

자외선 촉진 내후성 시험에 의한 EPDM Chip을 사용한 탄성포장의 색차분석

Examination of Color Difference in Elastic Pavement that uses EPDM Chip using
Ultraviolet Ray Accelerated Weathering Test

홍창우*

Hong, Chang Woo

Abstract

Recently, the usage of elastic paving using EPDM Chip instead of pedestrian sidewalk blocks or permeable concrete used mostly for pedestrian walk, trails and in parks has been increased as it can absorb impact during walking and produce wide range of colors and designs. However, the properties of EPDM Chip including elasticity and durability are decreased when exposed to ultraviolet ray and scenic paving functions through various colors are lowered due to the yellowing phenomenon. In this study, ultraviolet ray accelerated weathering test has been conducted to analyze the color changes in EPDM Chip and polyurethane resin, which are the main ingredients of elastic paving, when exposed to ultraviolet ray. The color differences are quantitatively analyzed through the color value coordination of the colored space by using the color difference scheme. The experimental results show that the color changes in BL polyurethane resin which is used most frequently at present was larger than that of EPDM Chip. Moreover, the total color difference, ΔE , of BC polyurethane resin are 3.162 on the 14th day of commencement of acceleration, which is 6 times greater color change resistance against ultraviolet ray than that of BL polyurethane resin with total color difference of 20.639. Therefore, the usage of BC polyurethane resin, which is manufactured to have chain-type molecular structure by using the isocyanate as the HMDI at the time of producing polymer, as binder in elastic paving with EPDM Chip is found to be a highly efficient method of restraining the color changes due to the ultraviolet ray.

Keywords : Ultraviolet ray accelerated weathering test, color difference scheme, polyurethane resin, EPDM chip

요 지

최근에 들어 보도나 산책로, 공원 등에 주로 사용되었던 보도블록 및 투수콘크리트 대신 합성고무칩(EPDM Chip)을 사용한 탄성포장이 보행시 충격흡수와 다양한 칼라와 디자인을 연출할 수 있어 사용이 증가되고 있다. 그러나, 자외선에 노출 시 합성고무칩의 탄성력, 내구성 등이 저하되고, 황변현상으로 다양한 색상에 의한 경관포장의 기능이 저하되고 있다. 따라서 본 연구에서는 자외선에 노출 시 탄성포장의 주재료인 합성고무칩과 폴리우레탄수지의 색변화를 분석하기 위해 자외선 촉진 내후성 실험을 수행하였다. 그리고 색차계를 이용하여 색공간의 색 수치좌표를 이용하는 방법으로 색차를 정량적으로 분석하였다. 실험결과 기존에 주로 사용되는 BL 폴리우레탄수지의 색변화가 합성고무칩보다 큰 것으로 나타났다. 그리고 BC 폴리우레탄수지의 총색차 ΔE 가 촉진재령 14일에서 3.162로 BL 폴리우레탄수지의 20.639에 비해 6배 정도 자외선에 대한 색변화 저항성이 높은 것으로 나타났다. 따라서 합성고무칩을 사용하는 탄성포장에서 폴리머 제조시 이소시아네이트를 HMDI로 사용하여 체인형 분자구조를 갖도록 제조된 BC 폴리우레탄수지를 바인더로 사용하는 것이 자외선에 의한 색변화를 억제하는데 매우 효율적인 방법으로 나타났다.

핵심용어 : 자외선촉진내후성시험, 색차계, 폴리우레탄수지, 합성고무칩

1. 서 론

최근에 들어 보도나 산책로, 공원 등에 주로 사용되었던 보도블록 및 투수콘크리트 대신 합성고무칩(EPDM chip)을 사용한 탄성포장이 보행시 충격흡수와 다양한 칼라와 디자인을 연출할 수 있어 사용이 증가되고 있다. 과거에는 내

구성, 시공성을 앞세워 보행자의 쾌적성과 경관의 향상, 그리고 환경의 보전이라는 기능을 중요시 하지 않았지만, 최근에는 이러한 친환경적 기능을 부가시킨 새로운 포장공법이 많이 시공되고 있다(지재성 등, 2006).

이러한 현상은 최근 친환경, 웰빙 등 포장재가 갖고 있는 재료의 색채와 질감이 이를 사용하는 이용자의 체감·민감

*정희원 · 충주대학교 토목공학과 교수 (E-mail : cwhong@cju.ac.kr)

도 반응성 등 다양한 측면을 고려하기 때문이다(한승호, 2007). 그러나, 탄성포장에 사용되는 합성고무 칩은 자외선 노출시 합성고무칩의 탄성력, 내구성 등이 저하되면서 탄성포장의 기능과 역할이 저하되고 시공초기의 색상이 시간이 경과함에 따라 황변현상으로 다양한 색상에 의한 경관포장의 기능이 반감되고 있다. 또한 현재 합성고무칩을 사용하는 탄성포장의 경우 합성고무칩과 주 바인더로 사용되는 폴리우레탄 접착제에 대한 품질기준이 없어 시공업체의 자체기준에 따라 시공되고 있어, 품질의 일관성 측면에는 많은 문제점이 노출되고 있다(김운, 2010). 최근 광학기술의 발달은 색의 특성을 색차계에 의하여 기계적으로 수치화된 정량적 측정치로 평가할 수 있게 하였다(Nandish et al., 1997). 색차계의 측정원리는 색의 특성인 명도, 채도, 색상의 3가지 특성을 측정하기 때문에 색을 평가하는 기본적 원리인 Munsell color chart와 유사하며 오히려 광학기기에 의하여 색이 분석되므로 보다 객관성과 정밀성을 지니고 있다고 할 수 있다(이동욱, 2002; 이재용 등, 2003; 김기인 등, 2002). 따라서 본 연구에서는 합성고무칩을 사용한 탄성포장의 자외선 노출에 의한 탄성포장의 주재료인 합성고무칩과 폴리우레탄 바인더 각각의 색변화도를 자외선 촉진 내후성 실험과 자연광 노출실험을 통해 색차계를 이용하여 색공간의 색수치좌표를 이용하는 방법으로 색변화도를 정량적으로 분석하였다. 그리고 황변현상을 억제하기 위한 대안으로 폴리우레탄 바인더 제조특성 변화에 따른 영향을 분석하였다. 이와 같은 실험결과를 통해 합성고무칩을 사용하는 탄성포장의 색변화 원인을 규명하고자 하였다. 그리고 기존의 시각적 검사로 색차를 6등급으로 구분하는 방법을 보다 정량적으로 평가할 수 있는 방법을 제시하고자 한다.

2. 색차분석

자외선 노출 내후성 시험에 따른 색차도는 KS M ISO 7724-3의 방법에 준하여 분석하였다. 이 방법은 시험시편과 표준시편간에 존재하는 색차를 정량적으로 측정하는 방법으로서, 색상의 차이를 CIE 1976에서 제안한 색좌표로 계산한다. 여기서 CIE 1976 색좌표는 1976년 국제조명위원회에서 L^* , a^* , b^* 의 색공간을 사용하는 색좌표를 제안한 것으로서 색오차와 색차이를 표현하기 위해 주로 사용된다. 색차를 계산하는 방법은 다음과 같다. 표준시편(시험 전 시편)의 색좌표는 L_R^* , a_R^* , b_R^* 로 나타내며, 시험시편(시험 후 시편)의 색좌표는 L_T^* , a_T^* , b_T^* 로 나타낸다. 이와 같이 시험시편과 표준시편의 색차가 결정되며, 다음의 식 (4)를 이용해 총 색차(total color difference) ΔE 를 구한다.

$$L^* = 116 \sqrt[3]{\frac{Y}{Y_0}} - 16 \quad (1)$$

$$a^* = 500 \left(\sqrt[3]{\frac{X}{X_0}} - \sqrt[3]{\frac{Y}{Y_0}} \right) \quad (2)$$

$$b^* = 200 \left(\sqrt[3]{\frac{Y}{Y_0}} - \sqrt[3]{\frac{Z}{Z_0}} \right) \quad (3)$$

여기서, $X, Y, Z = XYZ$ 표색계

$X_0, Y_0, Z_0 =$ 완전확산반사면의 표준광에 따른 X, Y, Z

$$\Delta E = [(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2]^{1/2} \quad (4)$$

여기서, $\Delta L^* = L_T^* - L_R^*$

$$\Delta a^* = a_T^* - a_R^*$$

$$\Delta b^* = b_T^* - b_R^*$$

이와 같이 색차계를 사용하는 방법은 색의 특성을 수치값으로 정량화하여 L^* , a^* , b^* 값으로 측정된다. L^* 값은 명도를 나타내는 것으로 측정범위는 0에서 100까지이며, a^* 와 b^* 값은 색상과 채도가 종합된 것으로 측정범위는 각각 +60에서 -60까지 120등급으로 분류된다. 반면에 Munsell표색계는 value(V), hue(H), chroma(C)를 $H \cdot /C$ 의 형태로 색상은 YR, Y, YG 등의 문자로 표현하고, 채도는 1, 2, 3, 4, 5, 6의 숫자로 7.5YR · 8/3과 같이 표시한다. Munsell 표색계가 눈의 감각에 의해 물질의 색을 판단하는 반면, 색차계는 광학적 기계로 L^* , a^* , b^* 의 값을 수치로서 보다 객관적이고 정확하게 색의 특성을 평가하는 방법이다.

3. 시험재료

3.1 EPDM Chip

EPDM(ethylene-propylene-diene ter-polymer)은 에틸렌-프로필렌-디엔을 삼원 공중합시켜 만든 유기화합물로서 이 고무를 판상형으로 분쇄한 것이 도로용 탄성포장에 사용되는 합성고무칩(EPDM chip)이다. 합성고무칩은 내한성, 내온성이 우수하며, 안료를 혼합하여 다양한 색상으로 제조된다. 본 실험에서는 국내 G사의 합성고무칩을 사용하였으며, 주요 색상은 적색, 노랑색, 녹색을 선정하였다. 실험에 사용된 합성고무 칩의 물리적 특성은 표 1과 같다.

표 1. 합성고무칩의 물리적 특성

시험항목	단위	결과값	시험규정
인장강도	MPa	2.7	KS M 6518
신장률	%	590	KS M 6518
인열강도(B형)	kN/m	15	KS M 6518
경도	Hs	58	KS M 6518
비중(23/4°C)	-	1.43	KS M 6519

3.2 습기경화형 폴리우레탄 수지

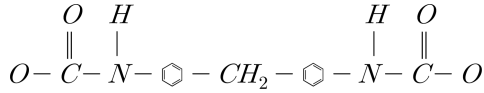
수지는 폴리우레탄 계열인 1액형 습기경화형 방식으로 주요 성질은 표 2와 같다. 실험에 사용된 수지는 방향족으로 고리형 분자구조를 갖은 폴리우레탄 수지 BL과 지방족으로 체인형 분자구조를 갖은 폴리우레탄 수지 BC 2가지를 선정

표 2. 습기경화형 폴리우레탄 수지의 특성

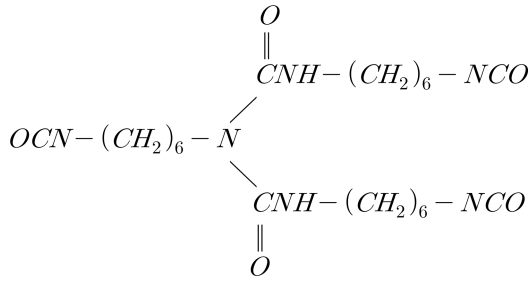
구분	단위	BL수지	BC수지
분자구조	-	고리형	체인형
이소시아네이트	-	MDI	HMDI
점도(25°C)	cps	2,600	3200
건조시간	hrs	24이내	24이내
비중(25°C)	-	1.03	1.03
건조도막 외관	-	반투명	투명

하였다. BL과 BC수지의 차이는 프리폴리머(prepolymer) 제조시 이소시아네이트(isocyanate)를 BL수지는 MDI를 사용한 것이고, BC수지는 HMDI를 사용하여 폴리올과 반응시킨 것이다. 현재 도로포장에는 고리형 분자구조를 갖는 BL수지가 주로 사용되고 있다. 사용된 습기경화형 폴리우레탄 수지의 분자식은 다음과 같다.

- BL수지의 분자식



- BC수지의 분자식



4. 실험방법

4.1 시험인자 및 배합방법

합성고무칩은 적색, 노랑색, 녹색을 선정하였으며, 합성고무칩과 혼합하여 사용되는 바인더는 고리형 BL수지와 체인형 BC수지를 사용하였다. 주요 실험인자는 표 3과 같이 자외선 촉진시험에 따른 색변화도 내후성 분석을 위해 색상별 합성고무칩 3종류와 바인더 2종류(BL, BC수지)를 선정하였으며, 이 재료간의 배합에 따른 영향인자를 추가하여 11가지를 선정하였다. 배합은 합성고무칩의 중량대비 바인더의 혼합비를 20%로 고정하였으며, 알루미늄 판넬과 아크릴판에 부착하여 시편을 15일간 항온습습실(20±1°C)에서 경화하여 제작하였다.

표 3. 실험인자

구분	표기	합성고무칩 색상	폴리우레탄 수지	배합
1	C-R	적색	-	Chip
2	C-Y	노랑색	-	Chip
3	C-G	녹색	-	Chip
4	BL	-	BL	BL
5	BC	-	BC	BC
6	CBL-R	적색	BL	Chip+BL
7	CBL-Y	노랑색	BL	Chip+BL
8	CBL-G	녹색	BL	Chip+BL
9	CBC-R	적색	BC	Chip+BC
10	CBC-Y	노랑색	BC	Chip+BC
11	CBC-G	녹색	BC	Chip+BC

주) C-R : EPDM Chip 적색
 BL : 폴리우레탄 BL수지
 CBL-R : EPDM Chip 적색을 BL수지에 혼합

4.2 자외선 촉진 내후성시험

자외선 촉진 내후성 시험은 KS M ISO 11507에 준하여 시편은 알루미늄 판넬에 합성고무칩을 부착한 후 시험기에 장착하였으며, 시험기는 그림 1과 같이 ASTRA 2000 UV 시험기를 사용하였다.

자외선 노출 시험 사이클은 8시간을 1사이클로 구성하였다. 사이클 모드는 4시간동안 60±3°C에서 UV조사(0.63W/m²/nm), 이후 4시간 동안 50±3°C에서 응축하는 것을 1사이클로 하여 30일간 촉진실험을 수행하였다. 그리고 사용된 UV램프는 UVB(313)램프로 313nm에서 최대방출을 나타낸다.

4.3 자연광 노출시험

자연광 노출시험은 시험편을 아크릴 판넬에 부착하여 외기에 180일간 노출시켜 30일 간격으로 색차계를 이용하여 색차를 측정하였다.

4.4 색차시험

색차시험은 미놀타 CR-400을 이용하여 KS M ISO 7724-2의 측정법 색차측정에 준하여 측정하였으며, 측정값은 5회 측정 후 평균값을 사용하였다.



그림 1. 자외선 촉진 내후성 시험기

5. 시험 결과 분석

5.1 합성고무칩의 색차변화도

합성고무칩의 자외선 촉진 내후성 시험에 의한 재령에 따른 L*, a*, b*, ΔE값은 그림 2-4와 표 4와 같다. 색차계의 a*값이 +인 경우는 적색의 강도를 -인 경우는 녹색의 강도를 나타내고, b*값은 +인 경우 노랑색의 강도를 -인 경우는 청색의 강도로 변화함을 의미한다. C-R 시편의 시험 전 L*는 45.323으로 자외선 촉진 재령이 증가함에 따라 감소하여 촉진 재령 30일에 38.179로 15.8% 감소하였다. a*값은 시험 전 21.075에서, 30일 22.443으로 6.5% 증가되었고, b*값은 시험 전 15.772에서 30일 17.646으로 11.9% 증가되었다. 그리고 C-Y 시편은 시험 전 L*는 72.746에서 30일 71.721로 1.4% 감소하였고, a*는 시험 전 -6.858에서 30일 -2.757로 40.2% 증가하였으며, b*는 시험 전 73.836에서 30일 37.780으로 51.1% 감소하였다. 또한 C-G 시편은 시험 전 L*는 51.706에서 30일 47.051로 8.6% 감소하였고,

a^* 는 시험 전 -20.830에서 30일 -17.374로 16.6% 증가하였으며, b^* 는 시험 전 6.491에서 30일 1.760으로 72.9% 감소하였다. 이와같은 결과로부터 C-R 시편은 명도인 L^* 값의 감소가 가장 큰 영향을 미쳤으며, C-Y 시편은 b^* 값이 노랑색에서 청색방향으로 변화하고, a^* 값이 녹색에서 적색방향으로 변화됨에 따라 색 변화가 진행되었다. C-G 시편은 b^* 값이 가장 큰 영향을 미쳤으며, 노랑색에서 청색방향으로 색변화가 진행되는 것으로 나타났다. 자외선 촉진재령 30일에서 총색차 ΔE 는 C-R 시편이 7.511, C-Y 시편은 36.302, C-G 시편은 7.483으로 나타나, C-Y 시편의 색변화도가 가장 큰 것으로 나타났다.

이와같이 합성고무칩을 대상으로 자외선 촉진시험을 수행한 결과 색상에 따라 자외선에 의한 색변화도가 차이를 보이는 것은 합성고무칩에 사용된 색상 안료의 특성에 기인한 것으로 판단된다.

표 4. 자외선 촉진 시험에 따른 합성고무칩의 색변화도

구분	촉진재령(일)	L^*	a^*	b^*	ΔE
C-R	0	45.323	21.075	15.772	-
	1	42.588	21.959	17.144	3.185
	3	40.753	22.466	17.556	5.099
	7	39.964	22.584	17.664	5.880
	14	38.492	22.141	17.310	7.083
	30	38.179	22.443	17.646	7.511
C-Y	0	72.746	-6.858	73.836	-
	1	70.466	-5.171	73.762	2.837
	3	69.869	-4.562	70.444	5.005
	7	71.429	-4.610	61.264	12.839
	14	70.147	-3.471	46.908	27.264
	30	71.721	-2.757	37.780	36.302
C-G	0	51.706	-20.830	6.491	-
	1	49.244	-21.107	8.643	3.282
	3	46.650	-19.317	8.800	5.761
	7	46.170	-19.210	7.352	5.832
	14	45.669	-18.035	4.357	6.986
	30	47.051	-17.374	1.760	7.483

5.2 폴리우레탄 수지의 색차변화도

폴리우레탄 수지의 자외선 촉진 내후성 시험에 따른 색변화도 영향을 분석한 결과는 표 5와 같다. 박영섭(1989)의

표 5. 자외선 촉진 시험에 따른 폴리우레탄 수지의 색변화도

자외선 촉진재령(일)	BL 수지				BC 수지			
	L^*	a^*	b^*	ΔE	L^*	a^*	b^*	ΔE
0	49.044	-1.660	-6.275	-	17.697	-0.057	-0.334	-
1	49.679	-3.871	3.539	10.081	18.767	-0.251	-0.273	1.089
3	48.586	-3.963	6.973	13.455	20.132	-0.385	-0.321	2.457
7	46.974	-4.017	11.013	17.571	20.502	-0.503	-0.685	2.862
14	47.156	-4.145	14.126	20.639	20.793	-0.698	-0.357	3.162
30	45.680	-4.325	17.719	24.376	22.948	-0.773	-0.102	5.304

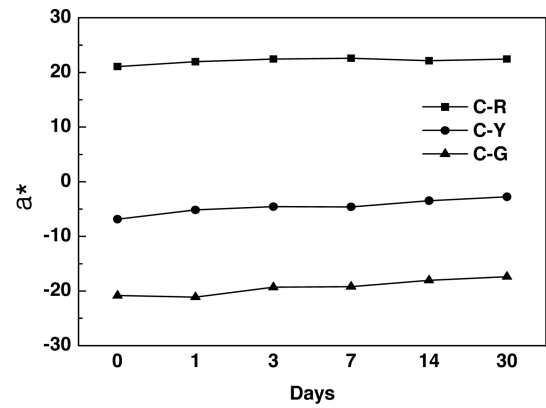


그림 2. UV촉진시험에 의한 합성고무칩의 a^*

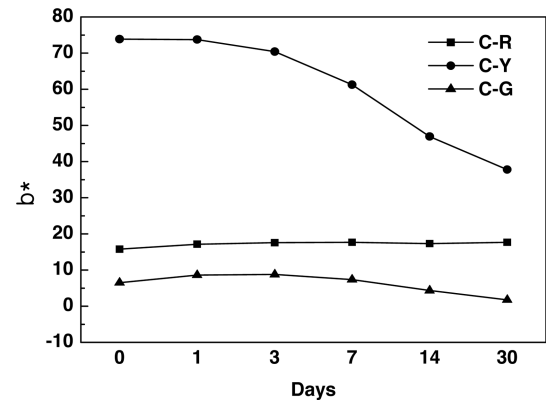


그림 3. UV촉진시험에 의한 합성고무칩의 b^*

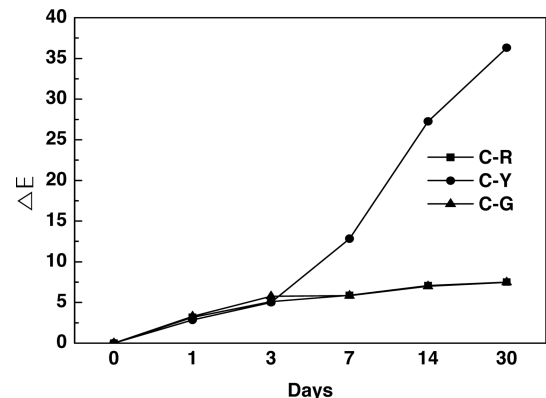


그림 4. UV촉진시험에 의한 합성고무칩의 ΔE

연구결과를 바탕으로 배경판의 영향을 배제하여 사용된 폴리우레탄 수지만의 색변화도를 분석하기 위해 시편 제작은 수지의 두께는 5mm로 하였으며, 배경판의 색상은 검정색으로 하였다.

BL수지의 색변화는 그림 5~7에 나타낸 바와 같이 b^* 가 가장 큰 영향을 미치는 것으로 나타났다. 시험전 -6.275에서 17.719로 청색에서 노랑색 방향으로 색변화가 크게 진행되었다. 그리고 총색차 ΔE 는 촉진재령이 1일에서 30일까지 증가

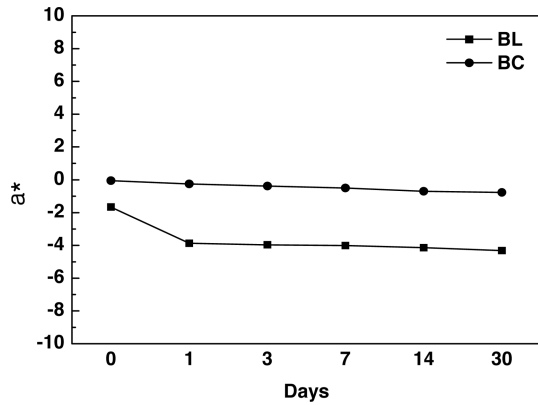


그림 5. UV촉진시험에 의한 폴리우레탄수지의 a^*

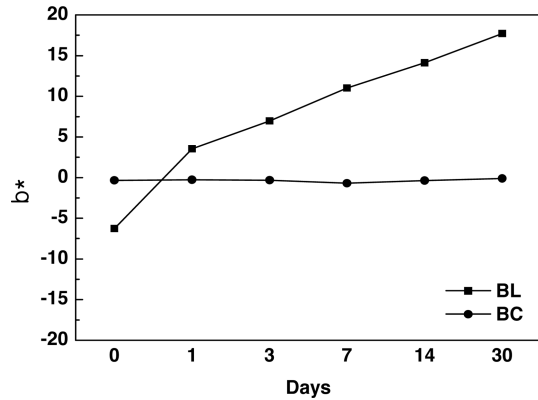


그림 6. UV촉진시험에 의한 폴리우레탄수지의 b^*

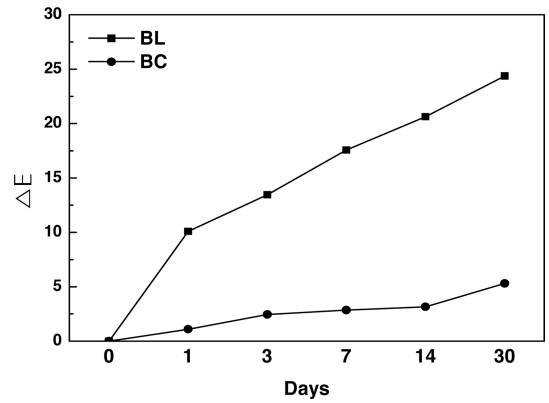


그림 7. UV촉진시험에 의한 폴리우레탄수지의 ΔE

함에 따라 10.081에서 24.376으로 자외선 촉진 초기부터 색 변화도가 매우 크게 진행되는 것으로 나타났다. 반면에 BC 수지는 a^* , b^* 의 변화가 거의 없었으며, 총색차 ΔE 는 1.089에서 5.304로 BL수지의 1일 총색차에도 미치지 않는 것으로 나타나 자외선에 대한 저항성이 상대적으로 높은 것으로 나타났다. BL수지의 ΔE 는 적색 및 녹색 합성고무칩보다 색 변화도가 커, 폴리우레탄 수지가 색변화에 미치는 영향은 매우 큰 것으로 나타났다.

5.3 폴리우레탄수지를 혼합한 합성고무칩의 색차변화도

폴리우레탄 BL, BC수지를 합성고무칩에 혼합하였을 경우의 색상별 색차 변화도는 표 6과 같다. 그림 8과 9는 a^* , b^* 의 색좌표 변화를 나타낸 것으로서 BL수지를 합성고무칩에 혼합하였을 경우, CBL-R과 CBL-Y는 b^* 값이 노랑색에서 청색방향을 색이 변화되는 것으로 나타났다. 그리고 CBL-G는 a^* 값이 녹색에서 적색방향을 변화되어 색변화가

표 6. 자외선 촉진 시험에 따른 폴리우레탄수지와 합성고무칩 혼합에 따른 색변화

EPDM chip colors	자외선 촉진 재령(일)	CBL				CBC			
		L^*	a^*	b^*	ΔE	L^*	a^*	b^*	ΔE
R	0	32.492	27.467	22.747	-	33.819	25.120	19.428	-
	1	32.640	23.435	18.201	6.078	33.884	25.321	20.494	1.087
	3	33.025	22.606	17.333	7.296	33.826	25.570	20.599	1.255
	7	33.671	21.025	16.294	9.194	33.663	26.428	19.699	1.344
	14	33.974	20.762	16.406	9.347	34.069	25.239	20.903	1.501
	30	35.636	20.663	16.515	9.747	34.882	24.102	18.991	1.536
Y	0	69.297	-5.259	76.868	-	71.644	-7.252	74.849	-
	1	66.184	0.064	72.916	7.324	69.313	-4.253	73.881	3.921
	3	63.058	2.254	70.138	11.859	67.559	-3.714	73.422	5.590
	7	60.773	4.559	65.630	17.186	67.065	-2.727	73.072	6.679
	14	60.930	3.595	57.830	22.602	70.900	-4.876	65.179	9.985
	30	62.378	2.915	47.053	31.680	71.001	-1.350	63.408	12.890
G	0	36.300	-27.509	6.499	-	36.445	-26.468	6.607	-
	1	33.619	-22.234	9.752	6.752	35.203	-21.938	5.707	4.783
	3	32.254	-19.050	9.482	9.840	34.176	-22.195	7.684	4.957
	7	33.792	-16.483	9.052	11.592	32.292	-24.717	9.447	5.328
	14	32.082	-15.341	8.199	12.990	32.815	-27.878	10.382	5.424
	30	35.441	-12.905	5.510	14.662	32.143	-24.959	9.606	5.457

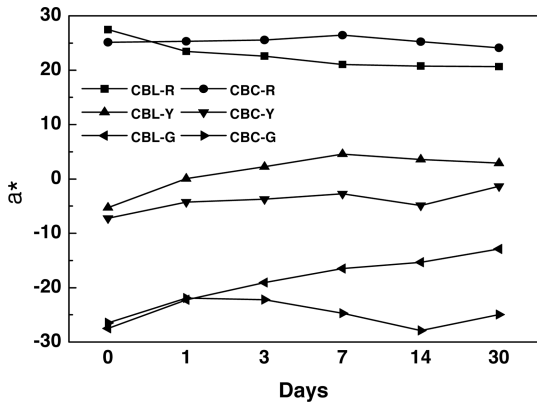


그림 8. UV촉진시험에 의한 폴리우레탄 수지와 합성고무칩 혼합에 의한 a^*

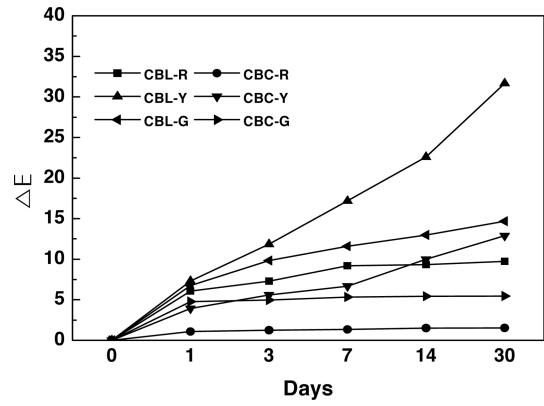


그림 10. UV촉진시험에 의한 폴리우레탄 수지와 합성고무칩 혼합에 의한 ΔE

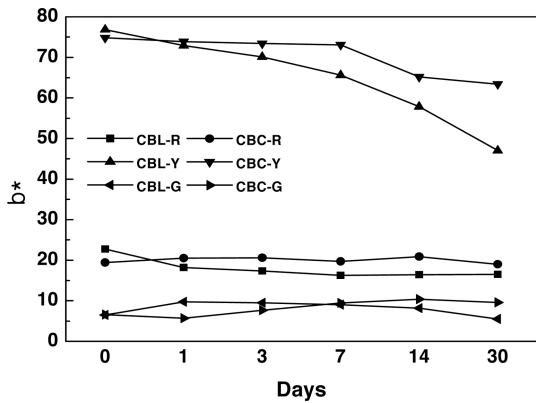


그림 9. UV촉진시험에 의한 폴리우레탄 수지와 합성고무칩 혼합에 의한 b^*

타났다. 그리고 합성고무칩이 노랑색인 경우에는 C-Y는 36.302, CBL-Y는 31.680, CBC-Y는 12.890를 보였다. 또한 합성고무칩이 녹색인 경우, C-G는 7.483, CBL-G는 14.662, CBC-G는 5.457로 나타났다. 이와같은 결과로부터 합성고무칩을 BL수지에 혼합하였을 경우, 적색은 합성고무칩의 변화보다 29.7% 증가하였고, 노랑색은 12.7% 감소, 녹색은 95% 증가하는 것으로 나타났다. 반면에 합성고무칩을 BC수지에 혼합하였을 경우, 적색은 80% 감소하였고, 노랑색과 녹색은 각각 65%, 27% 감소하는 것으로 나타났다. 따라서 합성고무칩을 BC수지에 혼합한 경우가 BL수지에 혼합한 경우에 비해 색상에 관계없이 총색차가 적어, 자외선 내후성이 우수한 것으로 나타났다.

진행되는 것으로 확인되었다. 그림 10은 촉진제령 30일에서 총색차 ΔE 를 나타낸 것으로서 합성고무칩이 적색인 경우에는 C-R은 7.511, CBL-R은 9.747, CBC-R은 1.536로 나

5.4 자외선 촉진과 자연광 노출에 의한 색차변화도

자외선 촉진시험과 자연광에 180일간 노출하여 30일 간격으로 측정된 총색차는 표 7과 같다. 그리고 그림 11~13은

표 7. 자외선 촉진 내후성 시험과 자연광 노출시험의 색차 비교

EPDM chip colors	자외선 촉진 시험에 따른 총색차 ΔE			자연광 노출 시험에 따른 총색차 ΔE				
	Days	C	CBL	CBC	Days	C	CBL	CBC
R	1	3.185	6.078	1.087	30	3.402	1.565	1.379
	3	5.099	7.296	1.255	60	4.910	1.604	1.554
	7	5.880	9.194	1.344	90	5.740	2.213	1.588
	14	7.083	9.347	1.501	120	6.671	2.375	1.730
	30	7.511	9.747	1.536	150	7.053	3.190	1.782
	-	-	-	-	180	7.777	3.658	1.809
Y	1	2.837	7.324	3.921	30	2.581	5.144	2.299
	3	5.005	11.859	5.590	60	8.891	7.316	2.684
	7	12.839	17.186	6.679	90	14.312	9.613	3.493
	14	27.264	22.602	9.985	120	19.738	14.711	3.982
	30	36.302	31.680	12.890	150	20.755	18.209	5.516
	-	-	-	-	180	26.815	24.712	5.955
G	1	3.282	6.752	4.783	30	3.407	6.328	2.450
	3	5.761	9.840	4.957	60	6.211	7.653	3.267
	7	5.832	11.592	5.328	90	8.057	8.632	4.825
	14	6.986	12.990	5.424	120	9.063	9.486	5.507
	30	7.483	14.662	5.457	150	9.509	10.278	5.965
	-	-	-	-	180	10.606	10.857	6.138

합성고무칩의 색상(적색, 노랑색, 녹색)별 자외선 촉진내후성 실험결과와 자연광 노출시험의 재령별 총색차 ΔE 를 도식화한 것이다. 첫 번째로 합성고무칩만의 실험결과를 비교하면, 그림 11과 12에 나타난 바와 같이 적색과 노랑색의 합성고무칩의 색변화는 자외선 촉진재령 7일의 결과는 자연광 노출 90일 정도의 값을 보였다. 그리고 자외선 촉진재령 14일은 자연광 120일에서 150일 정도의 결과를 보였다. 녹색 합성고무칩의 경우는 그림 13과 같이 자외선 촉진재령 7일의 결과는 자연광 60일, 촉진재령 14일은 자연광 90일 정도로 자연광 노출시 적색 및 노랑색 합성고무칩에 비해 색변화도가 더 큰 것으로 나타났다.

두 번째로 합성고무칩에 폴리우레탄 수지를 혼합하였을 경우의 색변화도는 다음과 같다. 노랑색, 녹색 합성고무칩에 BL수지 및 BC수지를 혼합한 경우는 그림 12와 13에서 보는 바와 같이 자외선 촉진재령 7일의 결과는 자연광 노출

재령 150~180일 정도와 유사한 것으로 나타났다. 그리고 적색 합성고무칩을 사용한 경우는 그림 11과 같이 총색차가 노랑색 및 녹색 시편에 비해 적어 총색차의 상관성은 상대적으로 적은 것으로 나타났다. 자외선 촉진 내후성 시험을 통해 외기중에 노출된 환경의 재현을 완벽히 수행할 수는 없지만 자외선 촉진 재령을 14일 정도 수행하면, 자연광에 노출된 환경 180일 정도의 색변화를 예측하는데 효율적인 결과를 제시하는 것을 확인하였다.

6. 결 론

합성고무칩과 폴리우레탄 수지를 사용한 탄성포장의 색변화도를 자외선 촉진 내후성 시험과 자연광 노출시험을 통해 색변화를 분석한 결과 다음과 같다.

1. 합성고무칩 적색과 녹색의 경우는 총색차 ΔE 가 7.5 이내의 결과를 보였으나, 노랑색의 경우는 36.3으로 매우 큰 색차를 보였으며, 주로 b^* 의 값이 촉진재령이 증가함에 따라 청색방향으로 변화하는 것에 영향을 받은 것으로 나타났다. 그리고 합성고무칩의 색상에 따른 색변화도의 차이는 사용된 색상안료에 따른 영향으로 판단된다.
2. 폴리우레탄 수지의 자외선 촉진 내후성 시험에 따른 색차를 분석한 결과 주로 사용되고 있는 BL수지는 총색차 ΔE 가 촉진재령 14일에서 20.639로 나타나, 수지가 합성고무칩 적색과 녹색의 경우 보다 총색차가 큰 것으로 나타났다. 반면에 BC수지는 ΔE 가 3.162로 BL수지에 비해 자외선에 대한 색변화 저항성이 높은 것으로 확인되었다.
3. 폴리우레탄 BL, BC수지에 합성고무칩을 혼합한 경우의 색변화는 BC수지에 혼합한 경우가 BL수지에 혼합한 경우에 비해 색상에 관계없이 2.5배 이상의 자외선에 대한 색변화 저항성이 높은 것으로 나타났다.
4. 촉진시험과 외기 노출시험을 비교하여 재현성을 검토한 결과 합성고무칩의 경우는 자외선 촉진재령 14일, 수지와 혼합하였을 경우에는 7일의 결과가 외기 노출시험의 150~180일 정도의 환경을 재현하는 것으로 나타났다.
5. 합성고무칩을 사용하는 탄성포장에서 주로 사용되고 있는 폴리우레탄 BL수지를 프리폴리머 제조시 이소시아네이트를 HMDI로 사용하여 체인형 분자구조를 갖도록 제조된 BC수지를 바인더로 사용하는 것이 자외선에 의한 색변화를 억제하는데 효율적인 방법으로 나타났다.

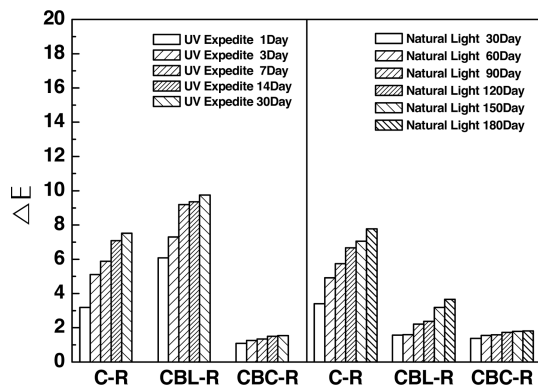


그림 11. 자외선 촉진시험과 자연광 노출시험에 따른 ΔE

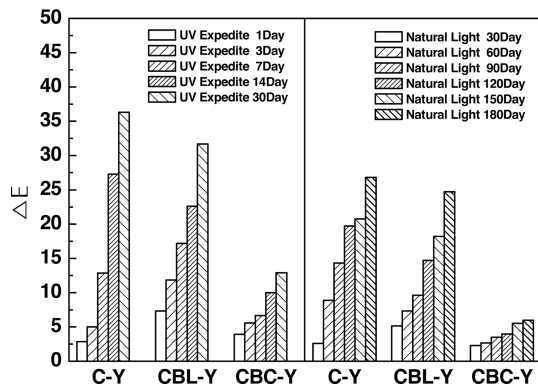


그림 12. 자외선 촉진시험과 자연광 노출시험에 따른 ΔE

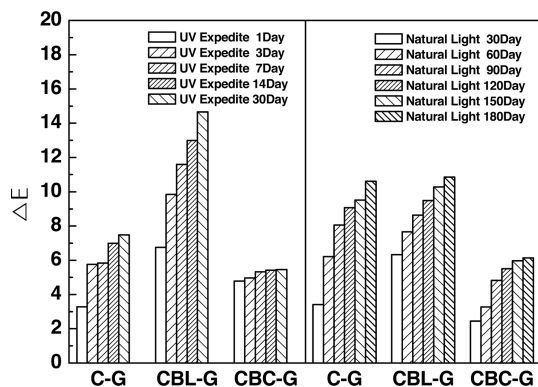


그림 13. 자외선 촉진시험과 자연광 노출시험에 따른 ΔE

참고문헌

- 김기인, 홍순달(2002) 토양의 색 특성과 색차계 측정치의 상호관계, 한국토양비료학회지, 한국토양비료학회, 제35권 제2호, pp. 77-86.
- 김운(2010) 조경용 탄성포장의 재료배합비율에 따른 결합력과 반발탄성분석 연구, 석사학위논문, 호남대학교.
- 김진국, 김인환, 신진수(1998) 천연고무와 EPDM의 노화거동, Elastomer, Vol. 33, No. 3, pp. 159-167.
- 박영섭(1989) 아크릴릭 레진의 색차에 관한 실험적 연구, 석사학위논문, 전남대학교.
- 이동욱(2002) 색의 기본이론과 스펙트럼 분포를 통한 색의 이해에 관한 연구, 석사학위논문, 서울대학교.
- 이재용, 고성석(2003) CIE L^* , a^* , b^* 표색계를 적용한 무기안

료가 착색시멘트모르타의 색에 미치는 영향분석, **대한건축학회 논문집**, 대한건축학회, 제19권 11호, pp. 125-132.

장두희, 김지훈, 김영주(2010) 폐 EPDM고무의 재활용을 위한 기초적 연구, **한국환경과학회지**, 한국환경과학회, 제19권 제3호, pp. 365-370.

전이주(1999) 복합레진의 광중합 전·후와 shade guide의 색차 비교, 석사학위논문, 서울대학교.

지재성 등(2006) 포장면의 환경성 향상 소재 개발, 연구보고서 건기원 2006-096, 한국건설기술연구원.

한승호(2007) **조경용 투수포장의 환경성능 평가기법 연구**, 박사학위논문, 서울대학교.

Nandish M. Mattikalli(1997) Soil color modeling for the visible and near-infrared bands of landsat sensors using laboratory spectral measurements, *International Journal of Remote Sensing*, Vol 59, pp. 14-28.

(접수일: 2010.9.13/심사일: 2010.11.1/심사완료일: 2010.11.28)