

인공 가속 내후성 시험 장치의 종류와 차이점

한국의류시험연구원(KATRI)
신뢰성·기술연구센터 주임 신은호

제품의 내구성을 평가하는 방법 중 하나인 내후성 시험의 이해를 돕고 최근까지 새롭게 개발된 인공 내후성 시험 장치들의 특징을 인공광원을 중심으로 살펴보고 각 시험 장치의 장단점을 설명하고자 한다. 최근에는 이런 장치를 이용하여 품질 뿐만 아니라 소재 및 제품의 수명 및 신뢰성 평가를 하기 위해 시험방법들이 일부 개발되고 있는 추세이다.

1. 내후성과 내후성 시험

미국의 내후성 시험과 관련해서 100년 정도의 역사를 지닌 기관의 내후성 정의에 따르면 “재료나 상품이 기상의 영향을 받아 위치 않는 형태로 변형되는 것”이라고 되어 있다. 이것은 기후에 의해 재료나 상품이 원래의 성능이나 목적을 수행하지 못하는 상태로 변하게 된다는 것인데 이런 문제는 제품의 생산자와 소비자에게 심각한 문제이다.

기후에 의해 재료나 상품의 성능 또는 품질이

어느 정도 저하되는지는 평가하는 것이 내후성 시험이다.

2. 내후성의 요소

내후성의 세 가지 기본요소는 빛 에너지(태양광), 온도, 물이다. 그렇지만 단지 이러한 요소들만이 재료의 마모 또는 노화의 양을 결정하는 것은 아니다. 왜냐하면 서로 다른 형태의 빛 에너지, 다른 수분 형태 그리고 온도순환 등이 환경 조건에 노출된 재료에 엄청난 영향을 주기 때문이다. 이러한 기본요소와 함께 오염물질, 생물학적인 현상, 산성미, 염분 등의 이차적인 효과들이 다같이 재료의 노화를 일으키며 상승작용(synergy)을 한다.

특히 태양광이 재료에 가장 큰 영향을 미치는데 국제조명위원회(Commission International de l'Éclairage)에서는 태양광에 대해서 표 1과 같이 정의하고 있다.



표 1. 국제조명위원회의 태양광의 분류와 비율

영역 이름	파장 영역	태양광 내에서의 비율
자외선(UV)	295-400nm	6.8%
가시광선 (Visible)	400-800nm	55.4%
적외선(IR)	800-2450nm	37.8%

또한 실제로 미국 마이애미 지역의 평균 분광 복사량 분포(SPD)에 대해 26° 남향 방향으로 측정 한 직사광의 그래프는 그림1과 같다. 그래프의 X 축은 태양광의 파장을 표시하고 Y축은 각 파장에 서의 복사 조도를 표시하고 있다. 그리고 그래프에

서의 곡선은 각 파장별 복사 조도를 표시하는 것이다. 분광 복사량 분포 그래프는 자연 광원과 여러 가지 인공 광원을 비교할 때 매우 유용한 그래프이다.

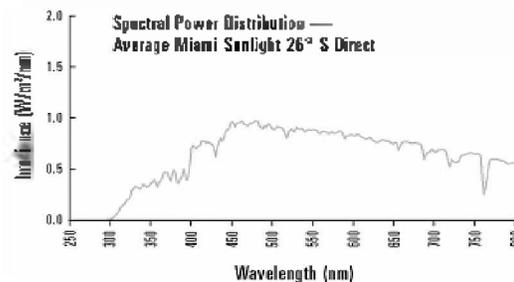


그림 1. 마이애미의 평균 분광 복사량 분포

3. 자연 내후성 시험과 실험실(인공) 내후성 시험

자연 내후성시험 또는 옥외 폭로 내후성시험은 직사광과 기타 기후요소에서 직접적으로 노출 하

는 것을 말한다. 그리고 간접 또는 유리를 통한 내후성시험은 직접 옥외환경에서 노출되지 않는 재료에 대한 시험에 주로 사용된다. 이 시험방법은 휘장, 카펫, 실내 장식품 등의 집안 용품과 자동차 실내 용품 등의 색상에 대한 내광성, 안전성을 시



힘하는데 사용된다.

이런 시험법은 실제로 제품의 변화를 관찰하고 실제 제품이 사용되는 자연 환경을 그대로 이용한다는 장점이 있지만 요즘과 같이 제품의 성능을 미리 평가하기 위한 방법으로는 시간이 너무 많이 걸린다. 예를 들어, 제품의 10년 후의 강도나 색상의 변화를 관찰하기 위해서는 10년을 관찰하여야 한다.

옥외 폭로 내후성시험보다 더 빨리 결과를 얻고 자항 경우 노화를 더욱 촉진(가속)하기 위해 인공 광원을 사용하는 장치가 개발되었다. 광원의 종류로는 카본 아크, 형광 UV 램프, 크세논 아크 램프 그리고 메탈 할라이드 램프 등이 일반적으로 사용된다. 이러한 내후성 시험방법을 실험실 촉진 내후성시험 또는 인공 내후성시험이라고 한다.

4. 인공 내후성시험 장치의 광원에 따른 비교

본 연구원에서 근무 하면서 많은 분들이 내후성 시험과 관련하여 질문하는 것 중의 하나는 인공 내후성 시험장치의 종류가 여러 가지인데 어떤 것을 사용하여야 하는지 모르겠다는 것이었다. 인공 내후성 시험 장치를 비교하는 가장 간단한 방법은 앞에서 이야기한 광원의 종류에 의해 쉽게 구분할 수 있다. 이 인공광원의 차이점을 이해하면 이런 의문을 쉽게 해결할 수 있다. 인공광원들은 자연의 태양빛과 동일한 빛을 만들기 위하여 노력하여 왔고 지금까지의 연구를 통하여 점점 자연광원과 유사한 인공광원으로 발전하여 왔다.

1) 카본 아크 시험기

최초의 인공 내후성 시험 장치는 카본 아크를

광원으로 이용하였다. 원래 카본 아크등은 내후성 시험을 위하여 개발 된 것은 아니고 지금으로부터 약 100여년 전에 영화 촬영 등에 사용되는 조명 장치의 광원이었다. 이런 조명 장치하에서 영화를 촬영하는 중 소품으로 사용된 커텐 등의 색상이 변하게 되었는데 이것에 원인을 얻어서 제품의 색상 변화 등의 성능 비교를 위하여 사용되기 시작하였다.

카본 아크 광원도 2가지 종류가 있는데 최초에는 자외선 카본 아크(ECA : Enclosed Carbon Arc)가 사용되었다. 나중에 자외선 카본 아크의 단점을 보완하기 위해 만들어진 것이 선샤인 카본 아크(Sunshine Carbon Arc)이다.

그림 2는 자연광, 자외선 카본 아크 그리고 선샤인 카본 아크의 분광 복사량을 그래프로 나타낸 것이다. 노란색은 태양광, 파란색선은 자외선 카본 아크 그리고 녹색선은 선샤인 카본 아크의 분광 복사량 분포이다. 아래 그래프를 살펴보면 자외선 카본 아크 358nm과 386nm에서 강한 분광 복사량 분포가 나타나는데 태양광 보다 훨씬 강하다. 이러한 형태의 광원은 UV 복사의 단 파장 부분을 흡수하는 재료의 경우 태양광에 비해 훨씬 약한효과가 나타날 수 있다. 왜냐하면 이 형태의 광원은 310nm 이하의 복사조도가 거의 없기 때문이다. 그러나 이러한 강한 분광 복사량 분포 때문에 장파장의 UV와 가시광선은 흡수하는 재료의 경우는 강한 효과가 나타난다. 선샤인 카본 아크가 방출하는 빛은 300nm 아래의 UV 파장에 대하여 태양광 보다 더 많은 에너지를 방출하지만 자외선 카본 아크 보다는 태양광에 더 근접한다. 장파장에 대하여 태양복사와 비교할 때도 선샤인 카본 아크는 자외선 카본 아크에 비하여 태양광에 더 가깝다.

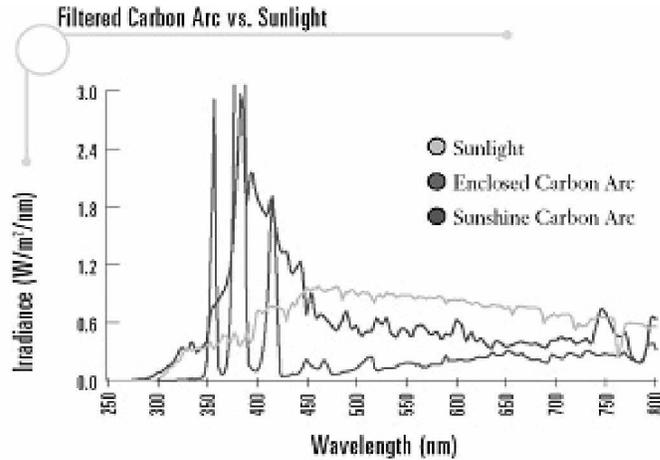


그림 2. 태양광과 카본 아크의 분광 복사량 분포 그래프

40년이 넘는 기간 동안 카본 아크 기술은 상업적으로 유일한 인공광원이었다. 그 결과 생산자들은 이 광원에 대한 자신들의 재료에 관련된 엄청난 양의 역사적 정보들을 축적하게 되었다. 새로운 재료가 개발되면 “이 재료는 내후성에서 예전 재료보다 나올까?”라는 의문을 가지기 쉽다. 이 의문에 대한 유일한 해답은 같은 광원에 노출 시켜 보는 방법밖에 없다. 또한 많은 규격과 재료 사양서가 카본 아크 광원을 쓰도록 명시 되어 있었다. 비록 자연광을 더 잘 시뮬레이션 할 수 있는 새로운 인공 내후성시험 장비들이 개발 되었음에도 불구하고 역사적으로 축적된 데이터들 때문에 제한적이지만 지속적으로 카본 아크 장치들을 재료의 내후성 시험에서 사용하고 있는 이유이다. 하지만 점점 크세논 아크 시험장치로 대체되고 있는 추세이다.

2) 형광 UV 램프 시험기

가정이나 산업용으로 사용하는 형광등과 유사

한 기계적, 전기적 특성을 가지는 형광 UV램프는 특정 분광분포를 만들기 위하여 제작되었다. 형광 UV-B램프는 313nm 부근을 최고 출력으로 하고 거의 모든 에너지가 280nm에서 360nm 사이에 몰려 있다. 파장의 많은 부분이 태양광보다 짧은 영역에 있으며 360nm를 넘는 빛은 거의 존재하지 않는다. UV-B램프를 사용하는 기기의 가속시험과 옥외 폭로 시험의 시험결과 값이 거꾸로 나온 경우가 여러 번 보고되었다. 이것은 많은 양의 빛이 단파장의 UV 영역에 있고 장파장의 UV와 가시광의 복사가 모자라기 때문이다. 이러한 경우에 노화 작용이 태양광에서와는 판이하게 다를 수 있기 때문이다. UV-A램프라고 불리는 형광 흑색 광원은 최고 출력이 340~370nm사이 이다. 이 중 UVA-340 램프는 태양광 325nm 이하의 짧은 파장의 복사조도를 시뮬레이션 한다.

형광 UV 램프 시험기의 경우 400nm 이하의 가시 파장 영역의 복사량이 존재하지 않기 때문에 제품에 대한 시험 용도가 한정되며 가시 파장 영역의 영향을 비교하기는 어려운 편이다.

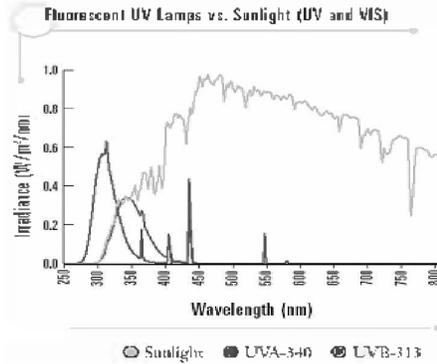


그림 3. 태양광과 형광 UV 램프의 분광 복사량 분포 그래프

3) 크세논 아크 시험기

크세논 아크 램프를 사용한 시험기는 다른 광원보다도 UV와 가시영역의 태양 에너지를 잘 시뮬레이션 한다. 크세논 아크는 밀폐된 수정관으로 만들어진 가스 방전등이다. 태양광을 시뮬레이션 하기 위하여 필터를 이용하여 분광 복사량 분포를 조절할 수 있다. 크세논 아크는 자연광에서 시험해야 하는 재료를 시험할 때 가장 선호되는 광원이다. 크세논 아크 시험기는 섬유, 고분자, 페인트 그리고 자동차 산업에서 광범위하게 사용되는 광원이다.

크세논 아크는 개발 과정에서 두 가지의 램프

냉각방식이 도입되었는데 수랭식 램프와 공랭식 램프가 그것이다. 수랭식 램프를 이용하는 시험장치는 비주지역에서 선호되며 공랭식 램프를 이용하는 시험장치는 유럽지역에서 선호되지만 이런 차이는 시시히 사라지는 추세이고 공랭식과 수랭식의 특징들을 이용하여 새로운 형태의 필터들이 새롭게 등장하고 있다. 냉각장치는 광원의 분광 복사 출력에 대해서는 무시할 수 있는 정도이나 전체적인 기계의 설계나 광 필터에는 다소 영향이 있다. 형광 UV 램프는 램프의 종류에 따라 나오는 파장이 정해져 있지만 크세논 아크 램프는 동일한 램프에 필터 조합을 이용하여 다양한 종류의 분광 복사량 분포를 만들 수 있고 이것을 태양광과 매우 유사하다.

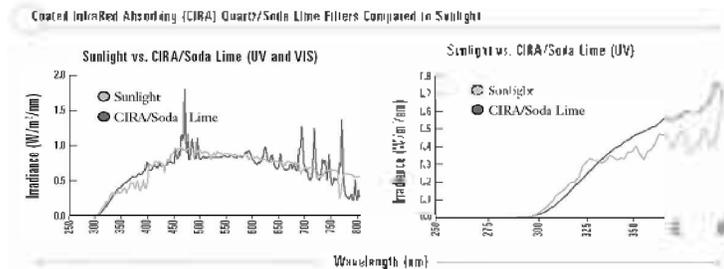


그림 4. 태양광과 크세논 아크 램프의 분광 복사량 분포 그래프



크세논 아크 광원을 시험장치는 현재 가장 많은 영역에서 사용되는 인공 내후성 시험장치이면 상당히 자연의 태양광과 유사하면 가속시험에서도 많은 유리한 점을 가지고 있다.

4) 메탈 헬라이드 시험기

메탈 헬라이드 램프는 방전 램프의 일종이다. 그것들은 여러 가지 형태와 다른 응용 목적을 두고 생산된다. 그 모든 형태들이 태양광 광원으로 분류된다 할지라도 그 중 몇 개만이 태양광 시뮬레이션에 적합하다.

일반 조명용으로 사용하는 메탈 헬라이드 램프에서 기초기술을 가져온 고성능의 메탈 헬라이드 램프는 사진광학 영역 1960년대에 처음 소개되었다. 현재의 메탈 헬라이드 램프는 높은 조명 효율

(약 100 lm/W), 5500에서 6000K의 색온도, 높은 조도(30 kcd/cm²) 그리고 비 발광 색상(100)이 표현하는 “자연” 색상에 거의 근접하는 색상표현(95) 등을 제공한다.

이 모든 특성들은 양질의 광원을 이야기하는 것이지만 이것이 곧 태양광 시뮬레이션을 위한 적합한 광원을 의미하는 것은 아니다. 태양광 시뮬레이션 시스템이 요구하는 광원은 모든 분광영역의 일치, 균일하고 안정된 복사조도인 것이다. 이런 특징을 만족하는 것이 MHG(Metal Halide Global) 램프이다.

MHG 램프는 태양광과 유사하지만 가속 시험을 위하여 광량의 조절 범위가 크세논 아크에 비하여 좁다. 만약 광량을 많이 조절하게 되면 자연의 태양광과 차이를 나타내는 분광 복사량 분포를 가지게 되어 강한 인공 가속(촉진) 시험에는 부적합한 것으로 알려져 있다.

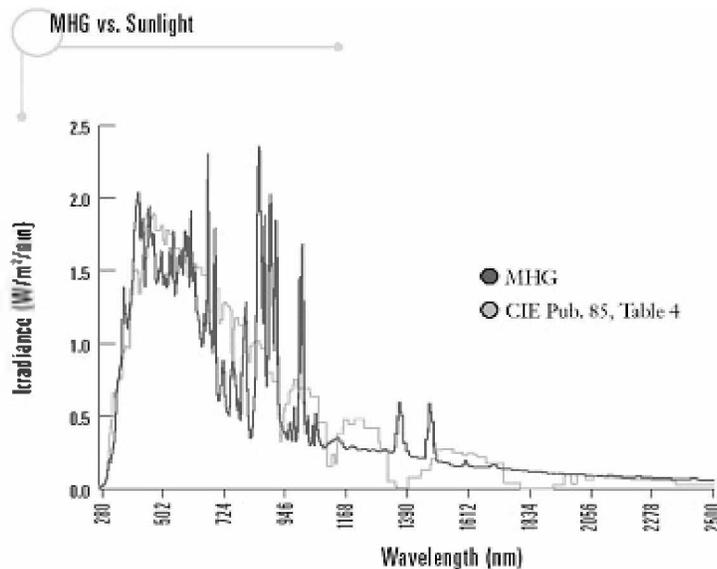


그림 5. 국제 조명위원회의 태양광과 MHG 램프의 분광 복사량 분포 그래프



5. 맺음말

인공 내후성시험 장치는 새로운 재료와 제품 등의 평가를 위하여 점점 자연 광원과 유사하게 발전해 가고 있다. 자연의 태양광과 매우 유사한 분광 복사량 분포를 가지는 광원은 메탈 헬라이트 램프와 크세논 아크 램프가 있고 이 중 크세논 아크 램프는 가속 시험에서 메탈 헬라이트 램프 보다 더욱 우수하다. 그래서 현재 가장 많이 사용되고 있는 인공 가속 내후성시험 장치는 크세논 아크 시험기이다.

내후성 시험으로 평가되는 재료나 소재의 경우, 특히 자동차 내장재의 경우는 10년 정도의 수명을

보증하기 위한 것을 목표로 삼는다. 이런 경우 야외 실험 영역 또는 다른 영역이 실제 자연의 태양광보다 강하게 나오는 시험기에서 시험을 하면 10년보다 훨씬 긴 수명을 평가하게 되고 이에 합리적인 제품을 사용 사용하면 10년간 제품에 문제는 없을지는 모르지만 품질관리에 많은 비용을 소모하게 된다. 인공광원을 사용한 시험장치가 제조사의 원가 절감에 많은 영향을 줄 수 있기 때문에 가장 자연 태양광과 유사하고 가속 시험이 잘 되는 장치가 유리한 것이다. 현재까지는 크세논 아크 시험기가 가장 우수한 것으로 판단되고 있으면 이런 논리를 기준으로 해서 새로운 인공 광원에 대해 연구들이 진행되고 있다. **계속**