

플라스틱의 Weld 특성

한국폴리아세탈(주)
KOREA POLYACETAL CO., LTD.

KPAC

서울시 중구 소공로 94, 14층 (소공동, OCI빌딩)
14th Floor, OCI BLDG., 94, Sogong-ro, Jung-gu, Seoul, 04532, Republic of Korea
Tel +82-2-728-7400 Fax 82-2-714-9235 www.gpac-kpac.com

1. 웰드라인(weld line)의 발생

용융 선단(melt flow front)이 두 방향 이상으로 분기하여 갈라지고 일정한 거리를 흐른 뒤에 어느 지점에서 다시 만날 때 발생하는 현상이다. 이러한 용융선단(melt flow front)의 분기 또는 분리는 코어/장애물, 살두께 변화, runner branching(multi-gate) 등에 의해 일어난다.

2. 웰드라인의 종류

웰드는 용융선단(melt flow front)이 분기되어 다시 만날 때의 흐름의 양에 의해 나뉘 진다.

(1) Butt or cold weld

두 흐름이 정면에서 만나 바로 mobilized 되지 못할 때 생긴다.

(2) Meld line

두 흐름이 recombination 된 후 부가적인 흐름에 의해 생긴 weld line을 의미한다.

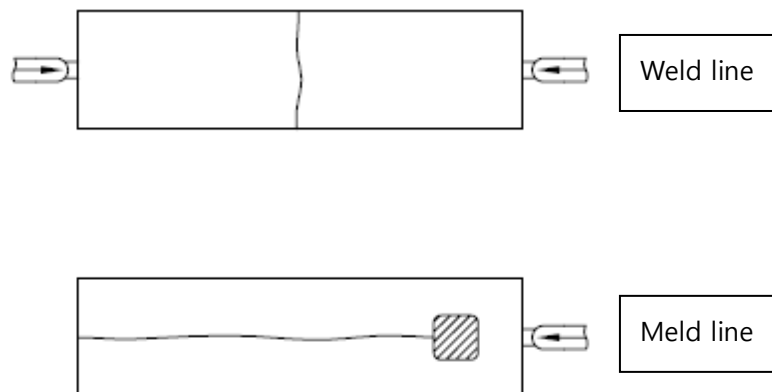


그림 1. Weld의 Type(weld line 및 meld line)

Adapted from Robert A. Malloy, Plastic Part Design for Injection Molding (1994)

3. 웰드라인의 발생 원인



(1) 구조적 원인(제품 디자인 측면)

- 1) 제품 내에 hole 또는 두께 편차에 의해 웰드라인이 생성된다.
- 2) Design의 변경 없이 없애기는 어려우며 눈에 보이지 않게 하는 방법 밖에는 없다. 즉, 웰드라인 위치를 변경하는 방법이다.

(2) 수지의 원인

- 1) 수지의 흐름성이 부족하면 웰드부까지 용융수지가 흘러 들어가는 과정에서 흐름이 여의치 못하여 최종 접합 시에는 웰드라인이 선명해지게 된다.
- 2) 수지와 첨가제의 상용성이 좋지 않을 경우, 웰드라인이 생성된다.
- 3) 수지의 고화가 빠를 경우, 반고체 상태로 융합하므로 웰드라인이 심하게 발생한다.
- 4) 사출 성형시 이형제를 캐비티(cavity)에 많이 뿌리면 수지에 이형제가 함유되어 웰드라인까지 같이 흘러 들어가 웰드부의 접합을 방해하고, 웰드라인을 크게 발생시킨다.
- 5) 알루미늄과 같은 퍼얼 착색제가 함유된 수지로 사출 성형시에는 웰드라인이 선명하게 나타난다.

(3) 사출성형 조건

- 1) 수지온도가 낮은 경우 분기된 흐름 선단이 재 융합시 수지온도의 저하로 인하여 발생한다.
- 2) 사출속도, 사출압력 등이 낮은 경우에도 재 융합시 수지온도의 저하로 연결되어 웰드라인이

심하게 발생한다.

3) 정체된 공기 또는 금형 내 수분이 함유된 경우에도 융합면에서 공기와 수분이 밀려 접합되기 때문에 융합 불충분에 의해 발생한다.

4) 가혹한 조건에서 사출 성형 시 가스(gas) 발생으로 인해 웰드라인이 발생한다.

(4) 금형의 원인

1) Gate 설계가 잘못된 경우 즉, gate 거리가 멀거나 얇은 제품 부위에 설치시 심하게 발생한다.

2) 금형 저항이 너무 크고, 수지 흐름이 나쁜 경우 흐름 앞쪽 끝의 온도가 저하되어 웰드라인이 발생한다.

3) 금형 내의 공기 또는 휘발분은 유입되는 수지에 밀려 웰드 쪽으로 물리게 되는데, 웰드라인 쪽에서 최종적으로 가스가 빠져주지 못하면 웰드라인이 크게 발생한다. 즉, 금형에 gas vent가 충분하지 않은 경우에 웰드라인이 발생한다.

4. 웰드라인 발생에 따른 문제점

- (1) Crack과 같이 보여 외관상 좋지 않다.
- (2) Weld 부에서 기계적 강도가 저하한다.
- (3) 내화학성(chemical resistance)이 저하한다.
- (4) 치수안정성 및 치수정밀도가 저하한다.

5. Meeting angel과 웰드라인

웰드라인은 특정한 flow front meeting angle에서 없어진다.

이 각은 " Vanishing Angle "이라 하며 수지에 따라 120° ~ 150° 정도이다.

이러한 weld angle concept은 filling simulation으로부터 웰드라인의 정성적 예측 및 제거에 사용될 수 있다.

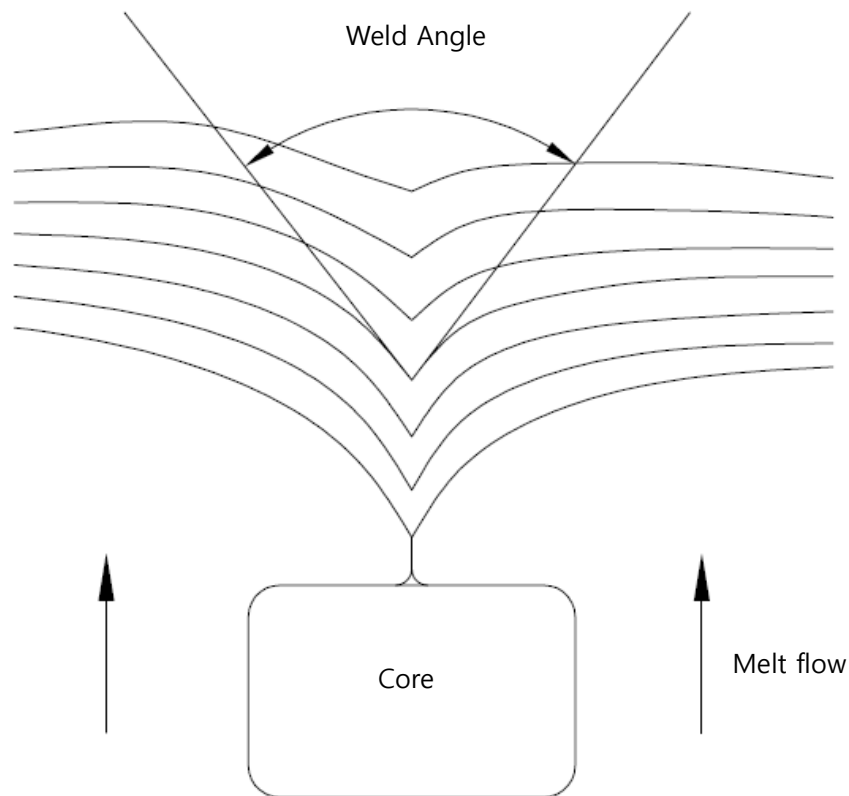


그림 2. Weld vanishing angle

Adapted from Robert A. Malloy, Plastic Part Design for Injection Molding (1994)

6. 웰드라인과 기계적 강도

일반적으로 결합력이 약한 웰드라인이 적은 것보다는 결합력이 강한 weld line이 많은 것이 기계적 강도에는 좋다. 그러나 웰드라인에서의 기계적 강도는 예측하기 어렵다.

- 웰드라인의 weakness는 다음에 기인한다.

- (1) 불충분한 분자간 entanglement와 diffusion
- (2) Unfavorable, frozen-in molecular (or fiber) orientation
- (3) Weld surface에서 V-notch의 존재
- (4) 이물질의 존재 또는 void의 존재

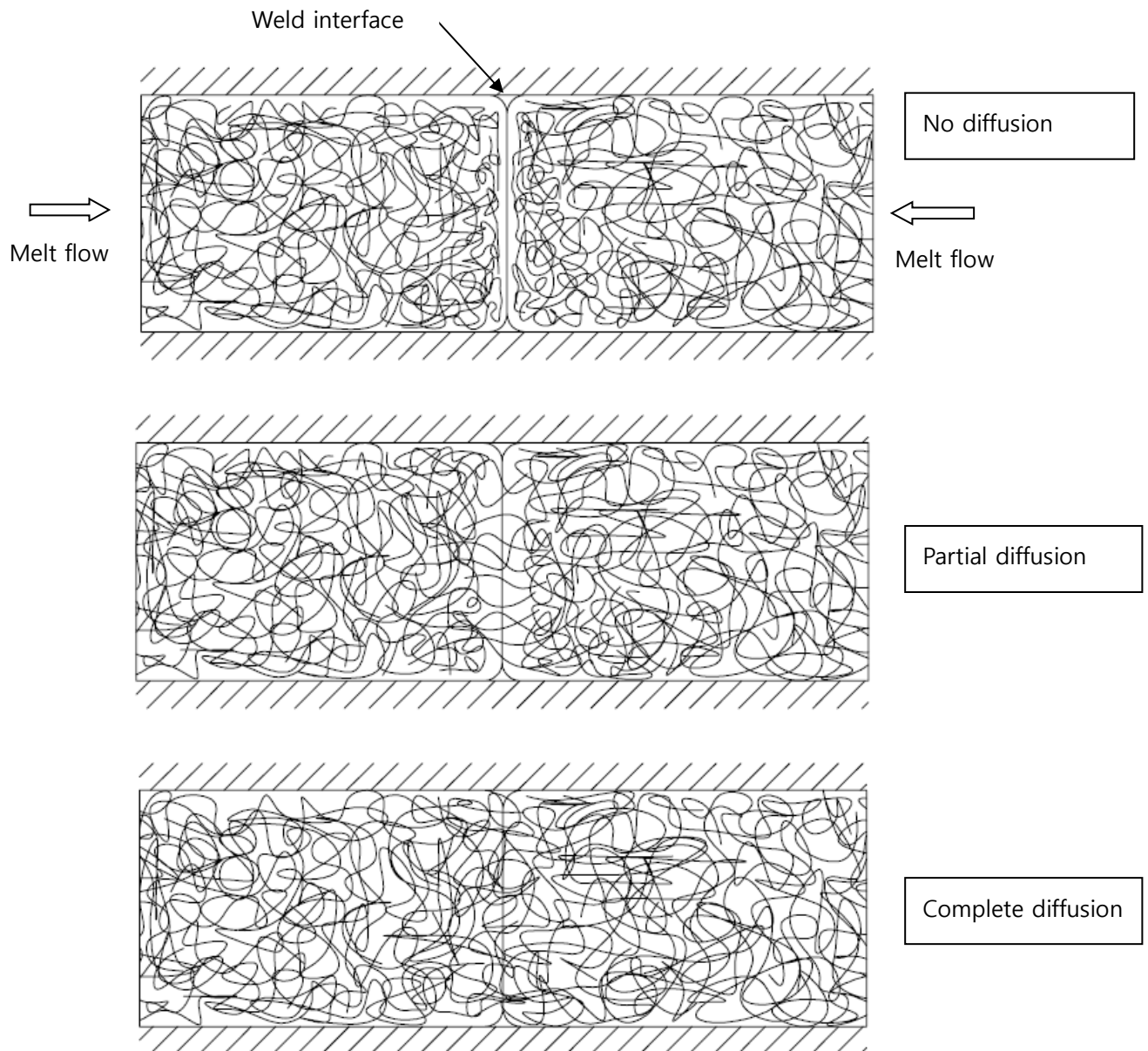


그림 3. Molecular diffusion and entanglement

Adapted from Robert A. Malloy, Plastic Part Design for Injection Molding (1994)

위의 그림으로부터 웰드라인에서 기계적 강도는 분자의 entanglement와 molecular diffusion에 의해 얻어진다. 따라서 웰드라인에서 entanglement나 diffusion을 높이기 위해서는 웰드라인이 생성된 후 분자의 움직임이 활발해야 하므로 결국 온도가 높아야 한다는 것이다. 또한 같은 이유로 웰드라인이 생성되는 지점에서의 압력이 높아야 웰드라인에서 어느 정도 강도를 얻을 수 있다.

결국 웰드라인의 강도에 영향을 미치는 성형 가공 변수로서는

(1) 용융온도(melt temperature, 가장 중요)

- 1) 지나치게 높은 온도는 수지 분해와 가스 발생으로 역효과
 - 2) 금형 설계자는 유동길이(flow length)를 줄이는 방법을 많이 사용한다. (gate 수 증가)
- 이 경우 유동선단의 온도 및 압력 전달을 높일 수 있다.

(2) 사출 속도(injection velocity)

(3) Packing pressure

(4) Cavity wall temperature, 보압 및 보압시간

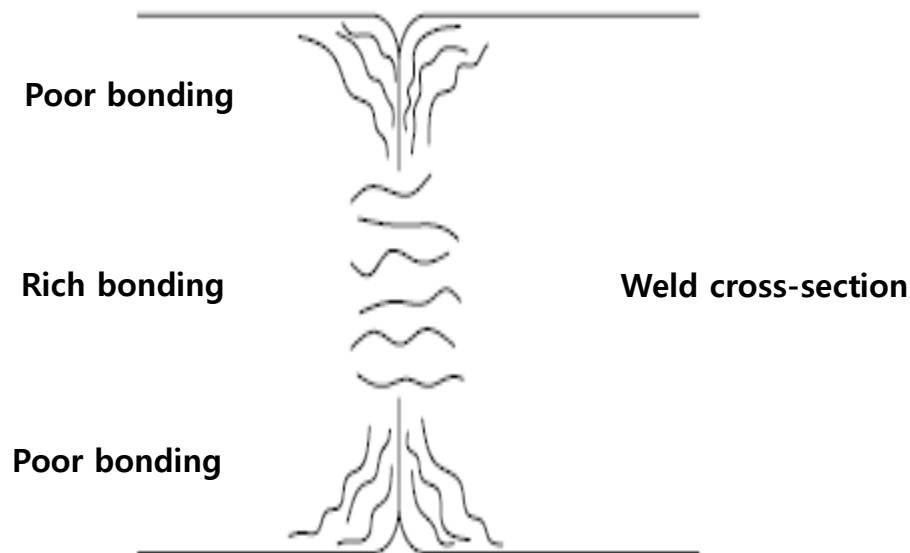


그림 4. V-notch shape of weld line

Adapted from Robert A. Malloy, Plastic Part Design for Injection Molding (1994)

상기의 그림은 웰드라인의 단면을 보여주고 있으며 pre-crack은 유동 선단의 Fountain flow behavior에 기인한 frozen-in molecular orientation의 형태이다. 이런 노치(notch) 형태의 결함은 외관상 눈에 띄며 sharp stress concentrator로 작용한다. 이 노치의 생성은 유동선단의 가스빼기의 어려움 때문에 주로 생긴다.

웰드라인 내에서 기계적 강도의 변화

제품의 흐름 방향을 따라 웰드라인과 core의 수와 위치에 따라 웰드라인 내에서의 기계적 강도가 변화한다. 예를 들면 core와 gate 간의 길이가 멀어짐에 따라 유동선단의 온도가 일반적으로 낮아지므로 웰드 강도가 약해진다.

하나의 core에서 생기는 웰드라인 내에서 위치 변화에 따른 기계적 강도의 변화는 없다.

그러나 multiple core에서 위치 변화에 따른 기계적 강도는 위치와 상관 관계가 있다.

플라스틱 및 첨가제, 강화제에 따른 웰드라인의 기계적 강도

플라스틱은 다른 소재보다 웰드라인의 영향이 크다. 외관상 뿐만 아니라 그 기계적 강도의 저하는 엔지니어링플라스틱 분야에서 특히 고려해야 할 문제이다. 아래의 표는 인장시편의 양 끝에 gate를 설치하여 생성된 butt weld 에 대한 기계적 강도의 감소를 나타낸다.

웰드 강도는 제품의 geometry, flow length, weld angle 등에 따라 변한다.

비강화 제품에 대한 유지율(retention factor)은 약 80 ~ 100 %정도이다.

비강화 무정형 플라스틱에 대한 웰드 강도에 가장 큰 영향을 미치는 인자는 용융 온도라고 보고되어 있다. 그러나 금형온도는 큰 영향을 미치지 않는다. 즉 무정형 수지는 금형온도가 높다하더라도 Tg 이하이므로 큰 영향이 없다.

그러나 결정성 플라스틱의 경우 용융온도, 금형온도, 사출속도, 어닐링(annealing) 등이 웰드 강도에 영향을 미친다.

상기의 유지율(retention factor)가 절대적인 것 만은 아니다. 즉 충격이나 장기적인 피로, 화학약품과 접촉 등의 경우에는 달리 생각해야 한다.

첨가제 또는 강화제에 의한 영향은 매우 크다. 윤활제, 이형제, 난연제 등의 첨가제는 웰드 특성에 나쁜 영향을 미친다. 강화제(glass fiber, mineral filler)는 첨가에 따라 기계적 강도의 증가를 가져올 수 있으나 동시에 상대적으로 작은 유지율(retention factor)을 보여준다. 일반적으로 웰드 강도에서 percent loss는 강화제의 함량, aspect ratio의 증가에 따라 증가한다. Fiber 강화 플라스틱

의 경우 웰드 강도의 강하는 웰드 부위에서 Fountain Flow에 의한 unfavorable orientation에 의해 더 크게 나타난다.

아래 그림은 유리섬유 강화 제품의 흐름방향, 흐름직각방향의 기계적 강도와 각각의 웰드라인에서 기계적 강도를 수지의 흐름 속도 변화에 대해 나타낸 그림이다.



그림 5. Frozen-in Fiber orientation

Adapted from Robert A. Malloy, Plastic Part Design for Injection Molding (1994)

KEPITAL(POM Copolymer)의 웰드 특성

구분	Grade명	MI(g/10min)	인장강도 유지율(%) [Weld 유/무]	인장신율 유지율(%) [Weld 유/무]	비고
표준 (비강화)	F10-03H	3	99	32	
	F20-03	9	99	40	
	F30-03	27	99	37	
	F40-03	50	97	33	
내충격	TE-24	6	81	5	
내충격 Weld 향상	FU2020R	2.5	99	65	
G/F 강화	FG2025	7	26	57	

[표준/비강화 제품]

표준 비강화 제품의 경우 점도에 따라 정도의 차이는 있으나 weld 존재 시 weld가 없는 경우 대비 인장강신도 유지율이 저하됨을 알 수 있다.

[내충격제 및 Glass Fiber의 영향]

POM에 있어서도 내충격제 함유되거나 glass fiber가 강화된 경우 비강화품 대비 weld에서의 인장강신도 유지율이 극히 열세인 것을 알 수 있다.

KEPAMID(PA6, PA66)의 웰드 특성

구분	Grade명		인장강도 유지율(%)	인장신율 유지율(%)	비고
PA6	1300CRH	비강화	92	24	
	1533GFU	G/F 30% 강화	40	29	
PA66	2300MR	비강화	80	53	
	2330GFH	G/F 30% 강화	29	26	

PA6 및 PA66는 glass fiber 30% 강화시 비강화품 대비 weld에서의 인장강신도 유지율이 극히 열세인 것을 알 수 있다.

KEPEX(PBT)의 웰드 특성

구분	Grade명		인장강도 유지율(%)	인장신율 유지율(%)	비고
PBT	1200M	비강화	99	57	
	3330GF	G/F 30% 강화	20	13	

PBT도 PA6 및 PA66와 동일하게 glass fiber 30% 강화시 비강화품 대비 weld에서의 인장강신도 유지율이 극히 열세인 것을 알 수 있다.

7. Troubleshooting

(1) 웰드 부에서 수지의 온도가 너무 낮아서 일어난 경우

1) 실린더, 노즐, 금형의 온도를 높인다. 또는 수지가 웰드부로 흘러 들어갈 때 전단열을 발생시켜 웰드 부에서 수지 온도를 높여준다. (사출속도 및 제품 두께 변화)

2) 콜드슬러그웰(cold slug well) 설치 또는 size 확대

- 3) 게이트 수를 늘린다.
- 4) 게이트 위치를 바꾼다.
- (2) 가스에 의해 발생한 경우
 - 1) 가급적 낮은 온도에서 사출하여 가스가 발생하지 않도록 한다. 또한 gas vent를 강화한다.
 - 2) 게이트, 런너, 스프루 부분에서 마찰이 심해 가스 발생이 많으므로 size를 크게 한다.
 - 3) 사출속도를 다단으로 하여 수지 속의 가스가 충분히 vent되도록 속도를 조절한다.
(고속 ⇒ 저속 : 유동의 끝단)
 - 4) 사출기 실린더 내에서 수지의 체류시간을 짧게 한다. (gas 발생 줄임).
 - 5) 수지의 건조 정도를 확인한다.
 - 6) 웰드라인 부위에 이젝터핀을 설치한다. (gas vent 기능 부여)
- (3) 웰드 부에서 수지가 충분한 압력을 받지 못해 결합이 완전하지 못한 경우
 - 1) 압력을 높여준다.
 - 2) 스크류, 체크링 마모 확인 : 압력의 손실
- (4) 이형제는 가급적 사용하지 않는다. 굳이 사용하고자 할 경우 실리콘계 보다는 스테아린 염산쪽을 사용한다.
- (5) 웰드라인이 나타나는 위치에 보스, 돌출 핀, 탭 등을 설치하여 제품에 나타나는 웰드 라인을 보스나 돌출 핀, 탭 등으로 옮기고 사출 후 이를 제거한다.
- (6) Hole 주위의 웰드라인은 피할 수 없으나 hole 주위에 두께를 늘려 웰드라인의 강도를 증가시키고 그 폭을 작게 한다.
- (7) 두께 편차가 큰 제품의 경우 두께가 두꺼운 부위에 수지가 먼저차고 얇은 부위에 수지가 늦게 충전되어 얇은 부위의 중심에 웰드라인이나 기포가 발생한다. 이런 경우 두께의 편차를 줄이든가 flow leader를 설치하여 수지의 흐름을 조절한다.
- (8) 타 소재나 이물의 혼입 여부를 확인한다.
- (9) Flow leader 설치 또는 제품 두께 변화, 게이트 위치 변경을 통해 웰드라인 위치를 눈에 보이지 않는 곳으로 이동시킨다.
- (10) 웰드라인 부위에 엠보싱 가공 또는 상표를 부착한다.

본사

04532, 서울특별시 중구 소공로 94 (OCI빌딩, 14층)
Tel. 02-728-7481 Fax. 02-714-9235

연구소

15850, 경기도 군포시 고산로 166, 104동 201호 (당정동, SK벤티움)
Te Tel. 031-436-1300 Fax. 031-436-1301

Headquarters

14th Floor, OCI BLDG., 94, Sogong-ro, Jung-gu, Seoul, 04532, Republic of Korea
Tel. +82-2-728-7481 Fax. +82-2-714-9235

EU & America Sales

14th Floor, OCI BLDG., 94, Sogong-ro, Jung-gu, Seoul, 04532, Republic of Korea
Tel. +82-2-728-7467 Fax. +82-2-714-9235

Asia Sales

14th Floor, OCI BLDG., 94, Sogong-ro, Jung-gu, Seoul, 04532, Republic of Korea
Tel. +82-2-728-7491 Fax. +82-2-714-9235

China Sales

上海聚醚醚化工贸易有限公司
上海市长宁区天山路1717号SOHO天山广场2幢T2-903C室(200051)
Tel. +86-21-6237-1977 ; E-mail: cpac.sales@gpac-kpac.com

Disclaimer: 1. 상기 자료는 본 제품에 대해 당사의 현재 기술 수준에서 측정된 것이며, 측정 방법 및 조건에 따라 변경될 수 있습니다. 본 제품에 고객에 의해 안료 및 기타 첨가제가 사용된 경우 상기 자료는 적용되지 않습니다. 본 제품은 (치)의학 Implants 용으로는 적합하지 않으며, 고객은 안전 및 보건 기준에 따라 본 제품을 사용해야 합니다. 제품 사용의 결정 및 책임은 고객에게 있으며, 상기 자료는 법적 소송 및 근거자료로 활용될 수 없습니다.

2. 상기 성형수축률은 당사 시험편 금형을 이용하여 특정 사출조건에 한하여 측정된 수치이므로, 측정조건에 따라 다소 변동될 수 있습니다. 귀사에서 제작하고자 하는 금형의 경우 두께, 디자인, 사출기, 사출조건 등이 당사 시험편 금형과 상이하여 상기 수축률과 차이가 있을 수 있으므로, 귀사의 설계조건, 사출성형조건 등을 충분히 검토하신 후 필요 시 보정하여 적용하시기 바랍니다. 제작하고자 하는 금형과의 수축률 차이가 발생할 경우 당사에서는 어떠한 법적 책임도 질 수 없으며, 모든 책임은 귀사에 있음을 분명히 밝혀 드립니다.