

세계의 건축을 바꾸어가는 ETFE

“ETFE” Change Architecture of the world

장 일 순*
 Jang Il soon

이 성 범**
 Lee Sung beom

1. 서 론

얼마 후면 전세계인의 축제인 2008 북경올림픽이 개막된다. 이번 올림픽에서도 최신의 기술과 디자인을 반영한 건축물이 등장하고 있는데 특히 새 등지의 이미지를 반영한 주경기장과 물방울 이미지를 반영한 수영장이 가장 대표적으로 주목받고 있다. 일반에 알려진 대로 주경기장에는 ETFE 단일막과 PTFE막재가 복합 적용되었고, 수영장에는 ETFE 에어쿠션이 사용되었는데, 일반적으로 사용되는 투명자재인 유리에 비교하여 ETFE의 특징이 무엇인지를 설명하고, 국내에서 가장 알려진 ETFE 사례인 부산 주택문화관의 사례 설명을 통해 ETFE에 대한 일반의 이해를 도모하고, 건축적 적용 방향에 대해 설명하고자 한다.

2. ETFE의 개요

2.1 ETFE의 정의

ETFE는 테트라 플루오르에틸렌과 에틸렌으로 구성된 열가소성 불소수지 공중합체를 의미한다.

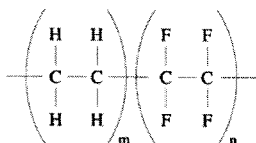


그림 1. ETFE의 구조

* 정회원 · 마크막스코리아(주) 과장, 공학사
 ** 마크막스코리아(주) 대리, 공학사

2.2 적용 방식

ETFE 필름은 일반 막구조와 같이 인장력을 부여하여 구조적 응력을 갖는 단일막과 쿠션형태로 내부에 공기압을 주어 응력을 갖는 에어쿠션으로 분류된다.

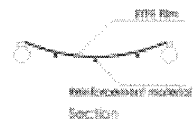
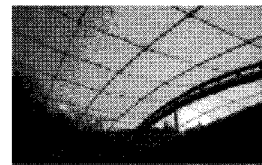


그림 2. ETFE 단일막 구조

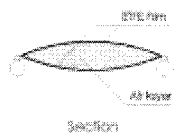
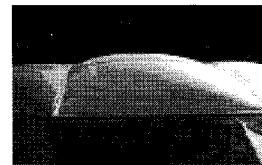


그림 3. ETFE 에어쿠션 구조

3. ETFE의 물리적 특성

3.1 내충격성 및 신장율

내충격성 : ETFE는 겹침부에 실란트처리를 해야 하는 유리와 달리 막재와 단부의 클램프에서 충격을 흡수할 수 있으므로 실란트 혹은 가스켓 처리가 불필요하며, 또한 실란트 열화로 인한 재시공의 필요가 없다는 장점이 있다.

신장율 : ETFE는 신장율이 0에 가까운 유리와 달리 매우 유연하여 파괴전 탄성범위에서 약 350%까지 신장 가능하다.

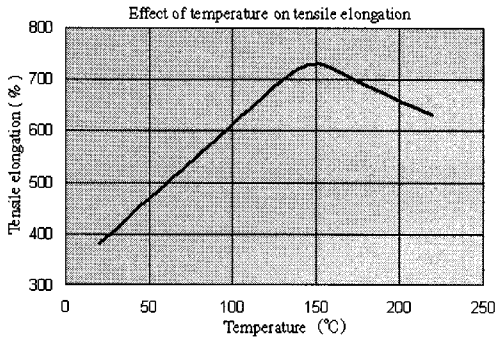


그림 4. 온도에 따른 ETFE의 신장율

3.2 단열 성능

단일막의 경우 6mm 유리와 200mic ETFE의 열관류율은 거의 비슷하며, 두 자재 모두 2중으로 구성할 경우 자재 특성과 공기층의 두께 때문에 ETFE가 좀 더 우수한 단열성능을 보이고 있다.

	ETFE		유리 (glass)	
	1-layer (200um)	2-layer (200um+A300mm+200um)	1-layer (6mm)	2-layer (6mm+A300mm+6mm)
열관류율 (W/m2k)	5.8	2.6	5.8	3.3

표 1. ETFE와 유리의 열관류율 비교

3.3 내후성 및 내화학적

기후축진시험에서 ETFE는 약 20년의 매우 우수한 내후성능을 보여준다. (20년 후 약 20%저하)

또한 ETFE는 PVC, PVF등 타 자재에 비해 월등히 우수한 내화학적성을 보유하고 있다.

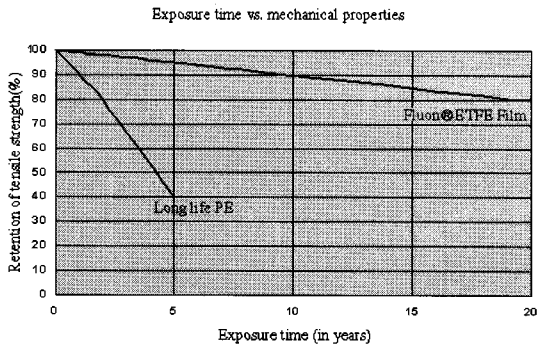


그림 5. 시간 경과에 따른 ETFE의 내후성

3.4 투광성

ETFE는 가시광선 영역에서 약 90%, 자외선 영역에서 약 83%의 투과율을 보이며, 아래 그래프에서 확인할 수 있는 것처럼 모든 영역대에서 유리 등의 자재보다 태양광에 가까운 높은 투과율을 보여 준다.

또한 ETFE는 반투명처리, 패턴프린팅 등을 통한 추가적인 투명도 조절이 가능하다.

투과율(%)	ETFE		유리 (glass)	
	1-layer (200um)	2-layer (200um+A300mm+200um)	1-layer (6mm)	2-layer (6mm+A300mm+6mm)
가시광선	90.5	82.4	88.9	79.6
자외선	83.5	71.5	61.4	45.5

표 2. ETFE와 유리의 투광율 비교

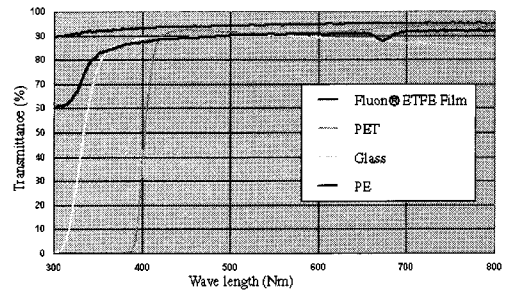


그림 6. ETFE와 타 자재의 영역대별 투광도 비교

또한 ETFE 필름은 시간이 지나도 투명도가 지속적으로 유지된다.

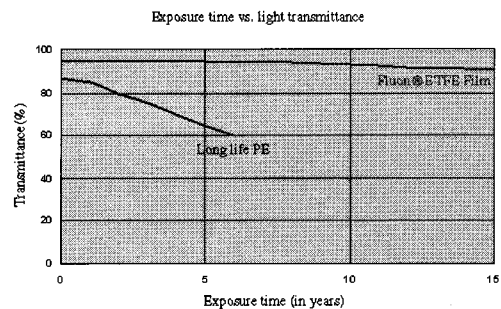


그림 7. ETFE의 시간 경과에 따른 투명도

3.5 안전성

ETFE는 유연한 물질이므로 파괴 및 비산물이 발생하지 않는다.

3.6 음향성능

다중막의 경우 쿠션이 흡음재로 작용하여 일반적으로 유리보다 우수한 방음성능을 보여준다. 아래 표와 같이 동일한 조건에서 ETFE의 경우 음 투과율이 더 낮음을 확인할 수 있다.

음 투과율 (%)	ETFE		유리	
	1-layer (200um)	2-layer (200um+A300mm+200um)	1-layer (6mm)	2-layer (6mm+A300mm+6mm)
100Hz이하	3.0	4.6	17.7	20.0
1000Hz이하	12.0	12.4	34.3	39.2
5000Hz이하	23.9	33.0	37.3	41.0

표 3. 유리 및 ETFE의 영역대별 음투과율 비교

3.7 자정능력

ETFE 필름은 사출재이므로 표면이 매우 부드럽다. 이러한 부드러운 성질과 쿠션의 비점착성으로 표면에 오염물, 배설물 등이 붙지 않고 비에 씻겨 내려가게 된다.

3.8 자중

ETFE 필름은 유리에 비교하여 매우 가벼우므로 구조체가 가벼워지고 디자인 범위가 넓어진다. (250NJ기준 약 438g/m²)

3.9 불연성능

ETFE는 DIN 4102-1 B-1에 의거한 방염1급 (난연)자재에 해당되며, 용점은 약 260°C, 연속사용 온도는 약 150~180°C로 불연재인 유리보다 낮다.

그러나, ETFE는 인화성이 낮으며 불길에 번지지 않는 특성이 있어 불에 접촉시 그림8처럼 구멍이 나며 오그라들고, 용융에 의한 액체가 발생하지 않는다.

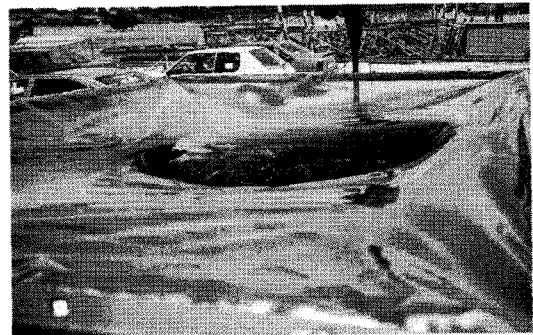


그림 8. ETFE 방화실험 사진

결론적으로 ETFE는 투광성, 내구성, 음향성능 측면에서 유리에 상당 혹은 그 이상의 성능을 보유하고 있으며 안전성, 자정능력 및 자중이 가벼운 특징이 있다.

비록 불연성능에 있어 ETFE는 난연재에 해당하나 불이 번지지 않고 녹아버리기 때문에 화재시 외기에 노출되어야 하는 대공간의 경우 불연재보다 안전성을 확보할 수 있으며, 이러한 특성으로 독일 주경기장에 적용되게 되었다.

4. 사례검토 : 부산 주택문화관

4.1 개요

재료 : ETFE : 2-layer ETFE (250NJ), 81 panel

구조 : 알루미늄 클램프 고정 디테일

설비 : 송풍유닛 2set, 제어반 1set 및 내압 감지
센서, 밸브류, 풍속계 적용

4.2 재료 구성

외막에는 로고를 프린팅한 투명ETFE를, 내막에는 불투명 ETFE의 2-layer를 적용하여 주간에는 투광조절효과, 야간에는 조명 확산효과를 얻을 수 있다.

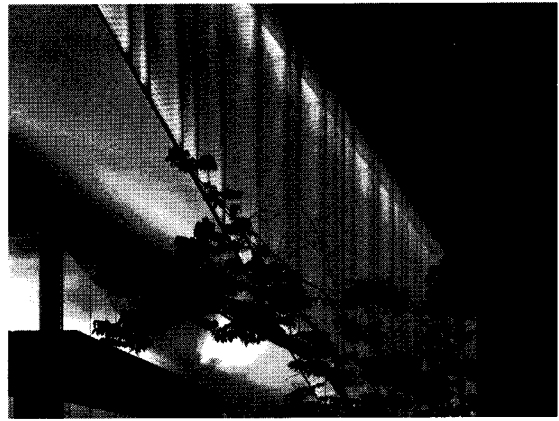


그림 10. 아간실외사진 (내부조명확산 및 로고투영)

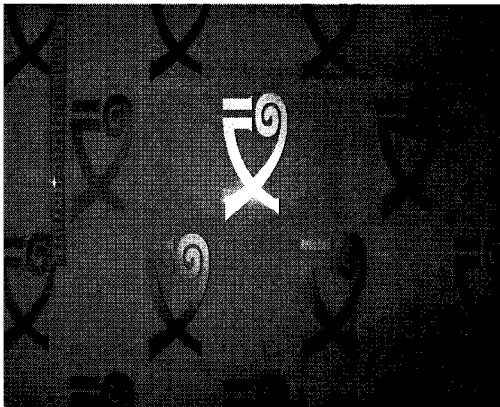


그림 9. 투명 외막에 프린트된 로고

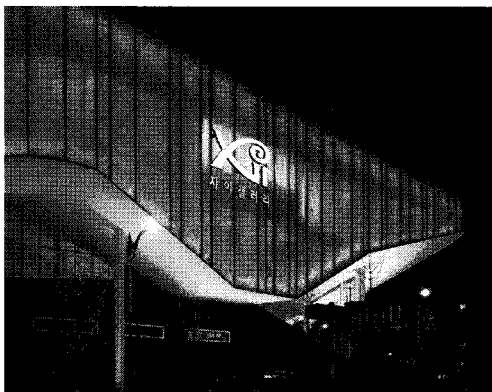
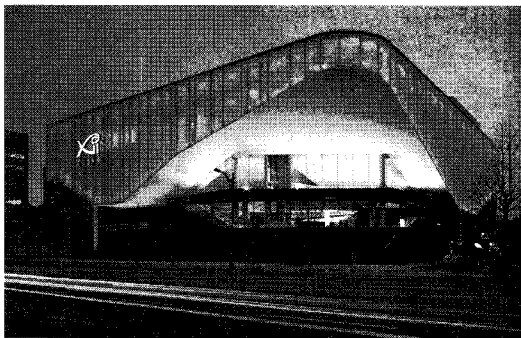
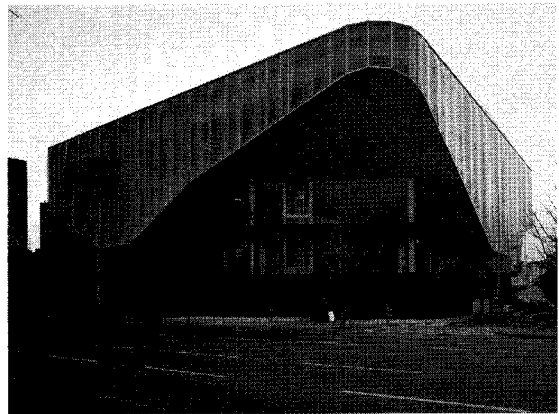


그림 11. 주간 실내사진 (간접채광연출)

4.3 구조 계획

ETFE 쿠션은 기본적으로 건축 골조에 긴결된 강관 프레임 (그림12) 에 고정하는 형태로 계획하였으며, 강관 프레임과 ETFE는 알루미늄 클램프와 패스너를 사용하여 체결하였다. (그림13)

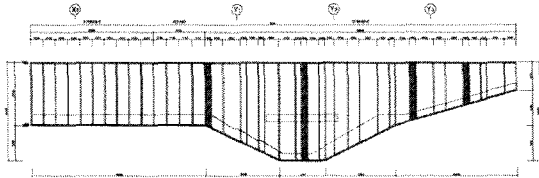


그림 12. 건축 골조에 긴결된 강관프레임 계획

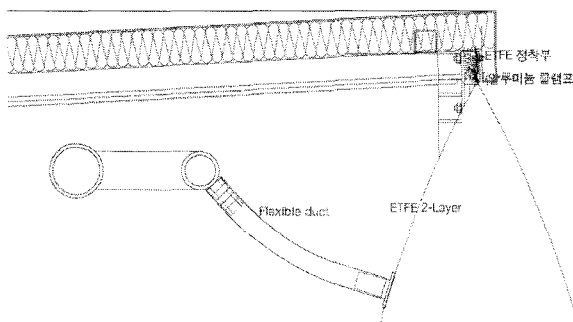


그림 13. 강관프레임과 ETFE 정착 디테일 (단면)



그림 14. 강관프레임과 ETFE 정착 디테일 (사진)

4.4 설비 계획

ETFE 쿠션에서 송풍설비는 쿠션 내부의 적정내압 유지목적으로 필요하므로, 쿠션 내 공기량에

상응하는 풍량의 제습기와 송풍기를 사용하였다.

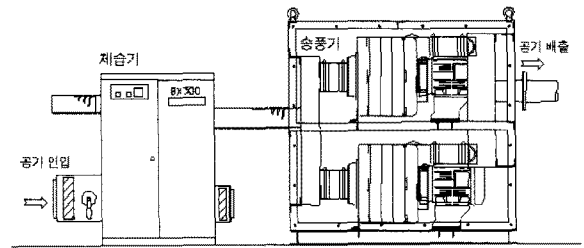


그림 15. ETFE 송풍유닛 구성

ETFE 쿠션의 내압은 쿠션 내압 저하와 외기 풍속변화에 따라 작동하도록 설계하였으며, 총 81개의 쿠션을 10개 단위 8개 그룹으로 관리, 내압 상황에 따라 제어반에서 송풍유닛, 전자밸브, 퍼지밸브를 작동시키도록 하였다. (그림16)

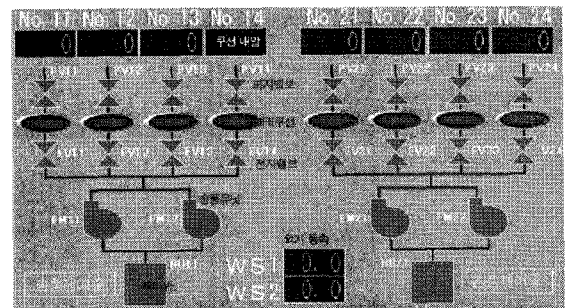


그림 16. 제어반의 ETFE 내압자동제어 화면

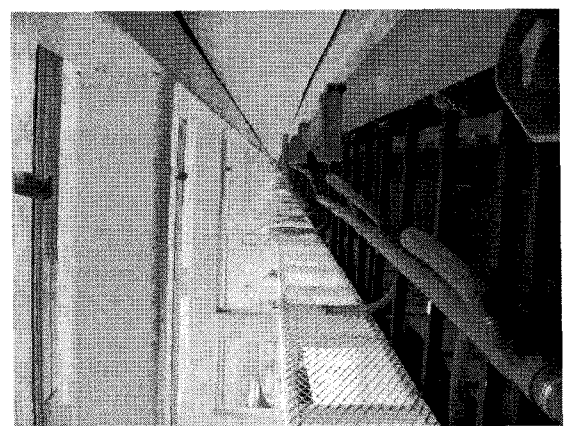


그림 17. 상부 송풍배관 (ETFE연결 전)

(또한 외기풍속 20m/s 이상시 지정된 수치로 내압을 상승시켜 쿠션의 허용응력이 높아지도록 설계하였다.)

5. 결 론

지금까지 검토해 본 것과 같이 ETFE는 형태의 자유로움은 물론 구조적 안정성, 연출효과까지 얻을 수 있는 특성이 있어, 건축가로 하여금 우리가 구현할 수 없었던 디자인과 연출을 가능하게 하여 세계 건축의 변화에 일조하는 구조재료로 인식되고 있다.

더불어 태양광에 가까운 가시광선/자외선 투과율, 높은 단열효과, 대공간에 적합한 방화성능으로 실내환경이 쾌적해지므로 유럽에서는 병원, 온실 및 아파트, 워터파크 등에 많이 사용되고 있다.

결론적으로 ETFE는 외장 디자인 측면과 실내환경 측면에서 유리에 비해 장점을 가지고 있는 소재로 대공간 건축을 중심으로 적용범위가 넓어질 것으로 생각된다.