

재귀반사시트의 Solar UV를 적용한 수명예측에 관한 연구

김창환[†] · 한진욱* · 김태진** · 김군옥***

한국건설생활환경시험연구원 옥외실증시험센터, *리플로맥스 기업부설연구소, **도레이케미칼, ***한국폴리텍대학교
(2016년 10월 25일 접수, 2016년 11월 30일 심사, 2016년 12월 19일 채택)

A Study of Lifetime Prediction by Applying Solar UV Program of Retro-reflection Sheet

Chang-Hwan Kim[†], Jin-Wook Han*, Tae-Jin Kim**, and Gun-Ok Kim***

Weathering Technology Assessment Center, Korea Conformity Laboratories, Seosan-si Chungcheongnam-do 31900, Korea

*REFLOMAX CO., LTD. Hwaseong-si, Gyeonggi-do 18525, Korea

**TORAY Chemical Inc, Anseong-si, Gyeonggi-do 17527, Korea

***Korea Polytechnic College, Anseong-si, Gyeonggi-do 17550, Korea

(Received October 25, 2016; Revised November 30, 2016; Accepted December 19, 2016)

초 록

외부에 노출된 재료는 자외선, 열, 온도, 습도 등의 다양한 환경 인자에 의해 성능저하가 일어나게 되며, 열화속도 및 사용수명에 대한 예측은 매우 중요한 문제이다. 본 연구에서는 가장 많이 사용되고 있는 색상 중 흰색, 초록색 재귀반사시트를 가지고 미국 아리조나, 인도 첸나이, 프랑스 세너리, 한국 서산 등 4개 지역에서 옥외폭로시험 및 제논아크축진시험을 통하여 재귀반사시트 반사성능의 변화율을 측정하였다. 서산지역 및 제논아크 축진시험을 통하여 얻어진 반사성능 값을 통해 회귀분석을 이용하여 가속계수를 구하였다. 또한, solar uv 프로그램을 이용하여 다양한 기후지역별 가속계수를 구할 수 있었으며, 그 결과 서산지역을 기준으로 프랑스 세너리 1.04배, 미국 아리조나 1.82배, 인도 첸나이 1.92배의 가속계수를 확인할 수 있었다.

Abstract

Materials exposed to outside will deteriorate due to various weathering factors such as sunlight, heat, temperature, humidity and so on. Therefore, predicting speed of degradation and life time is a very important issue. This research uses retro-reflective sheets with white and green which are most commonly used colors to conduct the outdoor exposure test and acceleration test of xenon arc in Arizona state in the United States, Chennai in India, Sanary in France and Seosan in Korea to measure the reflective performance of retro-reflection. The accelerated factor was obtained by using regression analysis through reflective values obtained from the acceleration test of xenon arc from Seosan area. Also, by using solar uv program, the accelerated factor of various climate regions were obtained and it was confirmed that the accelerated factor of Senary was 1.04, Arizona 1.82, Chennai 1.92 times higher than that of Seosan.

Keywords: retro-reflection, weathering, solar uv, accelerated factor, regression analysis

1. 서 론

재귀반사시트는 입사된 빛이 특유의 궤단(Bead, Prism) 내에서 반사되어 입사된 방향으로 되돌아 나가는 재귀반사 원리를 이용하여 만들어진 시트를 말한다. 일반적으로 도로 위에서 볼 수 있는 도로/교통 표지판에 재귀반사시트가 적용되는데, 야간 운전 시 차량(광원/전조 등)으로부터 나온 라이트 빛이 표지판(재귀반사시트)에 의해 반사되어 다시 차량(광원/운전자) 쪽으로 되돌아가는 현상을 이용한 것이다. 이러한 표지판은 오랜 시간 동안 옥외에 노출됨으로써 반사성능, 접

착강도 저하, 침수 등 다양한 고장현상이 발생하게 된다. 그러나 이러한 고장현상 거동을 평가하는 방법에는 ASTM D 4956에서 2200 h 이후 반사성능 80% 이상이면 합격이라는 판정으로 기준이 명시되어 있으나, 실제 가속시험에 의한 결과가 필드 사용 조건에서의 상관관계 및 사용 수명을 모르고 사용하는 경우가 많다. 또한 다양한 기후 지역에 따라서 고장현상이 상이하기 때문에 필드 데이터는 매우 중요하다. 미국 3M에서는 10년 이상 오랜 기간의 지역별 필드 데이터를 확보하여, 빛, 온도, 습도 등의 고장인자를 적용하여 수명예측을 수행하고 있으며[1], 이러한 필드 결과를 기반으로 수요기업에서의 요구 충족을 통하여 세계시장 80% 이상의 점유율을 차지하고 있다.

대부분의 수요기업에서는 단시간 안에 데이터를 확보하기 위해서 옥외폭로시험보다는 실내축진시험(제논, 자외선, 카본 등)을 진행하고 있지만, 필드에서 발생할 수 있는 다양한 인자들을 구현하기에는 어려운 부분이 있다. 그만큼 필드 시험을 통한 데이터 확보가 무엇보다

[†] Corresponding Author: Weathering Technology Assessment Center, Korea Conformity Laboratories, Seosan-si Chungcheongnam-do 31900, Korea
Tel: +82-41-667-9430 kch@kcl.re.kr

Table 1. Natural Weathering Testing Site

| | Seosan, Korea | Chennai, India | Sanary, France | Arizona, USA |
|------------------------|---------------|----------------|----------------|--------------|
| Latitude | 36°55' North | 12°35' North | 43°08' North | 33°54' North |
| Longitude | 126°21' West | 79°48' East | 5°49' East | 112°08' West |
| Elevation | 6.5 m | 45 m | 110 m | 610 m |
| Average Temp | 11.8 °C | 28 °C | 13 °C | 22 °C |
| Avg. Relative Humidity | 75.4% | 72% | 64% | 37% |
| Total Rain | 1235 mm | 1252 mm | 700 mm | 255 mm |
| Total Radiant Exposure | 4,700 MJ | 6,760 MJ | 5,500 MJ | 8,004 MJ |

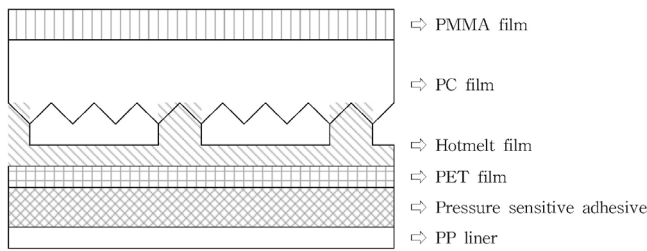


Figure 1. Section of retro-reflection.

중요할 것이다. 독일 Wuppertal 대학교 J. J. Baek과 K. G. Lee는 필드 고장을 이용한 신뢰성 예측 프로그램을 개발하여 고장자료에 적합한 수명분포 함수를 찾기 위한 모수추정으로 새로운 GWPE (Graphic Wizard Parameters Estimation)를 이용하여 시각적으로 그 정확성을 확인할 수 있어 편의성을 제공하였으며, 그동안 고장 자료를 기반으로 한 신뢰성 평가 및 예측 프로그램의 경우 고가의 외국 프로그램을 많이 사용하였으나, 개발된 프로그램을 기본으로 각 분야에 맞게 변경할 수 있어 그 활용범위는 더욱 다양할 것으로 기대하고 있다[2].

본 연구에서는 다양한 기후지역별 필드 데이터를 기반으로 하여 제논촉진시험과의 회귀분석을 통한 가속계수를 산출하였으며, 산출된 가속계수를 기반으로 지역별 기후 특성이 반영된 촉진내후성시험을 설계하고, 그로부터 정확한 지역별 광 열화 수명을 예측할 수 있는 solar uv 프로그램을 이용하여 전 세계 다양한 지역별 가속계수를 산출할 수 있었다[3].

2. 실 험

2.1. 재료

본 연구에서 사용된 재귀반사시트는 크게 Top film, Backing film과 Pressure sensitive adhesive 세 가지로 구분되어 진다. Top 필름은 PMMA (Poly methyl methacrylate) 필름과 PC (Polycarbonate) 필름으로 구성되어 있으며, 표지판용 재귀반사시트 반사에 관여하는 주요 파트이다. Backing 필름은 PC (Polycarbonate) 필름과 접착력이 뛰어난 hotmelt를 white PET (Polyethylene terephthalate) 위에 코팅하여 재귀반사 성능 저하율이 가장 낮은 쉘링 패턴을 이용하여 고유한 모양으로 쉘링을 하며, 이때 밀봉된 공기층이 형성된다. 상기 단계까지 성형된 재귀반사시트를 표지판에 접착하기 위한 영구 접착형 점착제를 사용한다. 재귀반사시트 칼라는 white, green, yellow로 선정하여 진행하였다.

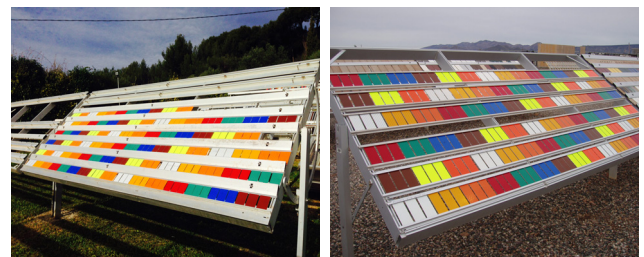
2.2. 옥외폭로(Natural weathering)

자연환경에 직접 폭로하여 물리·화학적 성질의 경시변화를 조사



(a) Seosan (South Korea)

(b) Chennai (India)



(c) Sanary (France)

(d) Arizona (USA)

Figure 2. Outdoor exposure site of 4 regions.

하는 옥외폭로시험은 한국 서산, 인도 첸나이, 프랑스 세너리, 미국 아리조나 4개 지역을 선정하여 진행하였으며, 평가주기는 지역마다 받는 자외선 에너지양이 상이하기 때문에 약간의 차이는 있으나, 60, 120, 180, 240, 300, 360, 420, 480, 540, 600 MJ/m²로 정하였다. 폭로 각도는 각 지역별 위도가 다르기 때문에 한국 서산은 37°, 인도 첸나이는 12°, 프랑스 세너리는 43°, 미국 아리조나는 33°로 노출시켰으며, 폭로 시기는 12월에 시작하였다.

세계 기후 지도를 보면 다양한 종류의 기후가 존재하는 것을 확인할 수 있다. 이러한 다양한 기후들은 위도, 날씨형태, 지형적, 지리적 특징이 복합되어 다르게 나타난다. 도로용 표지판 재귀반사시트는 자외선, 온도, 그리고 수분 등이 재료의 노화에 영향을 주기 때문에 기후환경을 근거 및 재귀반사시트 해외수출국을 고려하여 옥외폭로사이트를 정하였다. 세계기상기구(WMO; World Meteorological Organization)에서 지구상의 일곱 가지 주요 기후를 정하고 있는데 그중에 사막기후지역(아리조나)과 고온다습지역(첸나이), 지중해성기후지역(세너리), 해양성 기후(서산) 등 다양한 기후환경에서의 지역을 설정하여 옥외노출을 진행하였으며, 각 지역별 기후특성은 아래와 같다.

해당지역별 기후데이터는 미국 ATLAS사에서 제공하는 글로벌 옥외사이트지역정보를 참고하였다[4]. 각 지역별 평균온도는 인도 첸나이가 28°C로 가장 높으며, 한국 서산지역이 11.8 °C로 가장 낮고, 전체 일사량은 미국 아리조나가 8004 MJ로 가장 높았으며, 서산지역은

Table 2. Reflective After Natural Weathering Testing

| Color | White | Green |
|----------------|----------|----------|
| O.A/E.A | 0.2°/30° | 0.2°/30° |
| ASTM D4956 85% | 144.5 | 21.25 |
| 60 MJ | 251.8 | 32.5 |
| 120 MJ | 233.9 | 47.3 |
| 180 MJ | 230.0 | 36.1 |
| 240 MJ | 239.4 | 32.4 |
| 300 MJ | 252.4 | 43.8 |

(a) Seosan, Korea

| Color | White | Green |
|----------------|----------|----------|
| O.A/E.A | 0.2°/30° | 0.2°/30° |
| ASTM D4956 85% | 144.5 | 21.25 |
| 60 MJ | 291.5 | 40.5 |
| 120 MJ | 263.7 | 41.5 |
| 180 MJ | 260.8 | 42.6 |
| 240 MJ | 282.5 | 33.6 |
| 300 MJ | 255.9 | 37.5 |
| 360 MJ | 256.7 | 29.4 |

(b) Chennai, India

| Color | White | Green |
|----------------|----------|----------|
| O.A/E.A | 0.2°/30° | 0.2°/30° |
| ASTM D4956 85% | 144.5 | 21.25 |
| 60 MJ | 258.4 | 42.0 |
| 120 MJ | 292.4 | 43.3 |
| 180 MJ | 264.8 | 49.0 |
| 240 MJ | 255.1 | 39.6 |
| 300 MJ | 254.2 | 38.8 |

(c) Sanary, France

| Color | White | Green |
|----------------|----------|----------|
| O.A/E.A | 0.2°/30° | 0.2°/30° |
| ASTM D4956 85% | 144.5 | 21.25 |
| 60 MJ | 231.1 | 34.8 |
| 120 MJ | 216.5 | 33.3 |
| 180 MJ | 311.9 | 36.2 |
| 240 MJ | 276.1 | 43.1 |
| 300 MJ | 265.7 | 38.1 |
| 360 MJ | 299.0 | 34.5 |
| 420 MJ | 280.7 | 36.7 |

(d) Arizona, USA

Table 3. Reflective After Xenon-arc Test

| Irradiance (KJ/m ²) | White | Green |
|---------------------------------|----------|----------|
| | 0.2°/30° | 0.2°/30° |
| 0 | 287.5 | 40.7 |
| 500 | 378.5 | 46 |
| 1000 | 297.5 | 37.85 |
| 2000 | 322 | 42.35 |
| 2500 | 347.5 | 41.3 |
| 3000 | 356.5 | 38.45 |
| 3500 | 405 | 38.35 |
| 4000 | 312.5 | 34.1 |
| 4500 | 307.5 | 33.5 |
| 5000 | 306.5 | 32 |

4700 MJ로 가장 낮았다.

반면에 상대습도는 한국 서산지역이 75.4%로 가장 높았으며, 강수량 또한 서산지역이 1235 mm로 인도 첸나이 지역 1252 mm와 유사하게 측정되었다.

2.3. 실내축진(Xenon-Arc)

실내축진 시험은 미국 ATLAS사의 제논아크를 이용한 축진시험으로 CI 4000 모델을 이용하여 ASTM D 4956규격 기준에 따라 진행하였으며, 평가주기는 500, 1000, 1500, 2000, 2500, 3000, 3500, 4000, 4500, 5000 KJ/m²로 설정하였다.

2.4. 반사성능 측정

반사성능은 미국 ROADVISTA사의 940D photometric range system을 이용하여 옥외폭로 및 실내축진 시험방법에 따라서 열화된 샘플 표면을 각각 평가 주기별로 측정하였으며, 측정각도는 0.2°/30°이다.

2.5. Solar UV 분석

한국 ABNEXO사의 solar uv 프로그램을 이용하여 다양한 지역별(한국 서산, 인도 첸나이, 프랑스 세너리, 미국 아리조나) 가속계수를 산출하였다.

Solar uv는 기후인자를 활용한 전 세계 지역별 유효자외선(effective uv)을 추정하여, 기후 특성이 반영된 축진 내후성 시험을 설계하고, 그로부터 정확한 지역별 광 열화 수명을 예측할 수 있다[3].

3. 결과 및 고찰

3.1. 옥외폭로(Natural weathering) 후 반사성능

각 지역별 옥외폭로 누적 자외선 에너지는 서산과 세너리는 300 MJ, 첸나이는 360 MJ, 아리조나는 420 MJ까지를 기준으로 반사성능을 측정하였다. 지역별 300 MJ의 누적 자외선 에너지량은 1년 이상 노출기간을 의미한다. 평가주기를 60 MJ로 구분하여 반사성능을 측정하였으며, 일반적으로 서산기준일 경우 약 2-3달 정도 소요된다.

3.2. 실내축진(Xenon-arc) 후 반사성능

재귀반사시트에 대한 xenon arc 시험기를 이용한 가속수명시험과 실제 수명의 상관관계를 파악하기 위해 평가주기를 500 KJ마다 5,000

Table 4. Field Data & Accelerated Data for Accelerated Factor & Life Time

| | Time (h) | Retro-reflectance (%) | Accelerated factor | Life time (year) | At 15000 h |
|-------|----------|-----------------------|--------------------------|------------------|-----------------------------|
| White | 544 | 297.5 | AF(K) = a'/a K = 3.03 | 0.19 | acceleration test 4951 h |
| | 2448 | 307.5 | | 0.85 | |
| | 2720 | 306.5 | | 0.94 | |
| | Time (h) | Retro-reflectance (%) | Accelerated factor | Life time (year) | At 15,000 h |
| Green | 272 | 46 | AF(K) = a'/a K = 1.63 | 0.05 | acceleration test 9202 h |
| | 1088 | 42.35 | | 0.20 | |
| | 1360 | 41.3 | | 0.25 | |
| | 1632 | 38.45 | | 0.30 | |
| | 1904 | 38.35 | | 0.35 | |
| | 2176 | 34.1 | | 0.41 | |
| | 2448 | 33.5 | | 0.46 | |
| | 2720 | 32 | | 0.51 | |

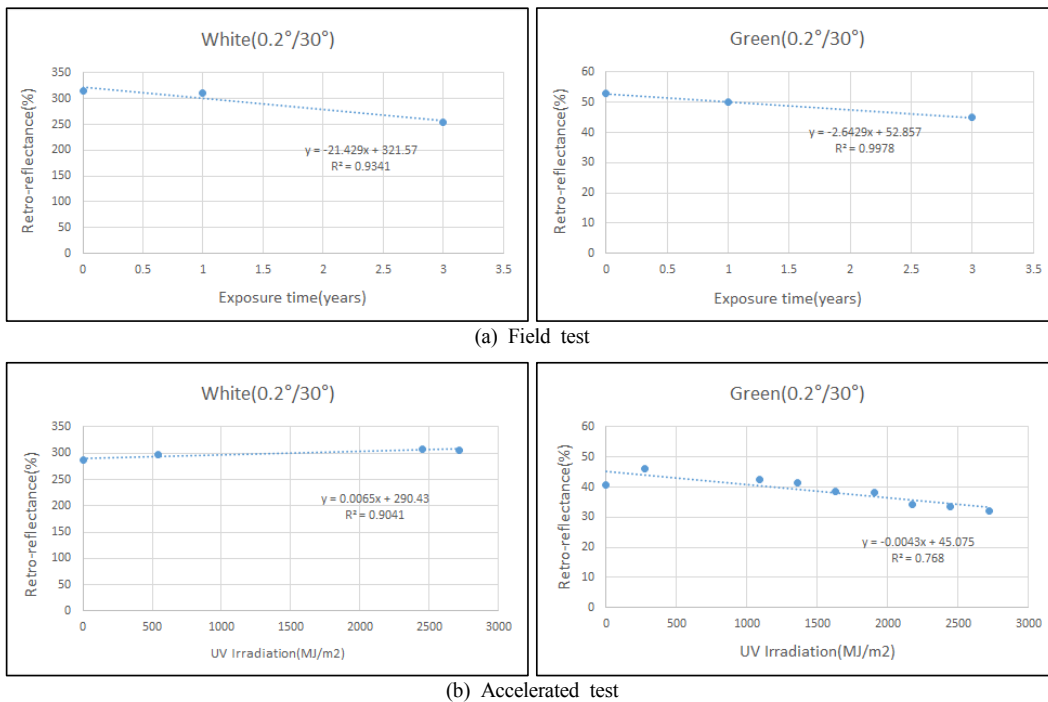


Figure 3. Field & accelerated of regression analysis.

KJ까지 반사성능을 측정하였다. 일반적으로 가속시험기에서 더욱 가혹한 시험조건을 설정할 수 있으나, 가속계수가 높아져서 더욱 짧은 시간에 수명 예측이 가능해 지지만 상관성이 떨어지기 때문에 일정 이상 가속설정은 하지 않았다. 일반적으로 반사시트에 적용된 시험규격인 ASTM D4956기준으로 복사조도는 0.51 W/m²를 노출시켰다.

3.3. 회귀분석을 사용한 가속계수 산출

회귀분석방법은 기존 필드 측정 데이터를 근거로 모델 식을 유도한 후 가속계수를 산출하였으며, 모델링에 사용된 회귀분석방법은 독립변수(경과시간)와 종속변수(반사성능)가 각각 1개씩이고, 이들 사이의 관계가 비교적 직선관계(1차 함수)이므로, 단순회귀분석(simple regression analysis)을 사용하였다[5-6].

필드 시험은 일반적으로 온도, 습도, 일사량, 산성비, 비례염분 등 기상환경인자와 자연적·인위적으로 발생하는 강하분진, 오존 황산화물, 황화수소, 이산화질소 등의 환경오염 인자 등이 복합적으로 스트레스를 받는다. 반면에 촉진시험은 자연환경에서 나타나는 모든 환경요인을 자연환경과 동일하게 모사하기는 어려우나, xenon-arc 시험은 광, 온도, 습도 등을 인위적으로 스트레스를 주게 된다. 따라서 촉진시험은 재현성 측면에서는 일정한 사이클로 반복시험이 가능하나, 필드 시험의 경우는 다양한 환경 인자에 접촉되어 있어 재현성 확보에 어려움이 있으며, 이에 대한 경향성이 촉진시험과 동일하게 나타나기는 어려운 부분이 있다.

제논을 이용한 촉진시험은 5000 KJ, 필드 시험은 3년까지 경과한 도로용 표지판 재귀반사시트 샘플을 수거하여 초기 반사성능 대비 변

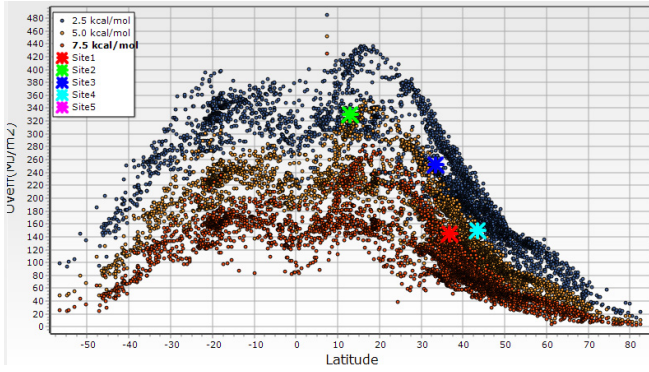


Figure 4. Site position on worldwide uv map (Green; chennai, Blue; arizona, Red; seosan, Sky blue; sanary).

화율을 측정한 후 회귀직선을 구하였다. 촉진시험은 97% 신뢰수준을 보였으며, 필드시험은 84% 신뢰수준을 보였다.

필드 데이터와 가속시험 데이터로부터 얻어진 회귀직선으로부터 재귀반사시트에 대한 반사성능변화율의 가속계수를 계산하였으며, 이에 대한 각각의 가속수명시험 시간과 필드에서의 수명을 예측하였다. 또한, 필드에서 15000 h 일 때 가속시험 시간을 산출하였다. White 색상의 경우 가속계수가 약 3배이며, 이에 따른 필드 예측 수명은 2720 h 기준 약 0.94년이 예측되었다. Green 색상의 경우 가속계수는 약 1.63배이며, 이에 따른 필드 예측 수명은 2720 h 기준 약 0.51년이 예측되었다. 색상에 따라 수명예측시간이 다른 이유는 재귀반사시트 색상에 따라서 복사에너지 흡수율과 반사율이 다르기 때문에 가속계수가 상이하게 나타난 것으로 판단된다.

3.4. Solar uv를 사용한 지역별 가속계수 산출

Figure 4는 위도에 따른 uv효과에 대한 강도와 선택지역 위치에 따른 분석 data를 나타낸 것이다.

이 그래프에서 uv효과는 적도보다는 북위 15° 주변에서 가장 크다는 것을 알 수 있다.

Figure 5는 선택한 지역의 연중 기온과 BPT (Black Panel Temperature), uv 강도 등을 나타낸다. T_{air} 는 해당지역의 대기온도이며, BPT_{eff} 는 블랙패널온도이다. Solar uv 프로그램을 통해 얻은 기후 데이터 결과는 실제 ATLAS에서 제공하는 글로벌 옥외사이트 지역정보와 차이가 있다. T_{air} 의 경우는 서산지역 -5.5 °C, 첸나이 -2 °C, 아리조나 -2.7 °C, 세너리 -3.1 °C 차이를 보였다.

Solar uv 프로그램은 6개 대륙, 160개국, 3900지역(도시)의 내후성 기후인자를 데이터베이스화하여 전 세계 지역을 대상으로 지역별 내후성 시험을 위한 기후 데이터 베이스, 시험조건 최적화 시뮬레이션, 수명예측을 통한 내후성 시험 설계가 가능한 프로그램이다.

계산방법은 아래와 같은 방법으로 가능하다.

1. 기후데이터 활용 계산법(입력된 3900개 지역으로 수행)
 - 미리 입력된 지역의 기후 데이터를 활용하여 계산
 - 소재의 열화 활성화 에너지(E_a)만 입력하면 모든 계산 자동수행
 - 열화 활성화 에너지의 사전입력 범위 값 선택 가능
 - 촉진내후성 시험조건 선택가능
2. 유효자외선 추정 알고리즘 계산법(모든 지역 수행)
 - 최신 지역 대기온도(연평균) 입력으로 최신 기후변화 반영
 - 열화 활성화 에너지(E_a)는 지정된 범위에서만 선택가능
 - 최적 BPT 추정 및 월별 기후인자 변화 그래프 활용 불가

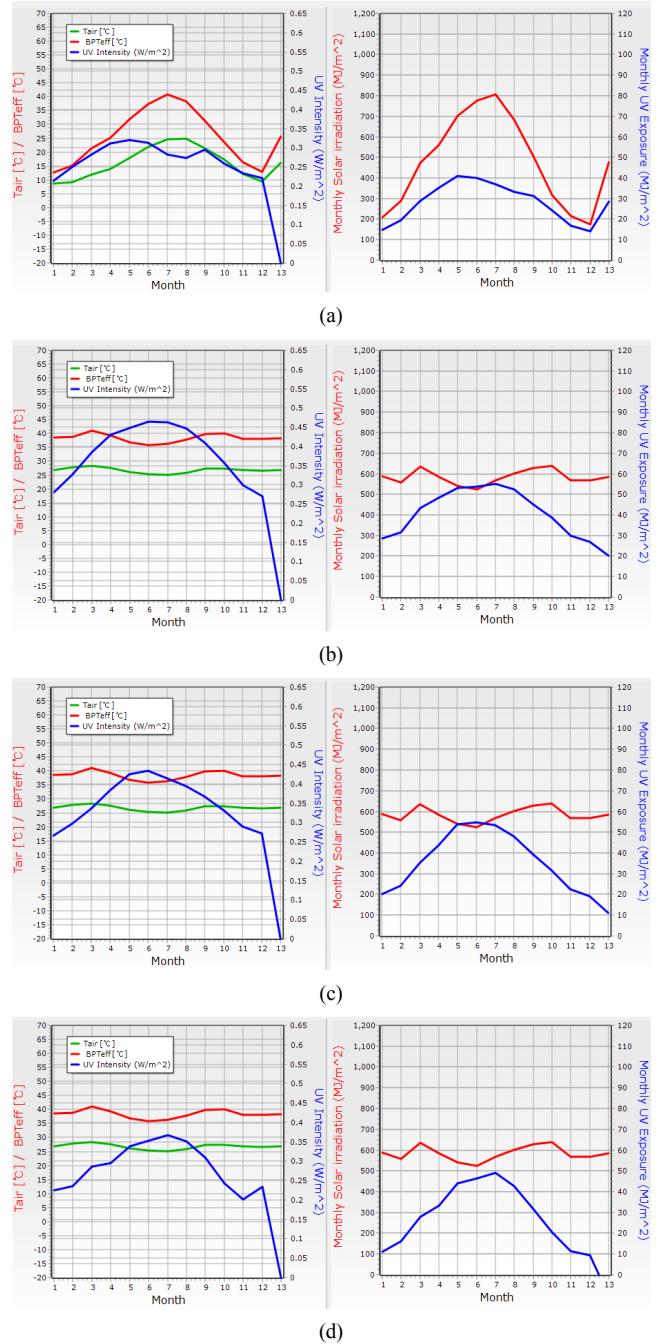


Figure 5. Graphical data of (a) seosan (b) chennai (c) arizona (d) sanary.

본 연구에서는 한국 서산, 인도 첸나이, 미국 아리조나, 프랑스 마르세유 지역의 지리정보, 기후정보, 추산결과를 확인하였다. 추정결과에서 uv exposure time (hours)은 ASTM 4956 시험규격으로 1년을 모사하기 위해 소요되는 시간으로 가속계수를 추정하기 위해 필요한 내용이다. 가속계수 추정은 상대적인 것이므로 기준이 되는 지역을 정하고 그 지역에 비해서 나머지 지역의 광 열화 가속계수가 어느 정도인지 추산해 내는 것으로 기준지역과 상대지역의 비(rate)를 통해 계산하였으며, 기준지역은 서산으로 선정하였다.

서산지역을 기준으로 가속계수는 인도 첸나이 1.92, 미국 아리조나

Table 5. Accelerated Factor of 4 Site Using Solar UV

| Automatic | | Site 1 | Site 2 | Site 3 | Site 4 | | | | |
|------------------------|---|------------------------|-----------------------|-------------------|------------------------|--------------|---------|----------------|---------|
| Geographic information | Continent | Asia | Asia | North&Central | Europe | | | | |
| | Nation | Korea | India | USA | France | | | | |
| | City | Seosan | Madras | Phoenix AZ | Marseille | | | | |
| | Latitude | 36.780 | 13.000 | 33.430 | 43.450 | | | | |
| | Longitude | 126.450 | 80.180 | 112.020 | 5.230 | | | | |
| Climate information | Solar radiation (Annual global radiation, MJ/m ²) | 5445 | 6868 | 7016 | 5708 | | | | |
| | UV _{nat} (Annual uv radiation, MJ/m ²) | 336 | 478 | 446 | 343 | | | | |
| | T _{air} (Annual average ambient temperature, °C) | 17.3 | 30.0 | 24.7 | 16.1 | | | | |
| | Precipitation (Annual precipitation, mm) | 1353 | 1233 | 230 | 853 | | | | |
| | Relative humidity (Yearly average, %) | 62 | 68 | 36 | 65 | | | | |
| Estimation result | Test condition (HH, HD, WH, WD) | WH (Worm, Humidity) | HH (Hot, Humidity) | WD (Worm, Dry) | WH (Worm, Humidity) | | | | |
| | Ea (kcal/mol) | 5.0 | 5.0 | 5.0 | 5.0 | | | | |
| | BPT _{eff} (Effective BPT, °C) | 29.2 | 41.9 | 39.5 | 29.6 | | | | |
| | UV _{eff} (Effective uv, MJ/m ²) | 145 | 278 | 252 | 150 | | | | |
| | UV exposure time (hours) | 707 | 1355 | 1228 | 731 | | | | |
| | | Seosan, Korea | | Chennai, India | | Arizona, USA | | Sanary, France | |
| | | | | 0.2°/30° | | | | | |
| | | AF | 15000 h | AF | 15000 h | AF | 15000 h | AF | 15000 h |
| White | | 3.03 | 4951 | 5.82 | 2577 | 5.51 | 2722 | 3.15 | 4762 |
| Green | | 1.63 | 9202 | 3.13 | 4792 | 2.97 | 5050 | 1.69 | 8876 |

1.82배, 프랑스 세너리 1.04배인 것을 확인할 수 있었다. 광 열화에 대한 소재의 민감도는 모를 경우 중간 정도의 값을 선택하는 것이 가장 이상적이나, 이는 경우에는 값을 선택하여 정밀한 테스트를 할 수 있다.

4. 결 론

본 연구에서는 도로용 표지판 재귀반사시트의 자연노화와 제논을 이용한 가속시험을 통해서 가속계수를 구하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

첫째, 필드 측정 데이터와 가속시험을 이용한 측정 데이터를 근거로 반사성능 변화율을 측정한 후 회귀분석을 실시하여 필드시험의 경우 97% 신뢰수준을 보였으며, 가속시험의 경우 84%의 신뢰수준을 확인하였다.

둘째, 필드데이터와 가속시험 데이터로부터 얻어진 회귀직선으로부터 각각의 가속수명시험 시간과 필드에서의 수명을 예측하였다. White 색상의 경우 가속계수가 약 3배이며, 이에 따른 필드 예측수명은 2720 h 기준 약 0.94년이 예측되었다. Green 색상의 경우 가속계수는 약 1.63배이며, 이에 따른 필드 예측수명은 2720 h 기준 약 0.51년이 예측되었다. 색상에 따라 수명예측시간이 상이한 이유는 색상에 따른 복사에너지 흡수율과 반사율이 다르기 때문인 것으로 판단된다.

셋째, 본 연구에서 이용한 solar uv 프로그램을 활용한 해당 지역별 가속계수는 기준지역과 상대지역의 비를 통하여 계산하였으며, 서산을 기준지역으로 하여 인도 첸나이는 278/145 = 1.92, 미국 아리조나는 252/145 = 1.82, 프랑스 세너리는 150/145 = 1.04로 가속계수를 구할 수 있었다.

넷째, 필드시험(서산지역) & 가속시험(제논) = 회귀분석(가속계수) × solar uv를 활용 다양한 지역별 가속계수를 통해 아래 표와 같은 가속계수를 구할 수 있었으며, 필드에서 15000 h (재귀반사시트의 인도 시장에서 요구하는 필드 시험기간)에 해당하는 가속시험 시간을 구할 수 있었다.

본 연구에서 사용한 solar uv 프로그램은 4개 지역의 실제 기후조건과 실험실 조건을 비교 분석하여 최적의 온도와 연간 uv조사량, 유효 자외선, uv노출 시간을 추산하여 소재의 수명예측을 할 수 있었다. 즉, 소재의 열화특성과 지역의 기후조건이 반영되지 못한 임의 조건으로 획일화된 규격시험에서 벗어나 소재별 열화특성과 지역별 기후특성을 반영하는 정밀하게 targeting된 촉진내후성 시험의 설계 가이드 프로그램이다. 향후 다양한 소재별 해당 지역에서의 광 열화 재현을 위한 최적의 촉진내후성 시험조건을 제시하여 그로부터 정확한 지역별 광 열화 수명을 예측할 것으로 기대된다.

감 사

본 연구는 2014년도 산업통상자원부 재원으로 한국산업기술진흥원(KIAT)의 지원을 받아 수행한 신뢰성기술확산사업 연구과제입니다.

References

1. W. D. Ketola, Weathering testing for retro reflective sheeting a retro-perspective after 25 years of research, *Proceedings of CORM 2007 Annual Conference: Optical Radiation Consensus Standards and Industry*, May 8-11, USA (2007).

2. J. Back and K. Rhie, A development of a reliability prediction program using the field failure, *Trans. Korean Soc. Automot. Eng.*, **20**, 1-7 (2012).
3. D. J. Byun, WEESUR, Global exposure models for plastics material. *International Workshop on Automotive Weathering Evaluation/Technology*, April 1-40, Korea (2013).
4. Matthew McGreer, *Weathering Testing Guidebook*, 19-22, USA (2003).
5. D. Y. Kim and Y. J. Kim, Accelerated weathering test of urethane paint for heavy construction equipment, *Int. J. Reliab. Appl.*, **1**, 79-94 (2001).
6. L. S. Crump, Evaluation the durability of gel coats using outdoor and accelerated weathering techniques, *Atlas Sun Spots*, **3**, 1-6 (1996).