

Polyethylene Terephthalate (PET) FOAM의 전과정 환경성 평가(LCA)적 고찰

Life Cycle Assessment for All-Process of Polyethylene Terephthalate (PET) FOAM

김준성(Jeun-Seong Kim) | 근영실업(주) | 상무 | james@keunyoung.com

1. 서론

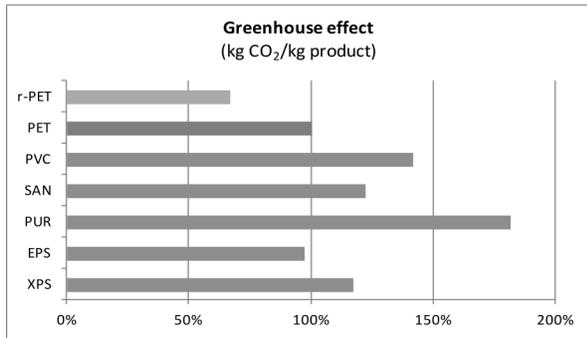
이 자료는 환경 부하 (탄소 배출량)의 관점에서 Poly Ethylene Terephthalate 를 다른 발포체와 기존의 발포체를 전과정 환경성 평가(LCA)적 방법을 통해 고찰해 보기 위한 것입니다. 전과정 환경성 평가(LCA)는 제품의 환경 친화성을 객관적으로 평가하고 실제 환경에 미치는 영향이 무엇인지를 알아보는 평가입니다. 고분자 플라스틱 발포체, 특히 단열성이 우수한 폴리우레탄이나 저가형 폴리스티렌 발포체는 널리 사용되고 있습니다. 그렇지만 최근에 들어 몇몇 경질 발포체의 구조적인 특성이 경량이면서도 기계적 특성이 우수한 점으로 인하여 샌드위치 코어재로서 많은 주목을 받게 되었습니다. 그중에서도 폴리에틸렌 테레프탈레이트는(PET)은 우수한 기계적·열적 특성 때문에 엔지니어링 플라스틱으로 간주되어 왔습니다. 그러나 섬유, 플라스틱병 및 포장 산업의 대규모 수요로 인하여, PET 는 가격 및 가용성 측면에서 일용품같이 보편화되었습니다. 더욱이 플라스틱 병 산업 덕분에, PET는 세계에서 가장 재활용이 많이 되는 플라스틱이 되었고 전 세계적으로 연간 500톤의 재활용 PET(r-PET) 소재를 유용하고 있습니다. PET-PolyEthylene Terephthalate:는 ROHS 에 부합하

며 EU에 제재된 금지 물질의 없고 중금속이 없으며 발암물질, 돌연변이 유발물질이 없으며 프탈레이트나 폼알데히드 잔존물이 없으며 CFC가 없으며 재활용가능하고 곰팡이가 생기지 않고, 썩지 않으며 찢지 않아 노화특성이 우수하고 피로특성이 우수합니다. PET는 본질적으로 열가소성이어서 몇 번이고 반복하여 재사용할 수 있습니다. PET를 재처리 하는 것은 다소 까다로운 편이지만, 최신의 기술은 PET 본래의 수준까지 특성을 되살리는 것을 가능케 하였습니다. PET는 차단 특성(barrier property)이 우수한 소재로 널리 알려져 있지만, 훌륭한 단열 소재이면서도 수분으로 인한 손상, 결로를 막아줍니다.

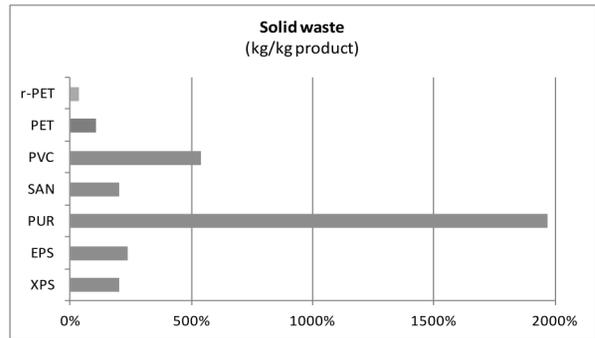
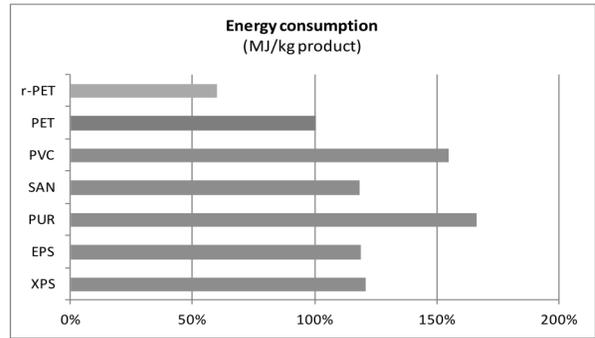
Core Material	PET	XPS EPS	PUR PIR	PVC	Balsa
Recyclability	+++	+	--	---	---
Aging	++	-	--	+	-
Thermal Conductivity	+++	++	+++	++	+

진보된 기술은 PET를 저밀도로 발포시킴으로서 기본의 코어재료나 단열재와 대등한 기계적 물성을 제공할 뿐 아니라 사용이 끝난 소재 그대로 완전하게 재활용할 수 있는 독특한 장점을 제공합니다.

PET 발포품을 샌드위치 구조에 사용하는 것의 전과정 환경성을 알아보겠습니다. Life Cycle Assessment (LCA) 는 제품의 라이프 사이클 전체를 평가하는 방법입니다. 완전한 평가결과를 얻기 위해서 원료의 생산으로부터 폐기물의 최종 시나리오까지, 원료의 조달부터 완제품의 소비자에게의 이동경로, 관련 사무실의 난방에 이르기 까지 광범위한 데이터가 필요하게 됩니다. 이러한 데이터의 산출을 위해 시판되는 소프트웨어 및 데이터베이스를 사용하여 시뮬레이션 하였습니다. LCA에서 평가기준으로 참조하는 것은 제품 생산 시 발생하는 탄소배출량 (CO₂ 배출량)입니다. 여기에서는 다양한 폼재에 대한 탄소배출량을 폼 1kg 생산 시 발생하는 CO₂의 배출량(kg)으로 나타냅니다. 여기에서는 100 % (PET 1Kg)은 3.23 kg의 CO₂ 배출에 해당합니다.



연한 녹색 선은 재활용된 PET를 이용하여 1kg의 FOAM을 생산할 경우의 Co₂ 배출량이며 진한 녹색 선은 오리지널 PET 소재를 이용하여 FOAM을 생산할 때 발생하는 1kg당 CO₂ 배출량을 보여줍니다. 대체적으로 PET 발포체는 타 발포체에 비해 Co₂배출량이 적음을 나타내고 있습니다. 다양한 플라스틱 발포체에 대해 1Kg생산시 발생하는 총 에너지 소비, 전체 수명주기 동안 생성되는 총 고형 폐기물 량을 기준으로 환경성을 평가해볼 수 있습니다. 1kg의 PET를 생산하는 경우 71 MJ의 에너지를 소비하게 됩니다. 이때 고형 폐기물은 0.03 kg가 발생하게 됩니다.



이상의 결과에서 PET 발포체는 생산시 더 적은 에너지를 사용하고 타 비교 재료보다 훨씬 적은량의 고형폐기물을 배출하는 우수한 환경특성을 나타냅니다. 단일 특성이 중요시 되는 적용분야에 사용되는 경우 발포체를 설치한 이후의 환경 부분을 반영하면 전체적인 LCA의 평가결과는 더욱 개선이 될 수 있습니다. 이런 경우 열전도율이 좋아지면, 결과는 더 좋아지게 됩니다.

2. 건설, 건축에의 PET FOAM 적용

하중을 견디면서 경량이며, 형을 쉽게 만들 수 있는 발포체의 이상적인 조합으로 이상적인 조합으로 PET FOAM은 현대의 건축 산업에서 코어재료에 요구되었던 기대를 완벽하게 충족합니다. 철근 콘크리트 구조물 및 기타 발포 코어 재료와 같은 전통적인 재료에 비해 PET FOAM을 이용한 건물의 장점을 다음과 같습니다.

설계의 자유

- 열을 가함으로서 삼차원 형상과 이중 곡선을 만들 수 있습니다.
- 금속, 세라믹, 플라스틱 및 복합재료, 코팅등 표면 재료의 선택에 제약이 없습니다.
- 넓은 면적을 이음새가 보이지 않게 매끄럽게 표현할 수 있습니다.

경량 구조

자중과 외부하중에 대한 이상적 조합 보강 구조를 줄일 수 있음
 보조적인 보강구조 없이 넓은 영역을 시공.
 간이 시설물의 경우 경량으로 철거가 용이

조립 편의성

- 보강구조와 기반의 중량을 경감.
- 작업이 단순하여 지고 공사시간을 줄임
- 생산의 유연성

최적의 내구특성

- 뛰어난 피로내구성으로 장기 안정성 보장
- 부식과 부패에 대한 내성이 우수하여 유지보수가 필요없음
- 단열성능과 구조적 댐핑 특성이 조합됨
- 화재시 자기소화성이 있어 안전.

친환경성

- 환경 친화적인 재료로 에너지 절감 생산 라인에서 생산
- 운송시의 이산화탄소 배출량 절감
- 사용시 유지보수의 필요성이 적으며 단열효율이 개선됨
- 수명주기의 끝나면 전체를 재활용 가능

2.1 건설, 건축에의 적용 분야

- 지붕과 돔 (경량, 단열성을 요하는 대형 구조물)
- 빌딩 외벽
- 창문 틀 뿐만 아니라 각종 다양한 문과 출입구
- 이동 주택과 주거지
- 교량 (경량 구조로 현장 밖에서 생산, 현장으로 이동하여 쉽고 빠르게 설치하고 교량폭의 확대도 용이합니다.)

2.2 적용사례

(1) 경량 복합신소재 루프

AIREX@T90.100을 이용하여 네덜란드에서 제작한 조립식 경량 루프 어셈블리를 선박과 헬리콥터를 통한 장거리 이송을 통해 스위스 빌라의 트러스에 상륙 시킨 사례



그림 1. 경량 복합신소재 루프 패널의 인퓨전 적용사례

이 프로젝트는 암스테르담에 위치한 Rhebergen Composites사에게는 매우 드문 과제였습니다. 디자인과 생산을 얇게 하면서 구조적으로 가벼우면서 구조적으로 튼튼하고 단열 성능이 좋으며 적용성이 좋은 루프를 만드는 것은 큰 도전이었습니다.

해결책은 요트나 조선에 사용되는 유리섬유복합재료(GFRP)를 이용하는 것이었습니다. 목적지는 스위스의 고급 빌라였습니다. 평범치 않은 이러한 프로젝트는 특별한 해결책을 필요로 하였습니다. 10월 13일 수요일 암스테르담의 Rhebergen Composites사

는 21미터 (69피트)의 긴 루프를 헬리콥터로 이송하게 되었습니다.



그림 2. 헬기로 목적지로 경량 복합신소재 루프 어셈블리를 공수하는 전경

평범치 않은 점은 네덜란드의 조선소가 스위스의 고산지대에 위치한 상류층 호화 빌라를 최상층이 유리패널로 구성되어 있는 층 위에 루프를 올려야 한다는 점들이었습니다. 게다가 루프는 매우 가벼우면서 구조적으로 우수해야 하며 다양한 날씨의 변화와 온도 조건에 견뎌야 합니다. 쉽지 않은 이러한 요구 사항들을 만족시키기 위하여, Rhebergen사는 조선 분야에서 최신의 입증된 복합재료 제조공정을 이용하여 루프 어셈블리를 설계하고 제조하였습니다.

(2) 높은 요구사항을 충족

스위스 건축 컨설턴트와의 계약 하에 Rhebergen사가 제작한 이 지붕은 질에 대한 최고의 요구 사항을 절대적으로 만족 시켜야 했습니다. 원인은 다양한데 첫번째로 서포트의 수가 적은 관계로 오직 경량 어셈블리만이 올려질 수 있습니다. 두번째로는 루프 어셈블리가 대량의 적설량을 적재할 수 있어야

합니다. 세번째로는 스위스의 극심한 기후 변동에 대해 최소한의 열팽창과 최고의 단열 성능을 유지하여야 합니다. 여기에 또다른 측면으로서 얇은 루프 어셈블리가 현존하는 최신의 건축 스타일에 적합하다는 것이 절묘하게 부합하였습니다.

계획 단계에서 완성까지의 프로젝트를 기획할 때, 엔지니어들은 요트와 조선 산업 분야에서 유리섬유로 요트의 대형구조물을 제조하였던 다년간의 경험을 살렸습니다. 그 결과 네덜란드의 전문 업체는 AIREX®T90.100 과 카본/유리섬유를 보강재로 한 샌드위치 복합재를 개발하였습니다. 생산방법은 보강재 비율을 최대한 높일 수 있는 진공 인퓨전 공법을 사용하여 에폭시를 주입하여 생산하였습니다.



그림 3. 선박과 헬리콥터를 이용한 이동

예상할 수 있는 것처럼, 이동을 위한 Rhine의 내륙의 수로는 암스테르담에서 바젤로 선택 되었습니다. 이동의 마지막 부분에서는 노련한 할리우드 영화감독조차도 생각해내기 힘든 더욱더 극적인 상황이었습니다. 매우 높은 고도에 위치한 빌라는 용이하게 접근하기 어려웠고, 마을의 극도로 구부러진 길 때문에 21 미터 (69피트)의 긴 지붕을 옮기는 최대의 도전을 하게 되었습니다.

Rhebergen사의 엔지니어의 기존의 틀을 파괴한 생각으로 이 문제의 해결책이 제시 되었습니다. 선박으로 암스테르담에서 바젤까지 운반한 이후, 전체의 지붕 어셈블리는 목적지까지의 마지막 어려운 구간을 헬리콥터로 공수하였습니다.



그림 4. 경량 복합신소재 루프 어셈블리 완성

(3) AIREX® T90의 비행기의 탑승교에의 적용

효율적인 샌드위치 구조의 솔루션으로 새로운 공항 탑승교의 설계가 단열과 구조적인 기능을 통합하여 기술 혁신과 부가 가치를 동시에 실현하였습니다. 탑승교는 공항 탑승구에서 비행기 입구까지 승객들이 안팎으로 이동하기 쉽게 하기 위하여 공항 터미널 안에 설치한 연장이 가능한 시설입니다. 탑승구와 비행기 입구까지의 유연한 연결을 보장하기 위하여 탑승교는 이동이 가능합니다. 탑승교를 이동시킬 때, 동력부는 에어컨 및 장식용 장치뿐만 아니라 탑승교의 무게로 인하여 발생하는 하중을 견뎌야 합니다. 만약 무게가 줄어 들 수 있다면, 탑승교의 운반이 더 쉬워질 것입니다. 게다가, 탑승교의 자중에 대한 지탱 용량도 줄어듭니다. 따라서, 탑승교 제작자들에게 있어 탑승교의 중량을 줄이는 것은 지대한 목표입니다.



그림 5. AIREX® T90의 비행기의 탑승교 적용

탑승교의 측면 벽과 루프는 일반적으로 스틸 스킨과 두꺼운 방음 폼으로 만들어 집니다. 최근 Shanghai Yueke Composites사에서는 탑승교를 위한 새로운 타입의 루프 패널과 월 패널을 개발하였습니다. 탑승교의 구조와 방음벽에 대한 효율적으로 결합했기 때문에, AIREX® T90.60 폼 코어 재료가 선택되었습니다. 탑승교 제작자들이 테스트를 실행하였고, 새로 개발한 월 패널과 루프 패널의 가치를 증명하여 주었습니다. 명시된 요구 사항을 모두 만족하면서도 기존의 디자인과 비교했을 때 중량을 35% 정도 감소시킬 수 있었습니다. 프로젝트의 발전 단계에서, 견고성, 단단함, 방음성과 FST 성질 방면에서 고객사의 요구 사항을 충족시킬 수 있는 적절한 코어 재료를 찾는 것이 키 포인트였습니다. Yueke사의 사장 Mr. Zhou는 “기계적인 특성과 방음 특성, 그리고 FST 특성이 더해지는 완벽한 결합에 찬사를 보냅니다. AIREX® T90.60은 탑승교의 새로운 월 패널과 루프 패널의 혁신에 상당한 공헌을 했습니다”라고 전하였습니다.

표 1. Airex T90 Easy Processing Structural FST Foam

특성	적용분야	가공방법
우수한 화재 특성	철도	핸드레이/스프레
고온(150℃)가공 OK	선박	이업
고온(100℃)에서의 장기노출도 OK	공업	인퓨전
단열성 우수	스포츠용품	접착
대부분의 수지에의 접착력 우수	건설 및 건축	프리프레그
높은 내화학성	인테리어	컴프레션 몰드 (GMT, SMC)
습기에 대한 내성, 수치안		열성형이 쉬움
정성, 가스방출등이 없음		

Typical properties for AIREX® T90		Unit (metrical)	Value ¹⁾	T90.60	T90.100	T90.150	T90.210
Density	ISO 845	kg/m ³	Average Typ. range	65 60 - 70	110 105 - 115	145 140 - 150	210 200 - 220
Compressive strength perpendicular to the plane	ISO 844	N/mm ²	Average Minimum	0.80 0.7	1.4 1.2	2.2 2.0	3.5 3.2
Compressive modulus perpendicular to the plane	DIN 53421	N/mm ²	Average Minimum	50 35	85 75	115 100	170 145
Tensile strength perpendicular to the plane	ASTM C297	N/mm ²	Average Minimum	1.5 1.2	2.2 1.6	2.7 2.2	3.0 2.4
Tensile modulus perpendicular to the plane	ASTM C297	N/mm ²	Average Minimum	85 70	120 90	170 140	225 180
Shear strength	ISO 1922	N/mm ²	Average Minimum	0.46 0.4	0.8 0.7	1.2 1.1	1.85 1.5
Shear modulus	ISO 1922	N/mm ²	Average Minimum	12 10.5	20 18	30 26	50 44
Shear elongation at break	ISO 1922	%	Average Minimum	12 8	10 5	8 4	5 3
Thermal conductivity at room temperature	ISO 8301	W/m.K	Average	0.033	0.033	0.036	0.041
Standard sheet	Width ²⁾	mm ± 5		610	610	610	610
	Length ²⁾	mm ± 5		1220	1220	1220	1220
	Thickness	mm ± 0.5		5 to 100	5 to 100	5 to 100	5 to 100

3. 3A Composites-코어 솔루션의 파트너

저희는 발전된 해결책을 위한 고성능의 코어 재료의 폭넓은 선택을 제공합니다. 가장 적합한 재료 해결책과 디자인을 제안함으로써, 당사는 고객사의 경량 최종 제품이 더 성공적으로 도와드립니다. 혁신적인 리더로서, 3A Composites의 코어 재료는, AIREX® 및 BALTEK®의 브랜드로서 경량 구조를 위한 환경적으로 호환 가능한 기술과 해결책뿐만 아니라, 상당히 선구적으로 최첨단을 차지하고 있습니다. 이러한 목표를 달성하기 위하여, 당사는 업계에서의 70년 이상의 비즈니스로 획득한 당사의 노하우와 전문 지식을 사용합니다. 당사의 재료 포트폴리오는 당사 고객사의 최종 적용처럼 광범위 합니다. 비슷하게 다양하거나 어떤 때는 정반대이기 때문에, 당사의 재료에 대한 요구는 고객사의 요청에 따라 맞춰져야 합니다. 이러한 점은 왜 대규모로 포괄적인 생산과 서비스 포트폴리오만이 모든 고객사의 구체적인 목표를 최적으로 충족시켜줄 수 있는지 말해줍니다.

당사의 Hybrid Core Concept®로써, 당사는 기구와 전문지식 각각과 모두의 특정 세트의 요구사항에 최적화된 재료의 해결책을 제안하며, 결과로써 최종 산물에 저렴한 가격으로 최적의 성능이 결합 될 수 있는 포트폴리오를 가지고 있습니다. 당사가 제공하는 소비자 가치의 지속적인 증가를 위해서, 당사는 사내 문화의 필수적인 한 부분으로써 혁신을 만들고 있습니다. 당사의 혁신적인 제공이 기술의 최첨단에 남는 것을 장담하고 마켓 트렌드에 의거하여 발 빠르게 행동하거나 이를 형성하게 할 수 있도록, 당사의 선두적인 R&D 팀은 핵심 고객의 파트너 ship에 근거하여 외부의 파트너와 기관에 매우 밀접하게 협조하고 있습니다. 당사의 코어 재료는 최대의 수지 소비 절감이나 최적의 라미네이트(Laminate) 미관뿐만 아니라 용이한 핸들링, 나무랄 데 없이 능률적인

프로세싱을 위한 다양한 피니시 옵션을 제공합니다. 재고와 운임 지출 방면에 관해, 당사 파트너의 글로벌 네트워크는 귀사가 어디에 계시든지 귀사가 당사의 물품을 입수하는 것을 가장 적합하게 도와드릴 것이며, 혹은 당사의 대단히 정교한 키트는 항상 빠르고 능숙한 현장 지원을 확신함으로써 귀사의 폐기물을 줄여줍니다. 당사는 충실히 지속 가능한 방법으로 비즈니스를 합니다. 당사가 생태계와 사회적 책임을 진지하게 받아들이는 것을 고객에게 증명하는 것은 매우 중요합니다.

[주]: 본 자료는 3A Composites의 사내 및 고객 배포용 정보지인 Sandwich technology News 2012년 Spring 호의 내용과 일반적인 PET FOAM의 특성을 기반으로 작성된 것을 발췌하여 번역한 것으로 자료의 내용을 사용한다든지 글의 정확성에 대한 법적 책임을 지지 않는다는 점을 양해바랍니다.

관련 자료에 대한 문의는 근영실업(주) 02-557-7817로 부탁드립니다.