

Thermochromic 기능성 과열감지 Rubber 제조

강영구 · 박병기*

호서대학교 안전시스템공학과 · *호서대학교 벤처전문대학원

1. 서 론

기능성 색소는 플라스틱, 제지, 화장품 등의 착색을 위한 기본용도 이외에 정보기록, 정보표시, 광학센서, 에너지 변환, 의료진단 분야 등에 광범위하게 이용되고 있다. 특히 색소의 색조가 외부의 영향에 의해 변색되는 현상을 Chromism이라 하는데, 이것은 최초에 가해지는 에너지에 따라 thermochromism, photochromism, electrochromism, piezochromism, solvato chromism, halochromism 등으로 분류된다. 이 중 외부로부터의 물리적 자극인 열에 의해 변색되는 열변색(thermochromism) 현상은 가열 혹은 냉각 과정에 의해 가역과 비가역 사이클을 반복하면서 색상 변화를 일으킨다.¹⁻²⁾ 이와 같은 thermochromic 소재는 저온 또는 고온에 따라 모두 적용 가능하여 의료기기, 식품포장용기, 전화카드 광고용 라벨, 옥내 전기접속부의 온도제어, 화상방지 표시 및 과열감시 등의 용도로 그 활용도가 높다.³⁻⁴⁾

본 연구에서는 31℃에서 임계점을 갖는 열변색 염료를 유효 성분으로 thermochromic 원리를 이용한 기능성 과열감지 rubber를 제조하여 그 특성을 평가하였다. 산업현장 및 안전분야에 활용도를 높일 수 있도록 호흡용 보호구인 방진마스크와 가스충진 압력용기를 대상으로 실험을 수행하였다. 구체적으로 방진마스크 적용 시험을 통해 인체 밀착성을 육안으로 용이하게 확인하고, 압력용기의 과열에 따른 저장·취급상의 안전성을 확보하고자 하였다. 또한 제조된 최종 rubber 시제품을 대상물에 간단하게 부착하여 작업공정상 발생하는 이상 조건을 효과적으로 감지할 수 있도록 제반 특성을 평가하였다.

2. 실험

2-1. Raw materials

본 연구에 사용한 thermochromic dye는 leuco dye 계열로써 31℃ 이상의 온도에서 흑색에서 백색으로 변색되는 가역성 염료이다.⁵⁾ Silicone resin(KE 441, ShinEtsu)은 1액형으로 24℃에서 1hr의 표면 경화시간을 나타낸다. 또한 Polyurethane rubber는 강남화성의 발포성 Polyurethane으로 주제와 경화제로 구성된 2액형 Polyurethane을 사용하였다.

2-2. Manufacturing Process

성형체를 제조하기 전에 열변색 염료의 균일한 분산 및 성형을 위해 Dry oven에서 100℃, 24hr 동안 건조하여 실험을 하였다. 이후 Table 1과 같이 silicone과 polyurethane resin 함량별로 열변색 염료를 첨가한 후 conditioning mixer를 사용하여 2분간 교반하였다. Polyurethane resin의 경우 2액형으로 구성되어 있어 주체에 열변색 염료를 1차 교반한 후 경화제를 첨가하는 2회의 교반 공정을 거쳤다. 혼합된 용액을 Polypropylene 필름에 coating하여 온도변화에 따른 변색여부와 온도별 변색 시간을 확인하였다.

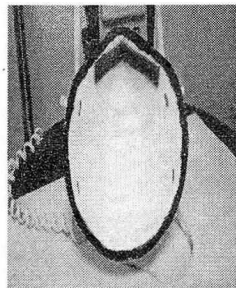
Table 1. Formulation of silicone and polyurethane resin

Dye(%)	Matrix resin	Thermochromic dye	Total
1%	9.95g	0.05g	10g
2%	9.90g	0.10g	10g
3%	9.85g	0.15g	10g

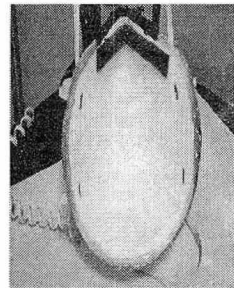
2-3. 적용시험

1) 방진마스크

호흡용 보호구인 방진마스크 제품의 안면 밀착부 외곽에 thermochromic rubber를 부착한 후 열변색 여부를 확인하였다. Fig. 1과 같이 방진마스크를 착용한 상태에서 5분 경과 후 탈착하여 열변색 상태를 확인한 결과 인체 호흡온도인 37℃를 전후로 초기 흑색에서 백색으로 색상이 변화되는 것을 육안 확인할 수 있었다.



(a) before



(b) after

Fig. 1 Thermochromic images applied in the dust mask

2) 질소가스 보관용기

제조된 thermochromic rubber를 Fig. 2(a)와 같이 질소가스 보관용기 외면에 부착하여 열변색 적용시험 가능성을 확인하였다. 폭발 위험성 때문에 Fig. 2(b)와 같이 예비 실험을 통해 온도 상승에 따른 열변색성을 확인한 결과 용기 보관 온도인 40℃ 부근의

온도 전이점을 기준으로 수초 이내에 chromism 현상을 관찰할 수 있었다.

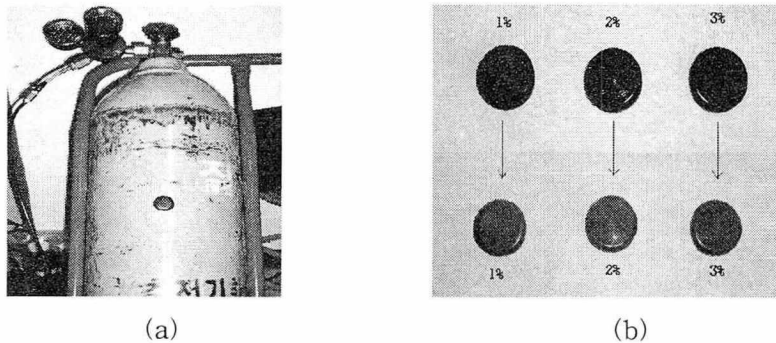


Fig. 2 Thermochromic images applied in the nitrogen gas cylinder

3. 실험 결과

3-1. Viscosity test

Thermochromic rubber의 성형 가공성을 평가하기 위해 염료 함량에 따른 점도를 측정된 결과 열변색 염료의 첨가량에 상관없이 점도값은 resin 자체와 유사한 값을 나타내었다. Silicone resin을 적용한 시편은 점도가 낮아 coating이 쉽고 두께 조절이 힘들지만 고착시간이 빠른 반면, polyurethane은 점도가 높아 상대적으로 분산성이 저하되고 고착시간이 긴 단점이 있었다.

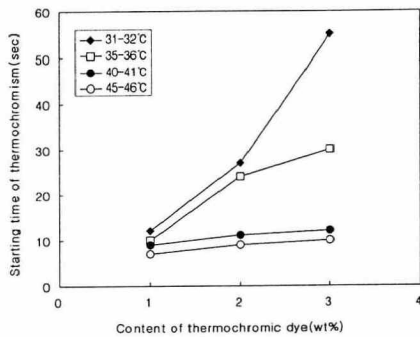
Table 2. Viscosity of thermochromic rubber

(unit: cps)

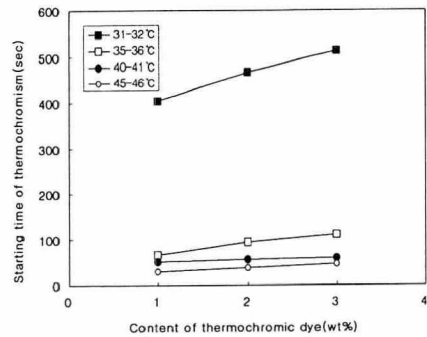
Formulation	Content of thermochromic dye		
	1%	2%	3%
Thermochromic dye + Silicone rubber	119	127	136
Thermochromic dye + Polyurethane rubber	9,450	9,459	9,467

3-2. Starting time of thermochromism

각 matrix resin별 열변색 염료의 함량에 따른 변색 개시 시간을 측정된 결과 Fig. 3~4와 같이 염료 함량이 증가할수록 변색시간이 지연되는 것을 알 수 있었다. 또한 주어진 온도가 높을수록 변색시간이 단축되고, 열전도도에 따라 silicone resin을 첨가한 시편이 polyurethane보다 변색이 빠른 것을 알 수 있었다. 특히 silicone resin 함량 2wt(%) 이상을 기점으로 변색 시간이 급격히 지연되었으며, polyurethane resin을 적용 시 32°C 이상의 온도에서 변색 시간이 급격히 단축되는 것을 알 수 있었다.



(a) silicone resin



(b) polyurethane resin

Fig. 3 Starting time of thermochromism as the content of matrix resin and temperature change

4. 결론

대상 소재 및 부품의 과열에 따른 이상 조건을 육안으로 용이하게 식별할 수 있는 thermochromic rubber를 제조하여 그 특성을 평가하였다. 제조된 샘플을 대상으로 방진마스크 및 압력용기 적용시험을 수행한 결과, 열변색 전이온도에서 수 초 이내에 chromism 특성을 나타내었으며, 온도 변화, 열변색 염료 함량 등에 따라 다양한 특성치를 얻을 수 있었다. 기존 디지털 혹은 아날로그 방식을 이용한 센서 제품과는 달리 고무 형태로 대상물에 용이하게 취부, 과열 감지 기능을 갖는 시제품 개발을 통해 안전분야 용도에 활용 가능성을 검증할 수 있었다.

참고문헌

1. Mitsuyoshi Onoda, Kazuya Tada, "A consideration of thermochromic behavior in poly(p-phenylenevinylene) derivatives", Thin Solid Films 438 - 439, pp. 187~194, 2003.
2. A. Beck, T. Hoffmann, W. Körner and J. Fricke, "Thermochromic gels for control of insolation", 2003.
3. E. M. S. Castanheira and J. M. G. Martinho, "Thermochromic shifts of pyrene excimer fluorescence", 2002.
4. James R. Kingsley-Rowe, Gary D. Lock, J. Michael Owen, "Transient heat transfer measurements using thermochromic liquid crystal: lateral-conduction error", International Journal of Heat and Fluid Flow, 2004.
5. 강영구, 김시석, 이활중 "안전진단용 Thermochromic 소재의 특성", 한국산업안전학회지, pp. 202~205, 2003.