



INNOVATIONS FOR LIVING™

복합 소재와 사회의 미래:

# 최신 소재의 사용으로 부식으로 인한 비용의 절감



저자: Matthew J. Lieser,  
Global corrosion-  
Resistance Specification  
Leader Owens Corning

저자: Jeffrey Xu,  
Greater China  
Marketing Leader,  
OCV™ Reinforcements



2010년 9월

## 주요 내용

부식성 인프라의 보수 및 교체작업을 위해 선진국에서는 수조 달러의 비용을 소모합니다. 흔한 예로는 수도/하수관 파열 및 다리 붕괴가 있습니다. 또한, 산업 시설에서 오일 배관 및 장비가 예상보다 빨리 고장납니다. 부식에 대한 전 세계적인 직접 비용의 최근 추산액은 보수 및 교체 뿐 아니라 예방을 포함하여 산업 국가 GDP(국내 총생산)의 3-4퍼센트인 \$1.8조 (1.4조 유로; 12.2조 위안; 207조원)를 초과합니다.<sup>1</sup>

최근 부식성 인프라가 설치된 후, 유리 섬유 강화 폴리머 복합 소재와 같은 새로운 소재 솔루션이 개발되었습니다. 최적의 부식 관리 방안을 사용하면, 부식으로 인해 발생하는 연간 비용에서 약 25에서 30퍼센트를 절약할 수 있습니다.<sup>2</sup>



2001년 중국에서 수행한 연구에 따르면, 중국의 연간 부식 비용은 4,980억 위안(US\$ 610억)입니다.<sup>3</sup> 그 해 중국의 GDP는 9.6조 위안이었습니다.<sup>4</sup> 따라서 중국의 부식 비용은 GDP의 5.2퍼센트로 산업 국가보다 훨씬 높습니다.

현재와 같은 전통적인 부식소재를 사용하는 건설 관행이 지속된다면, 중국이 세계 최대 경제 대국이 될 것으로 예상되는 17년 안에, 부식으로 인한 연간 비용은 \$1조(6.8조 위안) 이상이 될 수 있습니다.<sup>5</sup> 복합 소재의 광범위한 사용과 같은 최적의 부식 관리 방안으로 중국이 절감할 수 있는 비용은 \$3,470억(2.4조 위안)입니다.

중국 및 라틴아메리카와 같은 개발 도상국은 고급 소재 및 건축 방법을 사용하여, 선진국에서 행했던 비싼 수리 및 대체의 굴레에서 벗어나야 합니다.

<sup>1</sup> Global Needs for Knowledge Dissemination, Research, and Development in Materials Deterioration and Corrosion Control by Gunter Schmitt, May 2009, The World Corrosion Organization

<sup>2</sup> Global Needs for Knowledge Dissemination, Research, and Development in Materials Deterioration and Corrosion Control by Gunter Schmitt, May 2009, The World Corrosion Organization

<sup>3</sup> Chinese Industry Corrosion Status and Market Development, presentation by En-Hou Han, Institute of Metal Research, Chinese Academy of Sciences

<sup>4</sup> PeopleDaily.com

<sup>5</sup> The Long-Term Outlook for the BRICs and N-11 Post Crisis, Jim O'Neill and Anna Stupnytska, Goldman Sachs, Dec. 4, 2009



## 부식의 정의

부식은 소재가 환경과 접촉하면서 발생하는 퇴화를 설명하는 용어입니다. 금속에 적용되는 일상어로, 이 과정은 “녹이 스는 것”으로 알려져 있습니다.

부식은 정제 금속과 같은 소재가 보다 안정된 화합물로 회귀하고자 하기 때문에 발생하는 자연적 과정입니다. 부식이 일어나는 동안, 정제된 소재는 주변 환경과의 화학적 작용의 결과로 구성 원자로 분해됩니다. 부식은 한 부분에 집중되어 구멍이나 틈을 형성할 수도 있고, 넓은 부분으로 확산되어 다소 균일하게 표면을 부식시킬 수 있습니다.

금속의 전기 화학 산화는 물 또는 공기 중 수분이 있을 때 산소와 작용하여 발생합니다. 철의 산화물 형성(녹)은 전기 화학 부식의 결과입니다. 부식의 다른 형태는 수중 콘크리트 기둥에 사용되는 금속봉에서와 같이 산소가 부족한 환경에서 철과 염소의 작용을 포함합니다.

충분한 시간이 지나면 산소, 수분, 철 덩어리는 결국 녹으로 바뀌어 분해됩니다. 표면의 녹은 그 아래 철에 어떤 보호도 제공하지 않습니다.

## 부식을 유발하는 환경

안개, 습기, 소금물 및 알칼리성 또는 산성 토양 등, 특히 부식을 유발시키는 자연 조건이 많습니다. 거대한 토지를 가진 국가는 주로 다양한 조건을 가지고 있습니다.

토양 부식에 대한 탄소 강철의 반응은 토양의 성격 및 습도와 산소의 존재 등과 같은 다른 요인에 의존합니다. 높은 습도, 높은 전기 전도도, 높은 산성 및 높은 소금 용해성을 가진 토양이 부식성이 가장 높습니다.

부식의 조건에는 국경이 없습니다. 한 나라에서 내리는 산성비가 환경을 오염시키고 그 나라의 국경을 넘어, 심지어 주변국까지 넘어, 부식을 일으키기도 합니다.

불행히, 이러한 조건은 중국을 비롯한 세계 대부분의 나라에 존재합니다. 중국은 너무 방대하여 그 대기 조건은 극한 더위와 추위, 건조한 사막에서 끈적거리는 습도로 다양합니다. 산성비 또한 큰 요인입니다.

중국의 토양 조건은 산성에서 알칼리성에 이르는 다양한 조건으로, 토양에서 염분이 발견되는 해안 지역이 많습니다. 물의 성분은 염분에서 해수 및 민물에 이릅니다.<sup>6</sup>



<sup>6</sup>Chinese Industry Corrosion Status and Market Development, presentation by En-Hou Han, Institute of Metal Research, Chinese Academy of Sciences

아래 지도는 중국 전체 지역 중 상대적으로 부식이 심한 지역을 나타내고 있습니다.

- 매우 심각
- 심각
- 보통
- 적음
- 거의 없음



Source: Corrosion, Vol. 55, No. 1, page 66

## 부식의 비용

부식은 고속 도로, 교량 및 건물에서 오일 및 가스, 화학 처리, 수도 및 폐수 시스템에 이르는 세계 인프라의 실질적인 모든 면에 큰 경제적 환경적 영향을 미칩니다.

2002년 미국에서 발표된 부식에 대한 한 종합적 연구에 따르면 부식의 연간 비용은 \$2,760억입니다. 오늘날 미국이 부식으로 소모되는 연간 비용은 US\$3,000억 이상입니다. 영국, 독일 및 일본에서 수행한 연구에서도 유사한 비용이 추산되었습니다.<sup>7</sup>

2009년 미국의 수도/폐수 시스템에 소모된 부식 비용만 \$500억을 초과하였습니다.<sup>8</sup> 초기 연구에 따르면 미국이 천연 가스, 원유 및 위험물 방출 배관에 연간 소모하는 부식 관련 비용은 \$70억으로, 이 비용은 자본 비용(38퍼센트), 운영 및 유지 비용(52퍼센트) 및 실패 비용(10퍼센트)으로 나뉘어 있습니다.<sup>9</sup>

바다에 염분이 있고 대부분 토양이 염분이 높은 페르시아 만에서 2006년 부식 비용은 연간 \$100-150억으로 추산되었습니다.<sup>10</sup>

한 연구에 따르면 중국의 2001년 연간 부식 비용을 4,980억 위안(US\$610억)으로 추산하고 있습니다.<sup>11</sup> 그 해 중국의 GDP는 9조 6,000억 위안이었으며,<sup>12</sup> 이는 중국의 부식 비용이 GDP 5.2퍼센트로 산업국가보다 높음을 뜻합니다.

현재의 건설 관행이 지속된다면, 중국이 세계 최대 경제 대국이 될 것으로 예상되는 17년 안에, 부식 연간 비용은 \$1조(6.8조 위안) 이상이 될 수 있습니다.

좋은 소식은 최적의 부식방지 방안을 통해 부식으로 발생하는 연간 비용의 약 25에서 30퍼센트를 이제 절감할 수 있다는 것입니다.<sup>13</sup>

복합 소재의 광범위한 사용과 같은 최적의 부식 방지 방안을 사용하여, 중국이 절감할 수 있는 비용은 \$3,470억(2.4조 위안)입니다.

중국 및 라틴아메리카와 같은 개발 도상국은 새로운 소재 및 건축 방법을 사용하여, 선진국에서 겪었던 높은 수리 비용 및 대체의 굴레에서 벗어나야 합니다.

<sup>7</sup> G.H. Koch, M.P.H. Brongers, N.G. Thompson, Y.P. Virmani, and J.H. Payer, "Corrosion Costs and Preventive Strategies in the United States," FHWA-RD-01-156, U.S. Department of Transportation, Federal Highway Administration (2002)

<sup>8</sup> Nace Corrosion 2010 요약 보고서, [www.nace.org](http://www.nace.org)

<sup>9</sup> CorrosionCost.com

<sup>10</sup> Bahrain Society of Engineers 회장 Mohammed Khalil Al 제11회 Middle East Corrosion Conference 개최식, Feb. 2006

<sup>11</sup> Chinese Industry Corrosion Status and Market Development, presentation by En-Hou Han, Institute of Metal Research, Chinese Academy of Sciences

<sup>12</sup> PeopleDaily.com

<sup>13</sup> Global Needs for Knowledge Dissemination, Research, and Development in Materials Deterioration and Corrosion Control by Gunter Schmitt, May 2009, The World Corrosion Organization

## 복합 소재, 그리고 부식과의 싸움

비싼 금속 및 코팅, 표면 처리 및 구조 소재를 보호하는 기타 특수한 처리 방법등 부식과 싸울 수 있는 방법은 많습니다. 많은 경우, 더 나은 해결책은 현대적 복합 소재를 사용하는 것입니다. 이 보고서는 FRP(유리 섬유 강화 폴리머)라고 불리는 다양한 복합 소재에 중점을 둡니다.

FRP 복합 소재는 안전하고 믿을 수 있는 솔루션으로 다양한 환경에서 부식성 조건을 극복할 수 있고 수년 동안 전통 소재보다 더 우수한 성능을 보였습니다.

복합 소재가 제공하는 것은 다음과 같습니다.

- 고강도
- 경량화
- 내구성
- 비용 절감

FRP 복합 소재를 광범위하게 사용하는 시장은 다음과 같습니다.

- 화학
- 석유 & 광업
- 전기 & 에너지
- 해양
- 수도 & 하수
- 산업



Courtesy NOV Fiber Glass Systems

FRP는 50년 이상의 현장 경험으로 검증된 기술입니다. 내부식성을 가진 복합 소재로 만들어진 탱크나 배관이 금속으로 만들어진 것보다 사용 수명이 일괄적으로 연장되었습니다. FRP는 이제 고가의 스테인리스 강철 및 니켈 합금을 대체하는데 많이 사용됩니다.

FRP 복합 소재는 공학적 폴리머 수지와 섬유 강화재로 이루어져 있습니다. 전체 복합 소재 시장의 95퍼센트는 유리 섬유로 강화된 복합소재이며 첨가제 및 코어 소재로 그 물성이 향상될 수 있습니다. 이를 잘 결합시키면 지금까지 개발된 것 중 무게 대비 물성이 매우 우수한 소재를 생산할 수 있습니다.

FRP 복합 소재는 수지 매트릭스 내의 유리 섬유에서 힘을 제공합니다. 복합소재에 힘이 가해 질 경우 수지는 주어진 무게를 분산하고 섬유는 그 무게를 견딜 수 있도록 해 줍니다.. 그리고 이 두 소재는 모두 내부식특성에 영향을 미칩니다. 유리와 수지의 적당한 혼합으로 다양한 특성을 얻을 수 있습니다.

비중을 고려할 경우, 유리 섬유는 강철보다 더 강합니다. 이는 유리 섬유가 높은 비강도를 가지고 있기 때문입니다. 비강도는 힘을무게(비중)로 나눈 용어입니다.

이 개념을 이해하기 위해 ¼ 인치 지름의 강철 막대와 ¼ 인치 지름의 유리섬유 복합 소재 막대를 비교해 보겠습니다. 강철 막대가 인장력과 압축력이 더 높지만 무게가 더 나갑니다. 유리 섬유 막대를 강철 막대와 같은 무게로 지름을 늘리면, 유리 섬유가 더 강해질 것입니다.<sup>14</sup>

<sup>14</sup> Composites Industry Overview, ACMA 웹사이트

복합 소재는 얼마나 오래 지속될까요? 답은 알려져 있지 않습니다. 복합 소재가 50년 이상 지속되며 아직도 사용되고 있는 경우가 많기 때문입니다. 복합 소재가 응용된 첫 사례의 몇몇 경우는 아직 수명을 다하지 않았습니다.

1950년대에 지어진 보트, 빌딩, 기타 복합 소재 구조물 중 여전히 사용 중인 경우가 있습니다. 예를 들면, 1953년 Chevrolet Corvette 스포츠 자동차의 차체는 FRP로, 여전히 구조상 문제가 없습니다. 또한, 화학 공장의 극심한 화학 환경에서 하루 24시간, 일주일 7일, 25년 이상이나 FRP 배관이 사용 중인 경우도 있습니다.<sup>15</sup>

복합소재의 우수한 내부식 특성에 대한 예는 부록 C, 부식을 극복하는 복합 소재에 대한 국제적 사례를 참조하십시오.

### 부식과의 싸움에서 이론 발전

• **E-CR glass** – 유리 섬유는 내부식성은 화학 구조에 의해 결정되며 E-CR glass는 산성 및 알칼리성 환경에 잘 견디도록 특별히 제조되었습니다.



E-CR 유리 섬유는 봉소가 없는 섬유로 장기 내산성과 단기 내알칼리성을 향상하기 위한

특수한 구조로 되어 있습니다. 그 전기 및 기계적 특성은 E-glass와 유사하지만, 대부분의 부식 환경에서 훨씬 더 우수한 성능을 가지고 있습니다.

Owens Corning은 1980년대 E-CR glass를 개발하여 다양한 환경에서 발생하는 부식에 대해 우수한 내부식성을 제공하였습니다. 이러한 이점은 E-CR glass의 내산성과 전통적 E-glass의 내산성을 비교하는 현장 적용사례로 확인되어, E-CR glass가 산성 환경에서 우수한 내부식성을 제공함을 보여주었습니다.

E-CR glass는 또한 뛰어난 환경적 이점을 제공합니다. 제조 과정에서 공기 오염을 최소화하는 봉소 없는 과정으로 만들어졌기

때문입니다. 반면유리섬유의 재활용성은 전통적인 E-glass와 동일합니다.

1990년대 중반, Owens Corning은 ASTM D578, ISO 20789, 및 DIN 1259-01에 따라 봉소 없는 E-glass와 내부식성을 지닌 E-CR glass의 독특한 특성 모두를 제공하는 새로운 유리 복합 소재를 도입하였습니다. 등록 상표인 Advantex® glass는 특허를 받은 제품으로, E-glass와 비교했을 때 부식 환경에서 복합 소재에 우수한 성능을 제공합니다.

Advantex® 유리 섬유 강화재에 대한 더 자세한 정보는 부록 D를 참조하십시오.

• **콘크리트를 위한 AR 유리 섬유** – 콘크리트에 사용될 수 있는 특수 AR glass (내알칼리성 유리섬유) 가 개발되었습니다. 이 섬유는 ASTM C1666/0 1666/M-07 및 EN 15455를 준수하여 지르코니아(Zirconia) 성분으로 제조되었습니다.

AR glass는 전 세계 100개국 이상에서 40년 동안 사용되었습니다. 건축 벽면, 산업 바닥재, 터널 내벽, 전신주의 신축이나 보수 작업 등에서 다양한 시멘트 및 모르타르에 적용할 때, 강하고 내구성 있는 성능을 제공하는 한편 세계에서 가장 놀라운 건축물을 건설하는 데 사용되기도 했습니다.

<sup>15</sup> Composites Industry Overview, ACMA 웹사이트

AR glass는 콘크리트 강화재로 매우 독특한 특성을 가지고 있습니다.. 콘크리트에 섞인 돌이나 자갈과 같은 비중이 있으면서도 섬유 분산이 다른 섬유보다 더 용이합니다. AR glass는 높은 탄성률과 콘크리트와의 결합력이 있어 콘크리트가 갈라지기 전까지의 인장력에 효과적으로 기여합니다. AR 유리 섬유 강화재는 콘크리트의 무게와 두께를 1/10로 감소시킵니다.

Owens Corning의 AR glass의 제품명은 Cem-FIL® 입니다..

• **새로운 수지** – 오늘날 몇몇 수지 제조업체에서는 일반 용도 수지에 비해 우수한 내부식성을 가지고 내부식성 제품 조립에 유용한 성능을 제공하는 다양한 수지를 공급하고 있습니다.

폴리머 매트릭스 수지는 두 개의 카테고리로 나눌 수 있습니다.. 열경화성과 열가소성이 그것입니다. 차이는 화학적인 차이로 열경화성 수지는 (열, 촉매 또는 둘 다에 의해 유발되는) 경화 반응 동안 교차결합하여 최종 경화 형태로 만드는 분자 체인으로 구성되어 있습니다. 열가소성 수지의 분자 체인은 더 높은 온도에서 처리되어 재가열 및 재구조화될 수 있게 유지됩니다.

성능 시험 결과를 보면, 열경화성은 연속적으로 보강되는 유리 섬유 복합 소재의 매트릭스로 선택되었습니다. 특히, 불포화 폴리에스테르 수지가 널리 사용되고 있는데, 이는 가격이 비교적 저렴하고 다루기 쉬우며 우수한 기계적, 전자적 및 화학적 저항 특성이 있기 때문입니다.

글리콜, 산, 반응 모노머(스티렌) 및 기타 첨가재등의 첨가는 요구하는 특정 목적에 맞도록 폴리에스테르의 특성을 향상시킵니다. 예를 들면, 첨가제 및 충전제는 폴리에스테르 수지를 더 화학적 또는 내부식적, 발화지연적, 방축적 및 열안정적으로 만드는 데 사용됩니다.

비닐 에스테르는 폴리에스테르보다 비싸지만 거의 유사한 분야에서 많이 사용됩니다. 성능은 화학적 부식 환경(필라멘트 와인딩 화학 탱크) 및 높은 수분 저항력을 요구하는 구조적 라미네이트에서 폴리에스테르보다 뛰어납니다.

또 다른 열경화성 수지는 에폭시로, 이는 구조물 및 전기 전자시장에 많이 사용됩니다. 에폭시가 보통 폴리에스테르보다 비싸지만, 열에 의한 수축이 적고 강도와 강성이 매우 우수합니다. 또한, 용제, 알칼리성 및 여러가지 산성 물질에 대한 내부식성이 있습니다. 에폭시 수지는 대부분의 복합 소재 제조 과정에 사용될 수 있습니다.

• **설계 변화** – 부식과의 싸움에서 가장 중요한 복합 소재 설계상의 변화는 라미네이트 전반에 걸쳐 E-CR glass를 사용하는 것으로 변화한 것입니다.

E-CR glass가 처음 도입되었을 때, E-glass보다 더 비쌌기 때문에 복합 소재 설계자들은 산성 조건에 노출될 수 있는 부분의 수지 강화 층에만 이를 사용하였습니다. E-CR glass가 더욱 보편화되고 산성용액이 어떻게 라미네이트의 내부에 도달하는지를 이해하게 되면서, 설계자들은 E-CR glass를 내부식층에서 구조적 부분에 이르는 복합 소재 전반에 사용하였습니다.

부식성 환경에서 응용의 범위가 더 크고 규모도 커지면서, 상대적으로 실패 비용이 더 커짐에 따라, E-CR glass의 우수한 성능이 필수적인 요소가 되어가고 있습니다.

복합 소재는 일반적인 강철이나 알루미늄에 비해 내구성이 우수한 소재로 오랫동안 알려져 왔으나, 특별한 내부식성이 요구되는 응용분야에서 점차 확산되고 있습니다. 예를 들면, 화력발전소등의 가스 탈황 설비, 지하에 매설되는 수도 및 하수관, 담수화공장 및 조력 발전소를 비롯한 다양한 염수 해양분야에 널리 사용되고 있습니다.



수백만 달러가 드는 가스 탈황 설비는 환경을 보호하며 가동될 것으로 예상됩니다. 실패 비용이 매우 높을 수 있으므로 생산업체들은 신뢰할 수 있는 장기성능을 확보하기 위해 제품 전반에 최첨단 소재를 사용하고 있습니다.

또한, 내부식성 분야에서 섬유 강화재의 역할이 더 잘 알려지고 있습니다. 복합 소재 설계자는 수지가 라미네이트의 부식에 저항하는 첫 방어선으로 생각하고 있습니다. 표면의 수지가 일차적 방어벽을 제공하고 있으나 특정 산성, 알칼리성 또는 기타 불안정 액체 및 가스들은 라미네이트의 표면을 침투할 수 있습니다.

그리고, 크기가 큰 복합 소재 부품은 운송되어 설치될 때 미세 균열이 발생할 수 있습니다. 예를 들어, 콘크리트 바닥에 거대한 저장탱크를 설치할 때 충격이나 자중에 의해 미세균열이 발생할 수 있습니다.

크기가 큰 응용제품의 경우 제조 장소에서 설치 장소로 이동할 때 예상치 못한 문제가 발생할 수 있습니다. 예를 들면, 불도저가 체인을 사용해 배관을 들어 올려 정해진 곳에 두거나, 트럭 베드에서 파이프를 올려 보관 장소에 둘 때 문제가 생길 수 있습니다.

2008년 출판된 Rod Martin 박사가 편집한 핸드북인 Ageing of Composites,<sup>16</sup>에서는 어떻게 복합 소재가 사용 조건에서 노화하는지 정량적으로 설명하고 있습니다. 이 핸드북에 따르면 유리섬유와 솔루션 간의 화학 작용은 유리섬유의 구성에 달려있습니다. “유리섬유에 SiO<sub>2</sub>(이산화규소) 성분이 많을수록 산성 매체에서 화학적 저항력이 더 우수한 것으로 확인되었습니다.”



Courtesy Strongwell

Owens Corning에서 개발한 Advantex® 유리 섬유 강화재는 내부식성을 가진 E-CR glass에 맞춰 이산화규소를 포함하는 성분으로 구성되어 있습니다.

무게상 라미네이트의 60-75퍼센트가 유리 섬유이며 이 섬유가 응용될 때 구조적인 강도를 제공한다는 사실을 고려할 때, E-CR glass를 복합 소재 라미네이트 전반에 사용하는 것은 매우 합리적이라 말할 수 있습니다. E-CR glass를 부식성 환경을 위해 제조한 복합소재 라미네이트 전반에 사용하는 것은 ISO 2078을 준수하며, 이는 E-glass가 일반 용도 강화재이고 E-CR glass가 내산성용이라는 것을 뜻합니다.<sup>17</sup>

• **프로세스 향상** – 소재 및 응용 설계가 발전하고 향상되는 동안, 복합 소재를 만드는 데 사용되는 프로세스 또한 수년에 걸친 경험과 컴퓨터 제어와 같은 신기술의 혜택을 받고 있습니다.

복잡한 공정 제어가 이제 유리 섬유 패브릭을 필요한 형태로 제단하여 최종 사용분야에서 강화재의 가치를 최적화합니다.

수지 주입공법, 진공 성형공법 및 기타 최근에 개발된 최신 수지 함침공정은 생산 부품간의 품질 편차를 크게 줄이고, 수지내부의 기포발생 가능성을 크게 감소시켰습니다. 아울러 소재의 낭비 및 수지에서 발생하는 VOC 발생량을 줄였습니다. 프로세스 자동화가 생산성 및 부품 간 일관성을 향상시켰주었으며, 이러한 일련의 기술개발로 복합 소재가 부식과의 싸움에서 매력적인 옵션이 되었습니다.

<sup>16</sup> Woodhead Publishing Ltd.에서 발행, www.woodheadpublishing.com

<sup>17</sup> International Standard ISO 2078, Fifth Edition, 1993-02-01



## 결론

오늘날 세계 선진국의 부식 비용은 높습니다. 내부식성을 가진 신소재 및 생산공법을 사용하지 않으면 중국과 같은 빠르게 성장하는 나라들은 선진국과 같은 길을 걷게 될 것이며, 수리, 교체 및 자원 낭비에 많은 비용을 소모하게 될 것입니다.

2010년 중국의 실제 인프라 산업 성장은 25퍼센트로 CNY 1.1조 (US\$1,685억)가 될 것입니다. 인프라 산업 가치는 2014년까지 CNY 1.8조(US\$3,100억)가 될 것으로 예상되며 연간 평균 실제 성장률은 13 퍼센트입니다.<sup>18</sup>

이러한 인프라 펀드가 신중하게 투자되고 프로젝트가 현대적, 내부식성 소재를 사용하여, 중국이 또 다른 수리 및 교체의 비싼 전통을 만드는 일이 없도록 하는 것이 매우 중요합니다.



Courtesy Strongwell

“빠르게 성장하는 국가는 복합 소재를 포함하는 고급 소재 및 건축 방법을 사용하여 선진국에서 행했던 비싼 인프라 수리 및 교체 사이클을 반복해서는 안 됩니다.”

<sup>18</sup> China Infrastructure Report Q3 2010, Business Monitor International, May 2010



INNOVATIONS FOR LIVING™

## 부록 A

### 부식의 시장 영향력

부식은 고속 도로, 교량 및 건물에서 오일 및 가스, 화학 처리, 수도 및 폐수 시스템에 이르는 세계 인프라의 실질적으로 모든 면에서 큰 경제적, 환경적 영향을 미칩니다. 부식은 공중 안전에 심각한 손상과 위협을 야기할 뿐 아니라, 운영에 지장을 주고 고장 난 자산의 광범위한 수리 및 교체를 필요하게 만듭니다.

부식에 가장 큰 영향을 받는 시장은 다음과 같습니다.

### 수도 및 하수관

많은 국가에서 수도 및 폐수 시스템 고장에 드는 비용은 경제의 어느 단일 부문보다 매우 높습니다.<sup>19</sup>

미국에서 부식 비용이 가장 높은 인프라 분야는 식수 및 하수 시스템으로 전체의 26퍼센트를 차지합니다.<sup>20</sup>

미국의 중요한 수도관이 평균 2분마다 파열됩니다.<sup>21</sup> 워싱턴 D.C에서만 배관이 매일 평균 하나씩 파열됩니다.<sup>22</sup>

국가의 식수 및 하수 시스템에 대한 부식의 총 연간 직접 비용은 \$360억으로 추산되었습니다(2001).<sup>23</sup>

전 세계의 많은 나라에서 한 세기가 된 배관들로 물의 10퍼센트 이상을 누수로 손실하고 있습니다.<sup>24</sup>

유럽의 한 연구에 따르면 부식 및 파열된 수도관 때문에 급수 시설에서 제공되는 식수의 30퍼센트가 소비자에게 도달하지 못합니다.<sup>25</sup>

Johannesburg Water는 연간 2억 5,000만 란드(US\$3,400만)를 수도 및 하수 네트워크 유리보수에 할당합니다.<sup>26</sup>

보고에 따르면 토론토 시는 노후된 수자원 공급 시스템 때문에 연간 1,200-1,500 차례의 파열이 발생해 이를 해결하기 위해 C\$1,200만을 사용합니다.<sup>27</sup>

영국 소비자들의 경우 앞으로 5년 동안에 걸쳐 노후한 배관시스템을 업그레이드(£210억으로 추산) 할 예정임에 따라 수도세가 크게 증가할 것이라 추정하고 있습니다..<sup>28</sup>

<sup>19</sup> Now is the Time, George F. Hays, PE, director general, World Corrosion Organization

<sup>20</sup> Corrosion Costs And Preventive Strategies In The United States, report by CC Technologies Laboratories, Inc. to Federal Highway Administration (FHWA), Office of Infrastructure Research and Development, Report FHWA-RD-01-156, September 2001

<sup>21</sup> New York Times analysis of Environmental Protection Agency data

<sup>22</sup> New York Times analysis of Environmental Protection Agency data

<sup>23</sup> Cost of Corrosion Study Unveiled, NACE International, undated

<sup>24</sup> National Geographic, special issue on water, April 2010

<sup>25</sup> Global Needs for Knowledge Dissemination, Research, and Development in Materials Deterioration and Corrosion Control by Gunter Schmitt, May 2009, The World Corrosion Organization

<sup>26</sup> Open letter of Johannesburg Water (Communications and Marketing Dept.) to Sunday Times newspaper, February 11, 2002

<sup>27</sup> Toronto Star, GTA Section, January 25, 2005, p. B3

<sup>28</sup> Weekly Telegraph, North American Edition, Issue 632, September 3-9, 2003



INNOVATIONS FOR LIVING™

## 오일 가스관

AEUB(Alberta Energy and Utilities Board)에 따르면 부식은 송유관 고장의 주된 이유입니다.<sup>29</sup> 385,000킬로미터의 고압 송유관 및 가스관을 감독하는 위원회에 따르면 매년 약 750건의 고장이 발생한다고 합니다.

2006년 이 위원회에서 수행한 연구에 따르면, 53퍼센트의 고장은 내부 부식으로 인한 것이며, 다음으로 가장 흔한 고장 요인은 외부 침식으로, 12퍼센트에 달합니다.

미국에서는 천연 가스 공급 시스템 부식에 따른 총 연간 직접 비용만 \$50-60억으로 추정되고 있습니다.<sup>30</sup>

## 화학 탱크 및 공장

부식은 보관 탱크 및 배관 고장의 주된 요인 중 하나입니다. 미국에는 850만 개의 탱크가 있습니다. 보관 탱크 및 배관 부식의 연간 비용은 \$70억으로 추산됩니다.<sup>31</sup>

## 해양 환경

해수는 클로라이드 성분의 이점을 가진 가장 효율적 전해액입니다. 해양 환경(해안선의 파도 물거품 지역 및 심지어 깊은 바닷속) 어디에나 존재하는 산소는 염분의 공격을 가속시킵니다.

해양 구조물의 강화 강철 및 프리스트레싱 와이어등의 통제 불가능한 부식은 구조물의 수명을 급격히 단축시킵니다. 근해에 직접적으로 닿는 구조물의 경우, 조수의 물거품이 이는 부분에서 활발한 부식이 발생합니다.

해안선에 혹은 가깝게 노출된 금속의 대기 부식 및 바다에서 작동하거나 염분이 있는 공기에 노출되는 엔진의 뜨거운 염분 부식은 모두 문제가 됩니다.

많은 내부식성 금속은 부식에 보호막을 제공하는 산화 필름에 의존합니다. 보호막이 느슨해 지거나, 가루같이 되거나, 쉽게 손상되고 스스로 복구되지 않으면, 확인되지 않는 부식이 계속 진행됩니다. 염산 농축물이 클로라이드 환경에서 형성되면, 가장 안정적 산화물도 공격받을 수 있습니다.

2007년 미국 콘크리트 협회에서 발표한 연구는 FRP(섬유 강화 폴리머)가 해양 환경에서 부식을 경감하는 데 효과적이라 보고하였습니다.<sup>32</sup> 연구자들은 FRP로 감싼 견본에서 측정된 금속 손실이 같은 환경에 노출되었을 때 FRP로 감싸지 않은 동일한 견본의 금속 손실보다 훨씬 낮음을 발견했습니다. 따라서, 기둥이나 말뚝을 설치할 때 FRP로 감싸면, FRP가 클로라이드 진입에 방어벽 역할을 하여 부식의 시작을 늦추기 때문에 성능이 월등히 우수하다는 결론을 내렸습니다.

“비싼 소재 비용에도 불구하고 FRP가 부식 수리에 드는 비용을 절감하기 때문에 더 경제적이 될 수 있습니다.”<sup>33</sup>

<sup>29</sup> Alberta Energy & Utilities Board, April 2006

<sup>30</sup> Pipeline and Gas Journal

<sup>31</sup> The Impact of Corrosion on Storage Tanks and Piping, presentation by Gerry Koch, CC Technologies at the NACE Freshwater Spills Symposium, April 2004

<sup>32</sup> Effectiveness of Fiber-Reinforced Polymer in Reducing Corrosion in Marine Environment, Kwangsuk Suh, Gray Mullins, Rajan Sen and Danny Winters, ACI Structural Journal, Feb. 2007

<sup>33</sup> Effectiveness of Fiber-Reinforced Polymer in Reducing Corrosion in Marine Environment, Kwangsuk Suh, Gray Mullins, Rajan Sen and Danny Winters, ACI Structural Journal, Feb. 2007

## 교량

미국에서 교량 부식 비용은 연간 약 \$80억에 달합니다.<sup>34</sup>

1998년 미국에는 대략 583,000개의 교량이 있었고 대부분이 강철 및 강화 프리스트레스트된 콘크리트로 건설되었습니다. 교량의 15퍼센트가 강철 및 강철 강화재의 부식으로 인해 구조적으로 결함을 가지고 있습니다.

녹이 교량 고장의 가장 흔한 요인 중 하나입니다. 산화철 또는 녹은 본래 철보다 훨씬 부피가 커서, 쌓이면 인접한 부분을 갈라지게 합니다. 이것이 1983년 미국에서 발생한 교량 붕괴의 원인이었습니다. 베어링이 내부적으로 녹이 슬어, 지지대를 벗어나 도로판을 밀어버린 것이었습니다.

녹은 1967년 미국의 또 다른 참변인 철로 된 조교가 1분도 채 안 되어 붕괴된 사건의 중요한 원인으로 발견되었습니다. 미국과 관련된 세 번째 사례는 2003년 토네이도로 교량이 휩쓸려 간 것인데, 이는 땅에 구조물을 고정시키는 볼트가 녹이 슬어 교량이 중력만으로 버티고 있었기 때문이었습니다.

이와 같이, 콘크리트로 덮인 강철 및 철의 부식은 콘크리트의 균열을 유발시켜 심각한 구조적 문제를 야기할 수 있습니다. 부식으로 발생한 파손은 콘크리트 교량의 가장 흔한 고장 중 하나입니다.<sup>35</sup>

## 오염 통제

내부식성 FRP는 NOx 및 SO2 감소를 위한 오염 통제 시스템에 광범위하게 사용됩니다.

다가오는 10년에 걸쳐, 전 세계의 화력 발전소의 소유자들은 현존하는, 또 새로운 연소 장치에 FGD(탈황설비) 시스템을 추가하기 위해 \$2,000억 이상을 사용할 것으로 예상됩니다. 미국과 중국에서 이러한 투자의 대부분이 이루어질 것으로 예상됩니다. 또한 인도나 남아프리카와 같은 성장하고 있는 산업 국가들도 공기 오염 제어 기술에 많은 투자를 하고 있습니다.



<sup>34</sup> Global Needs for Knowledge Dissemination, Research, and Development in Materials Deterioration and Corrosion Control by Gunter Schmitt, May 2009, The World Corrosion Organization

<sup>35</sup> Wikipedia, Corrosion



## 부록 B

### 부식을 극복하는 복합 소재에 대한 국제적 사례

- 세계 일류의 섬유 강화 구조적 복합 소재 제조업체인 Strongwell은 최근 DURADEK® 복합 소재 바닥판(Grating)이 미국 남부 캘리포니아 해변 태평양의 석유 굴착용 플랫폼에서 30년 이상이 지난 후에도 잘 유지되고 있음을 보고했습니다. 10,000평방피트에 달하는 바닥판은 1979년 설치되었습니다. 2010년 시설 감독관은 “바닥판은 아직 건재합니다. 표면이 약간 마모되었을 뿐입니다.”라고 말했습니다.
- 2008년, Strongwell은 SAFRAIL™ 산업용 사각 튜브 난간이 미국 일리노이주의 갈라티아의 석탄 준비 시설에서 12년이 지난 후에도 계속해서 잘 사용 중임을 보고했습니다. 석탄 준비 시설이 복합 소재에 의존하는 것은 공장의 환경 때문에 2년 안에 탄소강철이 현저한 마모되고 6년도 채 안 되어 스테인리스 강철이 마모되기 때문입니다. Strongwell이 복합 소재 난간을 설치하고 12년이 지나 시설을 방문했을 때, 부식과 관련된 문제는 하나도 없었고 복합소재 난간 및 플랫폼 주위의 금속 구조물과 부품만 파괴되었습니다.
- 2008년 인도 뭄바이에서 개최된 ICERP(International Conference and Exhibition on Reinforced Plastics)에서 발표된 한 보고서에 따르면 FRP 배관이 설치되고 22년이 지난 후 전력소 세 곳에서 상태를 검사한 결과 FRP 배관은 여전히 상태가 좋았습니다. 한 프로젝트에서 직경 16.3ft(5m) 배관이 전력소에서 온수를 배출하기 위해 플로리다에 설치되었습니다. 뉴욕주의 또 다른 프로젝트에서는 10ft와 12ft(3m와 3.6m) 직경의 수압관을 통해 전력소에 물을 공급하였습니다.
- Red Deer Alberta에 위치한 Western Fiberglass Pipe Sales Ltd는 캐나다의 오일 공장 배관이 40년이 지난 후에도 문제없이 가동되고 있음을 보고했습니다. 초기 FRP 배관 대다수는 남동부의 Saskatchewan에 설치되었습니다. 회사는 또한 부식 때문에 땅속에 매설했던 강철 라인을 6~8개월 안에 교체했다고 말했습니다.
- 2005년 캐나다 퀘벡의 셔브룩에 있는 셔브룩 대학(University of Sherbrooke)은 동부 해안에 위치한 Nova Scotia에서 서부 해안에 위치한 British Columbia에 이르는 유리 섬유 강화 콘크리트 교량 5개에 대한 현장 사용 연구 결과를 보고했습니다. 8년이 지났지만 연구자들은 “강화재의 성분(섬유, 수지 및 인터페이스)에 큰 변화가 일어나지 않았고, 수지와 유리 섬유는 미세 균열이나 부식과 같은 마모의 어떤 흔적도 보이지 않았음”을 발견했습니다.



<sup>36</sup> DURADEK는 Strongwell의 등록 상표입니다.

<sup>37</sup> PROFILE: Strongwell News and Applications, Summer 2010

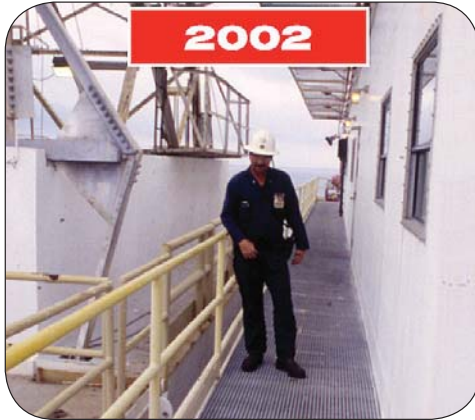
<sup>38</sup> PROFILE: Strongwell News and Applications, Special Edition 2008

<sup>39</sup> FRP Pipe Meets Power Plant Requirements, by Ben Bogner and Bruce Curry of AOC LLC, presented at the International Conference and Exhibition on Reinforced Plastics (ICERP), Mumbai, India, February 2008

<sup>40</sup> Owens Corning 인터뷰, 2004

<sup>41</sup> University of Sherbrooke GFRP Durability Study Report, Brahim Benmokrane and Patrice Cousin, April 2005

- 전통적인 목재 제품 또한 수명 연장을 위해 복합 소재로 전환되고 있습니다. 한 예는 전력소의 냉각 타워입니다. 냉각 타워는 전통적으로 금속과 목재로 건축되어 왔습니다. 하지만, 목재 공급이 어려워지고 비싸지면서 설계자들이 다른 소재를 찾고 있습니다. 강화 플라스틱은 강하고 내수성 및 내구성이 있어 좋은 대체 소재가 됩니다.



- 전기 공급 및 가로등은 오랫동안 목재로 만들어졌습니다. 하지만 상황이 바뀌어 유리 섬유 강화 폴리머 또는 콘크리트로 만든 대가 목재대보다 오래 견디고 안전, 비용 및 쉬운 사용 면에서 중요한 이점을 제공합니다. 대체 소재의 시장 점유는 현재 40퍼센트에 가깝고, 앞으로 5-10년 안에 계속해서 급속히 성장할 것으로 예상됩니다.<sup>42</sup>
- 1947년 미 해안경비대는 폴리에스테르 수지 및 유리 섬유로 된 40피트의 정찰 보트를 만들었습니다. 보트는 디자인이 시대에 뒤떨어져 사용이 중지된 1970년대 초반까지 사용되었습니다. 사용 중지 후 라미네이트에 대한 시험이 수행되었고, 25년이 지난 후에도 본래의 강도에서 2-3 퍼센트만 손실되었음이 발견되었습니다.

<sup>42</sup> A New Generation Lighting & Distribution Pole, William T. Gay, Composite Materials Technology LLC, and Peter H. Mokhiber, CMT Worldwide

## 부록 C

### Advantex® E-CR 유리 섬유 강화재

Owens Corning의 Advantex® 유리 섬유 강화재는 소비자의 다양한 필요에 대한 해결책으로 1997년 도입되었습니다. 이점으로는 Owens Corning 제품 라인 전반 및 전 세계에 걸쳐 이행되는 공통적 기술 플랫폼이 있습니다. 이는 소비자에게 전 세계 어디서든 같은 제품을 제공하는 유리 섬유 규격에 대한 균일한 기초를 제공합니다.

Owens Corning Advantex® glass는 무 봉소 E-glass로 다양한 환경에서 월등히 향상된 내부식성을 가지고 있습니다. Advantex® glass는 ASTM D578, ISO 20789 및 DIN 1259-01을 준수하는 E-CR glass이며 또한 E-glass입니다.

처음 도입될 당시, Advantex® glass는 산성 환경에서 탁월한 내부식성을 제공해 줄 것으로 기대되었습니다. 이러한 이점은 Advantex® glass의 내산성과 전통적 E-glass의 내산성을 비교하는 현장 사용 자료로 확인되어, Advantex® glass가 산성 환경의 부식에 월등히 향상된 저항력을 제공함을 보여주었습니다.

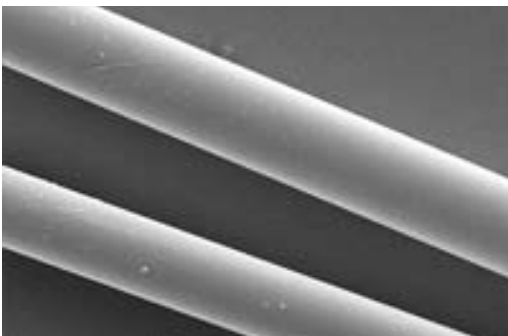
현장 경험은 또한 물 또는 알칼리 용액과 같은 수성 환경 어디에서나 좋은 성능을 보여주었습니다. Advantex® glass 제품은 전통적인 E-glass보다 연화점 온도가 높아 몇몇 응용분야에 강점이 되고 있습니다..

Advantex® 유리 섬유는 우수한 환경적 이점을 제공해 드립니다.. 제조 과정에서 봉소 채굴을 줄이고 공기 오염을 최소화하는 봉소 없는 제조공법으로 만들어졌기 때문입니다. 그러나 재활용 측면에서는 전통적인 E-glass와 동일한 재생 기회를 제공합니다.

Owens Corning은 5퍼센트 염수 용액에서 복합 소재 막대를 힘을 가하는 시험하여 Advantex® glass로 만들어진 복합 소재의 예상 수명이 50년 이상 길다는 것을 발견했습니다. 전통적 E-glass로 만든 복합 소재는 동일한 조건에서 수명이 몇 달정도로 예상됩니다. 산화물에서 압력-부식 시험은 Advantex® glass 복합 소재 샘플의 경우 더욱 놀라웠습니다. 예상 수명이 50년 이상임에 비해 E glass 복합 소재 막대는 4일밖에 되지 않았습니다.

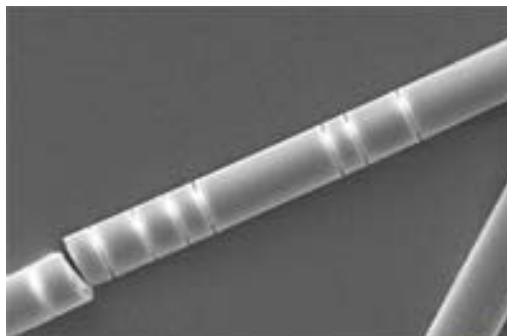
Advantex® glass와 E-glass가 95°C에서 5퍼센트 산화물에서 4시간 노출되었을 때 발생하는 것을 현미경으로 본 것은 다음과 같습니다.

(사진)



Advantex® 유리

(사진)



E-유리

Advantex® 유리 섬유에 대한 자세한 정보는 아래 사이트를 참조하십시오:

[www.owenscorning.com/composites/aboutAdvantex.asp](http://www.owenscorning.com/composites/aboutAdvantex.asp)

## 부록 D

### 라미네이트 부식에 대한 내부 관찰

미국 오하이오 그랜빌에 위치한 Owens Corning 과학 기술 센터에서 수행한 최근 연구에서 연구자들은 황산에 노출된 복합 소재 구조에 사용되었을 때, 무봉소 Advantex® E-CR 유리 섬유가 E-glass보다 우수한 내부식성을 보임을 확인하였습니다.<sup>43</sup>

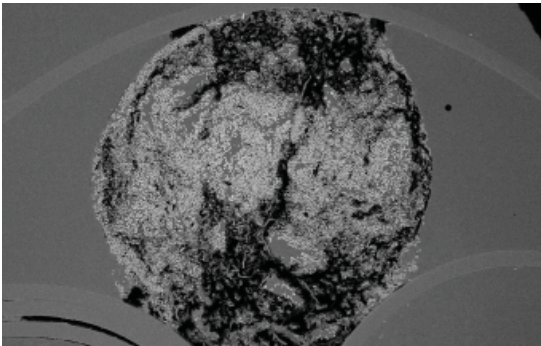
내부식성 응용을 위한 대부분의 복합 소재는 건축물 내에 구조적 섬유를 보호하기 위해 설계됩니다. 이 연구는 부식성 소재가 라미네이트의 구조적 부분에 접근하게 될 때 어떤 일이 발생하는가에 초점을 맞추었습니다.

연구는 부식과 스트레스 실험을 결합하여 이러한 이중 조건에서 E glass와 Advantex® glass의 성능을 비교 예측했습니다. 연구는 SEM(Scanning Electron Microscopy) 및 EDX(Energy Dispersive X-ray) 분광 분석 모두를 사용하여 압력이 가해진 라미네이트에 시간이 지나면서 부식이 발생하는 메커니즘을 보여주었습니다.

이 연구는 단시간 동안 ~1% 압력에 노출된 후 압력 없이 상온에서 10퍼센트 황산액에 일정기간 담근 유리 섬유강화 복합 소재 막대의 부식을 연구하였습니다. 정기적으로 막대를 제거하여 부식의 영향을 연구했습니다.

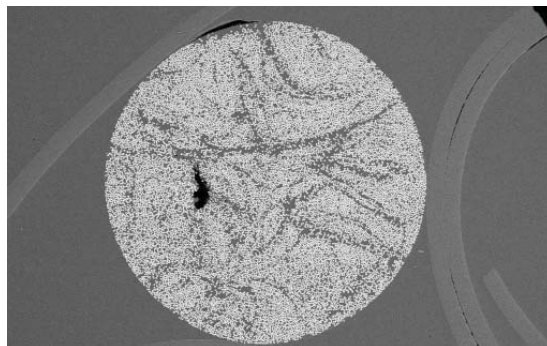
아래의 사진은 10퍼센트 황산에 6개월 노출된 E-유리와 Advantex® 유리 복합 소재 막대를 보여줍니다.

(사진)



E-유리 막대, 6개월 10% H2SO4

(사진)



Advantex® 막대, 6개월 10% H2SO4

E-glass 샘플은 막대의 전체 주변에 회색 섬유와 사진의 왼쪽 면에 심각한 손상을 보여줍니다. E-glass의 상태가 악화되면서 막대의 변형이 발생했습니다.

E-glass의 부식 메커니즘이 과거 주된 연구에서 추론되기는 했지만, 이 연구는 E-glass의 상태 악화와 그에 따른 메커니즘을 시각적으로 보여줍니다. 힘을 가한 복합 소재 라미네이트의 부식 시험 결과, Advantex® E-CR glass강화재를 구조물 전반에 사용해야 할 절대적 이유가 제공되었습니다.

<sup>43</sup> An Inside Look at Corrosion in Composite Laminates, by Kevin Spoo and Marie Kalinowski, Owens Corning, April 2010





INNOVATIONS FOR LIVING™



OCV Reinforcements



OCV Technical Fabrics



OCV Non-Woven Technologies

OWENS CORNING  
COMPOSITE MATERIALS, LLC  
ONE OWENS CORNING PARKWAY  
TOLEDO, OHIO 43659  
1.800.GET.PINK®  
[www.owenscorning.com](http://www.owenscorning.com)  
[www.ocvreinforcements.com](http://www.ocvreinforcements.com)

유럽 OWENS CORNING  
FIBERGLAS, SPRL.  
166, CHAUSSEE DE LA HULPE  
B-1170 BRUSSELS  
BELGIUM  
+32.2.674.82.11

OWENS CORNING – OCV 아시아 태평양  
상해 지역 본사  
OLIVE L.V.O. MANSION, 2ND FLOOR  
620 HUASHAN ROAD  
SHANGHAI 200040  
CHINA  
+86.21.62489922

OWENS CORNING – 한국오웬스코닝  
경북 김천시 웅명동 1013-1  
054-429-5759

본 정보 및 자료는 강화재 선택의 지침으로만 제공됩니다. 본 문서의 정보는 실제적 실험 자료와 현장 검사 결과에 바탕을 둡니다. 이 정보가 신뢰할 수 있다고 간주되나 사용자 프로세스에 적용성을 보장하지 않으며 그 사용이나 성능에서 발생하는 어떤 책임이나 의무도 지지 않습니다. 사용자는 생산에 사용하기 전에 그 적정성을 결정하기 위해 어떤 응용이라도 철저 시험할 책임이 있음에 동의합니다. 사용자가 본 강화재 또는 기타 강화재를 사용할 때 상업적 화학물의 특성을 결정하는 것이 중요합니다. 다수 요인이 결과에 영향을 미치기 때문에 OWENS CORNING은 명시 또는 묵시로 어떤 종류의 품질 보증도 하지 않으며 이는 상업성 및 특정 목적에의 적합성을 포함합니다. 본 문서의 진술은 어떤 특허를 침해하거나 법률 보안 코드 및 보험 규칙을 위반하기 위한 표현 또는 품질 보증 또는 유인책으로 해석되지 않습니다. Owens Corning은 사전 통지 없이 이 문서를 수정할 권리를 보유합니다.

발간 번호

10013073\_Korean ©2010 Owens Corning