한국정밀공학회지 제16권 제4호 (1999년 4월)
Journal of the Korean Society of Precision Engineering, Vol. 16, No. 4, April 1999.

ABS(Acrylonitrile-Butadiene-Styrene) 성형품의 성형조건이 표면 광택에 미치는 영향

정영득*, 황시현**, 이미혜***

The Effects of Molding Conditions on the Surface Gloss of ABS Molding

Yeong Deug Jeong*, Si Hyon Hwang**, Mi Hye Lee***

ABSTRACT

The surface gloss of an injection molded part is one of the most significant point for evaluating the quality of products appearance. The effects of process condition on the gloss of ABS (Acrylonitrile-Butadiene-Styrene) molded part were investigated in this work. The measurements of gloss and morphology on the surface of molded part were carried out with different melt temperature, mold temperature, mold surface roughness, injection pressure and holding pressure. Gloss had a maximum value with melt temperature in the range of 210 to 220℃ and with mold temperature 40 to 50℃ and with injection pressure 80~90 MPa, respectively. Melt temperature was shown to have the largest effect on gloss in our work. Gloss was not improved in the region of melt temperature 240℃ above and of mold temperature 60℃ above. It was concluded that the variation of gloss was mainly caused by rubber particles migration under shear stress not by their aggregation or necklace.

Key Words : Gloss(광택), Migration(이동), ABS, Injection Molding(사출성형), Aggregation(응집)

1. 서론

플라스틱 재료는 전기 절연성, 내약품성이 우수하며, 착색이 용이하고 가벼워 취급하기 용이하며 성형 가공성이 우수하여 대량생산에 적합하다. 플라스틱 재료는 이러한 다양하고 독특한 성질들로 인하여 자동차, 가전제품, OA기기 및 기계부품 등 종전의 금속재료를 대체하여 사용이 점점 증가해가고 있는 추세이다.

이에 따라 플라스틱 재료의 물성개선에 대한 연구와 성형조건의 최적화에 관한 연구는 현재까지 활발히 진행되어 많은 결과가 보고되어 있다.[1]

한편, 실제 산업현장에서는 제품화와 밀접한 관계가 있는 플라스틱 성형품의 착색, 투명도 및 광택도를 향상시켜 외관 및 성능면에서 고품질의 성형품을 생산하기 위한 연구가 요청되고 있다.

일반적으로 외관 성형품의 광택에 영향을 미치는 공정변수로 수지의 종류, 금형 캐비티면의 연

* 부경대학교 기계·자동차공학부
** 부경대학교 기계공학과 대학원
*** 부산·울산지방 중소기업청

마정도, 사출압력, 수지온도, 금형온도 등의 성형 조건을 들 수 있다. 이들 중 성형품의 광택도는 성형조건중에서 수지온도와 금형온도의 영향이 가장 큰 것으로 발표되었으나, 구체적인 실험연구는 많이 나와 있지 않는 실정이다.[2,3]

본 연구에서는 외관 성형품용 수지로 기계적 성질과 캐비티 표면의 전사성(mapping)이 우수한 ABS수지[4]를 대상으로 하여 캐비티면의 표면조도와 성형조건 중 금형온도(mold temperature), 수지온도(melt temperature), 사출압력(injection pressure), 표면 거칠기(surface roughness)등이 광택도에 미치는 영향을 실험적 연구를 통해 규명하고자 한다.

2. 실험

2.1 실험장치와 재료

실험에 사용된 사출성형기는 LG기계의 75ton IDE-75EN으로 직압식 수평형 타입이다. 실험용 금형은 Fig. 1과 같이 200×250×230 ㎜ 의 크기로 2개취 금형으로 되어있으며, 금형온도를 조절하기 위해 온도센서를 부착하였다. 실험용 성형품은 50×65×3 ㎜의 크기의 사각판이며, 팬 게이트(fan gate)[5]형식에 의해 성형된다. 광택을 측정하기 위한 광택도 측정기(glossmeter)는 ISO 2813, ASTM D 523규격에 맞추어진 BYK-GARDNER사의 Micro-TRI-Glossmeter를 사용하였다. 또한, 캐비티면의 표면 거칠기의 측정은 JIS B 0601의 규격에 맞추어진 Mitsutoyo Corporation의 Surftest · 301을 사용하여 측정하였다.

본 실험에서는 외관용 제품에 많이 사용되는 LG화학의 고광택용 ABS HG-173 수지를 사용하였으며, 수지의 물성은 Table 1에 나타내었다.

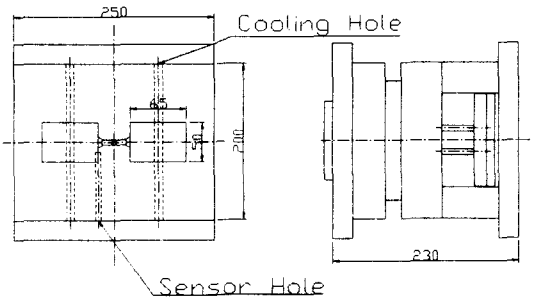


Fig. 1 Schematics of Mold Cavity.

Table 1 Physical properties of ABS Resin

Physical Properties	UNIT	Test Methods (ASTM)	ABS (HG-173)
Tensile Strength	kg/㎠	D-638	500
Flexural Modulus	kg/㎠	D-790	25,000
Rockwell Hardness	R · SCALE	D-785	107
Specific Gravity	-	D-792	1.05
IZOD Impact Strength (Notched 23℃)	kg · ㎝/㎝	D-256	18
Melt Flow Index (220G/10kg)	g/10min	D-1238	25
Heat Distortion Temperature (Thickness:1/2"; Load 18.6 kg/㎠)	℃	D-648	88
Rate of Molding Shrinkage	%	D-955	0.3~0.6
Flammability	-	UL-94	HB
Flexural Strength	kg/㎠	D-790	900

2.2 실험조건

ABS수지를 열풍 건조기에 70℃로 3시간 예비 건조시켰으며, 성형조건은 사출압력 90 MPa, 보압 80 MPa, 보압시간 2초, 냉각시간 10초로 총 사이클 시간을 15초로 하였다. 수지온도는 210℃에서 260℃까지 각 5℃의 변화를 주었으며, 금형온도는 40℃에서 70℃까지 각 10℃의 변화를 주어 실험하였다. 성형실험시 성형실 실내온도는 14℃이고 상대습도는 42%이었다.

BYK-GARDNER사의 광택도 측정기(Micro-TRI-Glossmeter)를 사용하여 성형품 표면의 측정부위를 3회 측정 기록하였으며, 매 측정 시 오차가 3%이상 차이가 나면 2회를 재 측정하여 최고치와 최저치를 제외한 나머지 3회의 측정값을 평균하여 기록하였다. 광택도 측정기의 입사각도는 60°로 투광하였고 광택도 측정의 수치는 계기에서 자동 계산된 값을 사용하였다.

성형품 표면의 모폴로지(morphology)를 보기 위하여 광택도를 측정한 부위의 시편을 Chromic Acid(CrO_3)용액에 담구어 표면에 있는 고무입자를 부식시킨 후 전자주사현미경(Scanning Electron Micrograph)을 이용하여 성형품 표면에 분포하는 고무입자들의 형태를 관찰하였다

3. 실험결과 및 고찰

3.1 수지온도가 광택에 미치는 영향

성형온도 210℃에서 260℃까지 각 5℃씩 격차를 주어 측정한 표면 광택도를 Fig. 2에 나타냈다.

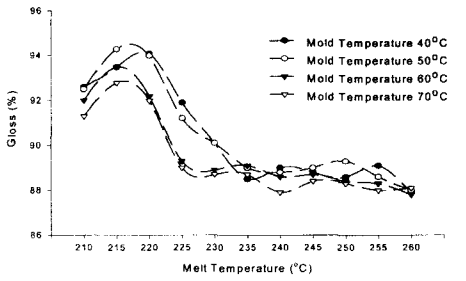


Fig. 2 Gloss vs. Melt temperature for ABS with different Mold temperature

Fig. 2를 보면 전반적으로 일정한 금형온도 하에서 수지온도를 점차 상승시켰을 때 광택도는 210~220℃부근까지 상승하다가 220~230℃ 부근에 점차 감소하고, 그 이후에는 수지온도가 상승하여도 광택도는 감소되는 경향을 보였다. 광택도가 가장 높은 것은 금형온도가 50℃, 수지온도가 215℃인 경우였다. 일반적으로 수지온도가 높을수록 점성이 감소되어 유동이 좋아지며 이는 금형표면과 접촉력이 좋아지게 되어 광택이 향상된다고 알려져 있다. 그러나, 실험결과 일정한 온도(본 실험에서는 220℃)이상 증가하면 오히려 광택도가 감소하는 결과를 보였다. 이는 표면에 존재하는 고무입자의 분포밀도가 온도상승에 따라 감소되었다가 일정온도(230℃)이상에서는 오히려 높아져 광택이 감소하는 결과를 보이는 것이라 사료된다.

3.2 금형온도가 광택에 미치는 영향

각 성형온도별로 금형온도를 30℃에서 70℃까지 각 10℃씩 격차를 주어 측정한 표면 광택도를 Fig. 3에 나타냈다.

금형온도가 증가함에 따라 조금씩 다른 경향을 보였다. 금형온도가 증가될수록 일정온도(40℃)까지는 광택도가 증가하지만, 금형온도가 40℃이상일 때에는 수지온도가 증가될수록 광택도가 현저히 감소하였다. 일반적으로 금형온도가 증가할수록 표면의 광택은 증가한다고 알려져 있으나 본 실험에서는 금형온도가 증가하더라도 일정온도 이상에서는 오히려 감소되는 결과를 보였다.

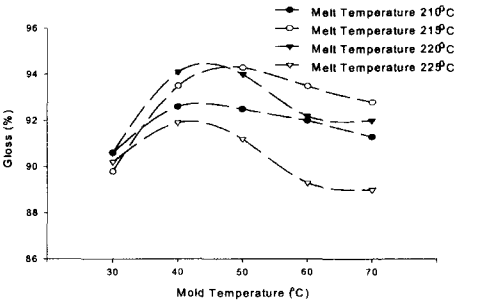


Fig. 3 Gloss vs. Mold temperature for ABS with different Melt temperature

3.3 사출압력이 광택에 미치는 영향

성형온도별로 사출압력(Injection Pressure)을 70 MPa에서 110 MPa까지 각 10 MPa씩 격차를 주어 측정한 표면 광택도를 Fig. 4에 나타냈다.

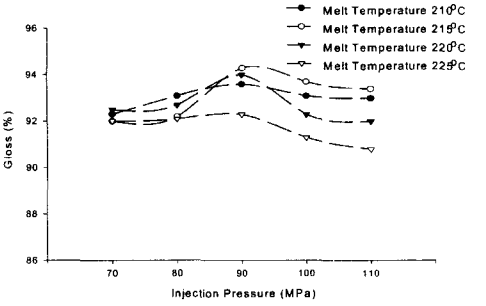


Fig. 4 Gloss vs. Injection pressure for ABS with different Melt temperature

사출압력에 따른 광택도의 변화는 커다란 차이를 나타내지 않았으나 사출압력이 90 MPa일 때 최대값을 보였다.

3.4 보압이 광택에 미치는 영향

성형온도별로 보압(Packing Pressure)을 60 MPa에서 100 MPa까지 각 10 MPa씩 격차를 주어 측정한 표면 광택도를 Fig. 5에 나타냈다.

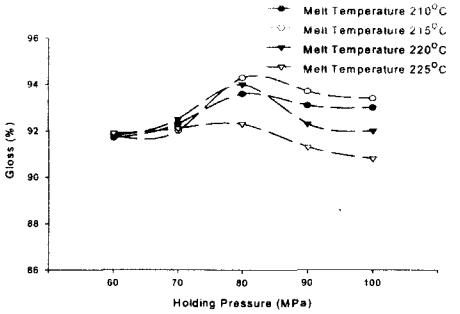
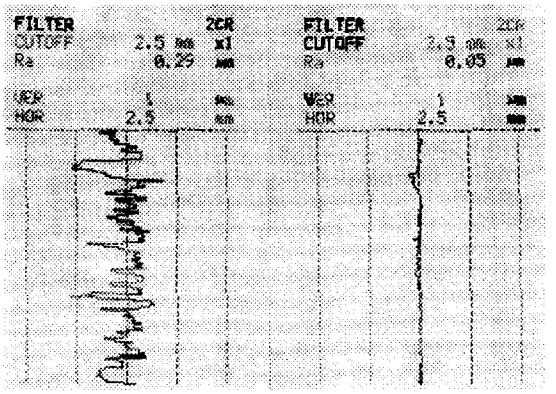


Fig. 5 Gloss vs. Holding pressure for ABS with different Melt temperature

보압에 따른 광택도의 변화는 사출압력에 따른 변화와 유사하였으며 80 MPa일 때 최대값을 나타내었다.

3.5 표면 거칠기가 광택에 미치는 영향

금형표면의 연마도를 달리한 캐비티면의 표면 거칠기를 Surftest · 301을 사용하여 측정한 결과는 Fig. 6와 같이 측정되었다.



(a) Ra = 0.29㎛ (b) Ra = 0.05㎛

Fig. 6 Two different surface roughness of mold cavity

Fig. 5(a)는 표면 거칠기가 Ra 0.29㎛으로, (b)는 표면 거칠기가 Ra 0.05㎛으로 나타났다. 앞에서 언급한 결과는 표면 거칠기가 Ra 0.05㎛일 때의 광택도를 나타낸 것이며, 표면 거칠기가 거친 경우(Ra 0.29㎛)일 때는 예상대로 광택이 저하됨을 보였다. 이는 거친 캐비티면에 수지가 그대로 전사되어 성형품의 표면이 거친 상태가 되어 광택도 측정에 있어서 빛의 산란(Scattering)을 발생시켜 광택도가 저하된다고 볼 수 있다.

3.6 광택면의 모폴로지 관찰

성형품의 표면의 광택도를 조사한 뒤 표면상태를 알기 위하여 전자주사현미경(SEM)을 이용하여 관찰한 결과를 Fig. 7에 나타내었다. 본 실험에 사용된 ABS수지는 유화중합(Emulsion Polymerization)법으로 제조된 고광택용 범용 ABS수지로서 먼저 부타디엔 모노머를 중합시켜 고무라텍스를 만들고 여기에 Styrene과 Acrylonitrile을 넣어 그래프트 중합시킨 것으로 SAN(Styrene-Acrylonitrile) 매트릭스(matrix)상에 Graft ABS인 Rubber상이 분산되어 있는 상태이다. 사진에서 흰색부분은 Matrix인 free SAN이며 검은 부분은 graft Rubber상이다. 부식제인 CrO_3용액은 시편표면의 고무상을 선택적으로 엣칭(etching)하였기 때문에 OsO_4용액처리법에 비해 고무입자의 내부구조를 자세히 보여주지는 않지만 전체적인 고무입자의 형상 및 분포는 잘 볼 수 있다. 일반적으로 ABS수지의 광택은 고무입자가 크고 함량이 높을수록 저하된다. 고무입자를 첨가시키면 내충격성은 향상되나, 반면 표면의 광택은 저하되므로 입자의 크기를 달리하여 두 가지 입자크기인 바이모달(bimodal)형태로 넣어준다. 큰 입자는 충격흡수를 작은 입자는 광택도를 향상시켜주는 기능을 하는데 본 사진에서도 확인할 수 있다.

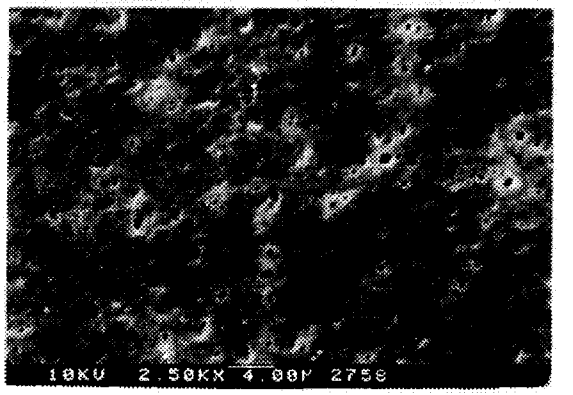


Fig. 7(a) Scaning electron micrograph of ABS with melt temp. = 210℃, mold temp. = 40℃

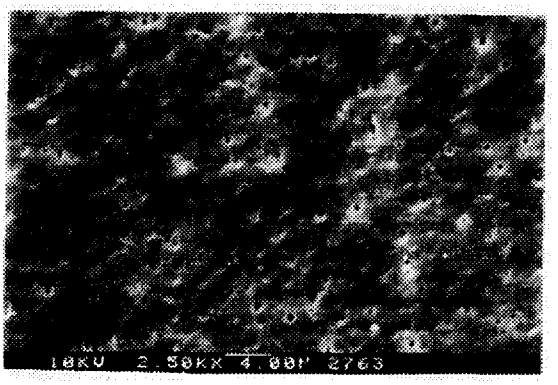


Fig. 7(b) Scaning electron micrograph of ABS with melt temp. = 220℃, mold temp. = 40℃

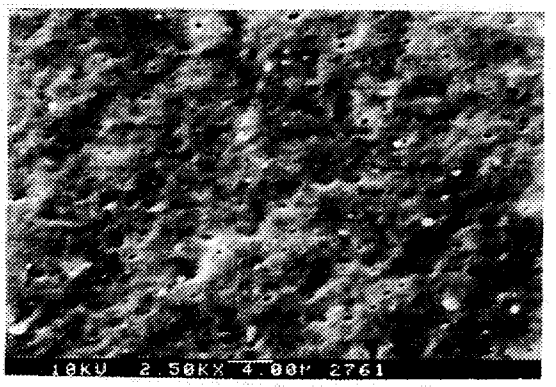


Fig. 7(c) Scaning electron micrograph of ABS with melt temp. = 230℃, mold temp. = 40℃

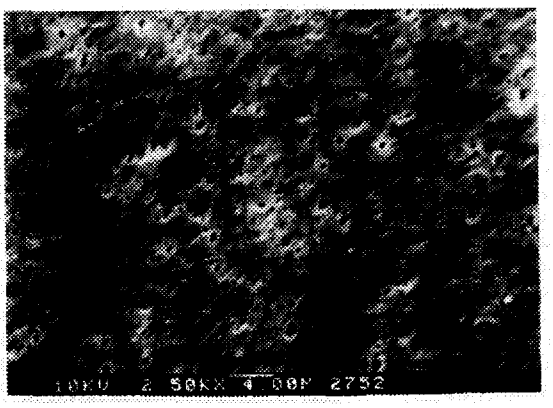


Fig. 7(d) Scaning electron micrograph of ABS with melt temp. = 240℃, mold temp. = 40℃

Fig. 7은 금형온도가 40℃이며, 수지온도 210℃, 220℃, 230℃, 240℃일 때의 SEM사진이다. 수지온도가 상승함에 따라 Fig. 7(b),(c)는 Fig. 7(a)에 비해 고무입자들이 감소하는 것을 알 수 있으며 이에 따라 광택이 향상되는 결과를 보였다. 그러나 Fig. 7(d)의 경우에는 표면의 고무입자의 수가 많이 증가되어 광택도가 저하됨을 알 수 있다. 광택저하에 커다란 영향을 미치는 고무입자들의 응집(aggregation)현상[6], 염주(necklace)현상 등은 유동 중에서는 전혀 일어나지 않았다. 본 시스템에서는 분산계에서의 입자들간의 상호 인력이 평형을 이루어서 외부로부터 기계적 변형, 열적 에너지 상승에 의한 인력 불균형에 의한 고무입자의 응집에 커다란 영향을 미치지 않음을 알 수 있다. 반면, 고무입자의 이동(migration)으로 인해 고무입자 분포의 불균일의 영향을 들 수 있다. 이러한 현상은 전단응력(shear stress)으로 인한 두께방향으로의 전단변형률(shear rate)이 달라짐으로써 입자이동에 영향을 미치게 된다. 이성분계에서는 낮은 점도를 가진 성분이 높은 응력 영역으로 향하는데 이러한 바깥에 존재하는 저점도 유체는 마치 윤활작용을 하는 롤베어링효과(roll bearing effect)를 하게 된다.[7] 부타디엔의 점도는 폴리스티렌-아크릴로니트릴의 점도보다 조금 높다.[8] 따라서 유동 중 표면 쪽에 있는 입자가 큰 고무입자들은 캐비티 벽면으로부터 최소응력영역쪽으로 이동하려고 하고 상대적으로 입자의 밀도분포가 적게 된다. 본 실험에서 실험한 바로는 온도 상승으로 인한 표면의 고무입자의 밀도분포는 온도가 상승함에 따라 감소되었다가 어느 정도 온도(230℃) 이상에서는 오히려 높아져 광택이 감소하는 결과를 보였다. 매트리스와 입자 상의 온도변화에 따른 각각의 점도변화에 대한 결과를 확보하지 못하여 이러한 현상을 설명하기에 어려움이 있으나 230℃ 근방에서 고무입자의 물성이 크게 변화하여 고무입자가 표면으로 이동하여 광택도를 저하시키는 것을 알 수 있다. 230℃이상의 고온에서는 고무입자의 열적 불안정이 크고 가스발생으로 인한 흐림 현상을 동반하므로 광택을 요하는 가공조건은 피하여야한다.

Fig. 8은 금형의 온도에 의한 광택도에 대한 영향을 알기 위한 SEM사진이다. 일반적으로 금형온도가 상승하면 광택도가 증가한다고 알려져 있으나, 본 실험에서는 수지온도별로 각각 다른 결과

를 보였고, 그 영향도 그다지 큰 차이를 보이지 않았다. 수지온도 210℃일 때 금형온도가 40℃ (Fig. 8(a)), 70℃(Fig. 8(b))이며, 광택도 차이는 약간 감소하였고, Fig. 8(b)인 경우 고무입자가 더 많이 나타나고 있다.

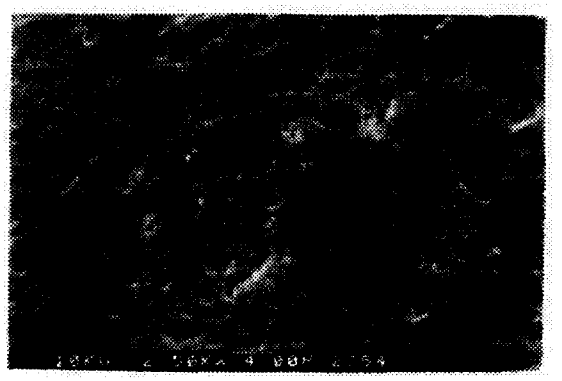


Fig. 8(a) Scaning electron micrograph of ABS with melt temp. = 210℃, mold temp. = 40℃

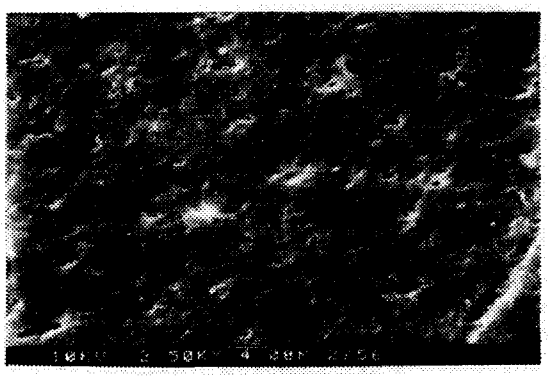


Fig. 8(b) Scaning electron micrograph of ABS with melt temp. = 210℃, mold temp. = 70℃

4. 결론

본 연구에서는 광택성이 우수한 ABS수지를 대상으로 캐비티면의 표면 거칠기와 성형조건 중 사출온도, 금형온도, 사출압력 및 보압이 성형품 표면의 광택에 미치는 영향을 실험 연구를 통해 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 수지온도는 적정온도(210~220℃)까지는 성형품 표면 광택도는 향상되지만, 수지온도가 과도하게 높게 되면 성형품의 광택은 고무입자의 이동(migration)으로 인한 고무분자의 밀도 분포가 증가되어 점차 저하됨을 알 수 있다.

(2) 금형온도는 수지온도에 비하여 영향이 크지 않았으나, 30~40℃에서는 광택은 증가하고, 그 이상 증가하면 광택이 감소되었다.

(3) 사출압력은 90 MPa에서 최대값을 보였으며, 보압은 80 MPa일 때 최대값을 보였다.

(4) 수지의 온도가 230℃이상이 되면 광택도는 현저히 감소하며, 이전과 조금 다른 거동을 보이는 것이 관찰되어 온도의 상승이 내부 고무입자의 물성을 크게 변화시키는 것으로 나타났다.

참고문헌

1. Aoki, Yuji., "Dynamic Viscoelastic Properties of ABS Polymers in the Molten State V. Effect of Grafting Degree," Macromolecules, Vol. 20, pp. 2208-2213, 1987.
2. Dawkins, Eric, Horton, Kris and Dr. Engelmann, Paul, "The Effects of Injection Molding Parameters on Color and Gloss," ANTEC, pp. 2697~2701, 1997.
3. Dawkins, Eric, Horton, Kris and Dr. Engelmann, Paul, "Color and Gloss- The Connection to Process Conditions," Journal of Injection Molding Technology, pp. 1-7, 1998.
4. 한상준 외 3명, "고분자 물성론," 서울대학교 출판부, pp. 242-245, 1995.
5. 日本플라스틱 加工技術協會, "射出金型의 基本과 應用," 機電研究社, pp. 121-126, 1993.
6. Chang, M.C.O., Nemeth, R.L., "Effect of rubber particle agglomeration phenomena in Acylonitrile-Butadiene-Strene(ABS) polymers on molded surface appearance," ANTEC, pp. 602-607, 1995.
7. Utracki A., "Two-Phase Polymer Systems," Pregress in Polymer Processing, Polymer Processing SOC., 1990.
8. Utracki, A., "Polymer Alloys and Blends : - Thermodynamics and Rheolgy," Hanser Publisher, 1990.
9. 김성철 외 1명, "고분자공학 Ⅰ,Ⅱ," 희중당, 1996.