

Slip agent 의 함량변화에 따른 PMMA 재의 Scratch 특성변화 Charaterization of scratch properties of PMMA with variable contents of the slip agent

*김형준¹, 김봉철², #최병호³, 이호상⁴

*H. J. Kim¹, B. C. Kim², #B. H. Choi (bhchoi@korea.ac.kr)³, H. S. Lee⁴

¹ LG 전자, ² 고려대학교 기계공학과, ³ 고려대학교 기계공학부, ⁴ LG MMA

Key words : PMMA(Poly Methyl MethAcrylate), Scratch, Slip agent, Wear, Whitening, ASTM D7027

1. 서론

전자제품 외장재는 주로 플라스틱 사출로 구현된다. 최근 제품 경쟁력 강화에 따른 디자인 고급화에 대한 고객요구의 증대와 친환경 제품 생산에 대한 필요성이 규격화로 진행됨에 따라 가전제품의 무도장 외장재 대응에 관한 관심이 증가되고 있다. 게다가 도장 공정 제거에 따른 제조비용의 절감효과는 기업 이윤과 제조공정 사이에 필수적으로 달성되어야 할 과제로 인식되고 있다.

2005년부터 시작된 외장재 컬러 디자인의 High-glossy black trend 는 이와 같은 상황과 어우러져 전자제품 업계에서는 ABS 와 PMMA 를 활용한 무도장 고풍택 블랙 사출제품들이 출시되었으며, 이후 현재까지 유지되고 있다.

하지만 이들 무도장 외장재 소재 표면의 scratch 특성이 일반적인 UV 도장 또는 일반 도장 특성 대비 떨어짐에 따라 2007년부터 사용 고객들의 불만이 꾸준히 증가되어 심각한 문제로 인식되게 된다. 또한 제품생산 과정에서도 작업자의 손에 의해 발생하는 scratch 로 인하여 제품 불량률이 증대되어 이를 제어하기 위한 단가가 급상승하게 되었다.

최근 Texas A&M University 의 Sue 교수의 연구실에서 정량적인 scratch 시험법에 대하여 많은 연구를 진행해 왔으며 그 결과 최근 Sue 교수의 연구실에서 제안된 방법을 이용한 Scratch 시험법이 일부 인정되어⁽¹⁾ ASTM D7027-05⁽²⁾로 표준화 작업이 이루어졌다.

본 연구에서는 slip agent 함량을 변화시켜 scratch 특성 변화를 관찰한다. ASTM D7027-05 의 표준시험법⁽²⁾을 기초로, slip agent 의 영향력을 확인하기 적합한 시험조건 을 찾아내기 위하여, 수직하중 및 scratch 의 속력을 다양하게 변화시켜가며 시험을 진행하고, 최적의 조건을 찾는다.

2. 이론 및 실험

Scratch 현상 관찰은, Fig.1 과 같이 scratch 진행방향에 따른 변화와, 진행방향 기준 횡단면 특성을 관찰하는 방향으로 설정할 수 있다. 이 때 scratch 의 평가를 위해 측정되는 값은 scratch tip 에서 재료 표면에 가해지는 수직하중(F_z) 및 수평하중(F_x)과 scratch 흔적에서 확인할 수 있는 scratch width(w)가 있다. Scratch width(w)는 scratch 발생 후 남은 흔적을 횡 방향으로 측정된 폭이다. 측정된 폭(w)을 이용하여 Briscoe 등이 제안한 Scratch Hardness(H_s)⁽²⁾를 구할 수 있으며 식(1)과 같이 정의되었다.

$$H_s = \frac{4qF_z}{\pi w^2} \quad (1)$$

여기서 q 는 재료의 탄성복원력에 따라 정해지며($1 \leq q \leq 2$) 본 연구에서는 실험재료가 거의 비슷하여 $q=1.5$ 로 적용하였다. 또한 scratch 발생 중의 마찰계수인 scratch coefficient of friction(SCOF)는 식(2)와 같이 수직하중과 수평하중의 비로 정의한다.

$$SCOF = \frac{F_x}{F_z} \quad (2)$$

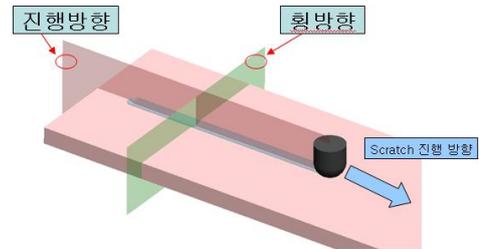


Fig.1 Section definition of after scratch.

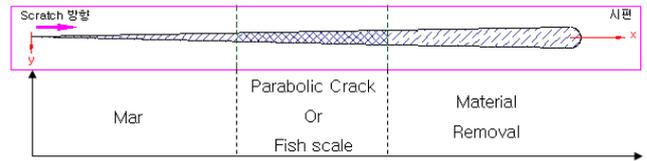


Fig.2 Scratch morphology map proposed by Jiang et al.

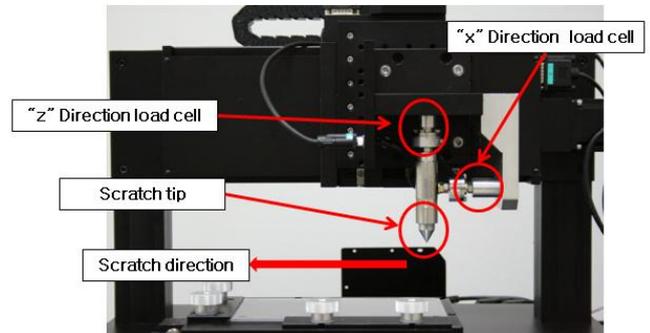


Fig.3 Scratch machine structure.

Table 1 Scratch test case

Division	F_z (N)	Scratch velocity (mm/sec)	Remark
Case #1	30	100	ASTM D7027 Mode B
Case #2	15	100	
Case #3	15	150	정압형
Case #4	15	50	
Case #5	5	100	
Case #6	2~50	100	ASTM D7027 Mode A
Case #7	2~50	150	
Case #8	2~50	50	변압형
Case #9	2~25	100	
Case #10	2~75	100	

Scratch morphology 는 재료 특성 및 수직하중 변화에 따라 Jiang 등에 의해 3 단계로 분류 관찰되었고 Fig.2.와 같이 정의되었다.⁽³⁾

실험재료는, 상용에 적합한 PMMA 중에서 기본 물성 평가를 진행하여 전자제품 적용에 적합한 최적의 grade 를 찾아 낸 후, 이에 Slip agent 가 0%, 1%, 1.5%, 2%, 3% 함유된 5 가지 재료에 대하여 scratch 시험을 수행하였다. 각각의 함량에 대하여 PMMA Z0~Z4 로 명명하였다.

실험장비는 ASTM D7027-05 를 기준, 개량하여 Fig.3 와 같은 구조를 갖는다. Scratch tip 은 Steel 에 표면 연삭 후 열 처리가 적용된 재질을 사용하였다. Tip 의 끝단 형상은 $\Phi 1\text{mm}$ 로 가공되었다. F_z 및 F_x 는 Dacell 사의 UMM 20kgf type load cell 을 이용하여 측정되었다.

실험 방법은 수직하중(F_z) 적용방식에 따라 F_z 값이 일정한 정압형 및 scratch 진행거리에 따라 F_z 값이 증가하는 변압형으로 나뉜다. 본 실험에서는 Table 1 과 같이 Scratch tip 의 수직하중 및 속도변화가 scratch 현상에 끼치는 영향을 추가 관찰한다.

3. 실험결과

Fig.4 는 본 연구에서 수행한 scratch 실험결과를 그래프로 나타낸 것이다. 정압형 실험으로부터 scratch width(w)와 scratch 동 마찰계수(Dynamic scratch coefficient of friction, DSCOF)를 측정 후 비교하였고, 변압형 실험으로부터는 scratch morphology 를 기준으로 material removal 이 시작되는 지점인 whitening point 의 발생위치 및 수직하중을 측정 후 비교하였다.

정압형 실험결과 slip agent 의 함유량이 증가될수록 scratch 폭은 감소된다. F_z 가 5N 인 경우 slip agent 함유량이 증가될수록 DSCOF 는 감소된다. 그러나 F_z 가 15N 인 경우 slip agent 가 함유되지 않은 PMMA Z0 의 DSCOF 가 순위를 벗어나서 값이 크게 줄어드는 현상을 보인다. Z1 의 경우 약간 줄어드나 순위는 그대로 높았다. Scratch 폭이 좁고, DSCOF 가 적을수록 scratch 에 대한 저항이 강함을 의미하므로 3%함량이 scratch 내성에 가장 좋다.

변압형 실험결과에서도 slip agent 함량이 증가될수록 whitening point 의 거리가 증가하므로, scratch 가 심각하게 진행되는 과정을 slip agent 가 더디게 한다고 할 수 있다.

다양한 수직하중 및 속력으로 시험한 결과 정압형은 Case #1, 변압형의 경우 Case #9 이 스크래치 평가에 가장 적합하였다.

4. 결론

본 연구에서는 ASTM D7027-05 표준시험법을 기초로, slip agent 함량 변화에 따른 PMMA 재의 scratch 특성변화를 연구하였다.

실험재료는, 상용에 적합한 PMMA 중에서 기본 물성 평가를 진행하여 전자제품에 적합한 최적 grade 를 찾고, 이에 Slip agent 함량을 0%, 1%, 1.5%, 2%, 3%로 적용하였다.

Scratch 시험방법은 수직하중이 일정한 정압형과, 수직하중이 거리에 따라 증가되는 변압형이 있는데, 본 연구에서는 각 방식에 대하여 ASTM D7027 의 표준하중 및 속도를 기준으로 하중 및 속도에 변화를 주어서 총 10 가지 case 의 시험을 수행하였다. 그 결과 H_s , DSCOF, whitening point 모두 slip agent 함량이 증가할수록 좋은 결과를 나타내었다.

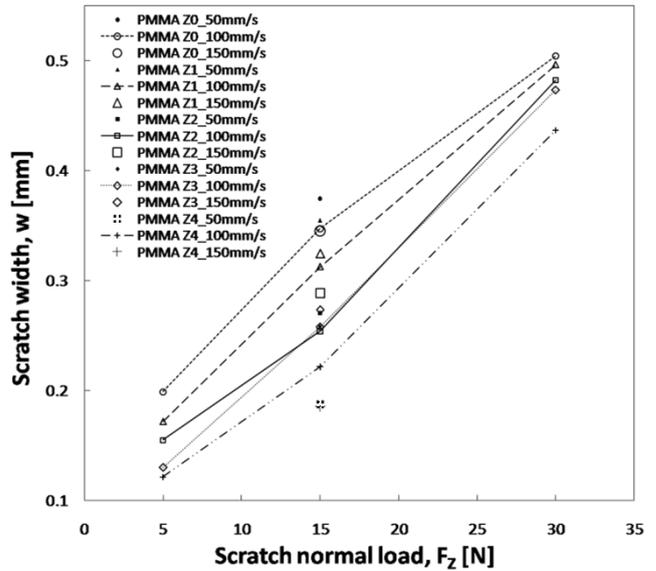
후기

본 연구는 고려대학교 기계공학과와 LG 전자와의 산학 연구의 일환으로 공동으로 진행되었으며 PMMA 기반 고분자내의 slip agent 관련 연구, DATA 분석 및 실제 사출은 LG MMA 와 공동으로 진행되었다.

참고문헌

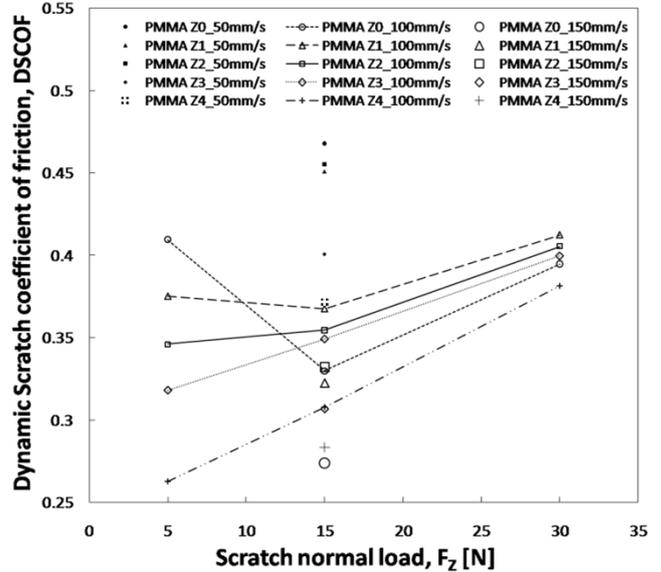
1. Mong, M., Lim, G. T., Moysse, A., Reddy, J. N. and Sue, H. J., "A New test methodology for evaluating scratch resistance of polymers," *Wear*, **256**, 1214-1227, 2004.
2. ASTM International, ASTM D7027-05, 2005.
3. Jiang, H., Browning, R., and Sue, H. J., "Understanding of scratch-induced damage mechanisms in polymers," *Polymer*, **50**, 4056-4065, 2009.

Static normal load scratch test : scratch width



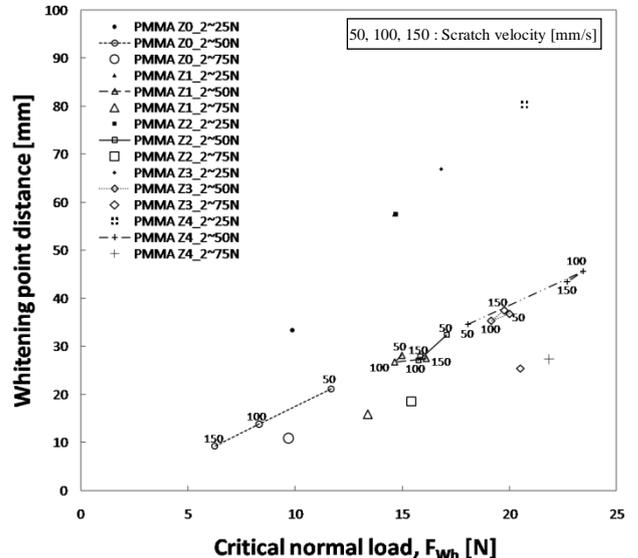
(a) Scratch width, w

Static normal load scratch test : DSCOF



(b) Dynamic scratch COF

Variable normal load scratch test : whitening point



(c) Whitening point

Fig. 4 Scratch test results.