



Protective Vents

LED 조명용 GORE® 프로텍티브 벤트의 신뢰성 테스트

최근 많은 상업 및 주거용 조명이 LED조명으로 업그레이드 되고 있다. LED 조명은 RoHS 지침에 준수하여, 에너지 사용량을 최대 85% 절감하고 수명이 최대 100,000 시간에 달하며 옥외용 조명 분야에서 가장 친환경적이며 신뢰성 있는 솔루션으로 평가받고 있다.

옥외용 조명은 다양한 외부 오염 입자의 침투를 방지하기 위해 밀폐형 함체로 설계되는데 이러한 밀폐형 조명 기구는 열을 조명 기구 밖으로 배출시키지 못한다는 단점이 있다. 또한, 온도 변화나 상대 습도와 같은 주변 환경 조건 또한 옥외용 조명의 신뢰성에 영향을 끼치는 요소이다. 외부 온도 변화는 조명 기구 내부에 현저한 압력 차이를 발생시키는데 시간이 경과하면서 조명 기구에 가해지는 압력으로 인해 실링이 파손되고 오염 입자 및 물 등의 액체류가 조명 기구 내부로 침투되게 된다. 이는 케이블의 손상은 물론 전원 공급 장치나 LED 소자 등 전자 부품의 고장을 유발하여 조명의 수명을 단축시킨다. 뿐만 아니라 조명 기구 내부에 침투된 습기는 광효율을 저하시키고 렌즈 및 반사 장치에 결로를 형성하게 된다.

하지만 조명의 내부 압력 상승시 외부와 압력 평형을 이루게 해주면, 제품의 신뢰성 및 내구성이 향상된다. 이 때 중요한 점은 물이나 각 종 오염 입자의 침투는 방지하면서 공기 및 기체가 조명 내외부로 자유롭게 통기되어야 한다는 점이다. GORE® 프로텍티브 벤트는 물 및 각 종 오염 입자의 침투는 효과적으로 방지하여 주면서 조명 기구에 지속적인 통기성을 제공하여 준다. W. L. Gore & Associates(이하 고어)는 2개의 조명을 옥외에 설치한 후 각각의 조명 내부 온도, 습도 및 압력 변화를 1년간 관찰하였다.

테스트 설계

정확한 테스트 진행을 위해 고어는 시중에 판매되고 있는 LED 가로등 2대를 구매하여(그림 1) 미국 메릴랜드(Maryland) 주 엘크톤(Elkton)의 옥외 테스트 지역에 설치하였다. 설치된 조명의 수명은 20년이며 IEC60529의 IP66 표준 제품이다. 본 조명 시스템에는 전원 공급 장치와 드라이버가 설치된 중간 챔버와 LED 소자와 반사 장치가 설치된 2개의 외부 챔버가 있다. 중간 챔버와 두 개의 외부 챔버 사이에는 케이블 세개의 챔버 사이를 통과할 수 있도록 개방된 포트가 설계되었는데 이는 챔버에 통기성을 제공하는 역할 역시 함께 하였다. 그리고 각 조명의 상단에는 광센서가 설치되어 주변 밝기에 따라 자동으로 전원이 작동되도록 설계되었다.

그리고 각 조명의 중간 챔버에는 온도 및 압력 탐지기가 설치되어, 매 10분마다 측정된 온도, 습도 및 압력 데이터가 기록되었으며, 2개 조명 중 1개에만 실리콘을 이용하여 GORE® 프로텍티브 벤트가 설치되었다. (그림 2)

누수 통로

조명에 전원이 공급되자마자 밀폐형 조명 기구 내부의 압력이 급격히 상승한 후 즉시 다시 하락하기 시작하였다. 이러한 현상은 테스트 시작부터 지속적으로 발생하였기 때문에 엔지니어링 팀은 이것이 압력 차이로 인한 가스켓의 파손이라기 보다는 조명 설계시 필연적으로 발생하는 일이라고 생각했다. 하지만 실질적으로 이러한 현상은 시간이 경과하며 발생하는 압력 차이로 인해 발생한다.

그림 1: GORE® 프로텍티브 벤트가 설치된 조명

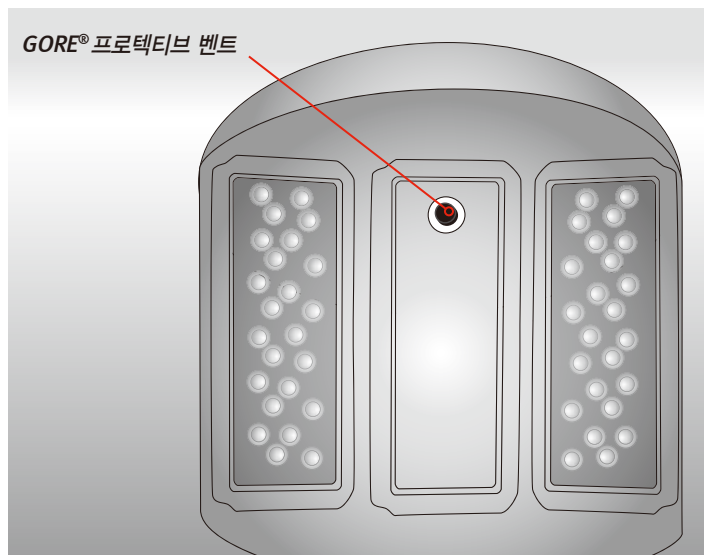
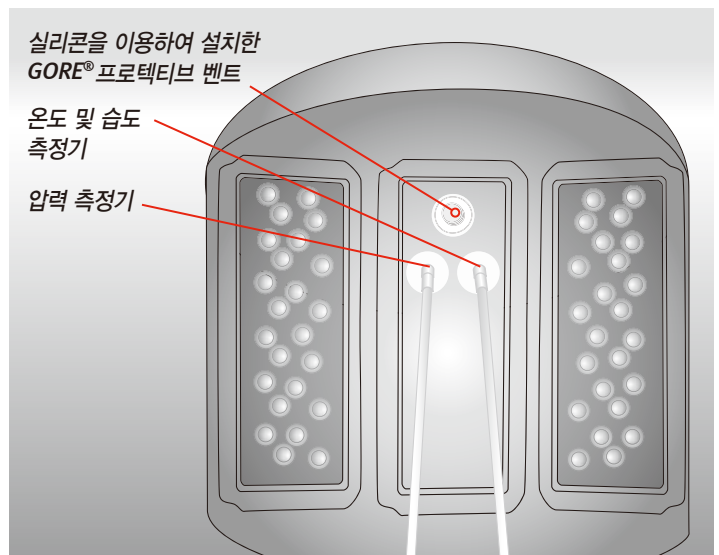


그림 2: 벤트가 막혀진 조명





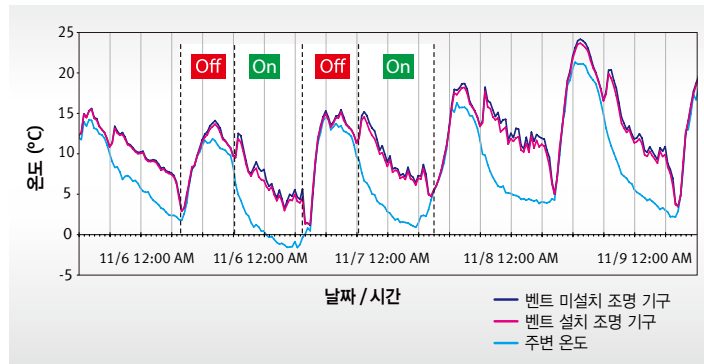
Protective Vents

누수가 일어나는 지점은 전원 공급 모듈과 전기 컴파트먼트 (그림 3) 사이의 케이블 커넥트 부위였다. 좀 더 구체적으로 두개의 조명 모두에서 고무 튜브와 케이블을 둘러싸고 있는 부직포 소재 사이에 누수가 발생한 것이다.

일상적으로 발생하는 내부 온도 변화와 계절성 기온 변화는 조명의 기구 내부 공기를 수축 혹은 팽창시킴으로서 현저한 압력 차이를 발생시킨다. 이와 함께 전원이 켜질 때와 꺼질 때 발생하는 온도 차이 역시 매우 높은 압력 차이를 유발한다.

두 개의 조명 내부 온도 변화는 아래와 같다.(그림 4) 예를 들어 2011년 11월 7일 주변 온도는 1°C ~ 16°C 였다. 이 날 벤트가 미설치된 밀폐된 조명 기구 내부 온도는 5°C ~ 19°C 였고 벤트가 설치된 조명 기구는 5°C ~ 18°C 였다.

그림 4: 온도 주기



압력 차이

압력 차이는 내부 온도 변화에 의해 유발된다. 내부 온도가 상승하면 내부 압력이 상승하여 O-링 실링 및 기타 조명 기구 부품에 압력을 가하게 된다. 반대로 내부 온도가 하락하면 내부 공기가 수축하여 진공 상태를 형성하고 마찬가지로 O-링 실링 및 기타 조명 기구 부품에 압력을 가하게 된다.

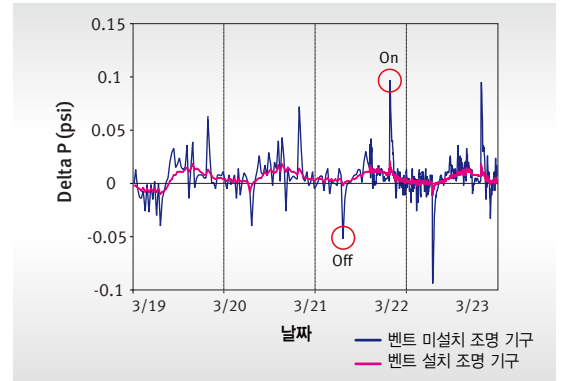
결과적으로 조명의 전원을 키고 끄는 주기가 반복되면서 조명 기구 내부에는 압력이 형성된다. 벤트가 미설치된 밀폐된 조명 기구의 경우 전원을 켜올 때 내부 압력이 최대 0.09psi에 달했고 꺼졌을 때는 -0.1psi가 되었다. 만약 조명에 개방된 통로가 없었다면 압력 차이는 훨씬 컸을 것이다.

벤트가 설치된 조명 기구는 GORE® 프로텍티브 벤트가 조명 기구 내 공기를 소통시켜줌으로써 전원이 켜졌을 때와 꺼졌을 때 압력 차이가 불과 ±0.01psi 였다.

그림 3: 케이블 커넥트의 누수 틈



그림 5: 압력 차이

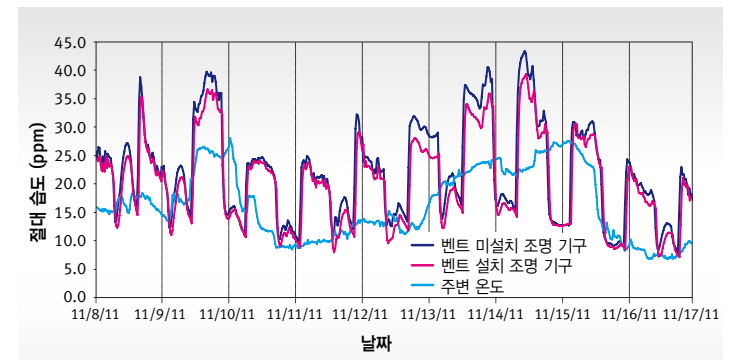


습도

습도는 조명 기구 안의 수증기의 양을 의미한다. 절대 습도란 공기의 단위 부피당 수증기의 중량을 말하며 단위는 ppm(parts per million)이다. 상대 습도란 주어진 온도의 포화 수증기량에 대한 실제 수증기량의 비율을 뜻한다. 습도 측정은 결로와 연관성이 깊어 매우 중요하는데, 그 이유는 조명에 결로가 발생할 시 전자 부품 고장 및 LED 광효율 저하를 초래하기 때문이다. 아래 세가지 요소가 내부 습도에 영향을 끼친다. (그림 6)

- 두 개의 조명 모두 점등 주기에 관계없이 외부 습도에 따라 내부 습도가 변화하였는데 이는 벤트나 개방된 통로를 통해 수증기가 조명 기기 내부로 유입되기 때문이다.
- 조명 렌즈로 사용된 투광성 플라스틱 소재가 렌즈 내부로 습기를 유입하였다.
- 인쇄 회로 기판(이하 PCB)에 사용된 소재는 본질적으로 습기를 흡수한다. 조명이 점등되었을 때 발생한 열은 PCB에 흡수된 습기를 배출하여 조명 기구 내에 습기를 증가시킨다. 그리고 조명이 소등되면 다시 PCB가 습기를 흡수한다. 따라서 측정된 습도는 점등시에는 급격히 증가하였다가 소등시에는 저하되었다.

그림 6: 주위 습도 대비 내부 습도



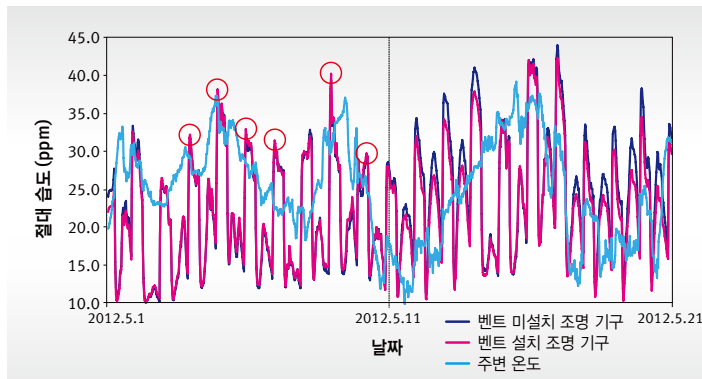
테스트 기간 동안 벤트가 미설치된 밀폐된 조명의 절대 습도는 벤트가 설치된 조명보다 항상 높았다.(그림 7) 이로 인해 결론적으로, 벤트가 설치된 조명 기구 내부가 더 건조한 상태로 유지되기 때문에 습기와 접촉이 적어 장기간 동안 높은 성능을 유지한다는 것을 의미한다.

그림 7: 벤트가 미설치된 조명 기구와 벤트가 설치된 조명 기구의 내부 습도 차이



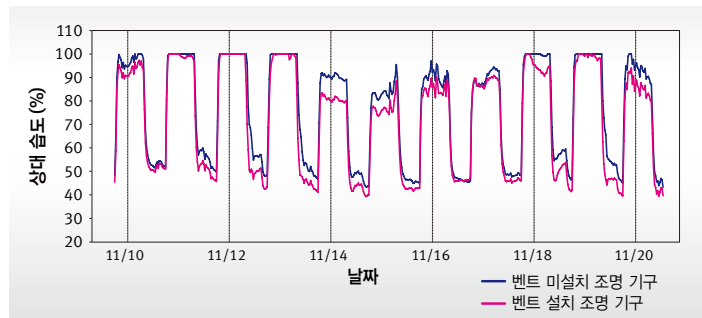
극히 드물게 2012년 5월과 같이(그림 8) 외부 습도가 조명 기기 내부 습도보다 높을 때에는 벤트가 미설치된 조명의 절대 습도가 벤트 설치 조명의 절대 습도보다 낮았다. 하지만 그 차이는 매우 미미하며 이는 PCB의 건조 효과 때문인 것으로 예측된다.

그림 8: 외부 습도가 더 높을때의 영향



2개 조명의 절대 습도와 상대 습도 차이는 미미했다. 습도가 매우 높았을 때 2개 조명은 100% 상대 습도에 도달하여 조명 내부에 결로를 유발하였다.(그림 9) 하지만 벤트가 설치된 조명 기구는 더욱 신속히 결로가 저하되었는데 이는 벤트가 습기를 배출시켰기 때문이다.

그림 9: 조명 기구 내부의 결로 효과

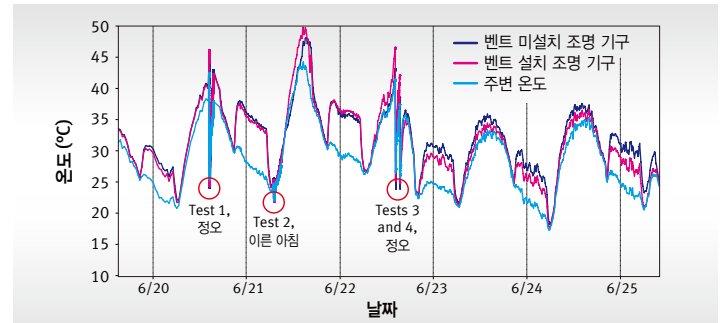


열충격 테스트

실제 사용 환경 조건에서 조명 기구의 방수 성능을 테스트하기 위해 물이 있는 환경에서 열충격 테스트를 진행하였다. 본 테스트는 IP65 초과 조건하에 설계되었다. IP65 노즐을 사용하여 2.5~3미터 거리에서 분당 21리터의 물이 3분간 분사되었다. IEC60529는 기구 내부 압력 변화의 최소화를 위해 테스트시 실험실에서 테스트 장비와의 온도 차이가 $\pm 5^{\circ}\text{C}$ 인 물을 이용하여 진행하도록 명시하고 있다. 하지만 실제 조명이 설치되는 외부 환경 조건에서 테스트하는 것이

더욱 현실적이기 때문에 실제 외부 환경을 심분 반영하면서도 높은 수준의 열충격을 가하는 조건에서 테스트되었다. 본 테스트는 2012년 6월 20일~22일까지 진행되었는데 주변 온도는 약 38°C 였다. 조명 기구의 내부 온도는 $25^{\circ}\text{C} \sim 41^{\circ}\text{C}$ 였으며 물 온도는 내부 온도를 5°C 이내로 만들고자 22°C 로 진행한 2차 테스트를 제외하고는 24°C 였다. 이로 인해 최대 온도 차는 16°C 이상이 낮다.(그림 10) 3차, 4차 테스트는 세척과 같은 더욱 혹독한 환경 조건을 구현하기 위해 연이어 진행되었다.

그림 10: 충격 테스트중 온도 변화

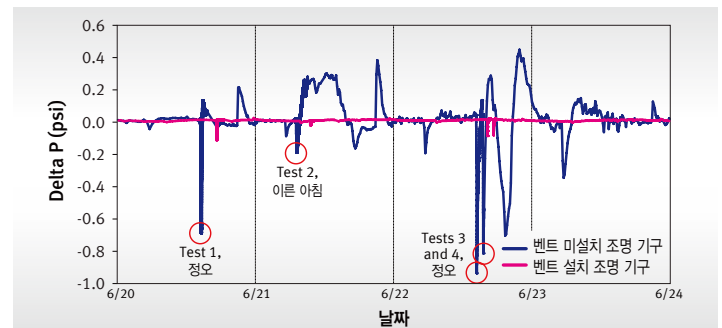


압력 결과: 열충격 테스트는 급격히 변화하는 외부 환경 조건에서 조명 기구의 압력 평형 성능을 보여준다. 테스트가 지속되는 동안 벤트가 설치된 조명 기구는 물의 침투는 방지하면서 조명 기구 내부의 압력 평형을 지속시켰다. (그림 11)

벤트가 미설치된 조명 기구는 최대 0.95psi에 이르는 높은 압력 차이가 발생했는데 이는 케이블 커넥트의 누수 통로에 가해진 압력의 10배가 넘는 수치이다.(그림 11) 2차 테스트는 조명 내부 온도의 5°C 이내의 물 온도로 진행되었기 때문에 열충격이 매우 근소했다.(압력 차이 0.2psi 미만) 3차와 4차 테스트 결과는 1차 테스트와 동일하였다.

테스트가 진행되는 동안 벤트가 미설치된 조명 기구의 개방된 통로는 진공 현상에 의해 부분적으로 물에 의해 밀폐되었다. 낮 동안 조명의 내부 온도가 상승함에 따라 조명 기구는 개방된 통로를 통해 충분히 압력 평형을 이루지 못했기 때문에 내부 압력이 급격히 증가하여 2, 3, 4차 테스트 이후 약 0.4psi에 도달하였다.(그림 11) 왜냐하면 벤트가 미설치된 조명 기구는 통로가 폐쇄되어 압력 평형을 이룰 수 없기 때문에 열충격 테스트 후 내부에 진공 상태가 조성되었고 이로 인해 물이 내부로 유입되었기 때문이다.

그림 11: 1, 2차 충격 테스트 후 압력 차이

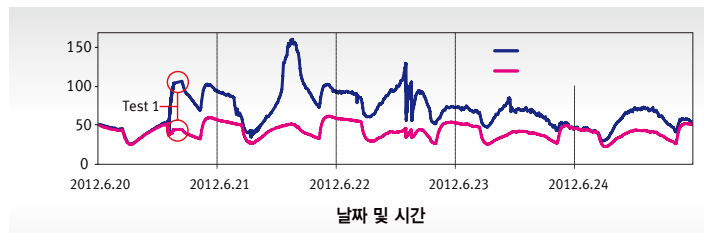




Protective Vents

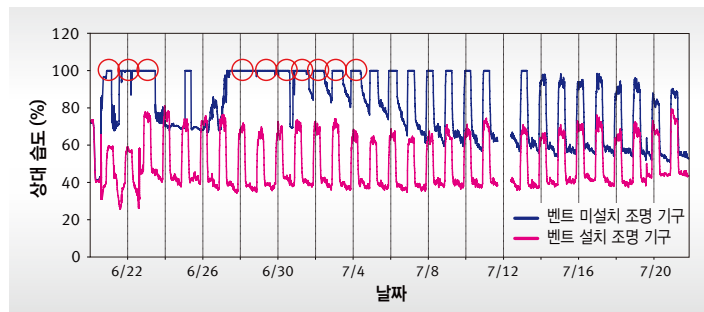
습도 테스트: 2개의 조명 기구 내부의 절대 습도를 평가함으로써 조명 기구의 방수 성능을 테스트할 수 있다. 앞에서 보여준 바와 같이(그림 6), 2개의 조명 기구 내부의 절대 습도는 45ppm 이하로 유지되었다. 하지만 물 스프레이 열충격 테스트 후 벤트가 미설치된 조명의 절대 습도는 155ppm으로 상승하였다. 테스트 전에는 두 개의 조명의 절대 습도가 비슷했지만, 벤트가 설치된 조명은 테스트 중간 및 후에 벤트가 미설치된 조명 기구보다 훨씬 낮은 습도를 유지하였다.

그림 12: 충격 테스트 동안 절대 습도



열충격 테스트 후 약 한 달 이상, 벤트가 미설치된 조명의 상대 습도는 벤트 설치 조명보다 훨씬 높은 습도가 유지되었다. 이는 벤트가 미설치된 조명 기구의 통기성 및 습기 확산율이 훨씬 낮기 때문이다. 뿐만 아니라 테스트 첫 10일 동안 벤트가 미설치된 조명 기구 내 상대 습도가 거의 100%에 달했는데 이는 액체가 조명 기구 내부로 유입되었음을 의미한다.

그림 13: 벤트가 미설치된 조명 기구의 습기 지속 기간



Note: 벤트가 미설치된 조명 기구가 장기간의 습기 포화상태에 노출됨으로 인해 내부에 설치된 습도 센서가 정확한 데이터 측정치를 반영하지 못하게 됨.

결론

2개의 동일한 설계 방식의 LED 조명(벤트가 미설치된 조명 기구 및 벤트가 설치된 함체)을 이용한 테스트를 통해 GORE® 프로텍티브 벤트가 조명 기구의 압력 평형을 이루어줌으로써 물의 유입, 결로 및 습기량을 줄여준다는 것이 검증되었다. 2011년 11월부터 시작되어 제품 수명 기간 동안 지속된 본 테스트를 통해 조명의 점/소등 주기, 열 및 냉각 회로 보드로 인해 조명이 지속적으로 습기를 흡수 및 배출한다는 점을 확인할 수 있었다.

벤트가 미설치된 조명 기구는 본래 케이블 커넥트 내부에 개방된 통로가 설치되도록 설계되기 때문에 점/소등 주기 초기에만 2개의 조명간 현격한 내부 압력 차이를 나타내었다. 하지만 옥외에서 진행된 IPX5 테스트에서는 컨트롤 유닛 내부에 진공을 형성할 정도로 온도 차이가 컸다.

조명 기구 내 진공 상태는 내부로 물을 유입시켰고 한번 유입된 물은 밖으로 배출되지 못해 1달간 남아있었다. 이러한 현상은 부식, 전자 부품의 고장 및 렌즈에 결로를 형성하여 조명의 외관에 부정적인 영향을 미치는 물론 내구성 및 광효율을 저하시키고 제품에 치명적인 고장을 유발할 수 있다.

반면에 전원 공급 장치에 GORE® 프로텍티브 벤트를 설치한 조명은 테스트 기간 동안 지속적인 압력 평형을 유지하였다. 비록 열충격 테스트 동안 확산 현상에 의해 내부 절대 습도가 상승하였지만 절대 습도 수준이 벤트가 미설치된 조명 기구 대비 지속적으로 낮은 상태를 유지하였고 포화 현상이 일어나지 않았다.

모든 테스트에서 GORE® 프로텍티브 벤트는 압력 평형을 유지하고 액체의 유입을 방지하였다. 뿐만 아니라 습기가 유입되었을 때는 수증기를 배출시켜 조명 내부의 결로 발생을 저하하였다. 다양한 크기, 형태 및 소재로 공급되는 고어 벤트는 다양한 크기의 밀폐형 조명 기구에 최적의 통기성을 제공함으로써 압력 평형을 이루어 준다.

INTERNATIONAL CONTACTS

호주	61.2.9473.6800	멕시코	52.81.8288.1281
베네룩스	49.89.4612.2211	스칸디나비아	46.31.706.7800
중국	86.21.5172.8299	싱가포르	65.6733.2882
프랑스	33.1.5695.6565	남아프리카	27.11.894.2248
독일	49.89.4612.2211	남미	55.11.5502.7800
인도	91.22.6768.7000	스페인	34.93.480.6900
이탈리아	39.045.6209.240	대만	886.2.2173.7799
일본	81.3.6746.2572	영국	44.1506.460123
한국	82.2.393.3411	미국	1.410.392.4440

(주) 고어 코리아

서울시 서대문구 총정로 3가 368 종근당 빌딩 12층
전화 : 02-3149-7670 팩스 : 02-393-1285
E-mail : kr_ptv@wlgore.com

gore.com/koreaptv

산업용으로만 사용 가능합니다. 식품,약품, 화장품 또는 의료기기의 제조, 처리, 또는 포장 공정 용도로 사용할 수 없습니다.

본 자료에 기재된 모든 기술 정보 및 권고 사항은 고어의 경험 및 테스트 결과에 의거하여 작성되었습니다. 고어가 보유한 지식을 기반으로 작성된 본 자료에 대해 고어는 법적 책임을 지지 않습니다. 제품의 정확한 성능은 모든 필요 데이터가 있을시에만 판단 가능하므로 구체적인 적용 분야에서의 제품의 적합성 및 유용성은 개별 테스트가 필요합니다. 상기 정보는 변경될 수 있으며, 사양서의 용도로 사용될 수 없습니다.

고어의 판매 조건은 고어사가 제조한 제품의 판매에 적용됩니다.

GORE 및 디자인은 W. L. Gore & Associates의 등록 상표입니다.

© 2013 - 2014 W. L. Gore & Associates, Inc.

