

미래의 유망 소재

홍정기 수석연구위원 jkhong@lgeri.com
 문희성 선임연구원 hsmoon@lgeri.com

I. 왜 소재인가

II. 어떤 소재가 유망한가

III. 어떻게 개발할 것인가

소재는 개발이 어렵지만 성공할 경우 장기간의 진입장벽 구축이 가능하고, 제품의 기능이나 성능에 미치는 영향이 그 어느 분야보다 크다. 경쟁 가열로 차별적 경쟁원천을 발굴해야 하는 기업들의 압박감이 심화되는 상황 하에서, 소재 분야의 경쟁력 확보는 전체 사업의 경쟁력을 좌우한다 해도 과언이 아니다. 향후의 소재 개발 방식은 과거에 비해 훨씬 고객지향적이고 정교해질 것으로 예상된다. 고객이 원하는 용도에 최적화된 맞춤형 소재의 비중이 갈수록 증가할 전망이다. 유형별로는 환경 및 자원 이슈에 대응하기 위한 환경친화형 소재와 에너지 절약형 소재, IT기술의 진화에 따른 정보화 지원형 소재, 삶의 질 개선에 기여하는 첨단 기능형 소재가 유망할 것으로 예상된다. 유망 소재를 개발한다는 것은 말처럼 쉬운 일이 아니다. 경쟁우위를 확보하기 위해서는 소재 경쟁력을 강화해야 하는데, 그러기 위해서는 많은 돈과 시간이 소요된다. 딜레마적인 상황이다. 선진기업들의 사례를 통해 볼 때 첫째, 핵심역량을 활용하여 목표시장을 명확히 설정하고, 철저히 고객에 집중하며, 둘째, 수요기업과의 협업을 통해 리스크를 줄이고, 성공 확률을 높이는 방안이 바람직해 보인다. 장기적이고 일관성 있는 연구개발 정책 역시 필수적이다. ■

“ 소재는 수행하는 역할에 비해 가치를 인정받지 못하는 경우가 대부분이다. ”

I. 왜 소재인가

우리 주변에는 수만 가지의 정확히 셀 수조차 없이 많은 소재가 존재한다. 크게 보더라도 철, 알루미늄, 구리, 아연, 마그네슘 등의 금속 소재에서 플라스틱, 세라믹 등의 유무기 소재, 나무, 돌 등의 천연 소재가 있고, 이들 각각은 가공이나 합성의 과정을 거쳐 우리 생활이나 산업 현장에서 실제 사용할 수 있는 다양한 소재로 탄생한다. 소비자들이나 생산자들은 많은 소재 중에서 기능이나, 가격, 또는 자신의 취향을 고려하여 적절한 소재를 선택하게 되고, 이를 통해 원하는 제품을 제조한다.

그러나 이와 같이 중요한 역할을 수행함에도 소재는 최종 제품에 비해 가치를 인정받지 못하는 경우가 대부분이다. 종이와 인쇄술의 예를 보자. 종이는 1~2세기 경 중국 후한의 채륜이 발명한 것으로 알려져 있다. 반면 인쇄술은 종이 발명 이후 기록 수요의 급증에 따라 7세기 말 목판 인쇄술이 최초로 발명되었으며, 13세기 초에는 금속활자가 발명되었다. 종이의 발명이 없었다면 인쇄술은 등장할 수조차 없었을 것이다. 네이처(Nature)의 편집인을 역임한 필립 볼(Philip Ball)은 이러한 사실을 반영하여, 그의 저서 'Made to Measure'에서 종이와 중세의 정보 혁명을 가능케 한 원동력이었다고 평가하고 있다. 그러나 적어도 현 시점에서만 본다면 역사적인 발명으로 종이보다는 인쇄술을 꼽는 사람이 많은 것이 사실이다. 인쇄술의 현란한 발전에 비해 종이는 별다른 변화가 없어 예전부터 당연히 존재하는 것이라는 인식이 지배적이기 때문이다.

소재가 상대적으로 빛을 발하지 못했던 데에는 이처럼 소재기술 진부화의 영향이 컸다고 할 수 있다. 혁신적인 소재기술 등장이 지연되면서 소재기업이 수요기업을 주도하지 못하게 되고, 따라서 소재 부문의 가치는 저하될 수밖에 없었다.

21세기는 소재가 경쟁력을 지배하는 시대

그러나 20세기 후반으로 들어서면서 소재산업은 획기적인 변화의 계기를 맞게 된다. 노벨물리학상 수상자인 리처드 파인만은 1959년 미국 물리학회 강연에서

“ 소재 기술 발전 및 경쟁 환경 변화에 따라 소재 경쟁력이 전체 사업의 경쟁력을 지배하는 시대가 도래할 것이다. ”

‘There is a plenty of room at the Bottom’이라는 유명한 말을 남긴다. 나노기술(NT)의 발전을 예견한 그의 말처럼 이후 NT는 비약적으로 발전하면서 분자 또는 더 나아가 원자 수준에서의 물질 조작을 현실로 만들고 있다. 물론 이전에도 용도에 따른 소재 설계가 가능했지만, NT의 등장으로 설계의 범위와 정확도가 비약적으로 향상된 것이다.

수요 측면의 변화도 혁신적인 소재의 등장을 재촉하고 있다. 글로벌화 진전에 따른 초경쟁시대 진입으로 차별적인 경쟁원천을 발굴해야 한다는 기업들의 압박감이 갈수록 심화되고 있다. 설상가상으로 환경규제 강화, 에너지 및 자원 가격 급등과 같은 급격한 경영환경 변화에 대해서도 대책 마련이 필요한 상황이다. 소재는 개발이 어렵지만 성공할 경우 장기간의 진입장벽 구축이 가능하고, 제품의 기능이나 성능에 미치는 영향이 그 어느 분야보다 크다. 이러한 점에서 소재 분야가 현 난국을 타개할 유력한 구원투수로 부상하고 있는 것은 어찌 보면 당연한 일이라 할 수 있다. 결국 소재기업이나 소재를 사용하는 수요기업 모두 소재 분야의 경쟁력 확보가 전체 사업의 경쟁력을 지배하는 시대가 도래하고 있는 것이다.

II. 어떤 소재가 유망한가

‘필요는 발명의 어머니’라고 하였다. 소재 역시 기본적으로 이러한 범주에서 벗어나기 어렵다. 20세기 중반 석유기반 플라스틱 개발이 급속히 진전된 것은 전후 세계 경제의 회복과 함께 값싸고 대량생산이 가능한 소재 수요가 급증했기 때문이다. 그러나 조금 더 구체적으로 들여다본다면 지금까지의 소재 개발 방식은 다분히 공급자 중심적인 성격이 강했다고 할 수 있다. 목표시장이 구체적이지 않다 보니 일단 개발해놓고 용도를 찾는 일이 보편적이었다. 때로는 원래 의도와 다른 결과가 나타나기도 하였다. 생각했던 용도는 수요가 지지부진한 데 의외의 용도가 빛을 보는 경우이다. 1960년대 초 미국 농무부는 토양의 물 보전 능력을 향상시키기 위해 자신의 무게의 수십 배의 수분을 흡수할 수 있는 고흡수성수지(Super Absorbent Polymer, SAP)를 개발한다. 그러나 농업용 수요는 크게 늘지 않았고, 정작 수요는 생리대나

“고객이 원하는 용도에 최적화된 맞춤형 소재의 비중이 갈수록 증가할 것이다.”

기저귀라는 엉뚱한 분야에서 터져 나왔다. 1970년대 말 일본의 산요화학이 흡수성을 대폭 개선한 소재를 개발하였고, 이 소재를 최초로 생리대에 적용한 것이다. 기존 소재(펄프, 탈지면 등) 사용에 불편함을 느끼고 있던 고객들의 호응에 힘입어 SAP 수요는 이후 급증하게 되었고, 현재는 생산량의 거의 대부분이 기저귀나 생리대용으로 사용되고 있다.

앞으로의 소재 개발 방식은 과거에 비한다면 훨씬 고객지향적이고 정교해질 것으로 예상된다. 첨단소재를 중심으로 지속적으로 신용도를 창출해가는 소재의 유형도 분명히 존재하겠지만 원하는 용도에 최적화된 맞춤형 소재의 비중이 갈수록 증가할 것이다. 최근의 환경 변화와 주요 기관들의 미래 예측 결과를 반영하여, 본고에서는 미래 유망 소재의 유형을 4가지로 정리하였다.^주 현재는 물론 향후에도 가장 큰 파괴력을 지니고 있는 환경 및 자원 이슈에 대응하기 위한 ①환경친화형 소재와 ②에너지 절약형 소재, IT기술의 진화에 따른 ③정보화 지원형 소재, 마지막으로 삶의 질 개선에 기여하는 ④첨단 기능형 소재 등이 그것이다(〈표 1〉 참조).

〈표 1〉 유망 소재의 유형 및 예시

| 유형 | 구분 | 유망 소재(예시) |
|---------|-----------------|--|
| 환경친화형 | 오염제거 및 처리 | 광촉매, 고기능성 멤브레인, 다공성 흡착 소재 등 |
| | 오염원의 사전 차단 | 재활용 소재, 바이오매스 기반 플라스틱, 중금속-free 소재 등 |
| 에너지 절약형 | 경량화 지원 | 탄소 섬유, 차세대 엔지니어링 플라스틱, 초경량 합금 등 |
| | 에너지 효율 향상 | LED 소재(기관, 발광소재), 차세대 단열재, 열전 변환 소재 등 |
| | 대체에너지 개발 지원 | 차세대 리튬 이온 전지 소재, 차세대 태양전지(염료형, 유기박막형) 소재, 수소저장 합금, 수소에너지 인프라(운반, 저장 탱크, 파이프) 관련 소재, 초전도 소재 등 |
| 정보화 지원형 | 정보의 저장 및 처리 | 차세대 반도체 소재, 나노 공정 소재(포토마스크, 포토레지스트), 절연소재 등 |
| | 디스플레이(정보표시) | 투명 전도성 소재(산화물계, 고분자계), 유/무기 발광소재, 광학 필름 소재, 나노잉크 소재 등 |
| 첨단기능형 | 외부 환경 변화에 능동 대응 | 자기 치유 소재, 형상기억 합금, 압전 소재, 차세대 기능성 섬유 등 |
| | 생물 기능의 모방 및 재현 | 생체 적합 소재(인공피부, 인공관절, 세포용 템플레이트), 나노표면 구조체, 광제어 박막 필름, 자기 조립 소재 등 |

주 : 미래 기술 및 사업환경 예측에 관한 자세한 내용은 LG 비즈니스 인사이트 1022호 '글로벌 트렌드를 통해 본 10대 미래 유망 기술 키워드'와, 1024/1025호 '해의 미래예측기관들이 보는 10년 후 세상'을 참조

“ 환경규제의 방식이 사후 규제에서 사전 예방을 강조하는 방향으로 전환되고 있어, 재활용 소재 등 예방형 소재가 각광을 받을 전망이다. ”

1. 환경친화형 소재

환경친화형 소재는 환경오염의 발생단계에 따라 오염을 제거하고 처리하는 환경오염 방지형 소재와 오염원을 사전적으로 차단하는 데 기여하는 환경오염 예방형 소재로 다시 나눌 수 있다. 환경규제의 방식이 사후 규제에서 갈수록 사전 예방을 강조하는 방향으로 전환되고 있어 장기적으로는 예방형 소재가 더욱 각광을 받을 것으로 예상된다. 방지형 소재 중에서는 수질 및 대기 오염 정화에 이용되는 멤브레인과 광촉매가, 예방형 소재 중에서는 각종 재활용 소재와 바이오 기반 소재 등이 유망할 것으로 보인다.

광촉매

광촉매는 빛을 받으면 활성산소를 발생시켜 세균이나 유해한 화학물질을 분해하는 작용을 하는 소재이다. 1960년대 후반 일본에서 최초로 개발된 이례 타일 등의 건축자재, 자동차 유리 등을 대상으로 주로 공기 정화나 항균용으로 이용되어 왔다. 그러나 지금까지의 광촉매는 태양광에 포함된 자외선에 주로 반응하여 실내에서의 사용이 제한적인 데다 신뢰성 있는 제품 평가기준 마련이 어려워 당초 예상만큼 시장규모 확대가 이루어지지 않고 있다. 이에 따라 실내 조명에서도 본래의 효과를 발휘할 수 있는 제품 개발이 요구되어 왔고, 최근 들어 그 성과가 나타나고 있다. 파나소닉전공, 스미토모금속, 오사카티타늄, 도시바 머티리얼 등의 참여 기업들은 이를 바탕으로 건축자재, 냉장고 등의 가전제품, 자동차 내장재, 창유리 등으로 광촉매의 용도 확대를 적극적으로 추진할 계획이다. 광촉매 세계 시장규모는 현재 1천억 엔 미만 수준이나, 2015년에는 이보다 4배 이상 성장한 4천억 엔에 달할 것으로 업계는 예상하고 있다.

가능성 멤브레인

한편 물질의 선택적 분리를 담당하는 멤브레인(Membrane) 분야에서는 물산업의 급속한 성장과 함께 고분자 분리막의 지속적인 성장이 예상된다. 보다 장기적으로는 고온 분리막으로 사용되는 세라믹 제품 수요가 호조를 보일 전망이다. 세라믹 분

“ '도시 광산'으로 잘 알려진 금속 재활용은 소재시장의 새로운 발견에 비견할 만하다. ”

리막의 경우 제조공정이 복잡한 반면 고온, 고압 등의 극한 환경에서 작업이 가능하기 때문에 선진국을 중심으로 소재 연구가 활발히 진행 중이다. 산소, 이산화탄소 등의 고순도 분리 및 회수 기술, 화학 반응과 분리를 동시에 수행하는 분리막 반응기 등도 개발 중이다.

재활용 소재

재활용 소재 역시 유망한 소재로 꼽힌다. 자원 가격 상승과 환경규제 강화로 재활용 제품의 가격경쟁력이 향상되고 있는 데다, 벤처와 대기업 등의 참여로 기술 발전까지 더해지면서 생산성 및 품질까지 개선되는 추세이다. '도시 광산'으로 잘 알려진 금속 재활용은 소재시장의 새로운 발견에 비견할 만하다. 일본의 물질·재료 연구 기구는 일본 내 가전제품 등에 축적된 금속의 매장량이 세계 연간소비량 기준으로 리튬은 7.4년 분, 백금은 5.7년 분, 희소금속은 2.5년 분에 이른다고 발표했다. 도와 홀딩스, 닛꼬금속, 미쓰이금속 등 비철금속 대기업들의 참여가 잇따르고 있으며, 전문기술을 지닌 기업들도 등장하고 있다. 프레이금속은 루테튬이라는 희소금속(백금 부산물로 하드디스크 드라이버 재료로 사용) 재활용 분야에서 독보적인 기술을 축적해 성공한 기업이다. 경쟁기업에 비해 효율이 높은 정제기술을 확보함으로써 일본은 물론 해외로부터도 재활용 의뢰가 들어오고 있으며, 최근에는 미쓰비시상사 및 미쓰비시 머티리얼과의 희소금속 재활용 사업 협력을 검토 중이다.

장기적으로는 이산화탄소 재활용도 눈여겨 보아야 할 분야이다. 대표적인 온실가스로 알려진 이산화탄소는 각국이 효과적인 처리를 위해 골머리를 앓고 있으나, 분리·저장 이외에는 뾰족한 대안이 제시되지 못하고 있다. 이에 따라 선진국을 중심으로 이산화탄소를 화학 제품의 원료나 연료로 활용하는 방안이 꾸준히 연구되어 왔다. 이미 PC(폴리카보네이트), 폴리우레탄 원료로 이산화탄소를 활용하는 방안은 실용화 단계에 들어서고 있으며, 최



대기중의 이산화탄소를 활용하여 만든 고분자 소재(Novomer)

“ 자동차 시장은 에너지 절약을 위한 소재 간 경량화 경쟁이 가장 치열하게 전개될 분야이다. ”

근에는 이산화탄소로 직접 고분자 재료를 합성하는 연구가 활발히 진행되고 있다. 미국의 곡물기업인 카길과 벤처기업인 Novomer, 일본의 스미토모화학과 데이진 등이 연구에 나서고 있으며, 우리나라의 SK에너지도 얼마 전 이산화탄소 플라스틱 연구 계획을 밝힌 바 있다. 애물단지로 전락한 이산화탄소가 고부가가치 자원으로 변신할 날도 머지않아 보인다.

2. 에너지 절약형 소재

에너지 절약형 소재는 경량화에 기여함으로써 간접적으로 에너지를 절약하게 해주는 소재와 직접적으로 에너지 효율 향상에 기여하는 소재, 마지막으로 대체에너지 개발에 기여함으로써 화석연료 사용을 줄여주는 소재 등 크게 세 가지 세부 유형으로 다시 구분할 수 있다. 경량화 소재의 예로는 탄소섬유나 초경량 금속 등을 들 수 있고, 에너지 효율 향상 재료로는 LED 재료, 단열재 등이 유망할 것으로 예상된다. 이밖에 대체에너지 개발에 따라 리튬이온전지, 태양전지, 수소에너지 관련 재료 등도 고성장이 예상되는 분야이다.

〈표 2〉 자동차용 소재 간 경량화 경쟁

| 경량화 소재 | 대체 소재 (Material Replaced) | 중량 감소율 (%) | 상대적 비용 (재료, 생산비 포함) |
|---------------|---------------------------|------------|---------------------|
| 고강도 스틸 | 저강도 스틸 | 10 | 1 |
| 알루미늄 | 스틸, 주철 | 40~60 | 1.3~2 |
| 마그네슘 | 스틸, 주철 | 60~75 | 1.5~2.5 |
| 마그네슘 | 알루미늄 | 25~35 | 1~1.5 |
| 유리강화 플라스틱 | 스틸 | 25~35 | 1~1.5 |
| 그라파이트 강화 플라스틱 | 스틸 | 50~60 | 2~10+ |
| 알루미늄 매트릭스 복합재 | 스틸, 주철 | 50~65 | 1.5~3+ |
| 티타늄 | 합금 스틸 | 40~55 | 1.5~10+ |
| 스테인레스 스틸 | 탄소 스틸 | 20~45 | 1.2~1.7 |

자료 : MRS Bulletin

탄소섬유

먼저 현재 성장성이 가장 돋보이는 탄소섬유의 예를 보자. 탄소섬유는 무게가 철의 1/4에 불과한 반면 강도는 10배에 달하는 첨단소재이다. 뛰어난 물성에도 가격이 워낙 비싸 그동안은 전투기나 스포츠카, 골프채 등 한정된 분야에만 사용되어 왔다. 그러나 고유가와 환경규제 강화로 항공기의 연비 절감 요구가 높아지면서 새로운 성장의 전기를 마련하게 된다. 보잉을 시작으로 주요 항공기 제조사들이 탄소섬유

“ 에너지 효율을 높일 수 있는 LED 소재와 건축자재도 각광을 받을 전망이다. ”

사용 확대 계획을 발표하고 있는 것이다. 보잉의 최신 기종인 B787의 경우 주날개 및 동체의 약 50%를 탄소섬유강화플라스틱으로 대체할 예정이며, 이렇게 될 경우 대당 30톤의 탄소섬유가 사용된다고 한다. 현재 세계 탄소섬유 시장은 도레이와 미쓰비시레이온, 데이진 등 3사가 주도하고 있다. 이들 기업들은 공격적인 생산능력 확대와 함께 탄소섬유의 또 다른 용도 개발에도 적극 나서고 있다. 탄소섬유 기업들이 공통적으로 주목하고 있는 분야는 자동차 산업이다. 도레이의 시산에 의하면 자동차 차체의 17%를 탄소섬유로 대체하면 30%의 경량화가 가능하며, 연비는 20% 개선될 수 있다고 한다. 한편 자동차 경량화 분야는 철강 및 석유화학 기업들도 관심이 높은 분야로 향후 소재 간 경쟁이 치열하게 전개될 것으로 예상된다(〈표 2〉 참조).

LED소재 및 고효율 단열재료

에너지 효율 향상에 대한 요구는 주로 조명, 건축 등의 분야에서 나타나고 있으며, 소재 개발의 방향도 이러한 흐름에 맞춰지고 있다. LED(Light Emitting Diode) 조명이 대표적이다. 백열등 대비 80%, 형광등 대비 50%의 높은 에너지 절감 효과와 함께 장수명을 자랑하는 LED는 차세대 조명의 총아로 떠오르고 있다. 각국이 경쟁적으로 LED 조명 산업을 육성하는 가운데 LED 소재 분야도 급성장이 예상된다. 그 중에서도 형광체 원천기술을 보유한 일본의 니치아화학과 도요타고세이, 미국의



백열전구와 형광등을 대체할 것으로 예상되는 LED 조명



에어로젤의 높은 열차단 효과를 보여주는 사진(미국 NASA JPL)

“ 대체에너지 관련 소재 중에서는 당분간 리튬이온전지용 재료가 가장 유망할 것으로 보인다. ”

CREE, 독일의 오스람 등이 성장을 주도하는 가운데 후발 기업들의 추격이 갈수록 거세질 전망이다.

에너지 효율을 높일 수 있는 건축자재도 각광을 받을 전망이다. 마쓰시타전기는 유리섬유를 이용한 주택용 진공단열재를 개발하였다. 이 제품은 일반적인 단열재로 사용되는 글라스울에 비해서는 16배 이상, 경질 우레탄폼에 비해서는 9배 이상의 단열효과를 지닌 것으로 평가되고 있다. 우주 소재로 쓰인 에어로겔 (Aerogel)도 미래의 단열재로 평가받고 있다. 1930년대에 나왔지만 1997년 화성탐사 로봇 소저너의 단열재로 쓰이면서 다시 주목받기 시작했고 이후 우주선 ‘스타더스트’에서는 우주 물질 채집 역할도 하였다. 머리카락의 1만 분의 1 굵기인 실과 실 사이에는 공기 분자들이 전체 부피의 98%를 차지하여 밀도가 공기와 비슷하다. 지구상에서 가장 가벼운 고체로 기네스북에 기록되기도 하였다. 섭씨 1,100℃에서도 전혀 타지 않고, 높은 단열성, 방음력, 500g으로 자동차 무게를 견딜 정도의 강도, 높은 투광성을 지녔다. 대량 생산될 경우 건축자재는 물론 촉매, 흡착제, 자동차 소재로의 응용도 기대된다.

단열 도료나 차열 필름도 개발되고 있다. 일본의 태양도료 등 3사가 공동 개발한 단열 도료는 고온을 견뎌내는 우주 로켓용 도료 기술을 이용하여, 주택의 표면온도 상승을 억제하는 효과를 발휘한다. 한편 스미토모3M은 적외선을 반사시켜 실내 온도 상승을 차단하는 창유리용 차열필름을 개발, 시판하고 있다. 에너지 효율이 높은 건축용 재료는 현재 가격이 비싸 보급에 애로를 겪고 있지만, 상대적으로 낙후된 주택 분야의 에너지 효율을 높이기 위한 각국 정부의 정책적 지원이 예상됨에 따라 보다 다양한 종류의 제품이 시장에 선을 보일 전망이다.

대체에너지 관련 소재

마지막으로 대체에너지 관련 소재 중에서는 리튬이온전지용 재료가 가장 각광을 받을 전망이다. 리튬이온전지가 그동안 휴대폰이나 노트북 컴퓨터 전용에서 하이브리드 자동차 및 전기자동차용으로 용도를 넓혀감에 따라 전지재료 수요도 급성장을 할 것으로 보이기 때문이다. 이에 따라 세계 최강인 일본을 중심으로 전해액, 세퍼레이터, 음극/양극 재료 등을 생산하는 업체들의 생산능력 확대 및 신규 참여가 활발하게 이루어지고 있다. 보다 장기적으로는 태양전지나 수소에너지 관련 재료가 유망할 것

으로 보인다. 태양전지의 경우 기존의 실리콘 재료는 물론 유기박막태양전지재료, 염료감응형 태양전지재료 등도 수요가 증가할 전망이다.

“ 정보화 지원형 소재 중에서는 투명 전도성 소재를 주목할 필요가 있다. ”

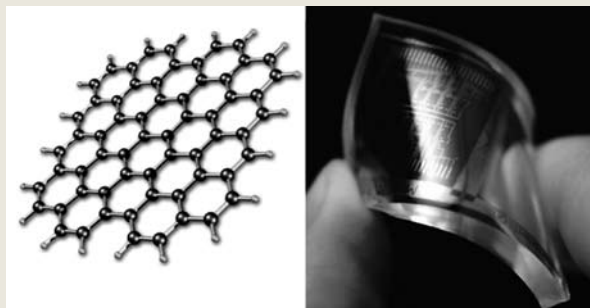
3. 정보화 지원형 소재

10년도 더 된 ‘정보화 시대’라는 말이 이제는 식상하기도 하지만 여전히 유효하다는 사실은 부인하기 어렵다. 10년 전에 1.44MB 저장용량의 3.5인치 디스켓을 가지고 다녔다면, 요즘은 8GB의 초소형 USB 메모리를 휴대폰 액세서리로 사용하고 있다. 그럼에도 불구하고 저장장치의 발전은 소비자의 욕구를 따라가기에 바쁜 실정이다. 유비쿼터스 세상이 열리면서 정보의 유통과 그에 따른 처리량이 급증하고 있다는 것이 하나의 요인일 것이다. 구태여 말하자면 요즘 세상은 ‘초고속, 초고밀도 정보화 시대’라고 정의할 수 있다. 정보의 저장과 처리, 표시를 담당하는 소재 역시 새로운 정보화 시대의 환경에 맞도록 발전해야 함은 당연한 사실이다.

미래 전자 산업과 에너지 산업의 핵심 소재, 그래핀

그래핀(Graphene)은 2004년 영국 맨체스터 대학의 연구진이 ‘Science’ 저널에 발표함으로써 세상에 알려졌다. 이 물질은 우리가 흔히 접하는 연필심의 성분인 흑연(Graphite)과 유사하다. 꼭지점이 탄소로 구성된 육각형이 연결되어 만들어진 낚시 그물이 있다고 가정하자. 이 그물이 여러 겹으로 겹치게 되면 흑연이고, 한 겹으로 존재하면 이것이 바로 그래핀이다. 그래핀은 매우 안정적이고 기존의 반도체 소재인 실리콘보다 50~500 배의 속도로 전기가 통하고, 구리보다 100배나 많은 전류가 흐르는 등의 놀라운 특성을 지니고 있다. 이러한 점에서 그래핀은 기존의 기술을 대체할 차세대 트랜지스터 및 전극 소재로 주목을 받고 있다. 나노미터 수준

의 얇은 층으로 이루어져 투명하고 플렉서블한 특성의 구현도 가능하다. 양산기술 개발 등 아직 가야 할 길은 멀지만 그래핀의 뛰어난 물리화학적 특성은 차세대 디스플레이, 태양전지, 반도체 등의 핵심 소재로 주목하기에 부족함이 없을 것이다.



“ 전도성 고분자나 탄소나노튜브를 기반으로 한 플렉서블 투명 전도성 소재도 개발되고 있다. ”

투명 전도성 소재

정보화 지원형 소재 중에서는 반도체 소재를 비롯하여 워낙 유망한 소재가 많이 있지만, 발전성 면에서 향후 가장 주목해야 할 대표적 소재로 투명 전도성 소재를 설명하고자 한다. 소니는 2007년 ‘Futuristic Vaio Zoom’이라는 노트북 컨셉을 선보

인 바 있다. 디스플레이를 사용하지 않을 때는 투명한 유리가 되고 사용할 때는 홀로그래피 영상이 나타나는데, 여기에 투명 전도성 소재가 사용된다. 투명 전도성 소재란 투명함과 전기가 통하는 특성을 모두 가지고 있는 소재로, 주로 여러 디바이스에서 전기를 통하게 하기 위한 전극의 용도로 사용된다. 우리가 흔하게 생각하는 전극은 구리, 알루미늄 등 불투명한 금속이다. 그러나 LCD, PDP 등의 디스플레이, 터치스크린 등은 내부에서 발생한 영상을 사람들이 보기 때문에 투명한 전극의 사용이 필요하다. 태양전지도 전기를 발생시키기 위해서는 햇빛의 투과가 중요하기 때문에 투명한 전극을 사용하고 있다. 이외에도 많은 용도가 있지만, 전극용 소재만 하더라도 투명 전도성 소재의 대상 시장은 막대하다는 것을 알 수 있다.

한편 최근에는 투명 전도성 소재를 보다 값싼 소재로 대체하거나, 플렉서블한 특성을 부여하기 위한 시도가 활발하게 이루어지고 있다. 휴렛팩커드(HP)는 차세대 산화물(세라믹) 계열 소재에 대한 원천 특허를 바탕으로 다양한 투명 디바이스 및 부품을 적극적으로 개발 중이다. 전기가 통하는(전도성) 고분자나 탄소나노튜브를 기반으로 한 플렉서블 투명 전도성 소재도 개발되고 있다. 이렇게 될 경우 유기박막태양전지, 플렉서블 디스플레이용 등으로 대상시장은 더욱 확대될 전망이다. 금년도 미국 CE Show에서 소니가 선보인 플렉서블 OLED TV는 투명 전도성 소재의 잠재력을 엿볼 수 있는 제품의 하나라고 할 수 있다.



HP의 투명 디바이스 컨셉, 소니 노트북 컨셉, 소니의 Flex OLED TV(위로부터)

4. 첨단 기능형 소재

자기치유 소재

지난 2005년 일본의 닛산자동차는 자기치유(self healing) 코팅 처리를 한 자동차를

“ 삶의 질 개선을 위한
첨단 기능형 소재의
역할이 확대될
것이다. ”

발표하였다. 일본페인트와 공동으로 개발한 이 코팅제는 흠집이 생겼을 경우 하루에서 일주일 사이에 원래 상태로 회복된다. 한편 GM은 형상기억 합금이나 고분자 등 소위 ‘스마트 재료’ 기술을 적용한 자동차를 2010년까지 개발한다는 계획이다. 에어뎀, 리어 스포일러, 공기 흡입구, 핸들 등 각종 부품에 적용되는 이 기술은 온도나 압력 등 외부 환경 변화에 능동적으로 대응함으로써 고객 편의 및 자동차의 성능을 높이는 데 기여할 것으로 GM은 기대하고 있다. 최근 프랑스 국립과학원(CNRS)에서 개발한 소재는 칼로 두 조각을 내면 각 마디가 다시 하나로 합쳐지는 신기한 재생능력을 갖추고 있다. 울이 나갔을 때 저절로 기워지는 옷이나 오랜 기간 유지되는 코팅제에서부터 인공 뼈, 인공 인대 등 다양한 용도에 사용될 수 있을 것으로 평가되고 있다. 자기치유 고무로 불리는 이 제품은 프랑스 화학기업인 Arkema가 이미 시제품 생산을 마치고 응용 제품 개발에 들어간 상태이다.

소재의 진화를 단적으로 보여주는 사례들이다. 하지만 공통적인 특징이 하나 있다. 혁신기술의 특성상 용도를 특정하기는 어렵지만 대부분의 연구가 사람들의 불편을 해소하기 위한 목적에서 출발했다는 것이다. 첨단 기능형 소재는 많지만 삶의 질 개선을 위한 소재가 상대적으로 유망할 것으로 보는 이유가 여기에 있다.



자기 치유 코팅된 자동차의 스크래치 회복 전후 모습 (닛산 자동차)

생체적합소재

생물 기능을 모방하거나 재현하는 소재 역시 이러한 조건을 충족시킨다. 생체적합 소재가 대표적이다. 생체적합소재는 인간의 생체 면역 반응에서 거부 반응이 나타나지 않으면서 기존의 생체조직과 같이 반응하는 인공 소재를 말한다. 고령화 사회로의 진입에 따라 노화되거나 병든 생체조직을 인공 조직으로 대체하려는 수요는 갈수록 늘어날 것으로 전망된다. 과거 다우코닝의 의료용 실리콘 부작용 사건 이후 기업들의 참여가 한동안 위축되었었지만, 최근 들어 다시 활기를 되찾고 있는 분위기다. 영국 ICI에서 분사된 Victrex가 인체삽입용 폴리머 시장에서 주도적 지위를

“ 자연의 기능을 모방한 소재 역시 지속적으로 각광을 받을 전망이다. ”



상어의 피부 돌기를 모방하여 물과 수영복의 마찰력을 획기적으로 줄여주는 수영복

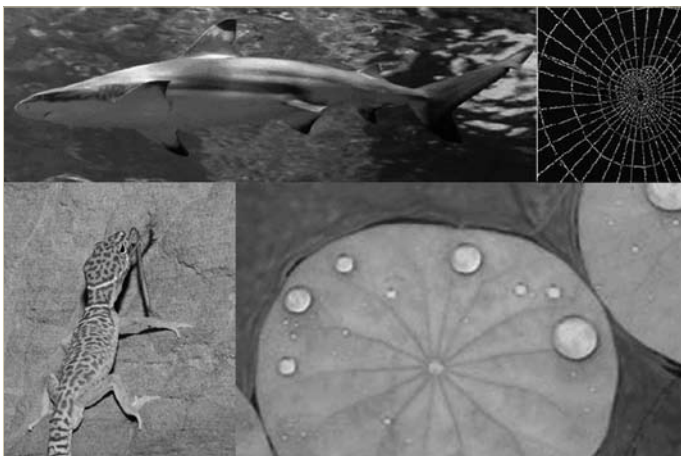
점하고 있는 가운데 최근에는 예보닉, 솔베이 등이 시장 진입에 나서고 있다. 이밖에 네덜란드 DSM은 초고분자량 폴리에틸렌을 통해 의료용 봉합소재 및 관절 대체 소재를 공급하고 있으며, 다양한 벤처기업을 통해 인체삽입용 물질 개발에 투자하고 있다.

생물기능 모방소재

다소 전통적이기는 하지만 자연의 기능을 모방한 소재 역시 지속적으로 각광을 받을 것으로 전망된다. 최근의 예만 보더라도 2008년 북경올림픽에서 수영의 8관왕 마이클 펠프스 등 많은 선수들이 입어 좋은 성과를 기록했던 스피도의 수영복이 있다. 미국 항공우주국(NASA)과 공동으로 개발한 이 제품은 상어 피부 표면에 삼각형 돌기들이 수없이 나있는 것을 모방한 것이다. 수많은 돌기들이 물과 표면의 마찰력을 5% 이상 줄여줘 기록 단축이 가능했다는 설명이다. 비슷한 예는 도로 개발에서

도 찾아 볼 수 있다. 선박바닥용 도료를 개발 중인 일본페인트마린은 돌고래나 참치의 몸통에 점막이 있어 마찰 저항을 줄인다는 사실을 알아내어, 물과 접촉하면 도로 표면에 겔막이 형성되는 신제품을 개발하였다. 이 제품은 기존 제품에 비해 3배 정도 비싸지만 선박의 연비가 4% 개선됨으로써 경제성을 충족시킨다는 것이 개발기업의 주장이다.

나방의 눈을 모방한 반사방지 필름, 연잎을 모방한 발수 섬유, 전복 껍질을 모방한 철갑 탱크 등 자연의 기능을 모방한 제품의 사례는 끝이 아니라 이제



자연의 기능을 모방하여 제품 개발에 반영하기 위한 시도는 계속될 전망이다.

시작이라고 할 수 있다. NT 등 과학기술의 발전에 따라 그 동안 신비에 가려져 있던 자연의 비밀이 하나 둘씩 풀릴 수 있기 때문이다. 어쩌면 우리가 직면한 모든 문제의 답은 자연에서 찾을 수 있을지도 모른다.

“ 소재 개발에 있어서는 개발 목표의 명확한 설정과 역량의 집중이 공통적으로 강조되는 추세이다. ”

Ⅲ. 어떻게 개발할 것인가

지금까지 소재의 중요성과 향후 주목해야 할 유망 소재에 대해 살펴보았다. 그러나 유망 소재를 개발한다는 것이 말처럼 쉬운 일은 결코 아니다. 사례에서 볼 수 있듯이 지금은 유망하지만 수십 년 만에 빛을 본 소재가 적지 않다. 이러한 이유에서 많은 기업들이 노력하고 있지만 아직도 성공하는 경우보다는 실패하는 경우가 많다. 일부 기업들은 아예 새로운 소재 개발을 포기하기도 한다. 왕도는 없겠지만 우리보다 앞선 선진 기업들의 소재 개발 동향을 통해 유망 소재 발굴이라는 난제 해결의 실마리를 찾아보기로 한다.

소재기업들, 개발 목표의 명확한 설정과 고객지향적 연구 강화

소재기업들치고 유망 소재 발굴에 적극적이지 않은 기업은 없을 것이다. 그러나 수요산업의 급격한 환경 변화와 소재기업 간의 경쟁 가열은 연구개발 효율을 저하시키는 요인으로 작용하고 있다. 이에 따라 기업 규모에 따라 차이가 있지만 개발 목표의 명확한 설정과 역량의 집중이 공통적으로 강조되는 추세이다.

듀폰은 전세계 50개의 R&D 센터를 기반으로 2007년에만 약 2천 개의 특허를 출원하면서, 대표 소재기업으로서의 위상을 과시하고 있다. 이러한 기술 역량을 바탕으로 최근 5년 간 출시된 신제품 매출은 2003년 60억 달러에서 2007년에는 100억 달러 이상으로 증가하고 있다. 그렇다고 해서 듀폰의 R&D 영역이 규모에 비해 넓은 것은 아니다. 듀폰의 R&D 파이프라인을 II장에서 제시한 유망 소재 유형으로 재 분류하면 <그림 1> 과 같다.

대부분의 연구 과제가 환경, 에너지, 전자재료 분야에 집중되어 있고, 첨단 기능

“ 바스프는 유망 소재
발굴을 위해 연구개발
아웃소싱을 효과적으로
활용하는 사례이다. ”

형 소재 역시 바이오, 안전 등 듀폰의 핵심역량에 기반하고 있다. 바스프의 경우는 BASF Future Business라는 독특한 조직 운영이 특징이다. 바스프의 자회사인 이 조직은 내부의 미래 연구 프로젝트, 정부 프로젝트, 합병 등을 통한 신사업·신기술 발굴 및 사업화의 역할을 담당한다. 또한 이 회사의 100% 자회사인 BASF Venture Capital은 파괴적인 혁신기술의 외부 발굴과 바스프의 5대 성장 클러스터에 부합되는 아이템을 발굴하는 역할을 맡는다. 즉 바스프는 5대 성장 클러스터 육성이라는 목표 달성을 위해 연구개발 아웃소싱을 효과적으로 활용하는 사례라 할 수 있다(〈그림 2〉 참조).

최근에는 목표를 보다 구체적으로 설정하여 고객의 니즈를 최대한 빠르게 충족 시키려는 시도가 늘고 있다. 미쓰비시화학은 지난해 전기자동차 시제품을 제작하였다. 자동차회사도 아닌 기업이 왜 자동차를 만든 것일까? 이 차의 동력원은 리튬이온전지이며, 차 지붕에는 유기태양전지가 탑재되어 있다. 또한 차체의 60%는 플라스틱 복합소재를 사용하여 무게를 일반 차량의 절반 수준으로 줄였다. 차 내부의 실내 조명은 LED를 사용한다. 모든 제품이 미쓰비시화학 및 관계사에서 개발하고 있는 제품들이다. 미쓰비시는 애초부터 자동차기업을 고객으로 설정하여 개발 제품을 선정하였고, 개발 진행 과정에서 자사의 신소재를 홍보하고 고객의 의견을 수렴하

〈그림 1〉 듀폰의 R&D 파이프라인

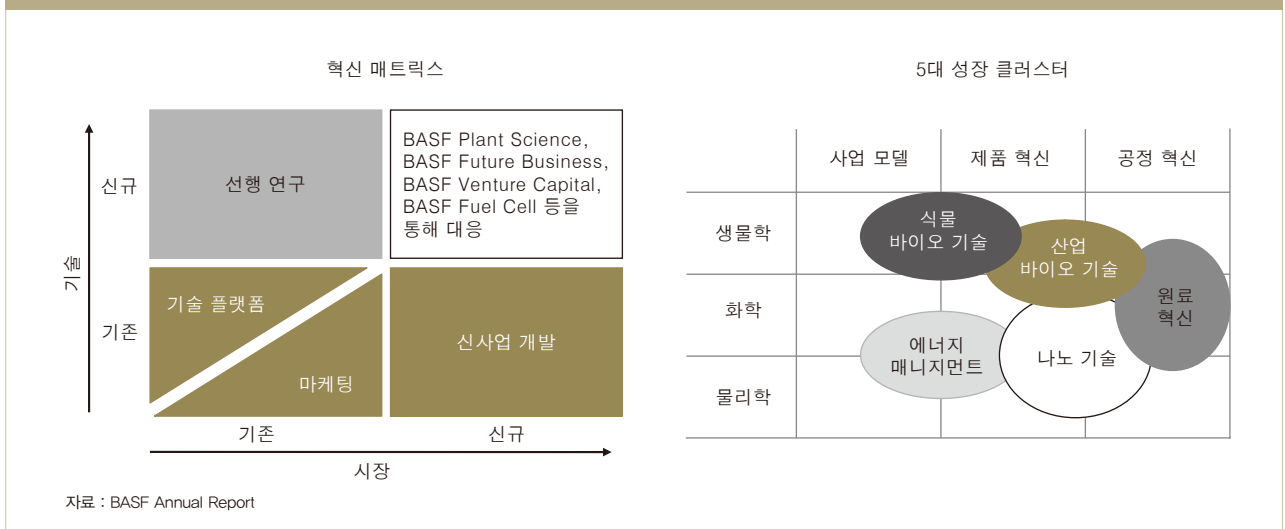


“ 소재기업에 있어서는
신공정 개발 또한
새로운 소재 개발에
비유할 만하다. ”

기 위해 이러한 행사를 기획하였다고 한다. 철강기업인 포스코 역시 차세대 성장동력으로 자동차 강판소재를 선택한 바 있다. 포스코는 이의 효과적 추진을 위해 2003년 자동차강재연구센터를 설립하였다. 'EVI(Early Vendor Involvement)'라는 전략 하에 자동차 강판 고객사가 신차 개발 초기 단계부터 참여해 필요한 철강소재를 제안하고 포스코와 공동으로 최적의 솔루션을 도출하는 것을 활동의 목표로 삼는다. 포스코는 이러한 활동을 통해 2006년 현대자동차와 초고강도 자동차용 강판을 공동 개발하는 데 성공했으며, 2007년에는 미국 포드로부터 우수 공급사 인증인 Q1 인증을 획득하기도 하였다.

마지막으로 소재기업에 있어서는 신공정 개발 또한 새로운 소재 개발로 비유할 수 있다. 에너지 및 환경 문제가 갈수록 심화되는 상황에서는 오히려 신공정 개발이 기업에게 보다 가치있는 활동이 될 수 있다. 유리 제조업체인 아사히글라스는 동양글라스 등과의 공동 연구를 통해 '기중용해법'이라는 새로운 유리 제조공정을 개발하였다. 거대한 용해로가 필요한 기존 공법에 비해 에너지 사용량을 무려 60% 감소시킬 수 있는 혁신적인 공정이다. 2010년 아사히글라스가 새로운 공정을 성공적으로 도입하게 되면, 이는 유리 제조공정 발명 150년 만에 최초의 신공정으로 기록될 것이다.

<그림 2> BASF의 혁신 매트릭스 및 5대 성장 클러스터



“ 혁신 제품을 중심으로
소재기업과 수요기업
간의 공동연구가
활성화 되고
있다. ”

갈수록 중요해지는 수요기업과의 공동연구

소재의 중요성이 강조되면서 나타나는 중요한 특징 중 하나는 수요기업들의 소재에 대한 관심이 대폭 높아지고 있다는 점이다. 소재에 대한 이해 없이는 차별화된 제품 개발이 어렵고, 특히 혁신제품 시장을 선점하기 위해서는 소재의 이해가 필수적이다. 2003년 도요타자동차는 자동차기업 최초로 바이오매스기반 플라스틱을 인테리어 부품에 채용하였다. 이후 바이오매스기반 플라스틱의 채용은 점차 확대되어, 2009년에는 인테리어 부품의 60%를 생태 플라스틱(Ecological Plastics, 바이오매스기반과 석유기반의 혼합제품 포함)으로 채운다는 계획이다. 그러나 도요타가 이러한 계획을 위해 직접 바이오매스기반 플라스틱 원료를 제조했다는 사실을 아는 사람은 많지 않다. 지금은 다른 기업에게 넘겼지만 도요타는 새로운 제품의 생산기술을 획득하기 위해 직접 파일럿 플랜트를 건설하고 운영하기까지 하였다. 소니 역시 신사업 개척을 위해 첨단소재 기초 연구를 강화하고 있다. 전자재료를 주로 연구하던 기존의 ‘소재 연구소’를 ‘첨단소재 연구소’로 이름을 바꾸고, 연구 영역도 의료, 일렉트로닉스, 환경관련 제품, 차세대 전지용 소재에 특화하도록 했다. 기존의 가전 사업 실적 악화로 고전하고 있는 소니는 이를 통해 신사업을 창출하고 신규 제품에도 응용하겠다는 계획이다.

수요기업의 소재에 대한 이해도가 높아지면서 혁신 제품을 중심으로 소재기업과 수요기업 간의 공동연구도 활성화되는 추세이다. 단순한 소재 조달과 공급 관계에서 벗어나 유기적인 협조체계 구축이 가능해지는 것이다. 수요기업은 제품의 성능을 높이고 개발기간을 단축해 시장을 선점할 수 있고, 소재기업은 품질 개선과 함께 안정적인 수요처를 확보할 수 있으니 상호간의 이해관계도 일치한다. 대표적인 사례는 LED 조명 분야에서 찾을 수 있다. 향후 LED 조명 시장의 주도권 확보를 위해 조명 기기 업체와 소재기업 간의 합종연횡이 본격화되고 있다. 필립스, 오스람, CREE 등이 인수·합병 등을 통해 소재로부터 기기까지의 강력한 수직계열화 체제를 구축하자, GE와 줌토벨 등의 경쟁기업들은 소재기업과의 제휴를 통해 맞서고 있다. 2006년 GE의 자회사인 GE Lumination은 세계 1위의 LED 기업인 니치아화학과의 전략적 제휴를 맺었으며, 이어서 오스트리아의 세계적 조명기업 줌토벨은 도요타고세이와

“ 소재 경쟁력 확보를 위한 구체적인 방안에 대해 고민이 필요하다. ”

합작기업을 설립하였다. 이외에 유기박막태양전지에서 보쉬(모듈 및 시스템)와 바스프(소재)가, 항공기용 복합재료 분야에서 보잉과 도레이가 협력관계를 강화하고 있다. 이러한 사례는 곳곳에서 찾아 볼 수 있으며, 향후 더욱 활성화될 전망이다.

이윤 창출을 목적으로 하는 기업에 있어서 기초 연구를 지나치게 강조한다는 것은 쉽지 않은 일이다. 경쟁에서 앞서가기 위해서는 유망 소재를 발굴해야 하고, 그러기 위해서는 기초 연구를 강화해야 하는데 오랜 시간과 비용이 걸림돌로 작용한다. 기업에 따라 다소의 차이는 있겠지만 모든 기업들이 이러한 딜레마적 상황에 직면하고 있다. 선진기업들의 사례를 통해 얻을 수 있는 시사점은 크게 두 가지다. 하나는 핵심역량을 활용하여 목표 시장을 명확히 설정하고, 철저히 고객에 집중하라는 점이다. 다른 하나는 수요기업과의 협업을 통해 리스크를 줄이고, 성공의 확률을 높이라는 점이다. 장기적이고 일관성 있는 연구개발 정책은 기본이다. 소재 경쟁력의 확보 없이는 미래의 경쟁력을 논하기 어려운 시대다. 피할 수 없다면 이를 확보하기 위한 방안을 찾기 위해 보다 철저히 고민해야 할 것이다. www.lgeri.com

참고문헌

“의료용 폴리머”, 화학저널, 2009.1.5.
 “이산화탄소를 원료로 하는 고분자 합성 기술”, KISTI, 2008.12.
 Duncan Graham-Rowe, “Better Graphene Transistor”, Technology Review, 2008. 3. 17.
 Joseph A. Carpenter Jr., “Road Transportation Vehicles” Materials Research Society (MRS) Bulletin, 2008. 33, 439
 Philip Ball, “Made to Measure: New Materials for 21st Century”, Princeton University Press, 1998.
 Prachi Patel-Predd, “Carbon-Dioxide Plastic Gets Funding”, Technology review, 2007. 11. 14.
 William A. Sahlman, Taz Pirmohamed, “Aspen Aerogels”, Havard Business Review, 2003. 10.1.
 듀폰, BASF, 미쓰비시화학, 아사히글래스, 포스코 등 각 사 웹사이트, Annual Report, IR 자료
 日經産業新聞 각 호