

유리섬유 첨가 폴리프로필렌의 강도 최적화에 관한 연구 A Study on Optimizing Glass Fiber Reinforced Polypropylene

*전병주¹, #차성운², 이경수¹

*B. J. Jeon¹, #S. W. Cha(swcha@yonsei.ac.kr²), K. S. Lee¹

¹ 연세대학교 기계공학과, ² 연세대학교 기계공학부

Key words : Glass Fiber, Correlation analysis, Taguchi Method

1. 서론

최근 자동차는 각종 환경 규제 및 유류비의 인상으로 인하여 고효율화 및 경량화와 같은 분야의 요구가 점차 증가하고 있다. 이 중 에너지 절감을 위한 고효율 자동차에 대한 연구는 중요한 분야 중 하나가 되었으며, 이를 위하여 자동차 부품의 경량화에 대한 연구가 활발하게 진행되고 있다. 자동차 부품의 경량화는 결국 자동차 효율의 증가 및 재료비의 절감을 가져 올 수 있지만 동시에 고 강성의 부품을 요구하게 된다.

플라스틱은 자동차 내장재 및 범퍼, 언더커버와 같은 많은 자동차 부품을 차지하고 있으며, 자동차 부품의 강도 향상과 경량화를 위하여 유리섬유를 첨가한 재료를 이용한 플라스틱 자동차 부품을 생산이 점차 증가하고 있다. 그러나 유리섬유를 첨가하여 자동차 부품을 제작할 시 그 최종 제품의 강도에 영향을 주는 제조공정은 너무나 많이 존재하고 또한 자동차 부품으로 사용하기 위해 만족시켜야 하는 강도 역시 여러 가지가 존재한다. 유리섬유의 함량 및 첨가한 유리섬유의 잔류 길이에 따른 강도의 변화에 대한 연구가 이미 수행되었으며, 이를 통해 유리섬유의 배합에 대한 처방에 대한 결과 역시 많이 존재하고 있다.

그러나 기존의 연구들은 대부분 유리섬유에 관한 특성치에 대한 연구가 대부분 이었다. 그러나 실제 유리섬유 강화 플라스틱 부품을 만들 때는 유리섬유 이외의 다양한 제조 공정 인자가 존재하고 있다. 또한 살펴보아야 할 특성치 역시 한가지가 아닌 두 가지 이상인 경우가 대부분이다. 이는 다인자를 동시에 고려한 다특성치 문제라 이야기 할 수 있으며, 이에 대한 최적화 과정이 필요하다. 본 논문에서는 이러한 다인자를 고려한 다특성치 최적화 문제를 해결하기 위하여 다구짜 실험계획법을 제시 하였으며, 이를 통하여 해당 문제의 최적 조건을 도출할 수 있었다.

2. 실험

본 실험에서는 유리섬유를 첨가하기 위한 기본 고분자로 폴리프로필렌(polypropylene)을 사용 하였다. 폴리프로필렌은 상대적으로 가격이 저렴하고 강성이 뛰어나 여러 플라스틱 부품으로 가장 많이 사용되고 있는 플라스틱 재료 중 하나이다. 본 연구에서 선정된 실험 재료의 제조 인자는 기본 폴리프로필렌(Base PP), 첨가고무(Rubber), 유리섬유 함량(G/F contents) 그리고 상용화제(Additives) 이다. 각각의 인자를 3 수준으로 살펴 보았고, 이는 Table 1 에 정리하여 놓은 것과 같다.

Table 1 Process parameters and their levels

Process Factor	Level 1	Level 2	Level 3
Base PP	Homo-PP	Co-PP(E=6%)	Co-PP(E=12%)
Rubber	EPR	EOR	EBR
G/F contents(%)	10	20	30
Additives	Type 1	Type 2	Type 3

Table 1 에서 확인할 수 있듯이 본 실험은 4 인자 3 수준의 실험으로 총 실험 경우의 수는 81 가지가 존재하게 된다. 다구짜 실험 계획법을 사용하여 81 가지의 경우 중 9 가지(L9(3⁴))의 경우를 추출하였다. 추출한 9 가지 실험의 경우는 table 2 에 정리하여 놓은 것과 같다. 해당 수지는 호

남석유화학에서 보유하고 있는 트윈 스크류(twin screw) 압출기를 이용하여 제작하였다.

Table 2 Experimental case

Run	Base PP	Rubber	G/F Cont.	Additives
1	1	1	1	1
6	2	3	1	2
8	3	2	1	3
2	1	2	2	2
4	2	1	2	3
9	3	3	2	1
3	1	3	3	3
5	2	2	3	1
7	3	1	3	2

사출 성형 시 사용된 사출 성형 조건은 Table. 3 에 정리하여 놓은 것과 같다. 폴리프로필렌 수지 내에 유리섬유가 함유되어 있기 때문에 일반적으로 점도가 상승하게 되며 이는 결과적으로 성형성이 떨어지는 결과를 낳게 된다. 성형성이 다소 떨어지는 것을 보완하기 위하여 성형 온도는 일반적인 polypropylene 성형 온도보다 약 10℃ 정도 높게 설정하여 주었다.

Table 3 Conditions of Injection molding machine

Resin	Nozzle Temp(℃)		Cylinder Temp(℃)		Injection Pressure (MPa)	Injection Speed (mm/s)
	HN	H1	H2	H3		
PP+G/F	210	200	180	170	150	185

이때 시편 제작에 사용된 금형은 ASTM 강도 규정 금형으로 이 금형을 통하여 제작된 시험 시편의 형태는 figure 1 과 같다. 사진에서 1 번은 충격강도 시편이고, 2 번은 굽곡강도 시편이며 3 번은 인장강도 시편이다. 사출기를 이용하여 성형한 강도 시편을 UTM 및 측정 기를 이용하여 강도를 측정하였고, 측정된 결과의 통계적 분석을 위하여 미니탭(minitap) 소프트웨어를 사용 하였다. 강도 측정 시에 각 조건당 5 개의 시편을 반복 측정하여 그 평균 값을 대 표 값으로 사용하였다.

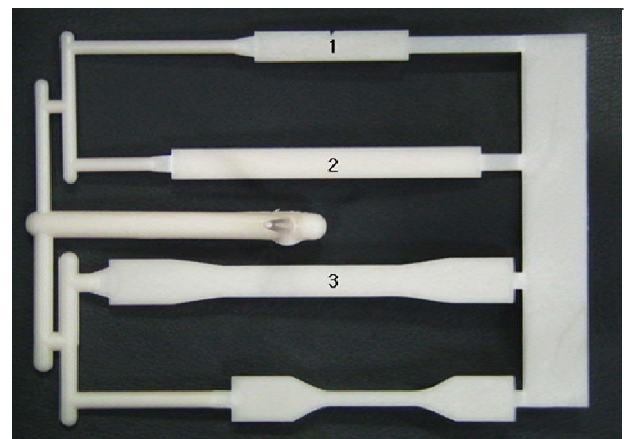


Fig. 1 picture of sample

3. 결과 및 분석

Fig. 2는 충격강도와 인장강도의 신호대 잡음비(signal to noise ratio)를 각 실험 인자 별로 정리하여 그려놓은 그래프이다. 기본 폴리프로필렌(Base PP), 첨가고무(Rubber), 유리섬유 함량(G/F contents) 그리고 상용화제(Additives) 각각의 수준에 따라 변하는 충격강도와 인장강도의 신호대 잡음비를 Fig. 2에서 확인할 수 있다. 결과를 살펴 보면 기본 폴리프로필렌의 경우 Co-PP를 사용하는 2수준이 가장 높고, 첨가고무의 경우 EOR과 EBR이 상대적으로 좋은 결과를 보였다. 유리섬유함량은 높을수록 좋은 결과를 보이는 것을 확인할 수 있으며, 상용화제는 상대적으로 그 영향이 작으나, 2수준과 3수준이 다소 좋은 결과를 보임을 확인할 수 있었다.

신호대 잡음비를 높게 하는 값이 충격강도를 강건하게 만드는 조건이며 이를 통해 충격강도 값을 좋게 만드는 조건의 도출이 가능하다. 그러나 본 연구는 충격강도뿐 아니라 인장강도 값 역시 고려하여야 하는 최적화 문제이다. 따라서 인장강도 결과 값의 고려 역시 필요하다.

인장강도 결과의 신호대 잡음비의 경우 최소값과 최대값의 차이가 3 정도이다. 충격강도의 값과 비교 하였을 때 인장강도의 경우 실험 이자의 수준 차이에 따라 결과 값의 차이가 상대적으로 적음을 알 수 있다. 결과에 따르면 인장강도를 높게 만드는 조건은 Homo-PP(Base PP), EOR(Rubber), 30%(G/F contents) 그리고 TYPE1(상용화제) 이다.

인장강도의 경우 그 차이가 작으며 또한 장섬유의 길이가 더욱 증가하게 된다면 그 강도 값이 더욱 증가하게 된다. 따라서 충격강도의 최대화를 극대화 시키는 조건은 우선적으로 선정해 준 후 유리섬유 관련 인자의 변화(섬유길이)를 통하여 보강하여 주는 것이 적합하다. 따라서 기본 폴리프로필렌의 경우 Co-PP(E6%), 첨가고무의 경우 EOR 그리고 상용화제는 TYPE 3을 선정하여 주었으며, 인장강도를 위하여 유리섬유 함량은 30%를 선정하여 주었다.

4. 결론

본 논문에서는 강도 향상과 경량화를 위하여 유리섬유가 함유된 폴리프로필렌수지의 최적화를 위하여 다인자를 고려한 다특성치 최적화 문제 해결을 시도 하였다. 이를 위하여 다인자 다특성치 문제를 해결하기 위하여 다구찌 실험계획법을 사용하였고, 실험을 통하여 각 실험 인자(factor)별로 최적 수준(level) 찾아보았다. 본 연구에서 도출한 최적 조건은 기본 폴리프로필렌 수지로 Co-PP(E6%), EOR(Rubber), 유리섬유의 함량은 30% 그리고 상용화제는 TYPE 3이다. 유리섬유의 경우 그 함량이 증가하게 될수록 강도의 증가가 더욱 많이 되지만, 성형성의 문제로 인하여 첨가할 수 있는 함량에 제한이 있다. 따라서 적용 제품에 따라 그 함량은 조정이 될 필요가 있다. 또한 수지 제작상의 문제로 인하여 유리섬유의 길이는 실험 인자에서 제외하여 주었다. 일반적으로 동일한 유리섬유 함량 조건이어도 유리섬유의 길이가 증가하게 되면 강도의 증가를 가지고 온다.

본 연구는 실제 제품상태의 실험비교가 아닌 실험실에서 제작한 시험시편을 바탕으로 진행을 하였으며, 이를 통하여 실제 제품을 제작하였을 시의 결과를 예측하는 것을 목적으로 진행하였다. 따라서 실제 제품 적용시의 결과를 살펴보기 위한 추가 연구가 필요할 것으로 보인다.

후기

본 연구는 ‘서울시 산학연 협력사업(11101)’ 과 지식경제부 ‘부품소재기술개발사업(10029715)’ 의 지원으로 수행되었습니다. 이에 감사 드립니다.

참고문헌

1. Taguchi, G. Introduction to Quality Engineering, APO: Tokyo, 1986.
2. Byung, J., Young, K., Kyung, L., Sung, C., Gi, N., Chan, P., and Gun, L., "Parameter Design of a Coaxial Cable Insulation Manufacturing Process Using Axiomatic Design and the Taguchi Method," Polymer-Plastics Technology and Engineering, **47**, 785-790, 2008.
3. Senthil, K., Naresh, B., and Anup, G., "Development of Long Glass Fiber Reinforced Polypropylene Composites: Mechanical and Morphological Characteristecs." Journal of Reinforced Plastics and Composites, **26**, 239-249, 2007.
4. Jinping, Q., Xiaoming, Z., and Gang, J., "Orientation Kinetics of Screw-Axial Vibration on Glass Fiber Reinforced Polypropylene Composites," Polymer-Plastics Technology and Engineering, **47**, 186-198, 2008.
5. H. Anuar, S. H. Ahmad, R. Rasid, and N. S. Nik Daud, "Tensile and Impact Properties of Thermoplastic Natural Rubber Reinforced Shor Glass Fiber and Empty Fruit Bunch Hybrid Composites," Polymer-Plastics Technology and Engineering, **45**, 1059-1063, 2006.

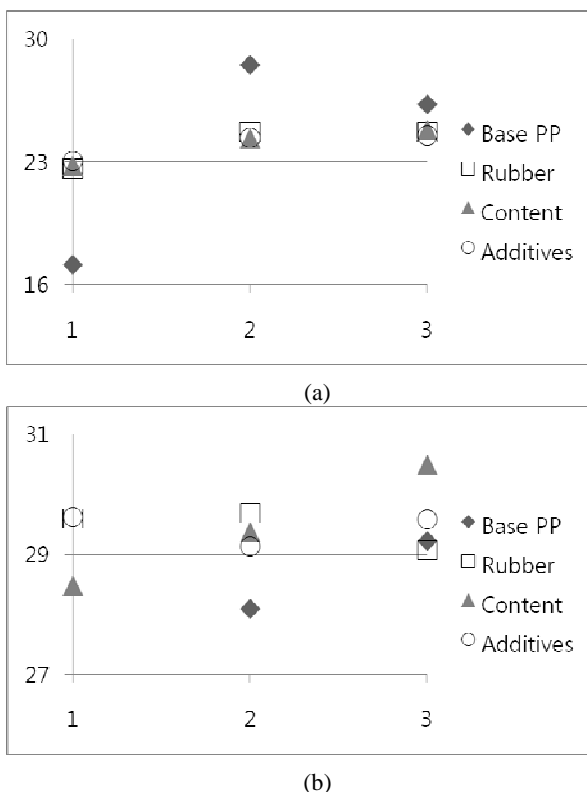


Fig. 2 Signal to noise ratio of (a) impact strength and (b) tensile strength