

자동차 부품의 응용을 위한 고분자재료의 사출방향에 따른 강도 평가

Estimate of Mechanical Properties depending on Injected direction in Polymer for Automobile Application

이승재*, 이인섭**
Seoung-Jae Lee*, In-Seob Lee**

<Abstract>

In this study, estimate of Mechanical Properties depending on Injected direction in Polymer for Automobile Application. The used materials is polyamid(nylon6), polypropylene(PP) of a simple component and its mixed, reinforced glass fiber(15%) in polyamid. One side direction of a simple component is highest strength and the two sides direction of multicomponent appear lowest strength. This is caused by effects of weldline, imperfect fusion and impregnation of multicomponent. To improve mechanical properties, it is necessary to minimize of weldline, compatibility, perfect fusion and impregnation in multicomponent polymer.

Key Words : *Injection molding, Automobile, Light weight, simple component, multicomponent, Nylon6, Polypropylene*

1. 서 론

최근의 에너지 절약이 요구되고 있는 시점에서, 사용되고 있는 기계부품 및 구조물의 경량화는 필수요건이 되고 있다. 특히 안전성과 경제성을 고려한 자동차 부품의 경량화에 많은 연구가 수행중이다.(2-3) 자동차 경량화를 위한 부품의 생산에 사출성형은 중요한 성형방법중의 하나이다. 사출성형은 형태가 매우 복잡하거나 커다란 제품을 성형할 때는 다수의 게이트

(gate)를 두어 성형을 실시하게 된다. 이때 다수의 게이트에서 사출된 용융된 고분자 수지들이 금형내에 분기하여 흐르다가 어느 일정한 부분에서 서로 만나면서 합류하게 되는데, 각 방향에서 흘러온 수지들이 서로 융합되지 못하거나, 용융된 수지의 유동성이 불량, 수지들이 만나는 지점에서의 불순물 존재 등의 원인으로 인해서 웰드라인을 발생시키게 된다. 성형품에서 웰드라인의 존재는 성형품의 기계적 성질에 큰 영향을 미치게 된다. 웰드라인은 Gate가 2개 이

* 정회원, 가톨릭 상지대학 자동차계열

** 정회원, 영남대학교 일반대학원 기계공학과

* Catholic Sangji junior college

** Yeungnam University Graduate School

상 설치되어 있을 때 발생빈도가 매우 높다.

사출성형에서 웰드라인을 완전히 없애는 것은 매우 어려운 일이지만, 강도의 향상을 위해서는 웰드라인의 발생을 최소화 할 필요성은 있다.

본 연구에서는 단일성분 및 복합성분일 때 한 방향 사출, 양 방향 사출 및 중앙방향에서의 사출성형을 실시하여, 사출된 각 방향에서의 웰드라인의 발생과, 발생된 웰드라인이 최종 사출성형품의 기계적 성질에 미치는 영향과 사출시 발생하는 웰드라인의 최소화 방안 등에 대한 연구를 수행하였다.

2. 실험재료 및 방법

본 연구에서 사용된 재료는 (주)로디아의 나일론6(nylon6)와 (주)선경의 폴리프로필렌(polypropylene)을 사용하였다.

Nylon6는 내마모성, 내약품성, 충격흡수성, 내열성, 내한성, 내유성, 강인성, 전기절연성, 자기윤활성등 많은 특성을 가지고 있어, 나일론 중에서 범용 재료로 많이 사용된다. 그러나 아미노기에 의한 흡습성이 커서 치수 안정성이 부족하고, 흡습도에 따라 물성이 변하는 단점을 지니고 있다. 따라서 재료에 습기가 차지 않도록 항상 유지해야하고, 성형재료로 사용하기 전에 반드시 건조시켜야 한다.

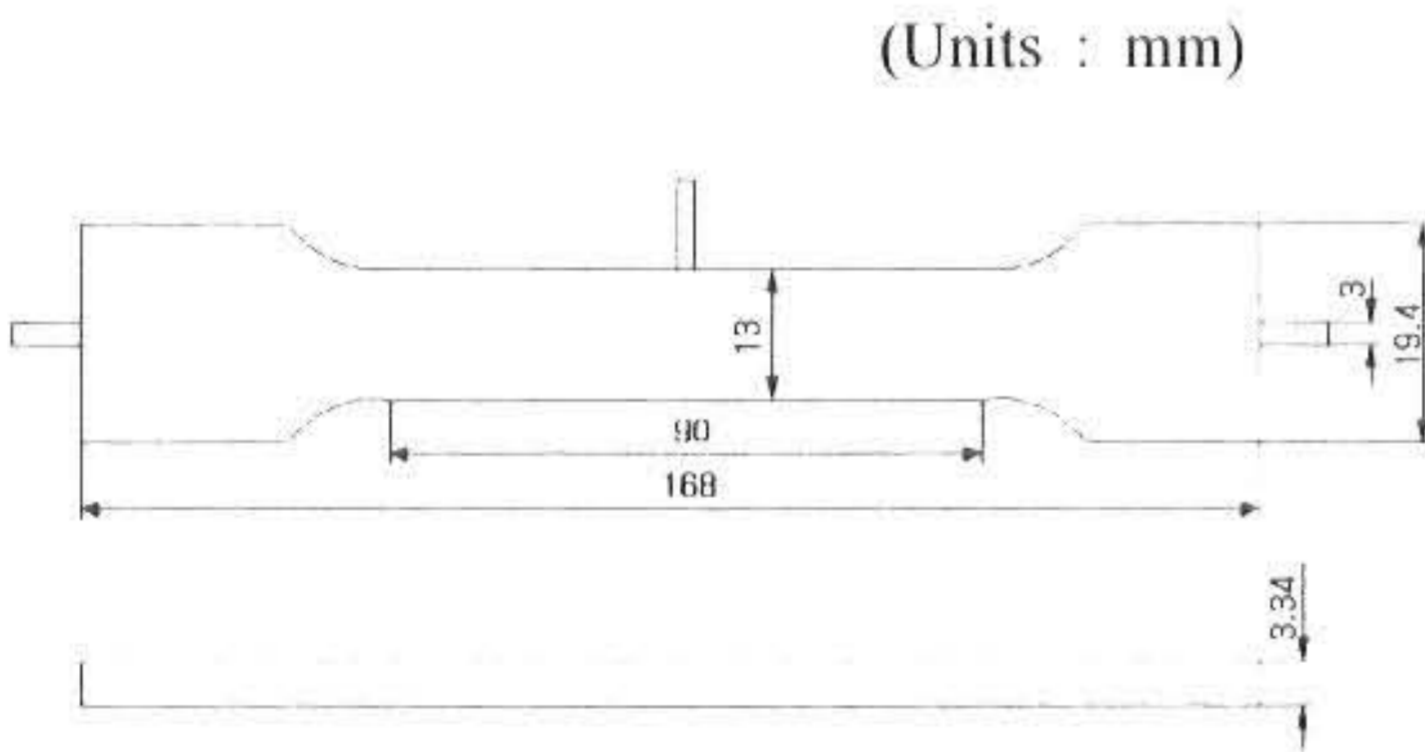


Fig 2. Illustration of Injection mold specimen.

이번 실험에서 나일론6는 성형전 80°C에서 10시간동안 진공오븐에서 예비건조를 하였다.

폴리프로필렌은 범용고분자 재료로, 고분자재료 중에서 비중이 가장 낮으며 힌지성(hinge)과 전기적 특성이 우수하다. 폴리프로필렌은 흡습성이 작지만 실험의 효과를 높이기 위해서

60°C에서 2시간동안 진공오븐에서 예비건조를 하였다. 사용된 시편의 형태는 ASTM D638(16)에 따라 Fig. 1과 같다.

시편은 고분자의 단일성분 일 때와 복합성분 일 때에 대해서 한방향 사출, 양방향 사출 및 중앙방향에서의 사출성형을 실시하여 제작되었다. 각 조건에 따라 제작된 시편의 강성을 측정하기 위해, 기본적인 물성 시험 방법 중의 하나인 인장실험을 실시하였다.

인장실험에 사용된 실험장치는 Shimadzu AG 5000을 사용하였으며, 5톤의 Load cell을 이용하였다. 실험에서의 에러율은 0.005%이고, 실험은 상온상태(22 ± 2°C)에서 이루어졌으며, 시험속도는 5mm/min로 ASTM D638에 따랐다.

Table 1. Properties of Nylon6 and PP.

Mechanical Property	Nylon6	Polypropylene
Tensile Strength (MPa)	74	22
Tensile Modulus (GPa)	1.9	0.7
Specific Gravity	1.13	0.91
Elongation(%)	124	300

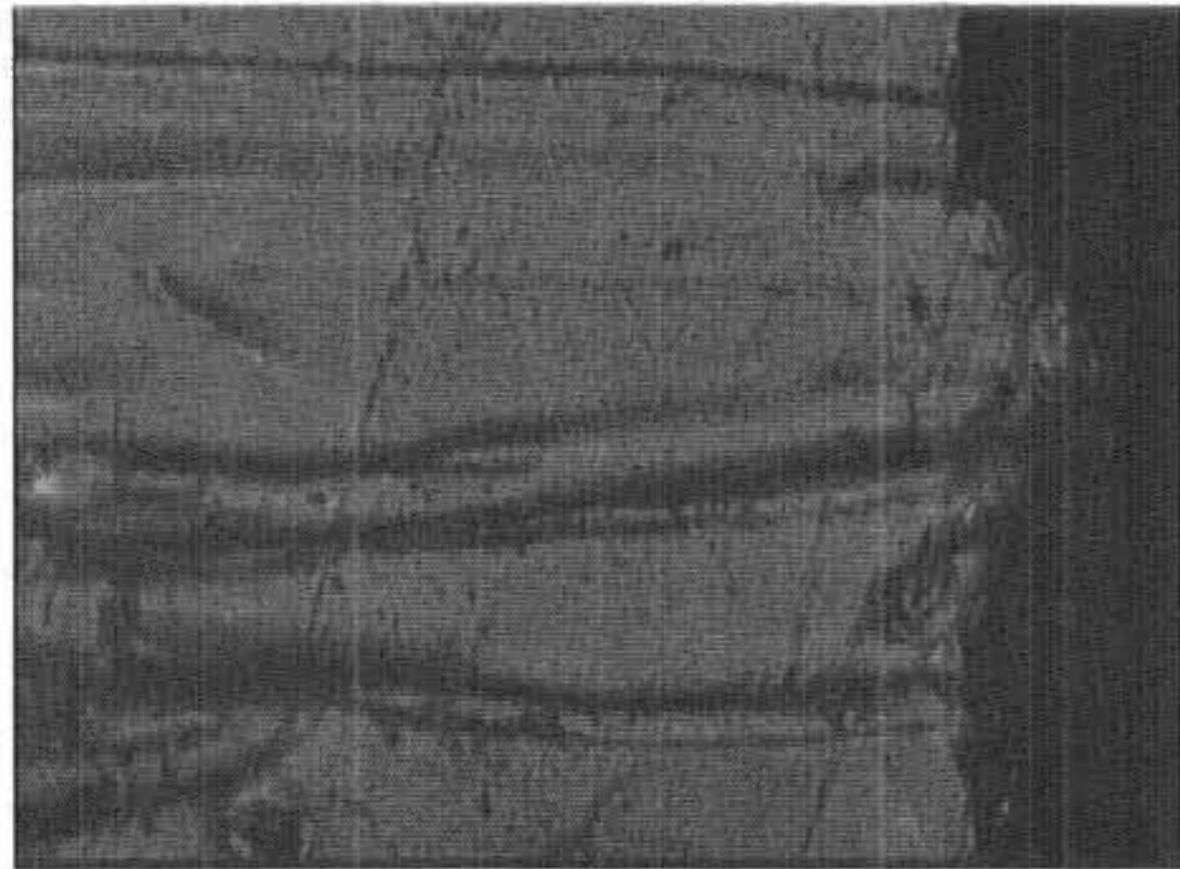
Table 2. Conditions of injection molding.

사출성형조건	온도조건 (°C)	가열실린더부				금형부		
		NH	H1	H2	H3	사출측	형체측	온도조절
	240 (220)	240 (220)	230 (210)	220 (200)	-	-	-	
시간 (sec)		사출	냉각	휴지	ONE CYCLE			
		12	5	3	20			
압력 (kgf/cm ²)		1차	2차	3차	보압			
		91	98	84	56			

*()는 PP의 조건

Table 1은 본 연구에서 사용된 재료의 물성, Table 2는 사출성형조건을 나타내었다.

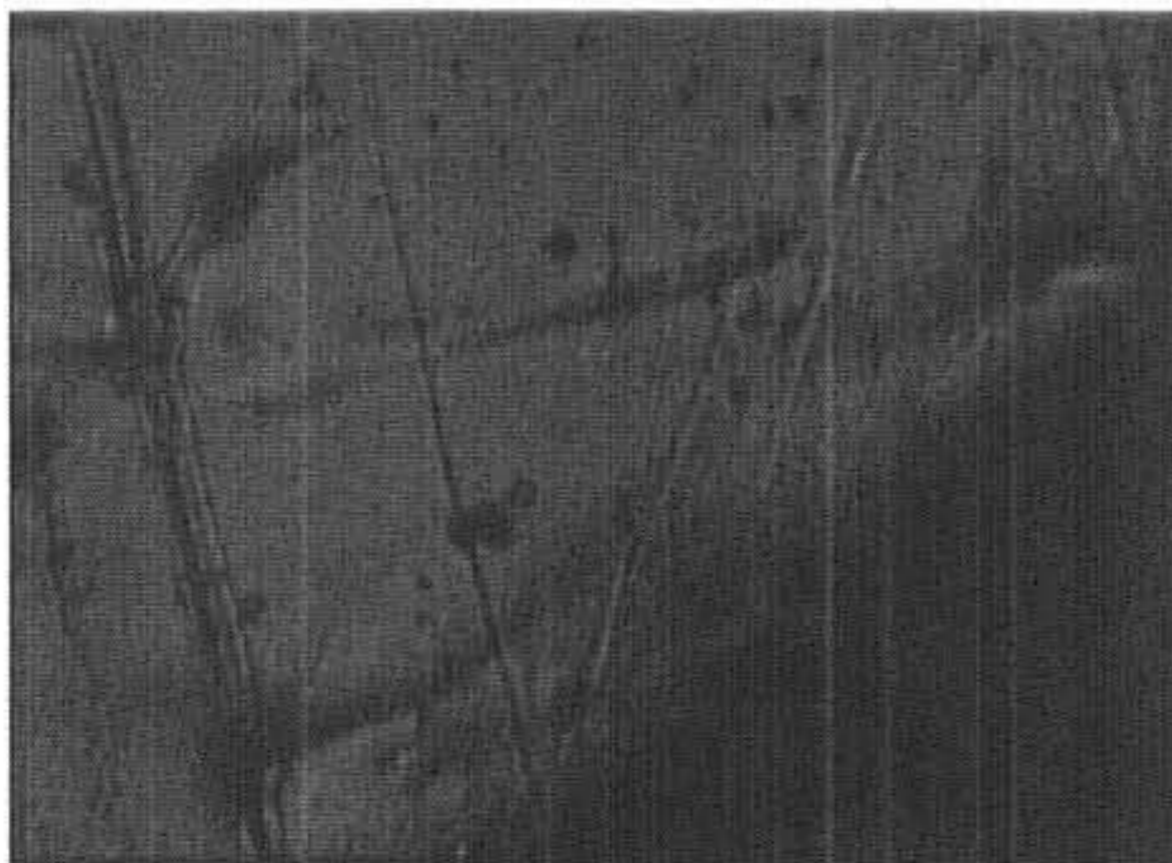
3. 실험결과 및 검토



(a) One Direction (×200)



(b) Middle Direction(×200)



(c) Two Direction

Fig 2. Schematic illustration each direction in injection molding.

사출성형에 의해 생산된 제품에서 웰드라인의 존재는 기계적 성질에 큰 영향력을 끼친다. 웰드라인은 용융수지의 흐름이 만나는 곳에서 생기며 제품의 형상에 따라 다양하게 발생할

수 있다. 사출성형의 특성상 성형품에 웰드라인을 없애는 것은 매우 어려운 일이다. 그러나, 성형품에 웰드라인의 생성을 최소화할 필요성은 있다.

웰드라인은 강도적인 측면에서 볼 때 응력이 크게 관계되지 않는 부분에 위치할 수 있도록 하여야 한다.

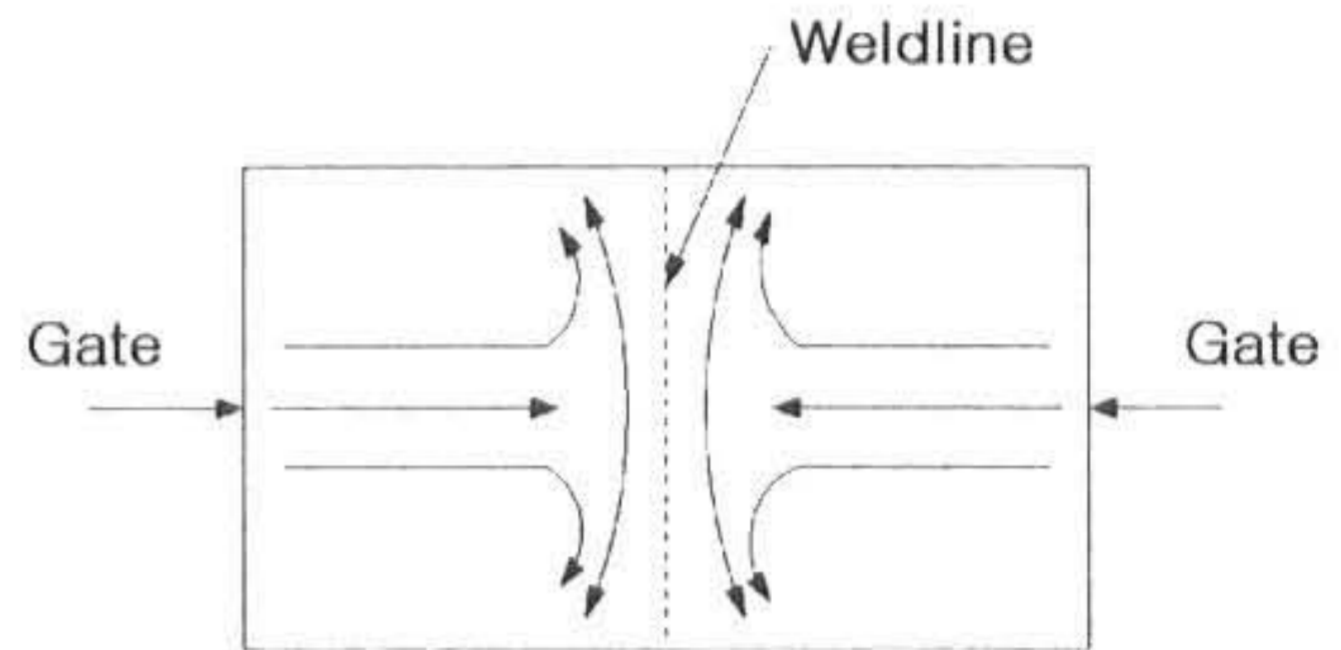


Fig 3. Schematic illustration of weldline in two direction injection molding.

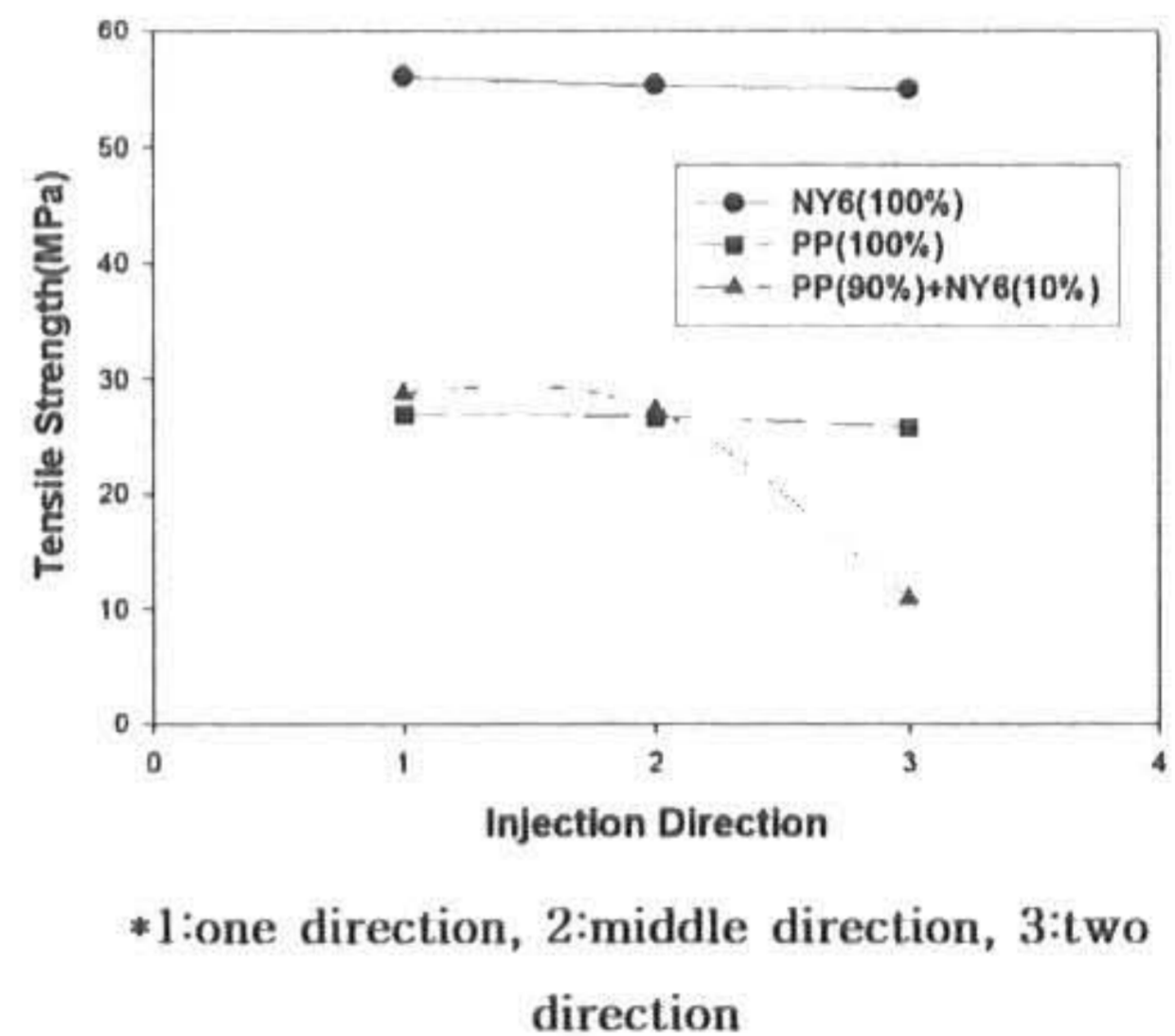


Fig 4. Tensile Strength depending on injection molding direction.

Fig 2는 나일론6에 유리섬유가 15% 혼합된 복합재의 (a) 한방향 (b) 중앙방향 (c) 양방향에서 각각 사출된 성형품의 인장 실험한 후, 파단된 상태를 접촉식 광학현미경을 이용하여 본 것이다. (a)는 단섬유가 흐름방향에 평행한 모습이고, (b)와 (c)는 단섬유 배향이 흐름방향에 수직

한 모습이다. 특히 (c)의 경우에는 양쪽에서 사출된 유리섬유강화 복합수지가 중앙부분에서 만나면서 서로 충돌현상을 일으켜 뚜렷한 웰드라인을 생성하였다. 이때 유리섬유는 웰드라인과 평행을 이루고 있다. Fig 3은 양방향 사출시 웰드라인이 생성되는 모습을 나타낸 것이다.

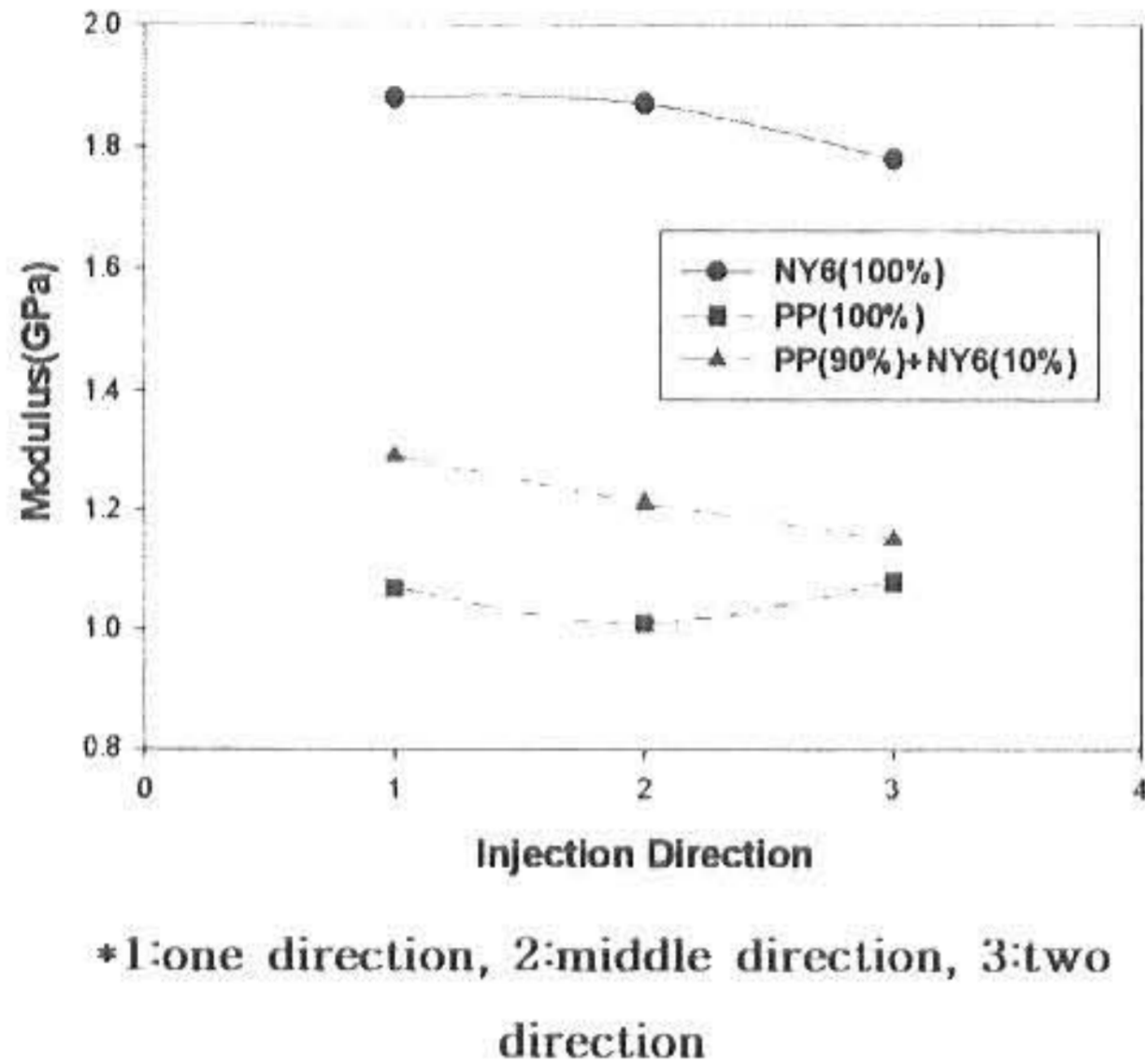


Fig 5. Tensile Modulus depending on injection molding direction.

폴리프로필렌, 나일론6 및 폴리프로필렌 90%에 나일론 10%가 혼합된 재료의 각 방향에 따른 사출성형시 인장강도 결과를 Fig 4에, 인장탄성율을 Fig 5에 각각 나타내었다. 잘 알려진 대로, 나일론6가 폴리프로필렌에 비해서 높은 기계적 성질을 나타내었다. 모든 사출 방향에서의 인장강도 및 인장 탄성율은 거의 유사하게 나타났으며, 순수 단일재료 일때는 사출 방향이 인장강도에 큰 영향을 주지 않음을 알 수 있었다. 그러나 폴리프로필렌 90%에 나일론 10%가 혼합된 용융수지를 양방향 사출시켰을 때 인장강도 값이 현저하게 낮아짐을 보였다. 이러한 결과는 혼합된 두 성분간의 융합 및 함침(含浸)이 잘 이루어지지 않았고, 특히 양방향 사출시 그 영향이 커서 각 방향에서 흘러들어온 수지들이 중앙부에서 서로 만나면서 웰드라인을 생성하여 물성의 저하를 초래한 것으로 생각된다.

Fig 6과 Fig 7은 Nylon6의 단일성분 일 때와 Nylon6에 유리섬유가 함유되어 있을 때 사출방

향에 따른 인장강도와 인장 탄성율을 각각 나타내었다. 유리섬유가 함유되었을 때 인장강도 및 탄성율이 크게 나타났으나, 이때는 사출 방향에 따라서 강도의 차가 크게 나타났다. 한 방향 사출일 때가 가장 높은 강도 값을 나타내었고, 중앙부와 양방향 사출일 때 강도차는 거의 유사하게 나타났다. 한 방향 사출일 때는 강화재의 배향이 수지흐름방향으로 일어났기 때문에 외부하중에 대해 강화재의 역할이 컸으나, 중앙방향 사출일 때는 잔류응력 및 강화재의 배열이 서로 엇갈려 외부하중에 대해 강화재의 역할이 그 다지 높지 않았고, 양방향사출일 때는, 강화재의 배열이 웰드라인과 평행하게 놓여짐으로 인한 웰드라인의 생성으로 외부하중을 거의 전달받지 못했기 때문이다.

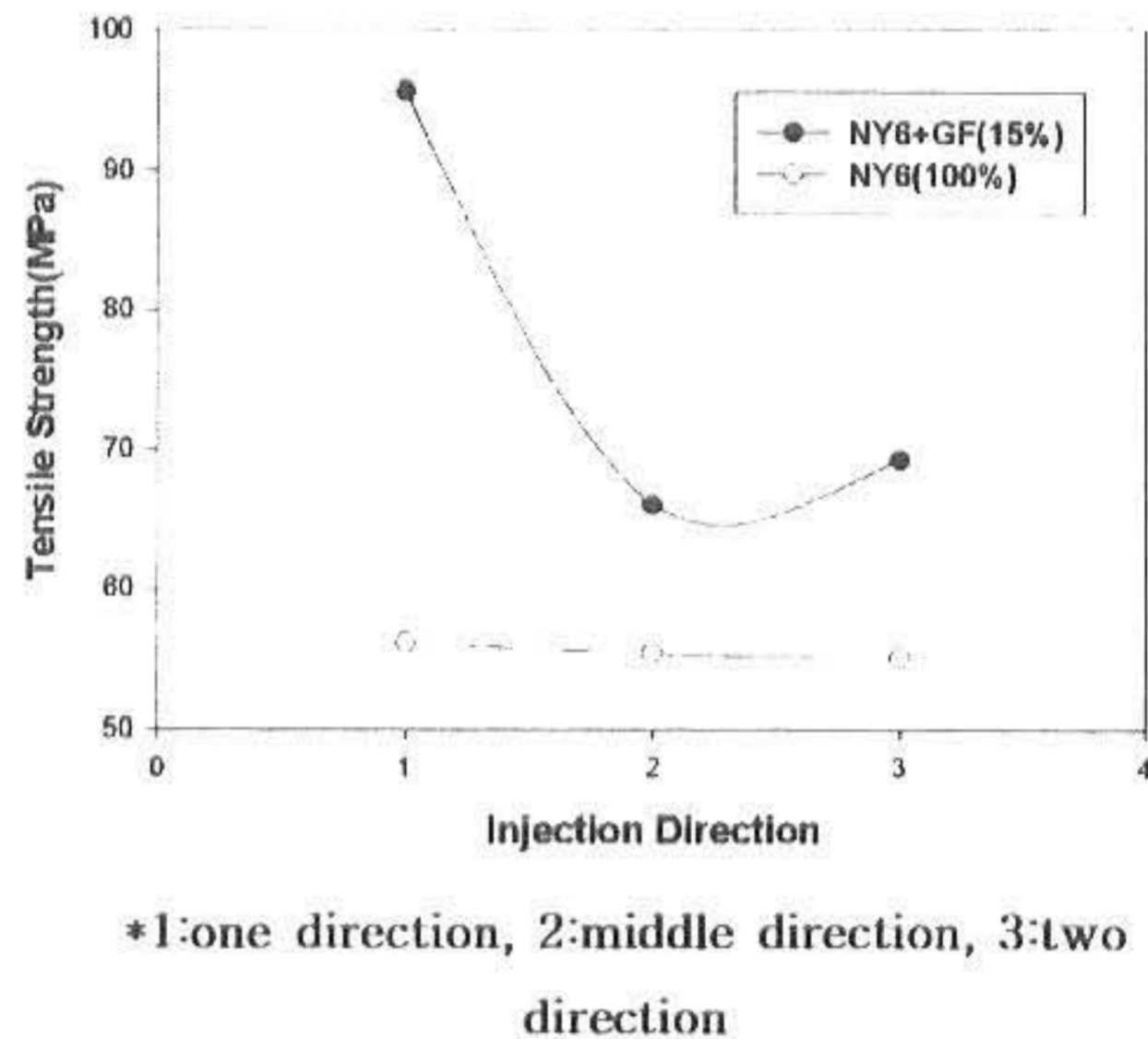


Fig 6. Comparison of tensile strength between Nylon6 and glass fiber in Nylon6

웰드라인이 발생된 곳에서는 재료의 불균질로 인한 외부 응력에 대해서 동일한 하중을 받지 못하므로 강도가 급격히 떨어진다.

결과적으로, 사출성형에서는 두 재료이상의 혼합성분일 때, 혼합재료들의 용융 혼합상태 및 다수의 게이트 위치가 재료의 기계적 성질에 중요한 인자가 됨을 알 수 있었다.

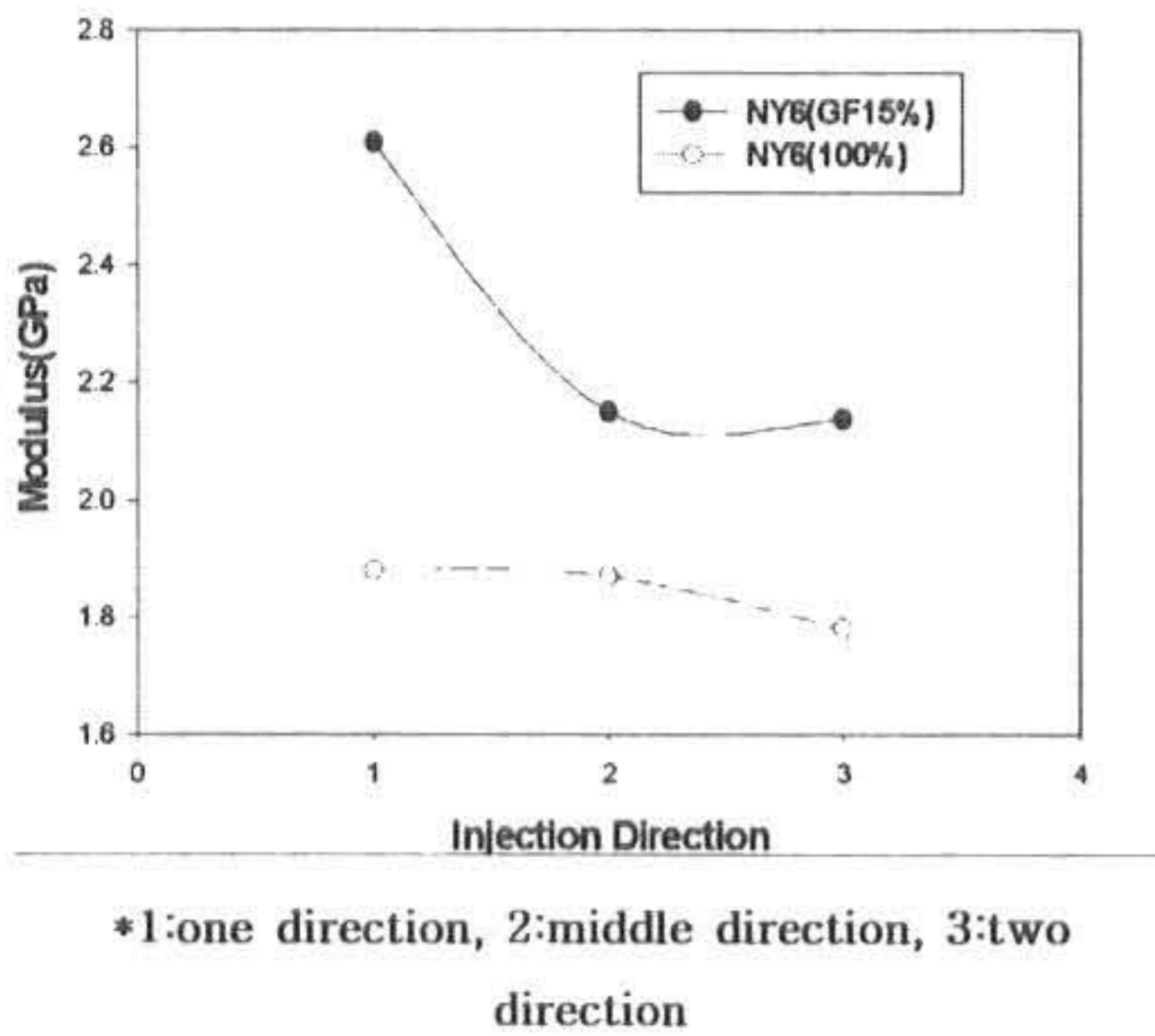


Fig 7. Comparison of tensile Modulus between Nylon6 and glass fiber in Nylon6

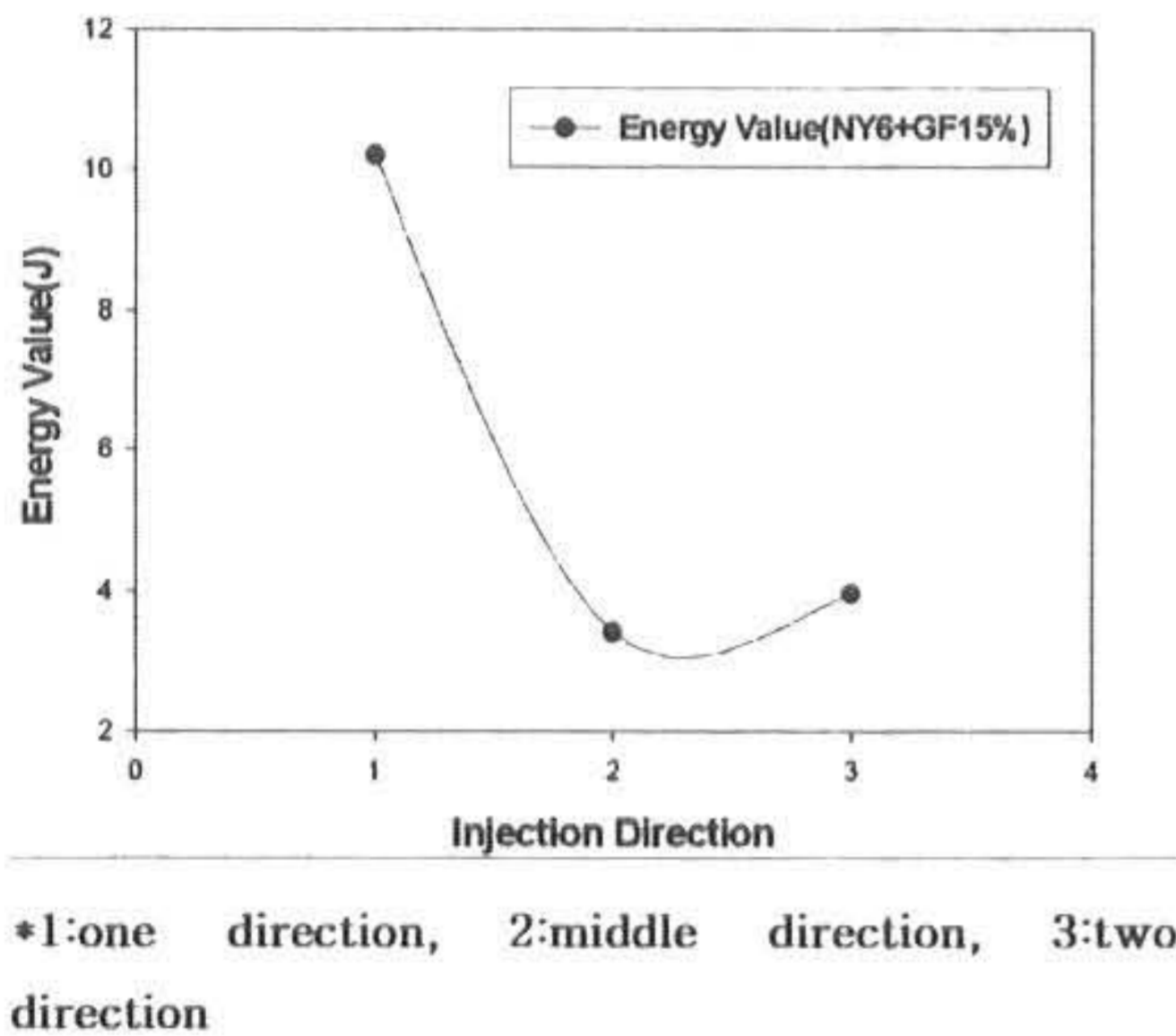


Fig 8. Energy Value of glass fiber in Nylon6.

Fig 8은 Nylon6에 유리섬유가 15% 함유된 복합재의 최대 인장강도까지의 에너지 값을 사출 방향에 따라서 나타내었다. 에너지 값 역시 한 방향 사출 일때가 가장 크게 나타났으며, 인장강도와 탄성율의 결과와 일치한 경향을 보였다. 사출성형에서는 한방향 사출이 기계적 강도의 개선을 위해서 가장 좋은 경향을 나타내었다. 그러나, 실제의 사출 성형품은 제품 자체가 다소 복잡하고, 크기가 큰 제품들이 많기 때문

에 시간 및 경제적인 향상을 도모하기 위해서 다수의 게이트를 이용하는 다방향 사출성형이 많이 이용되고 있다. 따라서 다방향 사출성형에서는 제품의 강도나 외관상 큰 문제가 없도록 노력할 필요성이 있고, 특히 복합성분 및 양방향 사출성형에서 강도를 향상시키기 위해서는, 응력이 크게 관계되지 않는 부위에 웰드라인의 발생을 유도 및 최소화할 필요성이 있고, 복합성분들간의 상용성 및 완전한 융합과 함침이 이루어져야한다. 웰드라인을 최소화하기 위해서는 사출전 유동해석과 함께 많은 횟수의 사출 과정을 통하여 최적의 금형을 설계하는 것이 가장 바람직하다고 생각한다. 또한, 웰드라인이 발생하는 지점에서의 강도를 향상시킬 수 있는 방안도 고려되어야 하는데, 일반적으로는 웰드라인 발생이 의심되는 곳에는 적절한 벤트 설비가 요구된다. 적절한 벤트가 이루어질 경우 캐비티의 충전속도를 증가시킬수 있기 때문에 웰드라인 강도의 향상을 얻을 수 있으나 적절치 못한 벤트시에는 오히려 캐비티 충전속도 증가가 공기흡입을 유발하여 웰드라인 강도를 저하시킬 수 있는 약점이 있다. 이 밖에 수지온도 및 금형온도를 알맞게 조절해 주는 것도 웰드라인의 강도를 향상시키는데 도움이 된다.

4. 결론

단일성분의 나일론6(nylon6)와 폴리프로필렌(polypropylene), 유리섬유가 15% 함유된 나일론6 재료에 대해서 사출방향에 따른 강도 평가를 실시하였고, 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 사출성형에서 두 재료이상의 복합성분일 때는 복합성분재료들의 용융혼합상태 및 다수의 게이트 위치가 재료의 기계적 성질에 중요한 인자가 됨을 알 수 있었다.
2. 단일성분으로 존재할 때 보다 복합성분으로 존재할 때 불완전한 융합과 함침으로 인해 웰드라인의 발생이 현저하게 나타났고, 유리섬유가 혼합되었을 경우 더욱 큰 영향이 있음을 알 수 있었다.

3. 웰드라인이 발생된 곳에서는 재료의 불균질로 인해, 외부 응력에 대해서 재료 전체에 동일한 하중을 받지 못하여 강도가 급격히 떨어지므로, 응력이 크게 관계되지 않는 부위에 웰드라인의 발생을 유도하고 웰드라인을 최소화하기 위해서는 사출전 유동해석과 함께 많은 횡수의 사출성형 과정을 통하여 최적의 금형을 설계하는 것이 가장 바람직하다.

4. 웰드라인 부분의 강도 향상을 위해서 복합 성분들 간의 완전한 융합이 요구되며, 상용화가 이루어져야한다.

참고문헌

- 1) William E. Foster., : Injection Molding of Thermoplastics, SAE, Inc, No.800689 (1980)
- 2) 김정규. : 複合組織網 과 自動車 輕量化, 대한기계학회지, Vol.22, No.1, pp.2-8 (1982)
- 3) 김정규.: 자동차 경량화 재료의 현황과 특징, 자동차공학회지, Vol.10, No.4, pp.29-38 (1988)
- 4) 이시준, 김형수, 홍인권, 윤용수. : 다성분계 고분자 블렌드의 Weldline 강도에 관한연구, The Korean Journal of Rheology, Vol.9, No.4, pp. 133-139 (1997)
- 5) 홍명웅. : 사출성형기술, 기전연구소, (1984)
- 6) 윤병선, 서문호, 이석현. : 나일론 6과 폴리프로필렌 수지에 유리섬유가 보강된 삼상 복합재료에 관한 연구, The Korean Journal of Rheology, Vol.10, No.2, pp.57-64 (1998)
- 7) A. Kelly and W. R. Tyson., : Tensile Properties of Fiber-Reinforced Metals : Copper / Tungsten and Copper/Molybdenum, J. Mech. Phys. Solids, Vol.13, pp.329-350 (1965)
- 8) R. V. Turkovich and L. Erwin., : Fiber Fracture in Reinforced Thermoplastic Processing, Polym. Eng. Sci, Vol.23, No.13, pp.743-749 (1983)
- 9) Z. U. Nabi and S. Hashemi., : Influence of Short Glass Fibres and Weldlines on the Mechanical Properties of Injection-Moulded Acrylonitrile-Styrene acrylate copolymer, J. Mater. Sci, 33, pp.2985-3000 (1998)
- 10) 이인섭, 이동주. : 단섬유강화 복합재료에서 사출측 / 금형측 노즐 크기 변화에 따른 섬유손상 및 기계적 성질, 대한기계학회논문집 A권, 제25권, 제4호, pp.564-573 (2001)
- 11) S. Y. Fu, B. Lauke, E. Mader, X. Hu and C. Y. Yue., : Fracture Resistance of Short-Glass Fiber-Reinforced and Short-Carbon Fiber-Reinforced Polypropylene under Charpy Impact Load and its Dependence on Processing, J. Materials. Processing Technology, 89-90, pp.501-507 (1999)
- 12) J. P. F. Inberg, P. H. Hunse and R. J. Gaymans., : Long Fiber Reinforcement of Polypropylene / Polystyrene Blends, Polym. Eng. Sci, Vol.39, No.2, pp.340-346 (1999)
- 13) Dong-Joo Lee., : On Studies of Tensile Properties in Injection Molded Short Carbon Fiber Reinforced PEEK Composite, KSME Journal, Vol.10, No.3, pp.362-371 (1996)
- 14) Gibson, R. F., : Principles of Composite Material Mechanics, McGraw-Hill, pp.156-189(1994)
- 15) C. Y. Hui and D. Shia., : Simple Formulae for the Effective Moduli of Unidirectional Aligned Composites, Polym. Eng. Sci, Vol.38, No.5, pp.774-782 (1998)
- 16) Annual Handbook of ASTM Standard. : Standard Test Method for Tensile Properties of Plastics, ASTM D638M-93, pp.59-67 (1995)

(2001년 10월 29일 접수, 2002년 2월 20일 채택)