

옥외노출소재의 신뢰성 평가기술 및 표준화

Reliability evaluation and standardization of outdoor exposure materials

정 호¹⁾, 안병만¹⁾, 이두면¹⁾, 신필수¹⁾, 박수연²⁾

Abstract

본 연구에서는 옥외에서 사용하는 소재의 신뢰성 평가(내후성)에 관한 연구를 수행하였는데 국내와 일본의 옥외환경시험장에 시험편을 동시에 폭로하여 기상인자 및 주변환경에 따른 시험편의 특성 변화를 상호 비교·평가하였고 인공 촉진내후성 시험을 실시하여 옥외내후성과의 상관관계를 관찰하였으며 그 결과는 다음과 같다. 국내 지역의 옥외환경시험장 중에서는 인천 옥외환경시험장에 폭로한 시험편에서 가장 많은 변화를 나타내고 있으며, 일본 지역은 가혹한 기상환경을 나타내는 미야고지마 옥외환경시험장에 폭로한 시험편에서 많은 변화가 나타남을 관찰할 수 있었는데 국내 지역보다는 온도와 습도 등 기상조건이 더 가혹한 일본 지역의 옥외환경시험장에 폭로한 시험편의 노화가 더 빠르게 진행됨을 관찰하였다.

1. 서 론

세계는 지금 WTO의 체제 아래서 새로운 경제질서를 형성하고 있으며 우리나라는 WTO(1995년)와 OECD(1996년)에 가입함으로써 새롭게 변화하는 국제적 흐름에 편입되어 그 변화를 직접 체험하고 있다. 특히, WTO의 체제에 의해 세계의 경제는 무역장벽이 없는 전면 개방의 추세로 흐르면서도 유럽연합(EU), 아·태경제협력기구(APEC), 북미자유무역지대(NAFTA) 등과 같은 지역적인 경제협력기구를 결성하여 배타적 또는 개방적 지역주의의 양면성을 나타내고 있다. 또한 WTO의 무역기술장벽(TBT) 협정에서는 자유무역의 실현을 위한 기술적 장벽의 제거를 중요한 목표로 정하고 국제표준의 채택과 적용 그리고 적합성의 판정 등을 강조하고 있는 실정으로 표준에 대한 다자간 상호인증(MRA)이 확대되어 가고 있다.

공업제품 및 재료가 옥외에서 사용되거나 노출되는 경우 태양광선 및 온도, 습도, 강우, 결로, 대기오염가스 등의 자연환경으로 인한 노화현상이 일어나 내후성, 내식성 및 내구성이 저하되는데 이러한 제품의 특성변화를 측정하는 방법으로 가장 바람직한 방법은 실제 자연환경에서 행해지는 옥외폭로시험이다.¹⁻⁸ 옥외폭로시험(屋外暴露試驗, Outdoor Exposure Test)이란 수송기계(자동차류, 철도, 타이어 등), 공공시설물(교량, 도로편의시설 등), 금속제품, 섬유제품, 고무제품, 전자재류, 안테나, 전선 등과 같이 옥외에서 사용하거나 설치되어 기후인자(온도, 습도, 일사량, 눈, 비 등과 같은 자연조건)와 환경인자(CO, NO_x, SO_x, O₃)가 시간이 경과함에 따라 품질의 노화와 제품의 수명에 미치는 영향을 평가하는 내후성 시험이다. 이러한 옥외폭로시험은 공업제품에 대한 소비자의 안전성과 신뢰성의 확보뿐만 아니라 신재료, 신제품의 수명예측 및 기존 개

1) 기술표준원 신뢰성과

2) 숭실대학교 화학과

발상품의 품질향상을 위하여 필수적인 신뢰성 평가기술분야로 선진국에서는 오래 전부터 그 중요성이 인식되어져 왔다. 따라서, 본 연구에서는 자동차 및 건축용 도료, 선박용 도료, 플라스틱, 고무제품 및 기타재료를 과천, 부산, 대구, 인천, 광주, 제주 지역의 옥외환경시험장에 폭로하여 기상환경인자 및 시간경과에 따른 제품 및 재료의 내후성 변화를 평가하고 신뢰성 있는 내후성 평가기술을 개발하며, 일본 내후성센터와 국제공동연구를 체결하여 WEN(Worldwide Exposure Network) Site 중의 하나인 Choshi 옥외환경시험장과 Miyakojima 옥외환경시험장에 시험편을 동시에 폭로하고 국내의 옥외내후성 데이터가 국제적으로 인정받을 수 있도록 국내에 기반을 구축하고자 한다.

2. 실험

본 연구에서는 국내에 특수한 기상환경인자를 보이는 6개 지역을 선정하고 옥외환경시험장을 설치하여 운영하였으며 일본웨더링센터와 국제공동연구협약을 체결하여 조시와 미야고지마 옥외환경시험장에도 국내 지역에 폭로한 것과 동일한 시험편을 폭로하여 폭로기간에 따른 시험편의 특성의 변화를 평가하였다. 이때, 옥외환경시험장의 설치조건은 정남향으로 하였으며 시료지지대는 수평면에 대하여 30°의 각도로 기울였고 자연상태 그대로 폭로하였다. 폭로한 시험편은 정기적으로 수거하여 색차, 광택도, 황변도, 외관변화, 인장시험, HAZE, 광투과율 등과 같은 평가항목에 대한 변화를 측정하였으며 각각의 시험편에 대한 평가항목 및 평가규격은 표1에 나타내었다. 이때, 옥외폭로된 시험편의 색차와 황변도의 변화를 비교하기 위하여 Spectrogard Color System(Gardner Co.)을 이용하였으며 그 값은 CIE Lab 표색계에 의하여 측정하였다. 광택도의 경우는 Micro-TRI-Gloss(Gardner Co.)를 이용하였으며 측정은 다섯 번을 행하여 그 평균값을 취하였고 기준값은 측정각 60°에서의 값을 취하였으며 그 값이 70 이상이면 측정각 20°에서 그리고 그 값이 10 이하이면 측정각을 85°로 하여 측정하였다. 또한, 농업용 필름의 외관변화는 Haze-gard Plus(Gardner Co.)를 이용하여 광투과율과 흐림도를 측정하여 평가하였고, 시험편의 표면 모폴로지를 관찰하기 위해서 Image Analyzer를 사용하여 6배의 배율로 관찰한 후 Pictorial Standard에 의하여 평가하였다. 시험편에 대한 기계적 특성의 변화는 인장시험기(UTM 4301)를 사용하여 측정하였는데 이때, Crosshead Speed를 500mm/min로 유지하고 1Kg의 Load Cell을 사용하여 시험을 행하였다. 또한 촉진내후성 시험⁶⁻¹⁰을 위해 크세는 아크를 광원으로 사용하는 내후성시험기로 CI 4000 Weather-O-Meter(ATLAS Co.)를 사용하여 옥외에 폭로한 시험편과 동일한 시험편에 대하여 시험을 행하였다. 이때 온도는 63±1℃, 습도는 50%로 유지하였고 1Cycle은 120분으로 그 구성은 Light Segment 102분과 Spray Segment 18분으로 하였다.

3. 결과 및 고찰

옥외폭로 시험에 있어서 시험조건은 그 장소에서의 자연환경이며 이를 구체적이며 정량적으로 나타내기 위해서 각종 기상환경인자를 관측하는데 본 연구에서는 과천과 제주 옥외환경시험장에 기상환경측정시스템을 설치하였다. 표2에 과천 옥외환경시험장에서 측정한 기상환경인자의 측정값을 나타내었는데 연평균 기온이 12.3℃ ~ 12.8℃

시험 구분	평가항목	평가규격
도료	색차 광택도 외관변화	KS A0063, ISO 7724, ISO 2813, KS A0069 ASTM D660, Pictorial Standard
고무	색차 광택도 인장시험 외관변화	KS M6518
외장재용 플라스틱 형재	황변도 외관변화	KS A0065
전선	인장시험 외관변화	KS C3313, KS C3004
충격용 필름	인장시험 흐림도 광투과율	KS M3503, KS M3505
방음벽용 플라스틱	황변도 색차 흐림도 광투과율	KS M3026, KS M3832, ASTM D1925, ASTM D1003

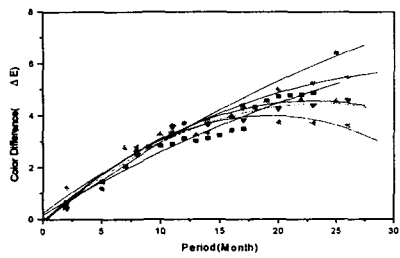
표1. 폭로된 시험편에 대한 평가항목 및 평가규격

를 나타내었으며, 상대습도는 58.6% ~ 62.6%의 분포를 보였고, 일사량은 5115 ~ 5198(MJ/m²)으로 나타남을 볼 수 있는데 이러한 값들은 지구온난화와 오존층의 파괴로 인하여 평년치와 비교하였을 때 연평균 기온의 경우 최대 약 1℃ 정도가 상승하였으며 일사량의 경우에는 1000(MJ/m²) 정도가 많아졌음을 알 수 있다. 따라서, 이러한 변화들로 인하여 옥외노출 소재 및 제품들의 노화가 지금까지보다는 앞으로 더욱 촉진될 것임을 예상할 수 있다.

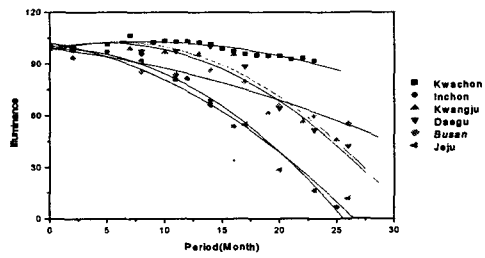
	연평균기온(℃)	상대습도(%)	일사량(MJ/m ²)	비고
평년치	11.9	67.3	4193	과천 옥외환경시험장에서 측정된 데이터임
1999	12.8	62.6	5115	
2000	12.3	60.3	5198	
2001	12.4	58.6	5192	

표2. 옥외환경시험장의 기상환경인자 데이터(1999년 ~ 2001년)

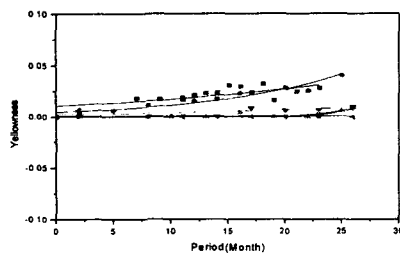
그림1에 국내 6개 지역의 옥외환경시험장에서 약 2년 동안 옥외폭로한 시험편에 대한 특성의 변화를 나타내었다. 옥외노출소재의 내후성 평가항목 중 색차의 경우를 살펴보면 인천 옥외환경시험장에서 폭로한 시험편에서 가장 많은 변화를 나타내며, 광택도의 경우에는 인천과 제주 옥외환경시험장에서 폭로한 시험편에서 가장 많은 광택의 감소를 관찰할 수 있다. 또한 황변도의 경우에는 과천과 인천 옥외환경시험장에서 폭로한 시험편에서 그리고 광투과율의 경우에는 인천과 제주 옥외환경시험장에서 폭로한 시험편에서 가장 많은 변화를 나타내고 있다. 이상의 결과를 종합해 보면 국내의 6개 옥외환경시험장 중 인천옥외환경시험장에서 폭로한 시험편의 노화가 가장 많이 진행됨을 알 수 있는데 그 이유는 인천 옥외환경시험장이 다른 옥외환경시험장보다 일사량이 많고, 해안지역으로 해양인자의 영향을 받으며, 공장밀집지대에 위치하고 있어 이로 인하여 많은 환경오염물질의 영향을 받기 때문으로 생각된다.



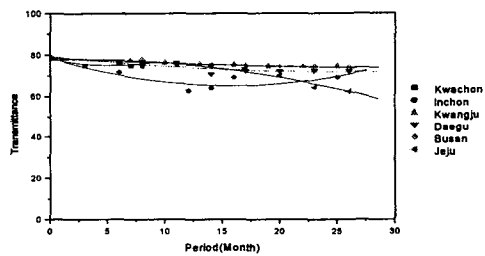
(A) 색차(자동차용 도료)



(B) 광택도(자동차용 도료)



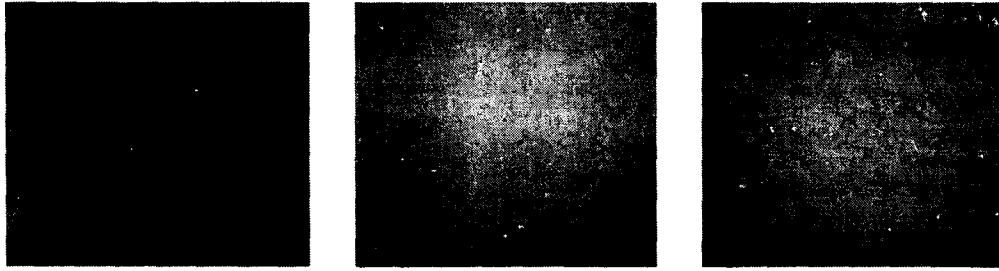
(C) 황변도(창호형재)



(D) 광투과율(농업용필름)

그림1. 국내 지역의 옥외환경시험장에서 옥외폭로한 시험편의 특성 변화

그림2에 국내 지역에서 옥외폭로한 시험편의 폭로기간에 따른 표면모폴로지의 변화를 나타내었다. 과천과 인천 옥외환경시험장에서 약 2년 동안 옥외폭로한 건축용 도료와 선박용 도료의 표면에서 균열과 갈라짐 현상을 관찰하였는데 Pictorial Standards에 의해 분석한 결과 과천 옥외환경시험장에서 폭로한 시험편의 경우에는 Checking No. 6에 해당하는 변화를 나타내고 있으며 인천 옥외환경시험장에서 폭로한 시험편은 Checking No. 8에 해당하는 변화를 보이고 있음을 알 수 있다.



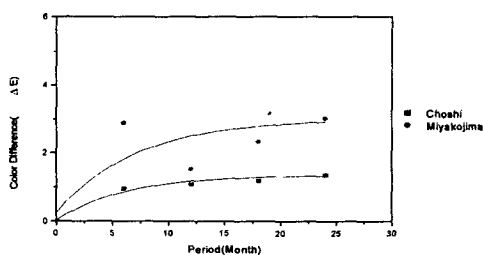
(A) 옥외폭로 전

(B) 23개월
옥외폭로(과천)

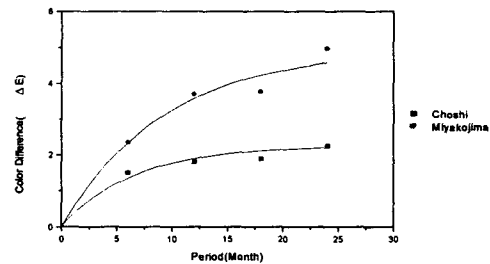
(C) 25개월
옥외폭로(인천)

그림2. 건축용 도료의 옥외폭로에 따른 표면 모폴로지의 변화(×6)

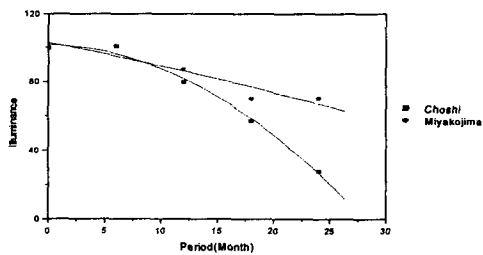
그림3에 일본 지역의 조시와 미야고지마 옥외환경시험장에서 2년 동안 옥외폭로한 시험편의 폭로기간에 따른 특성의 변화를 나타내었다. 모든 평가항목에서 미야고지마 옥외환경시험장에서 옥외폭로한 시험편의 경우가 조시 옥외환경시험장에서 옥외폭로한 시험편보다 더 많은 변화를 나타내고 있음을 관찰할 수 있는데 이는 미야고지마 옥외환경시험장의 기후가 해양성 아열대기후로 고온다습하고 일사량이 많으며 해염인자 등 자연의 열화인자가 풍부하여 조시 옥외환경시험장보다 많은 변화를 나타내는 것으로 생각되어진다.



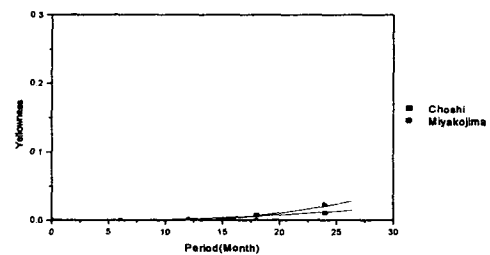
(A) 색차(건축용 도료)



(B) 색차(자동차용 도료)



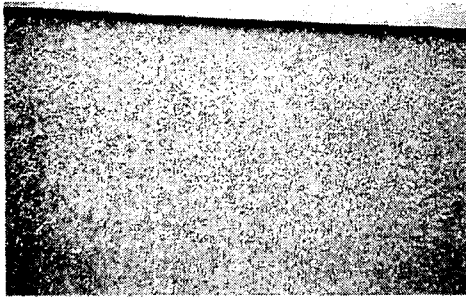
(C) 광택도(자동차용 도료)



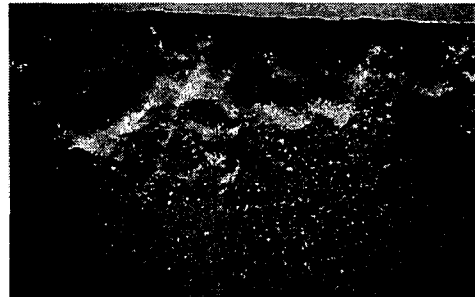
(D) 황변도(창호형재)

그림3. 일본 지역의 옥외환경시험장에서 옥외폭로한 시험편의 특성 변화

일본 지역의 옥외환경시험장에서 옥외폭로한 시험편의 폭로기간에 따른 표면 모폴로지의 변화를 관찰한 결과 많은 시험편에서 그 표면에 Blistering과 Rust가 발생하였으며 심한 경우에는 도막의 들뜸으로 인한 박리현상까지 나타남을 관찰하였는데 조시 옥외환경시험장에서 옥외폭로한 시험편보다 미야고지마 옥외환경시험장에서 옥외폭로한 시험편의 경우가 더 많은 변화를 나타냈으며 그림4에 미야고지마 옥외환경시험장에서 옥외폭로한 자동차용 도료의 폭로기간에 따른 표면 모폴로지의 변화를 나타내었다. 옥외폭로한 지 6개월부터 시험편의 가장자리 부분에 녹이 발생하였고 Blistering 현상이 나타나기 시작하였는데 폭로기간이 길어짐에 따라 이러한 현상은 더욱 심해졌으며 녹을 동반한 Blistering 현상은 시험편의 가장자리 부분에서 시험편의 중앙부분으로 진행이 되고 있음을 확인할 수 있는데 24개월의 폭로 후에는 심한 Blistering 현상과 더불어 도막의 박리현상까지 일어남을 관찰할 수 있다.



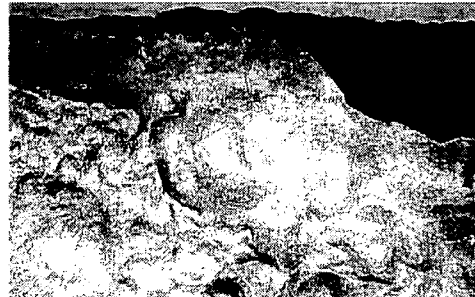
(A) 옥외폭로 전



(B) 6개월 옥외폭로



(C) 18개월 옥외폭로

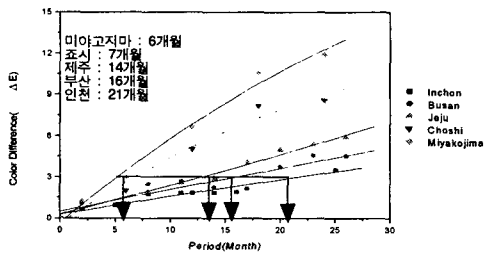


(D) 24개월 옥외폭로

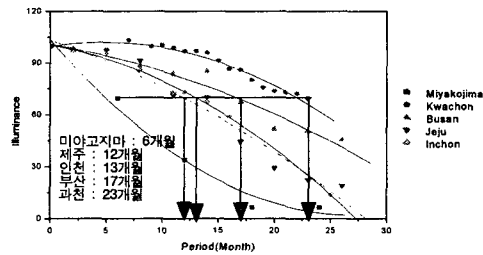
그림4. 일본 지역에서 옥외폭로한 자동차용 도료의 표면 모폴로지 변화(×6)

그림5에 국내 지역과 일본 지역의 옥외환경시험장에서 옥외폭로한 선박용 도료와 자동차용 도료의 폭로기간에 따른 색차와 광택도의 변화를 비교하여 나타냈는데 미야고지마 옥외환경시험장에서 6개월 동안 폭로한 시험편의 색차가 조시 옥외환경시험장에서는 약 7개월의 폭로기간에 그리고 제주, 부산, 인천 옥외환경시험장에서는 각각 14개월과 16개월 그리고 21개월의 폭로에 나타남을 알 수 있으며, 광택도의 경우에는

미야고지마 옥외환경시험장에서 6개월 동안 폭로한 결과가 제주 옥외환경시험장에서는 12개월에 그리고 인천 옥외환경시험장에서는 13개월의 폭로에 나타났고, 부산 옥외환경시험장에서는 17개월의 폭로에 과천 옥외환경시험장에서는 23개월의 폭로에 나타남을 알 수 있다. 이와 같이 일본 지역의 옥외환경시험장에서 폭로한 시험편의 노화가 국내 지역에서 폭로한 시험편보다 빨리 진행됨을 알 수 있는데 옥외노출 소재의 평가항목 중 광택도를 비교인자로 하여 비교하였을 때 일본 지역의 미야고지마 옥외환경시험장에서 1년 동안 폭로한 결과가 국내 지역의 인천과 제주 옥외환경시험장에서는 1년 반에서 약 2년 동안의 폭로 기간에 나타남을 확인할 수 있었다.



(A) 색차(선박용 도료)



(B) 광택도(자동차용 도료)

그림5. 국내 지역과 일본 지역의 옥외내후성 비교

옥외환경시험장	옥외내후성 (Month)	축진내후성 (Hour)	비교
과천	23	800 ~ 1300	비교인자 : 광택도
광주	25		
대구	26	1000 ~ 1300	
부산	26	1300 ~ 1700	
인천	25	1800 ~ 2000	
제주	26		
조시	12 ~ 24	2000	
미야고지마	12 ~ 18		

표3. 옥외내후성과 인공 축진내후성의 상관관계

표3에 국내 지역의 6개 옥외환경시험장과 일본 지역의 조시와 미야고지마 옥외환경시험장에서 약 2년 동안 옥외폭로한 시험편의 옥외내후성과 축진내후성시험기에서 2000시간 동안 시험한 시험편의 축진내후성의 상관관계를 옥외노출소재의 평가항목 중 광택도를 비교인자로 하여 나타냈는데 과천과 광주 옥외환경시험장에서 약 2년 동안 옥외폭로한 결과가 축진내후성 시험기에서 800 ~ 1300시간 동안 시험한 결과와

같았고, 대구옥외환경시험장의 경우에는 약 2년의 옥외내후성이 1000 ~ 1300시간의 촉진내후성과 상관성을 나타냈으며, 부산 옥외환경시험장의 경우에는 약 2년의 옥외내후성이 1300 ~ 1700시간 동안의 촉진내후성과 연관성을 나타냈다. 인천과 제주 옥외환경시험장의 경우에는 약 2년 의 옥외내후성과 1800 ~ 2000시간의 촉진내후성이 상관관계를 가지고 있음을 알 수 있다. 일본 지역의 경우에는 촉진내후성시험기에서 2000시간 동안 시험한 결과가 조시 옥외환경시험장에서는 1년 ~ 2년 동안 폭로한 결과와 같았으며 미야고지마 옥외환경시험장에서는 1년 ~ 1년 반 동안 폭로한 결과와 상관성을 나타냈다.

4. 결 론

국내 지역의 옥외환경시험장 중에서 시험편의 변화가 가장 많이 나타난 지역은 인천옥외환경시험장으로 이 지역에서 옥외폭로한 시험편의 특성이 가장 많이 변한 이유로는 가장 먼저 일사량을 들 수 있는데 국내 지역의 옥외환경시험장 중에서 인천 지역의 일사량이 다른 지역에 비해 1000(MJ/m²) 정도 높기 때문에 이 지역에서 폭로한 시험편에서 변화가 많이 나타난 것으로 보이며 더욱이 인천 옥외환경시험장은 해안지역과 공장밀집지역에 위치하고 있어 해염인자와 환경오염물질의 영향으로 인하여 더욱 많은 변화가 나타난 것으로 보인다.

일본 지역의 경우에는 미야고지마 옥외환경시험장에서 폭로한 시험편이 조시 옥외환경시험장에서 폭로한 경우보다 많은 변화를 나타내는데 이는 미야고지마 옥외환경시험장의 기온이 조시 옥외환경시험장보다 약 10℃ 정도 높고 일사량은 700(MJ/m²) 정도 많은 등의 더 가혹한 기상조건을 나타내기 때문으로 생각된다.

국내 지역과 일본 지역의 옥외내후성을 비교하여 보면 색차와 광택도 등 모든 평가항목에서 일본 지역에서 폭로한 시험편이 국내 지역에서 폭로한 시험편보다 더 많은 변화를 나타내고 있음을 알 수 있는데, 도료의 광택도를 비교인자로 하여 비교하였을 때 일본 지역의 미야고지마 옥외환경시험장에서 1년 동안 폭로한 결과가 국내 지역의 인천과 제주 옥외환경시험장에서는 1년 반에서 약 2년 동안 폭로한 결과와 같음을 확인할 수 있었다.

국내 6개 지역의 옥외환경시험장에서 약 2년 동안 옥외폭로한 시험편의 옥외내후성은 폭로지역에 따라 800 ~ 2000시간의 촉진내후성과 상관성을 나타냈고, 일본 지역의 경우 2년 동안의 옥외내후성을 2000시간의 촉진내후성으로는 모두 재현할 수 없었는데 대략 1 ~ 2년 동안의 옥외내후성이 2000시간의 촉진내후성과 상관관계를 보였다.

참고문헌

1. R. Satoto, Wiwik S. Subowo, R. Yusiasih, Y. Takane, Y. Watanabe & T. Hatakeyama, *Polym. Deg. Stab.*, **56**, 275, (1997).
2. F. Severini, R. Gallo, S. Ipsale, E. Nisoli, M. Pardi, *Polym. Deg. Stab.*, **65**, 329, (1999).
3. M. Scoponi, S. Cimmino, M. Kaci, *Polymer*, **41**, 7969, (2000).
4. F. Severini, R. Gallo, L. Di Landro, et. al., *Polymer*, **42**, 3609, (2001).

5. M. Yamashita, et. al., J. Japan Inst. Metals, Vol. **65**, No. 11(2001), pp. 967-971
6. Y. Nagai, et. al., Polym. Degrad. Stab., **56**, 115, (1997).
7. S. Hollande & J. Laurent, Polym. Degrad. Stab., **62**, 501, (1998).
8. J. W. Martin, et. al., Polym. Degrad. Stab., **75**, 193, (2002).
9. P. Glöckner, et. al., Die Angewandte Makromolekulare Chemie, **269**, 71, (1999).
10. X. F. Yang, et. al., Polym. Degrad. Stab., **74**, 341, (2001).