

해설

광물섬유 시장의 성장

이 석 훈

한국기초과학자원연구원 나노환경연구부

광물섬유는 크게 유리섬유(glass fiber)와 암석섬유(rock fiber)로 구분되는데 산업적으로 널리 이용되는 것은 유리섬유이다. 유리섬유산업은 건설산업과 관련된 절연유리섬유(Insulation Fiber Glass: IFG) 분야와 운송, 건설, 전자분야에 응용되는 강화유리섬유(Reinforcement Fiber Glass: RFG)로 구분된다.

최근 몇몇 지역에서는 전자와 건설시장의 어려움으로 인해 유리섬유산업이 어려웠지만, 2003년에는 새로운 시장을 꺾으면서 회복될 것으로 전망된다.

유리섬유다발(glass fiber batch)은 모래(silica sand), 탄산염광물(carbonate), 카올린(kaolin)과 같은 유리질 광물들로 만들어지나, 특정한 성질과 용도로 사용하기 위해 붕산염 광물을 첨가하기도 한다.

유리섬유산업 광물 공급업자 대부분은 강화유리 섬유상품에서 붕산염(borate)를 제거하는 선두적 제조업체인 오웬코닝사의 결정을 제외하고는 변화가 거의 없는 다발형태(batch formulation)를 개발할 것이다. 다음 글은 이와 같은 추세가 광물 산업에 어떤 영향을 끼칠지, 어떻게 공급업자들이 가까운 미래의 시장 상황을 예측할 수 있을지 검토해 보고자 한다.

유리 섬유

명명법

유리섬유라는 용어는 산업분류상 절연제와 강화제로 구분되어 사용되지만 제조회사에서 시장 전략 또는 회사의 목적에 적합하도록 이 분류를 다양화시켰다. 상품용어로는 fibreglass(미국에서는 firberglass)로, 기술적인 용어로는 glass fibre로 사용되고 있다. 'Fiberglas'는 오웬코닝사(Owens Corning)의 제품명이고, 오웬코닝사에 팔린 영국의 Pilkington PLC는 'Fibreglass'라는 제품을 등록했다. 절연섬유유리와 강화섬유유리 용어는 상업적으로 널리 사용되고, 그 약어를 IFG와 RFG로 이 글에서 사용하고자 한다.

절연 유리섬유 : IFG 또는 유리솜(glass wool)으로도 알려진 이 물질은 매트, 롤러(roll), 패드, 이불속의 솜 같은 것으로 이용된다. 광물섬유(mineral wool)라는 용어는 유리섬유(glass wool)와 암석섬유(rock/stone wool)를 포함한다.

강화 유리섬유 : RFG, E-glass, continuous filamnet fibre glass, composite fibre glass, 혹은 yarn으로 알려졌다. 필라멘트나 섬유는 플

라스틱이나 화합물을 강화하기 위해 방직형태로 짜여지고, 패드, 축융(felt), 로빙(roving: 거칠게 자른 실) 또는 섬유제조에 사용된다.

사용되는 광물

최근의 유리섬유 다발(batch)에서 중요한 변화는 유리조성에 붕산염(borate)을 제거해 왔다는 것이다.

전형적 절연유리섬유다발(IFG batch) : 실리카 입자, 석회석/백운석/소결백운석, 붕산염 공급물질(보론 광물 자체 보다는 정제된 붕산염 형태), 알루미늄 공급물질(실리카 모래나 네펠린 섬장암의 광물에서 추출), 소다회(20%)이다.

전형적 강화유리섬유다발(RFG batch) : 실리카 가루, 석회석/백운석/소결백운석, 붕산염, 알루미늄 공급물질(일반적으로 카올린), 적은 양의 소다회이다.

제품의 광물조성

붕산염 : B₂O₃은 강화유리섬유에 최소 6.6%, 절연유리섬유에 최소 5%가 함유되며, 비유이나 원료로부터의 근접성에 따라 붕소광물(colemanite, ulexite) 또는 가공화학물질(anhydrous borax, borax pentahydrate, boric acid)을 사용한다. 미국은 대개 정제된 7~13%의 B₂O₃을 사용하는 반면에, 유럽은 광물에서 4~7.5%의 B₂O₃을 사용한다. 아시아에서는 대부분 정제된 붕산염을 사용한다. 붕산염은 유리다발 조성 중에서 가장 비싼 성분으로, 용융 온도를 낮추어 다발의 유연성을 증가시키고, 점도를 낮춤으로서 섬유화되는 성능을 향상시킨다.

카올린 : 44% SiO₂, 37% Al₂O₃, 0.6%

CaO, 최고 2% Na₂O, 최고 1% Fe₂O₃, 최고 1% H₂O를 가진 강화섬유유리다발의 26~28%를 차지한다. 습도 함량이 매우 낮아야 하기 때문에 건조해서 사용한다.

석회암 : MgO와 CaO을 함유한 강화섬유유리다발의 약 30%를 차지한다. 이것의 입자는 최소 70%가 50~75 μ m 정도인 세립이어야 하고, 절단이 잘 되어져야 한다.

실리카 : 99% SiO₂(Fe₂O₃ 최고 0.1%) 실리카로 강화유리섬유에서는 53~55%, 95% SiO₂(Fe₂O₃≤0.26%) 실리카로 절연유리섬유의 55-57%를 차지한다.

소다회 : 절연유리섬유의 경우 20%까지, 강화유리섬유에서는 0~1% 정도 함유된다. 일반적으로 경소다회가 이용되며 염소의 함량은 0.1% 내외이다.

생산과정

상업적으로 생산되는 유리섬유는 1930년 기술자인 Games Slayter에 의해 발명되었다. 그는 우연히 가스가 빠져나가, 유리 용광로의 클로리홀(glory hole: 작업자들이 유리다발을 관찰하는 구멍)이 밖으로 부풀어 오른 곳에서 실 모양의 용융유리를 목격했다. Slayter의 생각이 오웬일리노이스(Owen-Illinois) 이사에 의해 받아들여졌고, 이 회사는 나중에 세계 유리 섬유의 선두주자가 된 오웬코닝사가 됐다.

절연유리섬유 : 유리다발은 전기로에서 용융된 후 회전장치를 통해 원심분리되어 섬유로 만들어진다. 결합제가 첨가되고, 유리담요는 중합되어 윤까지 낸다. 암석섬유는 현무암과 휘록암 같은 마그마기원의 암석을 코크스와 융제를 넣어 녹이 후에 빠르게 회전하는 회전판 위에 용융물을 쏟아 부어서 만든다.

표 1. 유리섬유의 제조에 사용되는 유리의 조성표.

성분	E-Glass	C-Glass	A-Glass	S-Glass	Cemfil	AR Glass
SiO ₂	55.2	65.0	72.0	65.0	71.0	60.7
Al ₂ O ₃	14.8	4.0	2.5	25.0	1.0	-
B ₂ O ₃	7.3	5.0	0.5	-	-	-
MgO	3.3	3.0	0.9	10.0	-	-
CaO	18.7	14.0	9.0	-	-	-
Na ₂ O	0.3	8.5	12.5	-	11.0	14.5
K ₂ O	0.2	-	1.5	-	-	2.0
Fe ₂ O ₃	0.3	0.5	0.5	trace	trace	trace
F ₂	0.3	-	-	-	-	-
Li ₂ O	-	-	-	-	1.0	1.3
ZrO ₂	-	-	-	-	16.0	21.5

강화유리섬유 : 유리섬유(glass yarn)를 만들기 위해 결합제가 작용하는 동안 고속정밀 와인더로 용융체를 그물망을 통해 잡아당겨 연속적인 가는 실을 만들어 낸다. 가는 실은 유리실을 형성하고, 이것을 꼬아서 섬유(yarn)를 만든다. 이 섬유를 고압 기류에 통과시켜 결을 형성시키고, 원하는 직물로 직조한다.

주요 제조회사

세계 생산량의 3/4을 차지하는 주요 유리섬유 제조회사로는 오웬코닝(Owens Corning), 존스 만빌(Johns Manville), PPG 섬유유리사, 세인트 고바인(Saint-Gobain) 등이 있다.

- 오웬코닝: 미국 오하이오주 톨레도에 위치, 유리섬유를 발명한 회사이며, 이 산업을 선도하고 있다. 이 회사의 유리섬유를 소비하는 주요 산업은 절연제, 강화제, 외장제(지붕 덮개) 등이 있다.

- 존스 만빌: 미국 콜로라도주 덴버에 위치. 2001년에 Bershire Hathaway에 의해 인

수된 이 회사는 산업용도로 사용되는 절연유리섬유 시장의 선두업체로 두 번째로 큰 제조업체이다. 지붕덮개용, 바닥재용, 벽충진용에 사용되는 유리섬유 생산의 세계적 회사이다.

- PPG 섬유유리: 미국 펜실바니아주 피츠버그에 위치. 이 회사는 연사(continuous strand) 유리섬유 제조분야에서 세계에서 두 번째로 큰 생산업체이다. 강화제와 전기류 및 특수물질을 담당하는 두 부서로 운영된다.

- 세인트 고바인: 프랑스 파리에 위치. 세인트 고바인 베트로텍스(Vetrotex)는 그룹의 강화제 지사의 일부이며, 유리섬유와 유리/열가소성수지 혼합물로 만들어지는 강화제, 직물, 연사(strand), 미세사(filament), 유리매트를 생산한다. 세인트 고바인 아이소버(Isover)는 암석섬유와 유리섬유 모두를 포함해 절연광물섬유 분야에서 세계적 선두주자이다.

- 노프 섬유유리: 미국 인디애나주 셸비빌에

광물섬유 시장의 성장

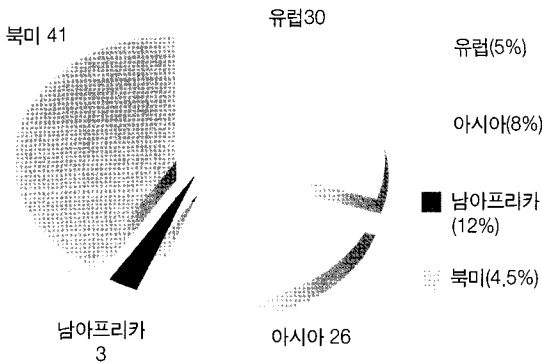


그림1. 지역별 강화유리섬유 시장 : ()은 성장률.

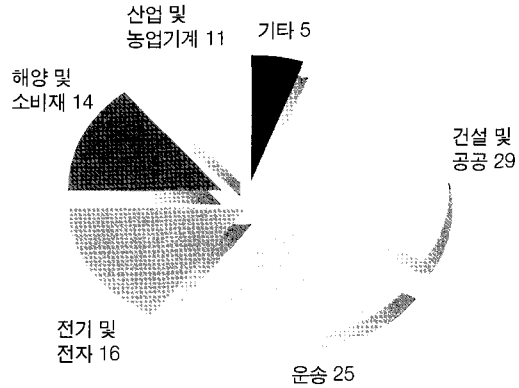


그림2. 강화유리 섬유의 활용도.

위치. 이 회사는 독일 건설자재 회사인 노프(Knauf)사의 자회사로 미국에서 두 번째로 큰 유리섬유 생산업체이다.

- 알코포 그룹(Alcopor Gruppe): 스위스 스테인호센에 위치. 이 회사는 절연체 분야에서 영국과 스위스 시장을 선도하고 있다.

시장과 용도

2002년 세계 강화유리섬유 시장의 규모는 2.6백만 톤 이상, 절연유리섬유는 3.2백만 톤 이상으로 추정되었다. 2002년 미국시장은 강화유리섬유 1.2백만 톤, 절연유리섬유 1.7백만 톤으로 추정되었다.

절연유리섬유는 주로 공업용, 주거용, 건설용의 방열 및 방음제로 사용된다. 강화유리섬유는 운송(자동차, 선박, 항공, 철도), 전기(회로기판, 음향-시청각 장치의 충전제), 풍차날개, 금속 대체물(강화 콘크리트에서 철강 대체물) 등에 광범위하게 사용된다. 직물상품은 강도를 증가시키고 절연성을 향상시킨다. 강화제 사용의 주요 용도는 강화된 열가소성수지에 있다.

유리섬유의 많은 활용분야가 소비재 상품이기

때문에 수요는 경제적인 사정과, 이자율, 시장 성장, 건설시장등과 같은 여러 요인들에 의해 좌우된다. 또한 수요는 환경적인 면과, 건설 법규의 변화에도 영향을 받는다. 유리섬유는 운송 장비의 중량부품의 대용물로, 대체에너지인 풍력발전의 터빈으로, 에너지 소비를 줄일 수 있는 절연체로서 다양하게 사용될 수 있다.

원료 광물

원 광

유리섬유다발에 사용되는 광물은 크게, 일반적으로 많이 사용되는 모래와 탄산염광물, 좀 더 정제된 광물인 카올린, 소다회 및 붕산염 광물로 나뉜다. 석회석과 실리카의 경우에는 실제 광물의 가격보다 운송비용이 더 비싸기 때문에 유리섬유 생산자들은 가능한 원료를 공급받을 수 있는 곳으로부터 가까운 곳에 공장을 설립한다.

일반적으로 정제된 광물들은 적은 양을 사용하기 때문에 원료공급지 가까운 곳에 공장을 들 필요는 없다. 이 경우 유리섬유산업체는 가격에

표 2. 붕소광물과 화학제품의 주요 화학조성(%)

산화물	유리섬유			E-유리		
	오수산화붕사	올렉사이트	붕소산	콜레마나이트	붕산염칼슘*	합성붕산염칼슘
B ₂ O ₃	49.0	38.5	56.3	42.5	48.0	50.8
Na ₂ O	21.7	6.2	-	0.3	0.1	-
CaO	-	12.4	-	27.3	28.0	27.3
H ₂ O	29.3	32.0	43.7	20.0	20.0	21.9
SiO ₂	-	3.7	-	4.5	1.0	-
MgO	-	1.7	-	1.5	0.3	-

* Fort Cady Mineral Corp.

Source: Borasit-the story of the Turkish boron mines and their impact on the boron industry, Werner Buhler, 1996, and Borax

민감해진다. 예를 들어, 북미에서는 북미와 남미에서 유입된 정제된 붕산염을 사용하는 반면, 유럽에서는 터키산 붕산염광물을 사용한다. 만약 터키산 광물의 사용이 늘어나면, 그들은 회분광(colemanite) 대신에 가격이 저렴한 올렉사이트(ulexite)를 선택할 것이다. 유럽의 카올린 수요는 예전부터 북미로부터 공급되었다.

원료의 공급은 중요한 사항이다. 예를 들어, 오웬코닝사는 네 개의 부서가 있는데 그것 중 셋은 절연, 정제, 대외부서이다. 각 부서에서 매일 이루어지는 일들이 있지만 원료 공급에 관한 사항은 서로 협의하고, 모든 계약은 중요문서로 처리된다. 이 회사의 국제 원료 담당자에 따르면 유리섬유산업의 필요한 광물 공급은 비교적 안정적이며, 얼마동안은 부족하지 않을 것으로 보인다. 가격 또한 안정적이다. 이런 에너지 집약적 산업의 가장 큰 관심사는 에너지와 운송 가격의 불확실성이다.

재활용 유리

단지 절연유리섬유만이 재활용되는 유리의 성분을 사용할 수 있다. 강화유리섬유는 보다 미

세한 원료물질을 필요로 하는 보다 한정된 과정을 거쳐 만들어지고 전기제품에서 철과 같은 불순물이 허용되지 않기 때문에 재활용 유리 사용이 불가능하다.

지난 12년 동안 북미의 산업은 가정용 폐기물, 판유리와 컨테이너 파쇄유리를 이용하여 재활용 유리의 함량을 높여 가는데 적극적으로 매진해왔다. 정제된 붕산나트륨의 첨가로 유리섬유 제조에 이러한 재활용유리의 함량을 70%까지 높일 수 있게 되었다. 재활용되는 유리의 소비는 계속될 것이지만, 강화된 폐기물 처리법에 의해 제조업자들이 자국 폐유리만 사용할 수 있게 되었다.

강화유리 섬유에서 붕소의 제거

무붕산 유리의 특징

유리섬유 생산의 선두업체인 오웬코닝사의 최근 가장 현저한 발전은 '어드반텍스(Advantex)', 즉 붕소가 없는 강화유리섬유를 개발한 것이다. 환경친화적인 강화유리섬유를 만들기 위해 이

회사는 1970년대부터 'ECRGlas'를 생산하기 시작했다. 이 무붕소 유리는 전통적 붕소규산염 'E-glass'와 비교해 산화환경에서 장기간 부식 저항성을 가지기 때문에 E-CR로 분류하였다. 1990년대 후반 진정한 E-CR 유리인 '어드반텍스'라 불리는 더 발전된 형태의 무붕소 E-형의 유리를 생산하기 시작했다. 이것은 E-CR 유리의 우수한 부식 저항성과 E-glass의 전기적, 기계적 특성을 모두 가지고 있다.

이 회사는 전통적 E-유리에서 새로운 어드반텍스 유리로 전환을 점진적으로 시도하고 있으며, 일반적인 세계 생산 조류를 형성하고자 소비자와 시장에 접근했고, 결과 어드반텍스는 현재 유럽의 전역을 잠식했다. 또한 앞으로 수년 내 모든 강화유리섬유 공장들은 어드반텍스를 생산하기를 기대하고 있다.

절연유리섬유에 있어서, 붕소는 용융체의 점도를 감소시키고, 최종 생산품의 내열성을 증가시키며, 절연성을 돕기 때문에 대체가 불가능하다. 독일은 최근 절연유리섬유의 생체 용해도를 증가시키기 위해 붕산염의 양을 늘리고 있다. 또한 붕소는 전자공학에서처럼 유전체특성이나 유리를 무르게 하는데 영향을 줌으로, 무붕산 유리를 모든 강화섬유유리에 적용할 수 없다. 그러나 건설과 운송 같은 대부분 강화재 용도에서는 어느 정도의 문제점은 극복할 수 있다.

오웬코닝사는 오랜 기간 터키산 붕산염 광물의 주 고객이어서 어드반텍스는 그 나라 산업에 영향을 주었다. 유리섬유는 터키산 붕소광물 수요의 80% 이상을 소비해왔기 때문에 유럽 전역에 어드반텍스의 소개는 벌써 터키산 회분광(colemanite)의 수요를 감소시켰다. 때문에 터키는 정제된 붕산염의 판매를 증가시킴으로써 붕소광물 수요의 감소를 보완하고 있다. 이 회사에 의하면 앞으로 여러가지 이유에서 붕소의 사용량을 점차적으로 줄여갈 계획이다. 붕소는

유리섬유다발에서 가장 비싼 성분이고, 원료가 격의 50%를 차지한다. 그러나 오웬사가 유리다발을 바꿀 대안을 찾고 있는데도 불구하고, 많은 고객들은 용융로에서 휘발성 물질(황, 불소, 붕소)을 포집하여 입자로 만들기 위해 정전침전기 개발에 투자하고 있다. 자연스럽게 오웬사는 어드반텍스의 조성비를 면밀히 주시하고 있다. 붕소 전문가는 유리다발에서 백운석과 카올린을 증가시켜 점도를 증가시키는 방법을 연구해왔다.

붕소 수요의 경향

어드반텍스를 통해 붕산염 시장이 둔화되지는 않을 것이다. 세계에서 생산되는 붕산염(borate) 중에서 약 1/3은 섬유유리 생산에 사용되고, 붕사(borax)의 1/3 또한 15% 강화유리섬유와 18%의 강화유리섬유를 생산하는데 사용된다. 붕산염의 수요가 연간 2% 증가하고 있으나, 이것은 강화유리섬유, 세라믹 등에서 붕산(boric acid)의 성장을 바탕으로 한다. 절연유리섬유에서 오수산화붕사(borax pentahydrae)의 수요증가는 허약한 붕소시장에서의 손실을 보완해주고 있다.

오웬사가 강화유리섬유에서 붕소 소비를 줄이기로 했어도, 절연유리섬유의 성능을 향상시키기 위해 붕소 함량을 증가시키고 있다. 이런 식으로, 공장의 표준 확장에 대한 투자 없이도 붕산염(borate)은 5~10%까지 수요량을 효과적으로 증가시킬 수 있다.

붕사는 어드반텍스의 개발을 예의주시하고 있지만, 강화유리섬유에서 정제물질, 특히 붕소산의 비용에 초점을 두고 있다. 붕소산 이용의 이점을 소비자들에게 성공적으로 증명되었으며, 붕소산과 관련된 상품의 질, 생산성, 수익성은 다른 대체물보다 매력적이다.



절연유리섬유에서 붕소광물의 소비가 현저하게 감소하는 대신 5-몰의 붕사로 대체되고 있다. 정제된 붕산염을 사용했을 때 경도의 증가, 낮은 불순물 함량, 더 적은 운송비용, 좋은 다발 유연성 등과 같은 장점이 있다.

시장 전망

시장경향

유리섬유는 여러 분야에서 가치 있는 것이다. 절연체 유리섬유를 사용해 에너지를 절약하는 것이 가장 대표적 방법이지만, 유리섬유는 무거운 금속성분을 대체할 수 있기 때문에 운송 분야에서도 에너지 소비를 줄일 수 있다. 자동차와 해양산업에서는 금속성분을 대체할 수 있어 유리섬유의 소비가 증가될 것이고, 건설산업에서도 유리섬유가 철골을 대체할 수 있으므로 역시 소비는 증가할 것이다.

미국과 아시아가 계속해서 유리섬유 성장의 대부분을 선도할 것이다. 2005년까지 강화유리섬유는 연평균 4.9% 성장할 것으로 전망되며, 아시아의 소비는 십년 안에 두 배로 증가할 것으로 기대된다.

풍력터빈은 좀 생소하나 유리섬유 시장의 성장에 매우 중요한 분야이다. 풍력 에너지를 생산하는데 사용되던 풍차날개는 이전에 사용되던 전통적인 구조물에서 섬유강화플라스틱으로 대체되고 있다. 몇몇 국가에서는 벌써 풍력 에너지에 상당 부분을 의존하고 있다. 예를 들어 덴마크는 전력의 20%를 대체에너지로부터 얻고 있는데, 거의 풍력 에너지이다. 이러한 대체품은 지난 5~10년 동안 매년 20~40%의 성장을 해왔고 시장에서 큰 부분을 차지하게 되었다.

전자산업에서는 최근 별로 좋은 성과를 보이

지 못했고, 특히 회로기판에서는 더 심각하다. 2000년 말 이후 유럽에선 회로기판 생산이 급격하게 감소해왔고, 많은 생산업체가 아시아로 옮겨갔지만, 그곳에서도 컴퓨터와 핸드폰에 사용되는 회로기판의 수요가 전례없이 감소되어 왔다. 이와 같은 경기후퇴는 자동차 부분에도 영향을 끼쳤다. 2002년 초부터 회복되면서 2004에는 수요가 증가할 것으로 기대된다. 강화유리섬유시장은 저렴한 아시아 제품이 유입되면서 서구의 생산자들 사이에 다시 경쟁이 가열될 것으로 보인다.

절연체 분야는 각국의 건설경향에 따라 성장률이 달라진다. 예를 들어, 서유럽은 재건축 시장이 매우 활발하나, 그 밖의 유럽은 새로운 건물과 산업체 건설이 더 활발하다. 2003년에 동유럽은 계속 증가세를 보이고, 서부는 안정적인 것으로 보인다.

유럽은 2003년 중반부터 2004년까지 산업이 회복될 것이라는 기대에도 불구하고, 독일, 영국, 프랑스는 건설산업의 둔화로 유리섬유가 과잉공급(특히 절연유리섬유)되어 왔다. 유럽 위원회는 최근 미국에서 보여준 것 같이 절연체 시장에 도움이 될 수 있는 절연체 표준화에 신경쓰고 있다. 세계적인 추세를 보면, 2003년 절연체와 건축물의 수요는 2002년과 유사할 것으로 보인다. 즉, 개선된 건축물 표준화와 암석섬유와 같은 다른 제품과의 공유를 통해 절연섬유유리의 수요가 반등될 것으로 전망되며, 프랑스, 독일, 스페인에서 주택건설 시장이 늘어나 유리섬유의 시장은 증가할 것으로 기대된다.

시장의 지역적 특성

유럽에서 광물섬유의 시장은 유리섬유와 암석섬유로 양분된다. 광물섬유는 경량골재 수요의 55% 정도로 차지한다. 북미에서는 유리섬유가

