

# 분자량 변화에 따른 PMMA 제의 스크래치 특성변화

## Variation of scratch properties of poly(methyl methacrylate) with variable molecular weight

\*김병철<sup>1</sup>, 장경아<sup>2</sup>, 이호상<sup>2</sup>, 최병호<sup>3</sup>

\*B. C. Kim<sup>1</sup>, K. A. Chang<sup>2</sup>, H. S. Lee<sup>2</sup>, #B. H. Choi (bhchoi@korea.ac.kr)<sup>3</sup>

<sup>1</sup> 고려대학교 기계공학과, <sup>2</sup> LG MMA, <sup>3</sup> 고려대학교 기계공학부

Key words : PMMA, scratch, molecular weight

### 1. 서론

일상생활에서 스크래치의 가장 큰 문제는 미관의 훼손에 있다. 전자제품, 차량 등 실생활에서 쓰이는 다양한 제품의 외관에 발생하는 스크래치는 제품의 호감도를 낮추어, 제품의 가치 및 사용수명의 저하를 초래한다. 또한 CD, 회로기판, 포장재의 기능저하 혹은 기능상실을 유발하기도 하므로, 스크래치에 대한 평가가 필요하다.

PMMA는 뛰어난 광 투과성과 함께, 내후성, 착색성이 좋고, 성형성 및 기계적 가공성도 우수하여 전자제품 및 문구제품에 널리 사용되고 있다. 많은 제품의 외관제로 튼튼하게 쓰일 수 있을 만큼 강성이 높고, 마모에 대한 저항력도 크지만, 유리 대비 저렴하며 가볍고, 인체에도 위협적이지 않아 아름다운 고풍택 투명소재로 각광받고 있는 물질이다. 그러나 유리와는 달리 스크래치에 대한 저항력이 떨어져, 제품 제작 혹은 사용 중 미관이 훼손되는 일이 많아 문제가 되고 있으며 국내에서도 연구가 이루어지고 있다<sup>(2)</sup>.

본 연구에서는 분자량 변화에 따른 PMMA의 특성변화를 조사한다. 고분자재료는 같은 monomer로 이루어지더라도 그 분자량 및 분자량 분포에 따라 물리적, 기계적 물성이 달라진다.<sup>(1)</sup> PMMA 또한 분자량이 증가할수록 인장강도 및 충격강도가 증가하며, 열 변형 온도 및 유동성은 떨어지는 특성을 갖고 있다. PMMA의 분자량에 따른 스크래치 특성변화를 조사한다면, PMMA 재료 생산공정에서 고려할 수 있는 좋은 기준이 마련될 것이다.

### 2. 이론 및 실험

스크래치(scratch, 선흔)란 한 물체의 표면 일부에 가해진 선형의 기계적인 손상이다. 인장시험이나 충격시험에서 흔히 볼 수 있는 재료의 전체적인 파괴와 달리 재료의 표면에 부분적으로 일어나는 손상이 있는데, 압흔(indentation), 선흔(scratch), 마모(abrasion)의 세가지 방식이 존재한다. 재료 표면을 찌르거나 누를 때 발생하는 압흔과 달리, 선흔과 마모는 긁기, 베기, 문지름 등의 손상거동에 의하여, 재료 표면에 평행한 힘과 표면을 누르는 압입력이 서로 복합 적용되어 나타나는 손상이다.

스크래치를 평가하는 기준은 두 가지로 나누어야 한다. 먼저 스크래치 폭(residual scratch width)이 있는데, 스크래치 경로에 수직으로 난 폭의 거리를 제어 구한다. 스크래치가 생기면 그 폭이 증가할 수록 가시성(visibility)이 증가한다. 한 가지 더 평가해야 하는 것이 스크래치 손상거동(scratch damage mode)이다. 스크래치 손상거동은 크게 3가지로 나눌 수 있는데, 각각 plastic-ploughing mode(P), whitening mode(W), cutting mode(C)로 구분하겠다. Plastic-ploughing mode(P)는 scratch 경로의 폭 전반적으로 소성 변형된 흔적만 있는 손상거동이다. Whitening mode(W)는 scratch 경로에 미세한 균열 및 중공이 발생하여, 시각적으로 뿌옇게 보이게 되는 손상거동이다. Cutting mode(C)는 scratch가 발생하면서 재료가 깎여나가는 손상거동이다<sup>(3)</sup>. 이렇게 3가지로 스크래치 손상거동을 구분하는 이유는 각 손상거동에 따라 미시적인

Table 1 Material properties of 4 PMMAs

Material	Molecular weight(g/mol)	Flow rate (g/10min)	Rockwell Hardness
Mw115K	115,000	2.2	98
Mw124K	124,000	1.8	98
Mw133K	133,000	1.5	98
Mw152K	152,000	0.9	99

변형 및 파괴 메커니즘이 달라져서 다양한 재료의 스크래치 특성판단이 어렵기 때문이다.

본 연구에서는 스크래치 발생장비<sup>(2)</sup>를 이용하여 다양한 스크래치 수직하중 및 속력으로 스크래치 시험을 수행하였다. 직경 0.3mm의 구형 끝을 지닌 원뿔형태의 스크래치 날(tip)을 이용하였다. 재료는 분자량이 서로 다른 4 가지 순수 PMMA 재료를 대상으로 하였다. 각 재료의 물성들은 Table 1에 정리되었다.

### 3. 결과

Table 2에 스크래치 시험결과를 표시하였다. 속력은 행으로, 수직하중은 열 방향으로 구분 배열하였다. 각 시험조건으로 발생된 스크래치 손상모드는 이니셜로 표기하였다. 스크래치 폭은 mm 단위로 표기하고, 각 시험조건 중 가장 적은 폭을 낸 재료에는 굵은 글씨로 강조하였다. 그 결과 분자량이 가장 많은 Mw152K가 7 가지 시험조건에서 스크래치 폭이 가장 적었으며, 이후 분자량 감소에 따라 5 회, 2 회, 2 회로 나타났다. 고 하중, 고속 시험 조건일수록 cutting mode가 되는데, 이런 조건일수록 분자량 증가 시 스크래치 폭이 감소하는 경향을 확실히 확인할 수 있었다.

### 4. 결론

분자량이 다른 순수 PMMA 4종에 대한 스크래치 시험결과 분자량이 클수록 스크래치에 강함을 확인할 수 있었으나, 수직하중 및 속력조건에 따라 스크래치 손상경동이 달라지고, 스크래치 폭 순위가 뒤바뀌었다.

Table 2 The results of damage mode and width [mm]

Mw115K	1mm/s	10mm/s	100mm/s	300mm/s
50N	C; 1.41	C; 1.14	C; 0.78	C; 0.67
20N	W; 0.35	W; 0.34	C; 0.34	C; 0.32
10N	W; 0.24	W; 0.24	C; 0.28	C; 0.29
2N	P; 0.10	W; 0.11	W; 0.12	W; 0.13
Mw124K	1mm/s	10mm/s	100mm/s	300mm/s
50N	C; 1.14	C; 0.87	C; 0.76	C; 0.61
20N	W; 0.46	C; 0.41	C; 0.41	C; 0.26
10N	W; 0.27	W; 0.20	C; 0.34	C; 0.26
2N	P; 0.11	W; 0.10	W; 0.10	W; 0.13
Mw133K	1mm/s	10mm/s	100mm/s	300mm/s
50N	C; 1.42	C; 0.85	C; 0.73	C; 0.58
20N	C; 0.69	W; 0.32	C; 0.35	C; 0.36
10N	W; 0.29	W; 0.23	C; 0.25	C; 0.22
2N	P; 0.10	W; 0.09	W; 0.08	W; 0.08
Mw152K	1mm/s	10mm/s	100mm/s	300mm/s
50N	C; 1.09	C; 0.82	C; 0.72	C; 0.46
20N	W; 0.36	C; 0.38	C; 0.33	C; 0.32
10N	W; 0.25	W; 0.23	C; 0.33	C; 0.25
2N	P; 0.09	W; 0.09	W; 0.12	W; 0.14

### 후기

본 연구는 고려대학교 기계공학과 Advanced Material Characterization Laboratory (AMCL)에서 자체적으로 진행하였으며, 재료 및 기본 물성 평가는 LG MMA에서 지원하였습니다.

### 참고문헌

1. Prentice, P., "Influence of molecular weight on the fracture of poly(methyl methacrylate) (PMMA)," POLYMER, 24, 344-350, 1983.
2. 김형준, 김봉철, 최병호, 이호상, "Slip agent 함량변화에 따른 PMMA 재의 scratch 특성변화," 한국정밀공학회 2010년도 춘계학술대회 논문집(하), 1267-1268, 2010.
3. International Standard Organization, ISO 19252, 2008.