 다출원인에는 해당하지만, 피인용도 지수나 패밀리특허 크기가 모두 낮은 수준에 있는 것으로 분석



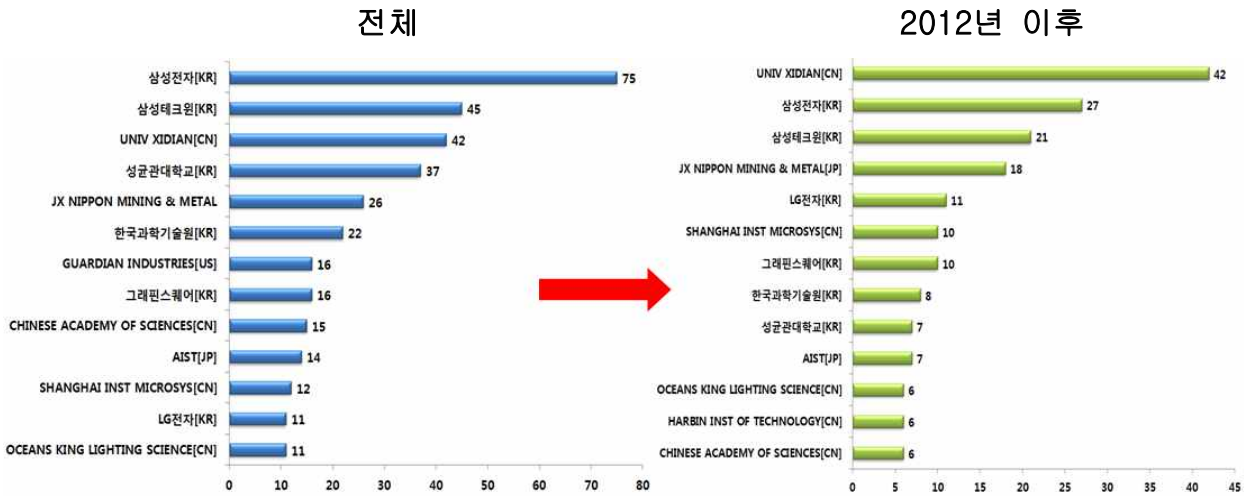
< 그래핀 플레이크 관련 미국특허 주요 출원인의 질적 수준 >

▢ CVD 그래핀

○ 한국 6개, 미국 1개, 일본 2개 및 중국 4개의 주요 특허 연구주체를 보유, 우리나라의 CVD 그래핀 분야에서의 연구 선도 확인

- 질적 측면에서도 삼성테크윈 등의 삼성그룹과, 성균관대학교(그래핀 스퀘어), 한국과학기술원과 같은 한국의 연구주체들이 상용화 단계에 가장 근접한 연구개발능력을 보유한 것으로 판단

○ 최근 3년('12~'14년)으로 분석 범위를 한정하면, 중국의 진리(XIDIAN) 대학이 다출원인 1위이고, 중국의 주요 특허 주체가 5개로 증가하여 최근 중국의 연구·특허 활동이 매우 활발해진 것으로 분석



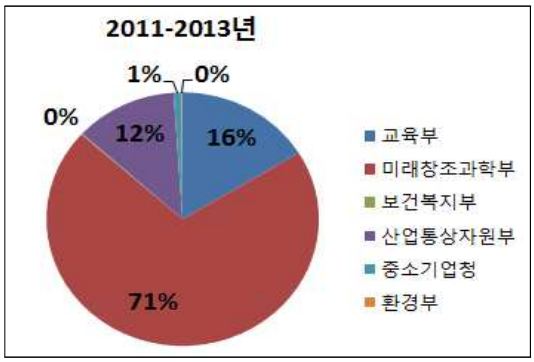
< 그래핀 CVD분야 주요 특허출원인 현황 >

참고6 정부 R&D 지원 현황

< '11년~'13년 2차원 나노소재 분야 정부 R&D 투자 실적>

(단위 : 백만원)

구 분	2011	2012	2013	합 계
미래창조과학부	29,396	41,064	43,436	113,896
교육부	8,411	8,022	9,856	26,289
산업통상자원부	4,142	5,836	9,658	19,636
환경부	670	660	605	1,935
중소기업청	302	888	529	1,719
보건복지부	40	80	80	200
합 계	42,962	56,550	64,164	163,676



< 2011년~2013년 그래핀 플레이크 분야 R&D 지원 >

개발 분야	지원분야	목표기술	투자 금액 (백만원)	과제수 (건)
원소재	합성	그래핀 물성 조절	- (0%)	0
응용	복합응용	적용분야 2개 이상	4,671(18%)	7
	방열복합소재	LED 방열 복합재	4,458(17%)	2
	센서 시스템	광, 화학, 바이오 센서	4,292(16%)	4
	투명전극	터치패널, 디스플레이	4,078(15%)	5
	에너지용 전극소재	태양전지, 이차전지 슈퍼커패시터, 열전소재	3,394(13%)	5
	차세대 전자소자	메모리, 반도체, 집적회로 광소자, 나노소자, 양자소자	1,824(7%)	1
	배리어/코팅	전자파 차폐, 표면코팅	1,907(7%)	6
	나노잉크소재	전도성잉크, 나노배선	1,769(7%)	4
	환경	멤브레인, 폐수처리	- (0%)	0
합 계			**26,393(100%)**	**34**

< 2011년~2013년 CVD 그래핀 분야 R&D 지원 >

개발 분야		목표기술	투자 금액 (백만원)	과제수 (건)
합성	합성	그래핀 물성 조절	5,698(7%)	8
응용	차세대 전자소자	메모리, 반도체, 집적회로 광소자, 나노소자, 양자소자	41,966(54%)	23
	에너지용 전극소재	태양전지, 이차전지 슈퍼커패시터, 열전소재	6,788(9%)	10
	투명전극	터치패널, 디스플레이	7,341(9%)	9
	복합응용	적용분야 2개 이상	6,673(9%)	10
	센서 시스템	광, 화학, 바이오 센서	5,365(7%)	5
	방열복합소재	LED 방열 복합재	2,229(3%)	1
	환경	멤브레인, 폐수처리	1,520(2%)	2
	배리어/코팅	전자파 차폐, 표면코팅	317(0%)	1
	나노잉크소재	전도성잉크, 나노배선	- (0%)	0
합 계			**72,199(100%)**	**92**

참고7 그래핀 원소재 제조 기술수준 및 과제

○ **(플레이크)** 균일성을 갖는 단일 또는 수층의 그래핀 양산기술은 세계적으로 아직 개발되지 않음

- 분산·배향* 등 중간재 제조기술 또한 미흡

* 분산 : 서로 다른 물질을 균일하게 혼합, 배향 : 원하는 방향으로 정렬, 구조화

< 그래핀 플레이크 제조 기술 및 기술 수준 >

구분	기술 원리	기술 특징	현재 기술수준	
			세계 수준 (기술단계)	국내 수준 (최고대비%)
비산화 그래핀	흑연 층 사이에 층간화합물 형성, 에너지 조사 등을 하여 층간 분리	• 공정 중 그래핀 크기 축소 문제점 존재 • 수 층의 그래핀 대량제조가 어려움 • 공정 후 산화물질이 잔존하지 않음	TRL 6 일부 양산화 진행	80%
산화 그래핀	흑연을 산화시켜 층간 간격이 벌어지도록 하여 층간 분리	• 수 층의 그래핀 대량생산에 유리 • 산화 그래핀 표면 기능기를 활용하여 다른 물질과의 복합체 형성 가능 • 공정 후 산화물질이 불순물로 잔존	TRL 5 시장 요구 물성·가격 미확보 대량제조 기술 부재	60%
중간재	액체 물질 또는 고체 물질 내에 그래핀을 균일하게 분산	• 완제품 적용을 위한 필수 기술 • 그래핀 특성 저감 없이 물질 내 균일분산, 고농도화, 네트워크 형성이 어려움	TRL 5 시장 요구 물성·가격 미확보 대량제조 기술 부재	60%

○ **(CVD 그래핀)** 두께·균일성·크기, 전사시 품질저하 등 품질 관련 문제 및 낮은 합성 속도, 공정 단순화 등 양산 관련 난제 다수

< CVD 그래핀 제작 관련 과제 및 필요 요소기술 >

해결과제	그래핀 품질 수준별 확보 필요 요소기술	
	대면적 그래핀 제작 요소기술	고결정성 그래핀 고속제작 요소기술
촉매 전처리	• 그래핀용 전해동박 제조 기술 • 전해동박 표면제어 공정 기술	• 고결정성 그래핀용 촉매금속 제조 기술
저온 공정	• 고온 CVD 챔버 설계 기술	• 그래핀 합성 모사 기술 • 고결정 그래핀 합성용 열원 설계 기술
대면적/연속 제조장치	• 대면적 그래핀 합성 최적화 기술	• 고결정 그래핀 고속 합성 기술 • 고결정 그래핀 고속 합성 시스템화 기술
전사시 품질 저하	• 무잔유물 지지층 형성 및 분리 기술 • 직전사용 그래핀 필름 기판 접합기술 • 그래핀 기판 접착력 향상 기술	

○ **(측정·규격화)** 제조공정 각 단계에서의 실시간 측정을 통해 품질관리가 필요하나 관련 연구는 기초적인 수준

참고8 6대 그래핀 전략분야 선정 과정

□ 9대 그래핀 응용산업 도출

o 그래핀의 다양한 산업응용 분야 중에서 기능과 목표 시장을 기준으로 그래핀 상용화를 추진하고 있는 국내 산업체의 그래핀 소재·부품의 상용화 품목에 대한 산업체 수요조사를 반영하여 도출

- 6년 이내에 상용화가 가능한 그래핀 소재 및 응용분야에 대한 기술수요조사(인터넷 수요조사)를 통해 상용화 가능한 품목조사

< 9대 그래핀 기술 응용산업 >

응용분야	목표시장 개요
디스플레이	Flexible/Transparent Display, 터치패널, 태양전지, 스마트윈도우 등의 ITO 전극을 대체하는 투명전극 및 배선 전극용 소재 및 응용부품 분야
차세대 반도체	기존 Si 반도체의 작동속도 및 성능한계 극복을 위하여 그래핀의 뛰어난 전자이동도를 이용한 초고속 반도체 소자(RFIC, Optical Switch, TFT) 분야
에너지용 전극소재	그래핀의 높은 전기전도도, 열전도도, 투명성, 높은 전류밀도 등을 이용해 기존 에너지용 전극의 물리적, 기능적 한계를 극복하는 고용량, 장수명 그래핀 응용 전극 소재 및 응용부품 분야
초경량/고강도 복합소재	그래핀을 고분자 또는 금속 상에 3차원적으로 분산하여 그래핀과 고분자 또는 금속 사이에 물리적, 화학적 결합을 형성하여 기계적 물성의 향상 효과가 기존의 복합소재 보다 큰 고성능 소재 및 응용부품 분야
방열소재	그래핀의 높은 열전도도를 이용하여 기존 방열소재의 물리적, 기능적 한계를 극복하여 고성능, 경량화, 환경 친화 및 에너지 절감을 달성할 수 있는 고방열 그래핀 나노복합 소재 및 부품 분야
배리어/코팅 소재	그래핀의 배리어 특성을 이용해 기체 및 증기의 확산, 투과를 막는 소재 및 응용부품 분야
나노잉크용 소재	그래핀의 전도성 및 반도체 고유 특성과 그래핀의 구조 개질 및 edge functionaliztion을 통한 분산 최적화 도전성 잉크 기술개발을 통하여 대전방지(ESD)/전자파 차폐(EMI)/인쇄전자용 소재 및 응용부품 분야
전력 전송용 케이블 소재	전력 전송용 도선에 그래핀 소재를 적용하여 초고압,초고용량의 전력운송, 초고속통신을 가능하게 할 케이블 소재 기술
센서 소재 및 부품	그래핀의 큰 비표면적, 전기적, 광학적 특성을 이용한 고분해능 센서용 소재 및 부품 분야

□ 3대 그래핀 응용산업 선정

< 선정기준 >

o 그래핀 소재 및 응용부품 적용 분야의 전략성을 고려한 전문가 평가를 반영한 3대 그래핀 응용산업을 선정

※ 전략성 : 시장규모, 상용화 년도, 기술개발 가능성, 수요산업 경쟁력 검토

o 그래핀 신소재를 이용한 소재·부품의 상용화를 목표로 하는 본 사업의 특성을 고려, 국내 기업이 그래핀 사업화 수행 시 '**기술개발 가능성**'에 상대적으로 높은 가중치를 부여하여 분야 선정

- 사업 성과 활용 극대화를 위해 국내 주력사업 역량을 고려하여 우리나라 그래핀 응용부품 **수요산업의 대외 경쟁력**을 고려

- 6년 이내에 상용화 가능한 품목에 대하여 pilot 양산기술 개발 가능 분야 도출을 위해 **상용화 년도**를 전략성 검토의 주요 지표로 포함

- 사업수행 기대효과가 높은 분야 선정을 위해 그래핀 관련 **응용분야의 시장규모**를 전략성 검토 지표로 사용

- 기존사업과 중복성을 검토하여 유사분야 선정 제외

< 기술확보 가능성, 상용화 년도, 수요산업 경쟁력, 시장규모 정량화 기준 >

점수	기술확보 가능성	상용화 년도	수요산업 경쟁력	시장규모(2025년 기준)
10	현재 TRL 8단계	2년 이내 상용화	세계1위	50조원 이상
9	3년 이내 TRL 8단계	3년 이내 상용화	세계3위 이내	10조원 이상
8	5년 이내 TRL 8단계	4년 이내 상용화	세계5위 이내	5조원 이상
7	3년 이내 TRL 6단계	5년 이내 상용화	세계10위 이내	1조원 이상
6	5년 이내 TRL 6단계	6년 이내 상용화	세계15위 이내	5000억원 이상
5	7년 이내 TRL 6단계	7년 이내 상용화	세계20위 이내	1000억원 이상
4	10년 이내 TRL 6단계	8년 이내 상용화	세계25위 이내	500억원 이상
3	3년 이내 TRL 3단계	9년 이내 상용화	세계30위 이내	100억원 이상
2	5년 이내 TRL 3단계	10년 이내 상용화	세계35위 이내	50억원 이상
1	7년 이내 TRL 3단계	10년 이후 상용화	세계40위 이내	10억원 이상

< 선정 결과 >

o 그래핀 소재 및 응용부품 적용 분야에 대한 전략성·중복성에 대해 종합적으로 평가하여 3대 응용산업으로 복합소재, 디스플레이, 에너지 선정

* 복합소재 분야는 그래핀 기술분야 분류표의 초경량/고강도 복합소재, 방열 및 배리어/코팅 소재 분야의 유사한 그래핀 소재활용 특성을 기반으로 세 분야를 통합하여 복합소재 분야로 선정

< 그래핀 기술분야별 전략성 평가결과 >

응용 분야	차세대반도체	초경량/고강도 복합	배리어/코팅	케이블	디스플레이	에너지	방열	나노 잉크	센서	
평가 결과	92	75	94	82	87	83	71	69	60	가중치
기술확보 가능성	9	7	9	8	8	9	8	6	5	30%
상용화년도	9	6	9	8	9	8	7	7	7	30%
수요산업 경쟁력	10	9	10	9	9	8	7	7	5	20%
시장규모	9	8	10	8	9	8	6	8	7	20%

- 센서, 케이블, 나노잉크, 차세대반도체는 기술확보 가능성 및 상용화 년도가 사업 목적에 부합되지 않아 선정 제외함

- 복합소재 선정 분야 중 경량고강도복합소재는 산업부의 세계시장 선점 핵심소재(WPM)*사업과의 중복으로 선정 제외 및 배리어/코팅 소재 분야로 한정

* 세계시장 선점 핵심소재(WPM) 사업 : 에너지 절감·변환용 다기능성 나노복합소재 사업 중복

□ 우선 추진 6대 그래핀 전략분야 선정

< 선정 기준 >

o 산업체에서 상용화를 위한 기반기술을 보유하고 있고, 기술확보 가능성이 높은 품목을 전략분야로 선정

o 그래핀 수요조사에서 상향식(Bottom-up)으로 도출된 품목을 대상으로 전략분야 도출

< 선정 결과 >

o **(복합소재 분야)** 고기능성 친환경 복합필름, 친환경 고내식 강판, 전자파 차폐제

o **(디스플레이 분야)** 터치패널, OLED 응용

o **(에너지 분야)** 슈퍼커패시터

< 6대 그래핀 전략분야 선정 결과 >

분류	기술명	상용화 시기	기술확보 가능성
C	자동차 및 구조체용 경량 고강도 복합재	4	9
C	**고기능성 친환경 복합필름소재**	6	8
C	**그래핀 전자파차폐 코팅재**	4	9
C	**친환경 고내식 강판**	4	9
C	고방열성 그래핀 복합 compound 및 필름소재	7	6
C	그래핀 기반 나노잉크	9	7
C	상온분사 기능성 그래핀 코팅 기술	8	7
C	그래핀복합체기반OLEDencapsulation기술	6	8
C	나노윤활유	10	5
C	항공기 및 풍력 장비용 구조 소재·부품	10	5
C	LED, LCD, PDP용 방열 구조체	7	6
C	방열 향상용 전기전도/열전도성 접착제	7	6
C	태양전지용 가스, 수분 투과 방지막	8	6
C	Screenprinting기반메탈Ink대체그래핀ink	9	6
C	RFID용Ink	9	6
C	이온,가스,생체분자감지소자용그래핀ink	10	5
C	태양전지용 Barrier 소재	7	6
D	**그래핀 응용 OLED 패널용 투명전극**	5	9
D	**그래핀 기반 터치패널**	3	9
D	대면적 유연 전기변색 스마트 윈도우	7	8
D	그래핀 응용 LCD용 투명전극	7	7
D	무촉매 그래핀 성장 기술	12	4
D	투명전극용 대면적 그래핀 성장 및 전사기술	5	8
D	그래핀 패터닝 기술	5	8
D	E-paper 또는 E-Book용 그래핀 투명전극	7	7
E	**그래핀 슈퍼커패시터**	5	9
E	전기자동차/에너지저장시스템용 그래핀 이차전지	5	8
E	태양전지용 투명전극	8	6
E	그래핀 에너지 전극소재 연료전지 응용기술	10	4
E	전력전송용 그래핀 응용기술	7	6
E	그래핀 전도체 함유 염료감응태양전지	10	4

C: 복합소재, D: 디스플레이, E: 에너지

참고9 그래핀 응용제품 진출 가능 전체 시장 전망

○ 그래핀 진출 가능 시장의 현황 및 전망치와 성장률을 기준으로 2019년부터 2025년까지의 시장을 추정

< 그래핀 진출 가능 전체 시장 규모 전망 >

구 분		2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025
터치 패널 모듈	세계시장 (억달러)	289.8	319.2	351.5	387.1	426.3	469.4	517.0
OLED 패널	세계시장 (억달러)	114.0	170.0	224.8	297.4	393.3	520.2	688.1
	Encapsulation (억원)	1,000.0	1,500.0	1,500.0	1,800.0	1,800.0	2,000.0	2,000.0
스마트 윈도우	Passive (억달러)	39.4	44.5	50.1	56.6	63.8	72.0	81.2
	Active_BIPV (억달러)	203.4	237.7	277.9	324.9	379.8	444.0	519.0
EV/ESS용 이차전지	ESS용 LIB (억달러)	130.8	159.7900	194.1	235.7	286.3	347.7	422.3
	EV용 LIB (억원)	831,841.3	848,832.1	877,846.1	907,852.0	938,883.4	970,975.6	1,004,164.7
슈퍼 커패시터	그래핀세계시장 (억달러)	2.0	3.4	5.7	9.5	15.9	26.6	44.4
경량 고강도 복합 소재	자동차용 플라스틱 시장 (억원)	49,247.5	53,075.3	57,200.5	61,646.4	66,437.9	71,601.8	77,167.0
High barrier 복합필름	하이퍼포먼스 필름(억달러)	155.6	161.3	167.1	173.2	179.4	185.9	192.7
	포장재(베리어) 필름(억원)	25,598.0	26,750.0	27,953.0	29,211.0	30,526.0	31,900.0	33,335.0
전자파 차폐 코팅재	전자부문 나노코팅 (억달러)	1.6	2.2	3.1	4.3	6.0	8.4	11.8
	EMI/RFI (억달러)	56.6	58.2	59.9	61.6	63.3	65.1	67.0
고내식 강판코팅 복합소재	국내 시장 (억원)	109,370.3	118,742.8	128,918.4	139,966.0	151,960.3	164,982.5	179,120.6

< 그래핀 진출 가능 전체 시장 출처 >

구 분		시 장 출 처
터치 패널 모듈	세계시장 (억달러)	ㅇ Displaysearch, 2011. 7
OLED 패널	세계시장 (억달러)	ㅇ IDTechEx 2010, Printed, Organic & Flexible Electronic Forecasts, Players & Opportunities 2010~2020
	Encapsulation (억원)	ㅇ Nanomarket, "Markets for OLED Encapsulation Materials -2011" , 유비산업리서치, 2011년 2사분기 OLED 시장보고서
스마트 윈도우	Passive (억달러)	ㅇ BCC Research 2009, Smart Glass: Technologies and Global Markets
	Active_BIPV (억달러)	ㅇ marketsandmarkets 2011.11, Global Building Integrated Photovoltaics (BIPV) Market, By Products, Technologies & Applications (2011 - 2016)
EV/ESS용 이차전지	ESS용 LIB (억달러)	ㅇ 업체 제시 자료
	EV용 LIB (억원)	ㅇ IIT LIB-Related Study Program 11-12
슈퍼 커패시터	그래핀세계시장 (억달러)	ㅇ BCC Research 2011, Graphene : Technologies, Applications and Markets
경량 고강도 복합 소재	자동차용 플라스틱 시장 (억원)	ㅇ Frost & Sullivan 2010. 7, Golbal Automotive Under Hood Plastics Market
High barrier 복합필름	하이퍼포먼스 필름(억달러)	ㅇ BBC Research 2010.10, High-Performance Films
	포장재(베리어) 필름(억원)	ㅇ 야노경제경구소 2011.7, "2011년판 배리어포장재료 시장과 전망", 일본 후지경제 2011.4, "기능성고분자필름시장분석"
전자파 차폐 코팅재	전자부문 나노코팅 (억달러)	ㅇ BCC Research 2010.1, " Nanotechnology in Coatings and Adhesive Applications: Global Markets"
	EMI/RFI (억달러)	ㅇ BCC Research 2011.4, "EMI/RFI: Materials and Technologies"
고내식 강판코팅 복합소재	국내 시장 (억원)	ㅇ 통계청 2009, 광공업 통계자료

참고10 2025년 국내 그래핀 시장 및 고용유발효과 추정

□ 그래핀 적용 가능 부문 비율 및 대체 비율, 국내 시장 점유율 산정

o 참고5의 그래핀 응용제품 전체 시장 규모에서 원가구조 분석을 통해 그래핀이 적용 가능한 부문의 비율과 기존 소재를 그래핀으로 대체하는 비율, 최종적으로 국내 시장 점유율을 산정

o 그래핀 적용 가능한 부문 비율은 객관적 자료에 기반하여 도출하되 일부 사업에 대해서는 전문가 의견을 반영

- 슈퍼커패시터는 세계 그래핀 시장을 활용하기 때문에 국내 시장 점유율만 산정

- 고내식강판코팅 복합소재는 아연도강판의 국내 광공업 통계자료를 활용하기 때문에 아연도강판에서 그래핀이 적용 가능한 비율만 산정

o 그래핀 대체 비율은 그래핀 관련 분야 전문가 및 참여가능 업체의 의견을 최종 수렴하여 2019년 10%에서 2025년 100%로 목표치를 설정

- 6개 그래핀 전략사업에 공통적으로 적용

o 국내 시장 점유율은 그래핀이 진출 가능한 시장의 현재 국내 시장 점유율 참고하고 향후 목표치를 설정

< 6대 그래핀 전략분야 국내 시장 점유율 전망 >

구 분	국내 시장 점유율	산출근거
터치패널	10%~22%	2019년 : 현재 터치패널 국내 시장 점유율 10% 참고 2025년 : 현재 핸드폰 국내 시장 점유율 21.9%를 목표치로 설정
OLED	45%~50%	2019년 : 현재 OLED 국내 시장 점유율 45% 참고 2025년 : 45%에서 50%까지 목표치 설정(산업체 델파이 조사)
하이베리어필름	10%~15%	2019년 : 현재 국내 시장 점유율 10% 참고 2025년 : 10%에서 15%까지 목표치 설정(산업체 델파이 조사)
전자파차폐	15%~20%	2019년 : 현재 국내 시장 점유율 15% 참고 2025년 : 15%에서 20%까지 목표치 설정(산업체 델파이 조사)
고내식강판	-	국내 시장자료를 활용하기 때문에 별도의 국내 시장 점유율은 없음
슈퍼커패시터	40%~45%	2019년 : 현재 국내 시장 점유율 40% 참고 2025년 : 40%에서 45%까지 목표치 설정(산업체 델파이 조사)

< 6대 그래핀 전략분야 그래핀 적용가능 비율 전망 >

구 분			2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025
터치패널	그래핀 적용 가능 부문 비율(%) *ITO glass sheet*		40%	40%	40%	40%	40%	40%	40%
	그래핀 대체 비율(%)		10%	20%	40%	60%	80%	90%	100%
	국내 시장 점유율(%)		10%	11%	13%	15%	17%	19%	22%
OLED 응용	그래핀 적용 가능 부문 비율(%)	OLED 패널 *기판glass*	20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%
		Encapsulation	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
	그래핀 대체 비율(%)		10%	20%	40%	60%	80%	90%	100%
	국내 시장 점유율(%)		45%	46%	47%	47%	48%	49%	50%
고기능성 복합필름	그래핀 적용 가능 부문 비율(%)	하이퍼포먼스 필름	40%	40%	40%	40%	40%	40%	40%
		포장재(베리어) 필름	20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%
	그래핀 대체 비율(%)		10%	20%	40%	60%	80%	90%	100%
	국내 시장 점유율(%)		10%	11%	11%	12%	13%	14%	15%
전자파 차폐 코딩재	그래핀 적용 가능 부문 비율(%)	전자부문 나노코팅	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
		EMI/RFI	50%	50%	50%	50%	50%	50%	50%
	그래핀 대체 비율(%)		10%	20%	40%	60%	80%	90%	100%
	국내 시장 점유율(%)		15%	16%	17%	17%	18%	19%	20%
고내식 강판코팅 복합소재	그래핀 적용 가능 부문 비율(%) *아연도강판*		1%	3%	5%	7%	8%	9%	10%
슈퍼커패시터	국내 시장 점유율(%)		40%	41%	42%	42%	43%	44%	45%

□ 국내 그래핀 시장 산정(편익 대상 시장)

o 세계 그래핀 시장을 도출(그래핀 적용 가능 부문 비율 및 그래핀 대체 비율을 적용한 수치) 한 후 국내 시장 점유율을 적용하여 최종 편익 대상 규모를 산정

< 6대 그래핀 전략분야에 의한 국내 그래핀 시장 전망 >

(단위 : 억원)

구 분	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025
터치패널 모듈	1,307	3,283	8,246	15,535	26,014	36,754	51,288
OLED패널	1,202	3,648	9,732	19,597	34,947	52,753	78,576
High-barrier 복합필름	753	1,671	3,707	6,168	9,123	11,386	14,034
전자파차폐 코팅재	505	1,111	2,457	4,110	6,174	7,925	10,205
고내식강판코팅 복합소재	1,094	3,562	6,446	9,798	12,157	14,848	17,912
슈퍼커패시터	916	1,564	2,666	4,546	7,752	13,219	22,540
합 계	5,777	14,839	33,254	59,754	96,167	136,885	194,555

□ 고용효과 산정 산정

o 고용창출율은 한국은행 자료의 관련성이 높은 분야의 고용유발 계수를 발췌 후 나노산업의 1인당 생산성을 보정*하여 산정

* 나노산업에서 고용 1인당 평균생산성 : 제조업 평균의 1.7배

< 6대 그래핀 전략분야의 고용창출율 >

구 분		산정근거	적용치
디스플레이	터치패널	산업연관표 "전자표시장치"의 3.5명/10억 적용	**3.5명/10억 → 2.1명/10억**
	OLED 응용		
	스마트윈도우		
에너지	EV/ESS용 이차전지	산업연관표 "기타 전자부품" 6.9명/10억, "기타 제조업제품" 10.8명/10억, "전력" 3.2명/10억"의 평균을 취함	**7.0명/10억 → 4.1명/10억**
	슈퍼커패시터		
복합소재	경량고강도복합소재	산업연관표 "기타 화학제품" 5.5명/10억, "플라스틱 제품" 6.7억/10억 의 평균을 취함	**6.1명/10억 → 3.9명/10억**
	친환경복합필름		
	전자파차폐		
	고내식강판		

o 편익대상시장 기반으로 예상되는 고용효과를 산출

< 6대 그래핀 전략분야에 의한 고용유발 효과 >

구 분	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025
터치패널 모듈	271	680	1,707	3,216	5,385	7,608	10,616
OLED패널	249	755	2,014	4,056	7,234	10,919	16,264
High-barrier 복합필름	310	688	1527	2541	3759	4691	5782
전자파차폐 코팅재	208	458	1012	1693	2544	3265	4205
고내식강판코팅 복합소재	451	1468	2656	4037	5009	6117	7380
슈퍼 커패시터	330	564	962	1640	2797	4769	8131
합 계	1,819	4,613	9,878	17,183	26,726	37,370	52,378