

다구찌 방법을 이용한 PP-Wood 소재에서 개질  
제의 첨가에 의한 기계적 특성 평가 연구  
The Study on the Mechanical Properties of PP-Wood  
Materials according to Modifier Using Taguchi Method

민 영 초\*·강 윤 진\*·강 경 식\*

Young-Cho Min\*·Yun-Jin Kang\*·Kyong-Sik Kang\*

Abstract

Wood-PP composite materials were prepared by Taguchi robust design method with L9 orthogonal array to optimize experimental conditions. Tensile strength of the composite materials was considered as the main properties. Amount of wood powder and modifier of resin were chosen as significant parameters. As the result of Taguchi analysis in this study, the amount of wood powder was the most influencing parameter on the increase of tensile strength. The optimal conditions were determined and these results were good agreement with data analyzed by Taguchi robust design method.

**Keywords** : PP-Wood, Modifier, Mechanical, Taguchi method

1. 서 론

목분 (wood powder) 등의 재료는 천연 소재인 목분을 합성수지와 결합하여 만든 pellet 모양의 제품으로서 압출 및 사출 성형을 하게 되면 천연 질감 및 향기를 그대로 느낄 수 있다. 주로 사용되는 합성수지로는 PP, PS, PVC, 그리고 ABS와 같은 범용 플라스틱이 사용되며, 이의 압출 및 사출용 재료로 개발된 제품이 목분이다.

<표 1> 에는 적용 수지별 목분의 함량에 따른 사용 분야를 요약하여 보여주고 있다.

†본 논문은 명지대학교 안전경영연구소 협력에 의해 이루어진 논문임

\* 명지대학교 산업경영공학과

<표 1> 적용 수지별 목분의 함량에 따른 용도

| 적용 수지                   | 목분 함량(%) | 용도  |
|-------------------------|----------|---|
| PP<br>PE                | 10 ~ 60  | <ul style="list-style-type: none"> <li>▶ 실내용 건축자재: 바닥재, 벽재, 천정재, 계단재</li> <li>▶ 옥실용 건축자재: 옥실 내장재</li> <li>▶ 기타건축자재: 조명등 자재, 가정용품, 사무용품</li> <li>▶ 산업용 자재: 구조용 목형소재, 콘크리트 거푸집, 목재 대체용 자재</li> <li>▶ 옥외용 건축자재: 외벽마감재, 옥외바닥재, 옥외계단재</li> <li>▶ 창호재: 문, 문틀, 창문틀</li> <li>▶ 가구재: 수납장, 의자, 책상, 주방 가구 등</li> </ul> |
| PS<br>PVC<br>ABS<br>ASA | 10 ~ 50  | <ul style="list-style-type: none"> <li>▶ 일반건축자재: 창문틀, 문틀, 도어, 몰딩류, 사이딩, 브라인더, 버티컬, 바닥재 등</li> <li>▶ 발포제품 : 발포문틀, 몰딩류, 브라인더, 버티컬, 가구제품, 자동차 부품, 레저용품 등</li> </ul>  |

일반적으로 사용되는 목분은 톱밥을 분쇄기로 미세 분말 화하여 체로 친 것으로서 플라스틱 성형용, 섬유 벽재용, 그리고 주형용 등으로 분류된다. 플라스틱 성형용은 습한 상태의 톱밥을 퇴적 발효시켜 송진을 제거한 다음 건조 분쇄하여 입도를 100 mesh로 한 후, 플라스틱 성형가공 원료로 하여 전기부품, 식기, 문방구 등의 용품에 적용할 수 있다. 그리고 섬유 벽재용 목분은 그대로 또는 염색하여 사용하므로 변색방지를 위해 염색제의 톱밥을 제재직후 건조하여 분말화 하는데, 입도는 목적에 따라 14 ~ 60 mesh로 범위가 넓다. 주택이나 사무실 내장용으로 널리 사용되지만 양은 많지 않다.

마지막으로 주형용 목분은 40 ~ 60 mesh의 입도를 가지고 있으며 사용량은 많지 않다.

최근에는 목분 자체만의 특성 보다 훨씬 향상된 제품을 얻기 위하여 목분에 개질제를 첨가하여 그 특성을 개선시킨 사례들이 보고되고 있다. 특히, 폴리에틸렌 (PE)이나 폴리프로필렌 (PP) 같은 폴리올레핀들은 목분 이나 무기 충전제에 상용성이 있기 때문에 복합체를 만드는데 많이 이용되고 있다 [1-4]. 그러나 이들 복합체는 미 반응의 peroxide나 free maleic anhydride가 존재하게 되면 180℃ 이상의 가공 온도 중에 목분의 열분해를 촉진하게 되어 가공성 및 기계적 성질에 결함의 요인으로 작용하게 된다.

즉, 목분과 수지와의 복합체를 제조하는데 있어서는 여러 가지 인자들이 영향을 미치게 되며, 이러한 각종 인자들에 대한 목분-수지 복합체의 최적 기계적 특성치를 확인하기 위한 방법으로서 실험 계획법의 한 가지인 다구찌 (Taguchi) 방법을 본 연구에서 적용하였다.

일반적으로 기존의 실험 계획법을 사용하는 분석들은 비효율적이다. 최근에는 통계

적 실험 계획법 [5]과 다구찌 방법 [6, 7]을 사용하여 그러한 복잡한 시스템에 대해서 효과적인 분석이 실시되었다. 통계적 실험 디자인 계획법은 특성치에 영향을 미치는 인자들과 최적 조건의 인자들을 결정할 수 있으며, 이 방법은 직교 배열표를 사용하여 분산 기법으로서 ANOVA 분석을 실시한다. ANOVA 분석은 특성치에 대한 인자의 효과를 예측할 수 있고, 이에 대한 실험은 직교 배열표를 사용, 최소의 횟수로 실시할 수 있다. 기존의 전통적인 통계적 실험 디자인 계획법은 어느 특성치의 측정된 값들에 기초하여 최적 조건을 결정할 수 있는 반면, 다구찌 방법은 최적 조건으로서 최소의 변동을 가진 실험 조건을 결정할 수 있다. 특성치의 변동은 노이즈인자 즉, 제어하기가 매우 힘든 인자에 기인한다. 그 반면에 제어하기가 쉬운 인자를 제어 인자라고 부른다. 그러한 변동은 신호 대 잡음비 (S/N)로서 표현될 수 있다[8]. 최대의 S/N값을 가진 실험 조건들은 최적 조건으로 간주되며, 특성치의 변동은 S/N값에 반비례한다.

결과적으로 다구찌 방법은 S/N비에 의해서 최소의 변동을 가진 조건을 결정할 수 있게 된다.

본 연구에서는 목분과 수지로서 PP를 이용하여 목분의 함량에 따른 복합체를 제조하여 이들의 기계적 성질을 알아보았다. 이때 PP는 1,4-phenylene dimaleimide (PDMI)로 개질 처리한 후 복합체를 제조하였다. 본 연구의 목적은 다음과 같다. (1) 목분-PP 복합체의 제조에 있어서 목분의 양과 개질제의 양에 따른 기계적 특성치의 최적 조건을 알아보기 위하여 다구찌 방법을 적용하였다. (2) 목분-PP 복합체의 기계적 특성치를 최대로 하는 목분의 양과 개질제의 양을 평가함으로써 다구찌 방법의 효율성을 확인하고자 한다. 그리고 (3) 최적 조건의 확인으로 향후 목분-PP 복합체의 적용에 있어서 기본적인 데이터로 활용코자 한다.

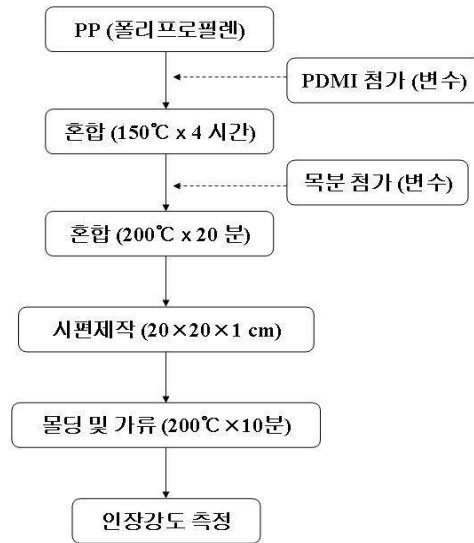
## 2. 실험

### 2-1. 시 약

본 실험에 사용된 polypropylene (PP)은 대한유화공업의 수지를 사용하였고, 목분 (금호 산업)은 플라스틱 성형용으로 침상 구조를 갖는 구조를 사용하였다. 그리고 PP의 개질제인 1,4-phenylene dimaleimide (PDMI)는 Aldrich의 시약을 그대로 사용하였다.

### 2-2. 실험 절차 및 분석

본 실험에서는 <그림 1> 에서 보는바와 같이 일정량의 목분과 개질된 PP 수지를 혼합하기 위해서 밀링 장비를 사용하였고, 이때의 온도는 PP가 녹을 수 있는 200℃를 유지하면서 충분히 혼합될 수 있도록 약 20분간 진행하였다.



<그림 1> 시편 제작 절차도

여기서 PP수지의 개질은 PDMI의 양을 변화 시켜 가면서 150℃에서 4시간 동안 반응 시켜 제조 하였다. 그리고 목분의 양을 변화 시키면서 200℃에서 20분간 혼합 하였다. 그리고 이 공정에서 얻어진 시료가 10 mm의 두께를 갖도록 냉압한 후 20×20 cm로 절단 하였다. 그리고 마지막으로 제작 된 시편은 200℃×10분의 조건으로 몰딩 및 가류 과정을 거쳐 최종적으로 얻어졌다. 얻어진 시료의 인장 강도를 측정하기 위해서 ASTM-D638에 의하여 Instron Co.의 Universal Test Machine (UTM)을 이용하여 측정하였다.

### 2-3. 다구찌 실험 디자인

다구찌 방법은 일본의 통계학자이자 엔지니어였던 다구찌겐이치(田口玄一) 박사에 의해 개발되어 온 것으로서 기술을 최적화하기 위한 하나의 방법이다. 1980년 다구찌 박사가 미국 Bell연구소에서 반도체에 관한 생산기술 개발을 지도하여 대성공을 거둔 것이 계기가 되었고, 현재는 세계적으로 확산되어 다구찌 방법, 로버스트 디자인 (Robust Design) 등으로 표현하고 있으며, 일본에서는 품질공학(Quality Engineering) 이라고도 표현한다. 본 연구에서 제조된 목분-PP 복합 수지의 기계적 특성은 목분의 양과 PP의 개질제인 PDMI의 첨가량 등에 의해서 많은 영향을 받게 된다. 그런데 이러한 변수들 간의 관계들은 복잡하며, 이들 변수들 간의 최적 조건과 영향력을 찾는다는 것은 많은 시간과 노력을 필요로 하는 일이다. 특히, 이러한 변수들 외에 알지 못했던 즉, 제어 불가능한 잡음 인자들의 영향을 파악하기란 매우 쉽지 않다. 이러한 이유로 인해서 다구찌 둔감 설계를 적용할 수가 있다. 이 방법은 최소의 실험을 통하여,

고려되어진 모든 변수 및 수준들의 영향을 파악할 수 있다는 장점이 있으며, 특히, 최적 조건으로서 가장 작은 변동 (variability)을 가진 실험 조건을 결정할 수도 있다. 특성의 변동은 잡음 인자에 기인하며, 이는 제어하기 힘든 변수를 의미한다. 그 반면에 제어가 용이한 변수를 제어 인자라 부르며, 그 변동을 S/N비 (signal to noise ratio)라 표현한다. 일반적으로 최대 S/N비를 갖는 실험 조건이 최적 조건으로 간주되며, 특성치의 변동은 S/N비와 반비례 하게 된다.

### 3. 결과 및 고찰

#### 3-1. 다구짜 디자인과 분산분석

본 연구에서는 목분-PP 복합 수지의 기계적 특성에 영향을 미치는 인자로서 목분의 양과 개질제의 양을 선택하였으며, 이 두 가지 인자의 교호 작용이 있을 것이라 고려하여 세 번째 인자로서 교호 작용을 선택하였다. <표 2> 에서 보는 바와 같이 각 인자의 수준은 3수준으로 하는 L9형 직교 배열을 이용하였다. 그리고 목분과 PDMI의 범위는 각각 0~45% 그리고 0~33% 내에서 실험을 실시하였다. <표 3> 에 L9(34)형 직교배열을 이용한 인장 강도의 실험값과 이에 따른 S/N비의 값을 나타내었다.

<표 2> 실험에서 사용된 변수와 수준

| 요인  | 수준                     | (1) | (2) | (3) |
|-----|------------------------|-----|-----|-----|
| A   | 목분(wood powder)의 양 (%) | 0   | 25  | 45  |
| B   | 개질제(PDMI)의 양 (%)       | 0   | 16  | 33  |
| A×B | A와 B의 교호작용             | -   | -   | -   |

<표 3> L9(34) 실험 배치에 의한 실험값과 S/N비

| 실험번호 | A | B | A×B | 오차항 | 인장강도     |          |
|------|---|---|-----|-----|----------|----------|
|      |   |   |     |     | 실험값(MPa) | S/N비(dB) |
| (1)  | 1 | 1 | 1   | 1   | 32.0     | 30.103   |
| (2)  | 1 | 2 | 2   | 2   | 33.5     | 30.501   |
| (3)  | 1 | 3 | 3   | 3   | 30.0     | 29.542   |
| (4)  | 2 | 1 | 2   | 3   | 26.0     | 28.299   |
| (5)  | 2 | 2 | 3   | 1   | 32.5     | 30.238   |
| (6)  | 2 | 3 | 1   | 2   | 32.6     | 30.264   |
| (7)  | 3 | 1 | 3   | 2   | 19.7     | 25.889   |
| (8)  | 3 | 2 | 1   | 3   | 29.5     | 29.396   |
| (9)  | 3 | 3 | 2   | 1   | 24.0     | 27.604   |

여기서 계산된 S/N비의 값은 인장 강도가 크면 클수록 좋기 때문에 최대값을 얻을 수 있는 망대 특성으로 간주 계산되었다. 실험값은 7번 실험의 경우에서 최소(19.7 MPa)를, 2번의 실험에서는 최대값(33.5 MPa)을 나타내었다. <표 3> 의 S/N비 값을 이용해서 분산 분석표를 작성한 것이 <표 4> 이다.

<표 4> S/N비를 이용한 분산분석표 (ANOVA)

| 요인    | 제곱합(S) | 자유도( $\phi$ ) | 평균제곱(V) | F <sub>0</sub> 값 | F(0.05) |
|-------|--------|---------------|---------|------------------|---------|
| A     | 9.934  | 2             | 4.967   | 35.693*          | 19      |
| B     | 5.699  | 2             | 2.850   | 20.477*          | 19      |
| A×B   | 3.177  | 2             | 1.588   | 11.413           | 19      |
| 오차항   | 0.278  | 2             | 0.139   |                  |         |
| Total | 19.088 | 8             |         |                  |         |

5% 유의 수준에서 각 인자들의 F<sub>0</sub>값을 살펴보면 A인자 즉, 목분의 양이 기계적 특성에 가장 영향을 많이 미치는 인자임을 알 수 있고, 다음으로 인자 B (개질제의 양)가 그 다음으로 영향을 미치는 인자임을 알 수 있었다. 그러나 실험 전 고려하였던 목분과 개질제의 교호 작용은 그 영향이 미미한 것으로 나타났다. 비록 본 연구에서 교호 작용의 효과가 없었지만 일반적으로 실험을 하기에 앞서서 교호 작용의 효과는 반드시 고려해 보아야 한다. 이때 주의할 점은 실험자 개인의 생각이 아닌 많은 선행 연구에서 얻어진 자료를 근거로 하고 있다는 것 즉, 객관성을 항상 유지해야 한다는 것에 주목하여야 한다. 물론 이러한 영향력이 반드시 존재한다고 할 수는 없지만 두 인자간의 상호 영향력이 있을 것이라고 추측이 될 때에 실험자는 반드시 교호 작용을 고려하여 실험을 하는 것이 바람직하다고 볼 수 있다.

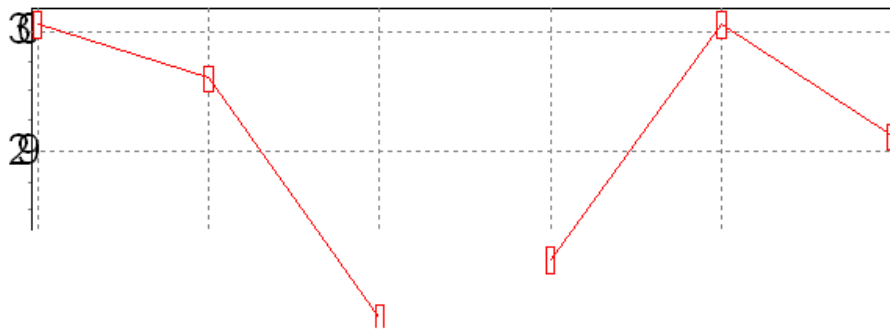
### 3-2. S/N비를 이용한 각 인자별 수준 분리

<표 5> 는 S/N비를 이용하여 각 인자별로 수준을 분리한 표이다. 예를 들면 A 인자의 경우 <표 3> 의 실험 번호 (1), (2), (3)에 해당하는 S/N비의 값을 합하고 평균한 값이 1 수준의 값 (30.0)이며, 2 수준의 값 (29.6)은 실험 번호 (4), (5), (6)에 해당하는 데이터이다. 또한 <표 5> 의 2 수준 B 인자의 값 (30.0)은 <표 3> 의 실험 번호 (2), (5), (8)에 해당하는 S/N비 데이터의 평균값이다. <표 5> 에서 보듯이 각 인자 별 수준의 최대-최소값은 기여율에서 보듯이 인자 A가 가장 영향이 많은 것으로 나타났다.

이러한 결과는 <표 4> 의 ANOVA 분석표를 이용한 결과와 매우 일치함을 알 수 있다. <표 5> 에 기초하여 그래프를 그린 것이 <그림 2> 에 보여 진다.

&lt;표 5&gt; S/N비를 이용한 각 인자별 수준 분리

| 요인<br>S/N비               | 평균 S/N 비 (dB) | 평균 S/N 비 (dB) |      |       |        |        |
|--------------------------|---------------|---------------|------|-------|--------|--------|
|                          |               | 수준1           | 수준2  | 수준3   | 최대-최소  | 기여율(%) |
| A 목분(wood powder)의 양 (%) | 30.0          | 29.6          | 27.6 | 2.419 | 55.394 |        |
| B 개질제(PDMI)의 양 (%)       | 28.1          | 30.0          | 29.1 | 1.948 | 44.606 |        |



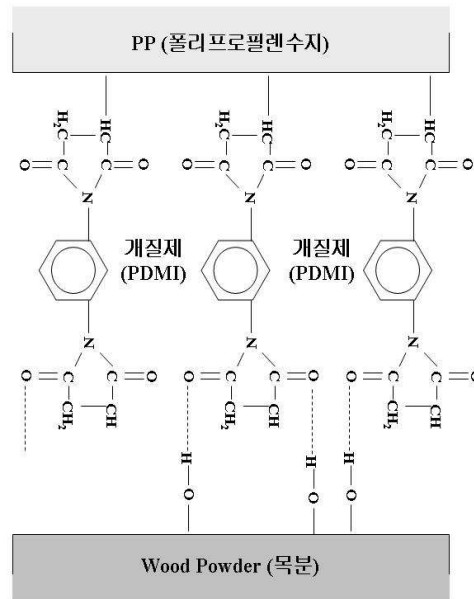
&lt;그림 2&gt; 인장 강도에 대한 S/N 그래프

본 실험에서 적용한 기계적 강도는 크면 클수록 좋은 망대 특성이므로 S/N비의 값이 높을수록 최적 조건이 된다. 즉, 본 연구에서의 최적 조건은 인자 A (목분의 양)의 경우 1수준, 그리고 인자 B (개질제의 양)의 경우 2수준이 된다. 결과적으로 기계적 강도를 최대로 하는 최적의 조건은 A1B2가 된다.

### 3-3. 개질제와 목분 양의 영향 및 최적 조건의 결정

일반적으로 상기 결과에서 보는바와 같이 목분의 함량이 증가함에 따라 기계적 인장 강도는 감소하는 것을 알 수 있다. 그러나 개질제가 첨가됨으로써 인장 강도의 향상을 볼 수 있는데 이는 <그림 3>에 나타난 바와 같이 개질제인 PDMI가 첨가되면서 개질된 PP의 PDMI가 가공 공정 중에 PP수지와 grafting 반응의 가능성을 나타낸 것으로 볼 수 있다.

또한 bismaleimide로 개질 처리한 PP와 셀룰로오스의 복합체에서 셀룰로오스의 -OH groups이 bismaleimide의 산소와 수소 결합을 하기 때문에 기계적 강도가 증가한다고 보고한바 있다[9]. 이들의 결과와 마찬가지로 목분의 -OH groups들과 PDMI의 산소와 수소 결합을 형성하기 때문에 인장 강도가 증가하는 것으로 판단된다. 이렇게 목분의 양과 개질제의 양에 대한 각각의 최적 조건을 나타낸 결과가 <표 6>에 보여진다.



<그림 3> PP와 목분에서 개질제의 역할

<표 6> 예측 값과 실험값의 비교

|     | 인장강도 (MPa) |          |                |
|-----|------------|----------|----------------|
|     | 최적수준       | 인장강도     | S/N ratio (dB) |
| 예측값 | A1B2       | 33.9 MPa | 30.833         |
| 실험값 | A1B2       | 33.5 MPa | 30.501         |

표에서 보는 바와 같이 예측 값과 실제 측정한 값 간의 차이가 거의 없이 매우 잘 일치하는 것을 볼 수 있다. 결론적으로 다구찌 실험 계획법의 시도로 인해 각 인자의 최적 조건을 적절히 구할 수 있음을 알 수 있었다.

#### 4. 결론

본 연구에서는 목분과 수지 (PP)의 혼합에 있어서 목분의 양을 변화 시키고, 개질제를 첨가함으로써 목분-PP 복합체의 기계적 특성치 변화를 살펴보았으며, 이에 대한 최적 조건을 찾기 위하여 효율적 실험 방법인 다구찌 방법을 적용하였다. 그리고 그 결론은 다음과 같았다.

- (1) 목분의 양이 증가함에 따라서 복합체의 기계적 강도는 감소하였으나, 그와는 반대로 개질제의 양이 증가함에 따라서 인장 강도가 증가하는 것을 알 수 있었다.



- (2) 목분과 개질제가 인장 강도에 미치는 영향을 알아보기 위해서 S/N비를 이용한 ANOVA 분석을 실시한 결과 두 인자 모두 5% 유의 수준의 범위 내에서 모두 영향을 미쳤으며, 특히 목분의 양은 가장 유의한 인자임을 알 수 있었다.
- (3) 다구찌 방법을 통해 최적 조건을 알아본 결과 A1B2의 조건이 최적 조건이었으며, 이때의 예측 값과 실험값은 매우 잘 일치함을 알 수 있었다.

## 5. 참 고 문 헌

- [1] J. K. Rogers, Mod. Plast., 67, 66(1990).
- [2] A. S. Wood, Mod. Plast., 68, 50(1991).
- [3] R. G. Raj, B. V. Kokta, and C. Daneault, Int. J. Polym. Mater., 15, 239(1989).
- [4] D. Maldas and B. V. Kokta, J. Appl. Polym. Sci., 40, 917(1990).
- [5] 박성현, 현대 실험계획법, 민영사, 2003.
- [6] 박성현, 다구찌 방법을 중심으로한 응용실험계획법, 영지문화사, pp. 177.
- [7] G. Taguchi, Introduction to Quality Engineering, Asian Productivity Organization, Tokyo, 1990.
- [8] R. Roy, A Primer on the Taguchi Method, Van Nostrand Reinhold, New York, 1990.
- [9] M. M. Sain, B. V. Kokta, and D. Maldas, J. Adhesion Sci. Technol., 7, 1,49(1993).