

폐지 용액화물로부터 성분분리 및 분석*1

장준복*2† · 양재경*3 · 임부국*4 · 이종윤*4

The Analysis and Isolation of Component from Liquefied Wastepaper

Jun-Pok Chang*2† · Jae-Kyung Yang*3 · Bu-Kug Lim*4 · Jong-Yoon Lee*4

요약

본 연구는 폐지로부터 용액화물을 제조하고, 제조된 용액화물의 성분 분리 및 성분분석을 통해 용액화물의 효율적인 이용방안을 위한 기초자료 제공에 그 연구 목적이 있다.

폐지의 액화에 있어 건식해리된 폐지보다 습식해리된 폐지의 액화가 비교적 용이하였으며, 이러한 이유는 습식해리된 폐지의 약품 침투가 비교적 용이하기 때문으로 판단된다. 폐지의 최적 액화조건은 폐지 1 g에 대해 크레졸 2 ml, 물 4 ml, 인산 0.5 ml로 첨가하여 190°C에서 60분간 액화 시킨 조건이 가장 우수하였다. 폐지 액화물 중 리그닌은 용제인 크레졸 층으로, 탄수화물은 수층으로 용해되어 각각 분리되며, 두 성분의 분리·회수는 비교적 용이하였다. 액화 폐지 중의 리그닌은 80% 이상 회수되었고, 회수된 리그닌의 분자량은 1,000 정도의 저분자량을 나타내었다.

ABSTRACT

This research was carried out to investigate the component isolation method from liquefied waste paper, and isolated component was analyzed by molecular weight distribution with gel chromatography and nitrobenzene-oxidation analysis.

In the aspect of liquefaction ratio, wet defibration fiber are better than dry defibration fiber because of wet defibration fiber was easy to access of chemical solution. The optimal liquefaction condition of waste paper was treated at 190°C for 60 min(cresol 2 ml, water 4 ml, phosphoric acid 0.5 ml based

*1 접수 2003년 2월 24일, 채택 2003년 4월 28일

*2 중부대학교 생명과학부, Division of Life Science, Joongbu University, Kumsan 312-940, Korea

*3 경상대학교 농과대학, College of Agriculture, Gyeongsang National University, Jinju 660-701, Korea

*4 경북대학교 임산공학과, Department of Wood Sci. & Tech., Kyungpook National University, Daegu, Korea

† 주저자(corresponding author) : 장준복(e-mail: jpchang@joongbu.ac.kr)

on waste paper 1 g). In the liquefied waste paper, lignin and carbohydrate were separated with two interfacial layer(cresol layer, water layer). In the chemical analysis of isolated lignin, molecular weight distribution of isolated lignin was below 1,000.

Keywords: Liquefaction, Wastepaper, Lignin, Carbohydrate, Molecular weight distribution

1. 서 론

석유 등 화석자원의 유한성에 따른 대체 소재 개발에 관한 연구는 전 세계적으로 다양하게 진행되고 있으며, 이러한 화석자원의 대체 소재로써 목질 바이오매스 자원의 중요성은 재고의 여지가 없다. 특히 생활 수준의 향상과 더불어 각종 폐기물의 발생량은 점차 증가하는 추세에 있고, 이에 따른 폐 목질 바이오매스 자원(임지폐잔재, 폐지 등)의 효율적인 이용 방안에 관한 연구가 반드시 추구되어야 할 것으로 판단된다. 이러한 폐 목질 바이오매스 자원의 이용 방안은 크게 두 분야로 나눌 수 있으며, 셀룰로오스와 리그닌 등 식물체 구성성분을 그대로 화학가공에 직접 이용하는 방안과 그 성분을 분해하여 화학가공의 원료 또는 에너지원으로써 이용하는 방안이 있다(神原, 1997). 특히 후자의 저분자화에 따른 화학가공 방법으로는 용액화라는 연구 분야가 주목받고 있고, 용액화란 목질 자원을 화학반응에 따라 액상 물질로 전환시키는 일련의 과정을 말한다. 이러한 용액화물은 목재 중에 존재하는 성분을 모두 가지고 있기 때문에 석유화학계 소재를 대체할 수 있는 원료물질로써 이용이 가능하다. 한편 현재 이러한 용액화의 방법으로는 촉매없이 고온으로 용해시키는 직접법, 적절한 촉매를 첨가하여 용해하는 솔보리시스법과 염소화에 따라 용해성을 향상시킨 제 3의 용해법으로 구분되어진다(한, 1995). 또한 이러한 방법 외에도 고분자 소재로써의 적용성을 검토하기 위해 목질계 소재의 에테르화 또는 에스테르화 등 화학적 변환에 따라 목질계 소재의 열유동성 및 용해 가능성이 향상된다는 보고도 있다(도 등, 1995). 한편 이러한 용액화에 따른 기능성 소재에 관한 연구도 매우 활발하게 진행되고 있으며, 이러한 연구의 일환으로 용액화물로부터 접착제의 제조(Siraishi, 1986), 도료의 제조(도, 1994), 발포체의 제조(中谷, 1990) 및 플라스틱의 제조(森田, 1985) 등 많은 연구

가 행해지고 있고, 일부는 상용화된 사례도 있다. 그러나 용액화물로부터 화학공업원료의 효율적인 전환을 위해서는 주요 구성성분의 저분자화 메카니즘에 관한 연구가 시행되어야 할 필요성이 있으며, 저분자화되어 생성된 생성물의 성상 및 특성을 연구해야 될 필요성이 있다. 현재까지는 용액화물 자체의 성상 분석 및 응용 연구에 관해서는 많은 연구가 진행된 것은 사실이지만, 저분자화 메카니즘이나 구성성분의 분리 시스템의 확보에 관해서는 다소 미흡한 측면이 있다.

따라서 본 연구에서는 폐지로부터 용액화물을 제조하고, 제조된 용액화물의 구성성분을 분리하여 그 성상 분석을 행함에 따라 용액화물의 효율적인 이용방안을 위한 기초자료 제공에 그 연구목적이 있다.

2. 재료 및 방법

2.1. 공시재료

본 연구에서 사용한 공시재료는 경북대학교 교내에서 발생하는 신문폐지(ONP, Old Newspaper), 골판폐지(OCC, Old Corrugated Container board), 사무실용 폐지(MOW, Mixed office waste)를 무작위로 선택한 다음, 이러한 시료들을 문서세단기에 통과시켜 2×25 mm 크기로 세단된 시료를 제조하였다. 한편, 전보(권 등, 2000)에서 보고한 바와 같이 건식해리 펄프와 습식 해리 펄프를 각각 제조하여 공시재료로 사용하였다.

2.2. 공시재료의 액화

시료 2 g을 20 ml 용기의 stainless steel bomb (SUS-316)에 넣고 용매로 *m*-cresol, 물 및 촉매로 인산을 혼합하여 넣은 다음 oil bath에서 Table 1과 같

Table 1. Condition of liquefaction

| Solvent composition(ml / 1 g of wood) | | Condition | |
|---------------------------------------|--------------|-----------------|----------------|
| <i>m</i> -cresol | 0.0 ~ 4.0 ml | Temperature(°C) | 180~200°C |
| Water | 0.0 ~ 4.0 ml | Time(min.) | 30, 45, 60, 75 |
| Phosphoric acid | 0.0 ~ 0.4 ml | | |

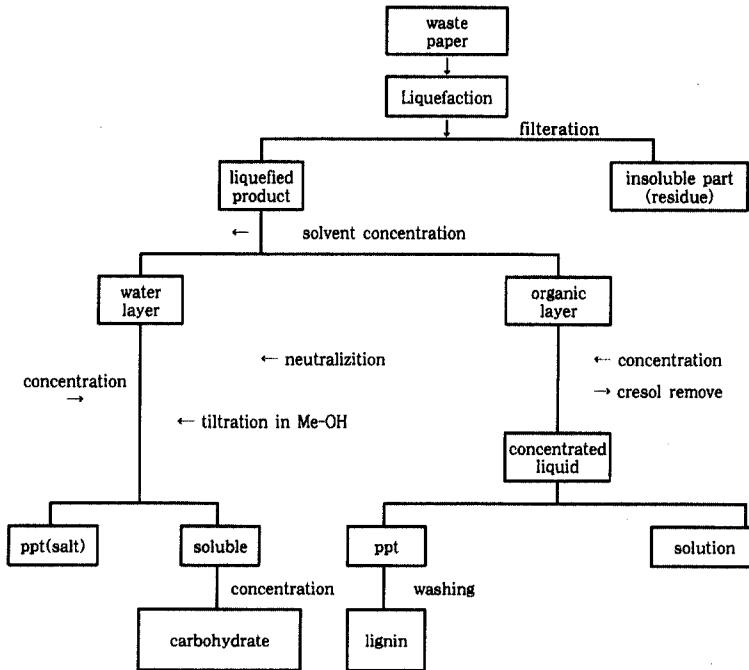


Fig. 1. Isolation of carbohydrate and lignin from liquefied waste papers.

은 조건으로 반응시켰다.

반응이 끝난 후 bomb를 수돗물을 흘려 급냉시켜 반응을 중지시킨 다음 반응물을 100 ml 비커에 옮기고 2G3 glass filter에 여과하고 acetone과 물로 반복하여 충분히 세척한 다음 건조기에서 glass filter를 충분히 건조시켜 남은 잔사의 양을 측정하고 사용된 시료의 중량과의 비율로서 액화율을 구하였다.

$$\text{액화율}(\%) = [1 - (\text{잔사의 중량} / \text{시료의 중량})] \times 100$$

2.3. 액화물의 성분분리

액화물의 성분분리는 액화물을 회전 감압농축기

를 이용하여 반응에 사용된 용제를 제거한 후 분액 여두에 옮기고 증류수 100 ml를 첨가하여 수층과 용매인 크레졸 층을 분리하였다. 이 조작을 3회 반복하였다. 분리한 수층을 수산화나트륨으로 중화시킨 다음 농축하여 메탄올에 적하하고 침전되는 염을 filter paper로 여과하여 제거한 다음 여과액을 농축하여 탄수화물을 점액상으로 회수하였다. 한편, 분리한 크레졸층에 메탄올을 첨가하여 회전 감압농축기로 액화에 사용된 크레졸을 제거한 후, 초산을 첨가하고 증류수에 적하하여 침전되는 리그닌을 filter paper로 여과·회수하였다. Fig. 1은 본 연구에서 행해진 액화물의 성분분리 모식도를 나타낸 것이다.

2.4. 분리된 액화물의 성분 분석

2.4.1. 분리된 탄수화물의 성분분석

상기 2.3항과 같이 분리된 탄수화물의 성분 분석은 alditol-acetate법(Bochardt *et al.*, 1970)에 의한 구성당 분석으로 행하였으며, 당함량은 표준물질인 inositol을 기준으로 계산하였다.

2.4.2. 분리된 리그닌의 수율측정

액화물로부터 분리된 리그닌은 분말상으로 회수되었으며, 그 회수율은 다음과 같은 식에 의해 계산하였다.

$$\text{리그닌 회수율(\%)} = [1 - (\text{회수된 리그닌의 중량} / \text{료의 중량})] \times 100$$

2.4.3. 분리된 리그닌의 분자량분포 측정

액화물로부터 단리한 리그닌을 0.1 N 수산화나트륨 용액에 용해시켜 Shepadex G50 medium(1×100 cm) column에 주입한 후 용출시켰다. 용출액은 UV detector (Eyela Co. 280 nm)로 검출하였으며, 7 ml 씩을 fraction collector (Gilson Co., FC205)를 이용하여 분취하였다. 한편, 표준물질은 Blue dextran (M_w 1000)과 Cellobiose(M_w 348)을 사용하였다.

2.4.4. 분리된 리그닌의 Nitrobenzene oxidation

용액화물에서 단리한 리그닌을 2 N 수산화칼륨 용액 4 ml와 Nitro-benzene 0.3 ml와 혼합하여 bomb에 투입한 다음, 160°C의 oil bath에서 2시간 동안 반응시켰다. 반응 후 냉각시킨 다음 0.1 N 수산화칼륨 20 ml로 세정을 행하였다. 여액과 세정액을 합하여 분액여두에서 chloroform 30 ml로 2회 추출을 하고 상등액을 1 N 염산용액으로 pH 2-3이 되도록 조절하였다. 이것을 다시 chloroform 30 ml로 2회 추출을 행한 다음, 10 ml의 증류수를 첨가하고 황산나트륨(Na_2SO_4)을 첨가하여 하룻밤 동안 탈수시켰다. 이것을 다시 chloroform 30 ml로 세척한 다음 여과액을

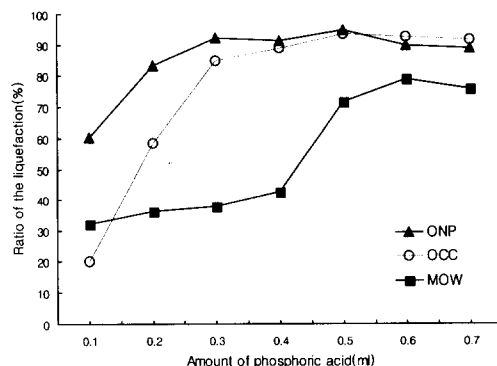


Fig. 2. The effect of phosphoric acid amount in the liquefaction. (4 ml *m*-sresol, 4 ml water, per 1 g of wood, 190°C, 60 min)

감압농축하여 G.L.C.로 리그닌 관능기를 분석하였다 (박 등, 1993).

3. 결과 및 고찰

3.1. 공시재료의 액화

폐지를 액화하는데 최적조건을 조사하기 위하여 액화온도, 시간, 크레졸, 물 및 인산의 양을 Table 1과 같은 조건으로 변화시키며 액화하였다. Fig. 2는 시료 1 g에 *m*-cresol 4 ml, 증류수 4 ml를 첨가한 후 인산의 양을 0.1 ml에서 0.7 ml까지 변화시키며 190°C에서 60분간 액화하였다.

신문폐지는 0.5 ml, 골판폐지의 경우는 0.5 ml, 사무실용 폐지는 0.6 ml의 인산을 첨가하였을 때 액화율이 가장 높았으며, 그 이상의 양을 첨가하면 오히려 액화율이 감소하는 경향을 나타냈다. 위의 결과에서 폐지의 종류에 따라 인산의 첨가량을 달리할 필요가 있지만 일반적으로는 시료 1 g당 0.5 ml 인산을 첨가하는 것이 적합하다고 판단된다. 사무실용 폐지의 경우 다른 폐지에 비해 인산의 첨가량이 많아지는 이유는 폐지중에 존재하는 무기물질들이 촉매로 사용된 인산과 반응하기 때문이라고 생각된다. 또한 같은 조건에서 사무실용 폐지가 액화율이 낮은 것은 폐지 중

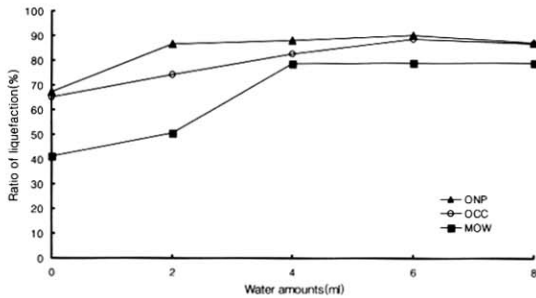


Fig. 3. The effect of distilled water amount in the liquefaction. (ONP, OCC : 0.5 ml, MOW : 0.6 ml, phosphoric acid, 190°C, 60 min)

에 존재하는 리그닌 및 헤미셀룰로오스의 양에도 관계가 있다고 생각된다. 즉 사무실용 폐지는 다른 폐지에 비해 폐지에 첨가된 무기성분의 함량이 많고 폐지의 대부분이 화학펄프로서 cellulose의 함량이 높아 이들이 액화율에 영향을 미쳤다고 생각된다(이 등, 2000).

Fig. 3은 신문폐지와 골판폐지는 0.5 ml, 사무실용 폐지는 0.6 ml의 인산을 첨가한 후 물의 첨가량만을 0~8.0 ml까지 변화시켜 190°C에서 60분간 액화한 결과를 나타낸 것이다.

4 ml까지는 물의 첨가량이 많아질수록 액화율도 증가하여 대부분 4 ml에서 가장 높은 액화율을 나타냈으며, 그 이상으로 물을 첨가하면 오히려 액화율은 감소하였다. 이것은 물의 첨가량이 많아질수록 인산의 농도가 떨어져 가수분해 반응이 충분히 일어나지 않기 때문에 액화율이 감소한다고 생각된다. 즉 폐지에 대하여 적정량의 수분은 섬유질의 팽윤 및 산가수분해 반응을 촉진시키지만 일정비율 이상의 수분은 산의 농도를 떨어지게 하는 인자로 작용한다고 생각된다. 적절한 물의 첨가량은 시료 1 g 당 4 ml라고 판단된다.

Fig. 4는 물을 4 ml, 인산 0.5 ml 첨가한 후 크레졸을 0~8.0 ml로 첨가량을 변화시켜 190°C에서 60분간 액화한 결과를 나타낸 것이다.

크레졸 첨가량이 2 ml까지는 액화율이 첨가량에 비례하여 증가하지만, 2 ml를 초과하면 액화율은 증가하지 않았다. 사무실용 폐지와 골판폐지는 크레졸

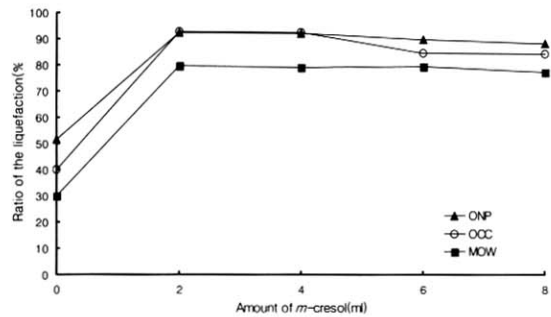


Fig. 4. The effect of m-cresol amount in the liquefaction. (4 ml water, 0.5 ml phosphoric acid, 190°C, 60 min)

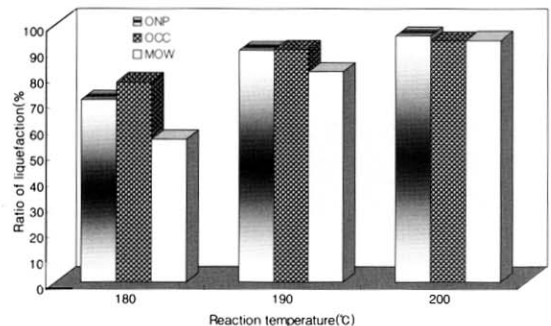


Fig. 5. The effect of reaction temperature in the liquefaction. (dry defiberated paper)

의 첨가량이 많아지면 오히려 액화율이 감소하였다. 이것은 첨가된 크레졸이 많으면 상대적으로 인산의 농도가 감소하여 탄수화물의 분해가 저해되기 때문이라고 생각된다. 일반적으로 용매를 사용한 액화반응은 용매에 의한 solvolysis에 의해 리그닌이 저분자화되고 촉매인 산에 의해 탄수화물의 가수분해 반응이 주로 일어나 액화된다고 알려져 있다(장 등, 1987). 따라서 폐지의 액화에서 적합한 크레졸 첨가량은 시료 1 g당 2 ml로 나타났다.

Fig. 5는 건식해리 폐지 1 g에 물을 4 ml, 인산 0.5 ml, 크레졸을 0.5 ml 첨가한 후 액화온도를 180~200°C로 변화시키면서 60분간 액화한 결과를 나타낸 것이다.

신문폐지와 골판폐지의 경우 190°C에서, 사무실용 폐지는 200°C에서 90% 이상의 액화율을 나타냈다.

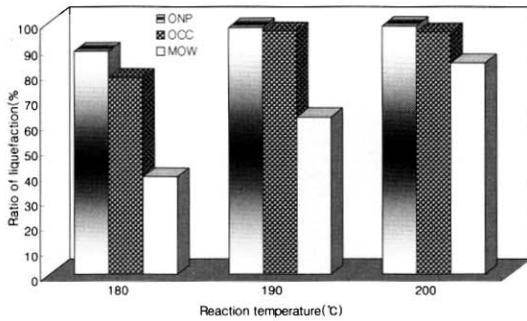


Fig. 6. The effect of reaction temperature in the liquefaction. (wet defiberated paper)

폐지의 종류에 따른 액화율의 차이는 폐지 중에 함유된 리그닌의 함량에 차이 때문이기도 하며, 사용된 시료의 종류에 따라서 달라진다고 생각된다. 즉 사무실용 폐지는 리그닌 함량이 낮은 화학펄프가 많고 또한 결정을 갖는 셀룰로오스가 많기 때문이라고 생각된다. 신문폐지와 골판폐지의 경우 190°C의 액화온도가, 사무실용 폐지의 경우는 200°C가 적합한 조건으로 나타났다.

Fig. 6은 습식해리 폐지 1 g에 인산 0.5 ml, 크레졸을 0.5 ml 첨가하고 물은 첨가하지 않고 액화온도를 180~200°C로 변화시키면서 60분간 액화한 결과를 나타낸 것이다.

습식해리의 경우는 시료자체가 상당량의 수분(평균 70% 함유율)을 함유하고 있기 때문에 물을 첨가하지 않고 액화를 시켰다. 건식해리에 비해 신문폐지와 골판폐지는 액화율이 높게 나타난 반면, 사무실용 폐지는 액화율이 낮았다. 사무실용 폐지가 낮은 이유는 역시 시료중의 리그닌 함량이 낮고, 상대적으로 탄수화물 및 무기물의 함량이 높고, 폐지에 들어있는 수분에 의해 촉매인 인산의 농도가 낮아져 산에 의한 탄수화물의 분해가 충분히 일어나지 않았기 때문이라고 생각된다. 신문폐지와 골판폐지에 있어서는 건식해리와 습식해리를 비교하면 습식해리가 액화에 유리하다고 판단되며, 이 경우 폐지 중의 수분의 조절이 필요하다고 생각된다.

Fig. 7은 물을 4 ml, 인산 0.5 ml, 크레졸 2.0 ml를 첨가하여 190°C에서 시간을 30~75분으로 변화시켜 액화한 결과를 나타낸 것이다.

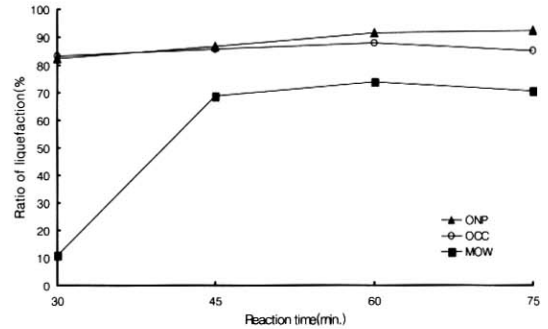


Fig. 7. The effect of reaction time the liquefaction. (4 ml water, 2.0 ml cresol, phosphoric acid 0.5 ml, 190°C)

사무실용 폐지를 제외한 폐지는 30분간의 초기 반응에서 80% 이상의 높은 액화율을 나타냈으며, 60분에서 최고의 액화율을 나타냈고, 그 이상의 시간에서는 큰 변화가 나타나지 않았다. 사무실용 폐지의 경우에는 초기 30분간에 매우 낮은 액화율을 나타냈고, 시간이 길어지면 액화율도 증가하여 60분에서 최고치를 나타냈으며, 그 이상에서는 액화율이 감소하였다. 이것도 역시 앞에서 설명한 것처럼 시료 중의 리그닌과 무기물함량 및 사용된 펄프의 종류에 의한다고 생각된다.

이상의 결과를 요약하면 폐지 액화에 적합한 조건은 건식해리보다 습식해리한 시료가 좋고, 시료 1 g에 대하여 크레졸 2 ml, 물 4 ml, 인산 0.5 ml를 첨가하여 190°C에서 60분 액화하는 조건이 좋은 것으로 나타났다.

3.2. 분리된 액화물의 성분분석

3.2.1. 분리된 탄수화물의 성분분석

액화물에서 분리된 탄수화물은 액상으로 얻어졌고, 수층으로 분리된 탄수화물의 분석 결과를 Table 2에 나타내었다.

액화물의 탄수화물 분석 결과에서 상당량의 탄수화물이 용액화 과정 동안 분해되어 변질된 당으로 존재하기 때문에 정확한 분석은 사실상 불가능하였으며, 검출된 당량을 백분율로 환산하여 상대비만으로 나타

Table 2. Sugar composition of waste papers treated with oxygen-alkali treatment (%)

| Materials | Ara. | Xyl. | Man. | Gal. | Glu. |
|-----------|------|------|------|------|------|
| ONP | 13.7 | 17.9 | 14.0 | - | 54.4 |
| OCC | 10.6 | 21.7 | 7.6 | - | 60.1 |
| MOW | 14.6 | 19.8 | 8.9 | - | 56.7 |

Table 3. Yield of isolated lignin from liquefied waste paper

| Wastepapers | Lignin yield(%) |
|-------------|-----------------|
| ONP | 14.5 |
| OCC | 10.7 |
| MOW | - |

내었다. 그러나 탄수화물 분석 시 표준물질로 사용된 inositol에 비해 미량의 탄수화물만이 검출되는 것으로 보아 대부분의 탄수화물은 용액화 과정 동안 변질되어 이러한 현상이 발생된 것으로 생각된다.

3.2.2. 분리된 리그닌의 회수율

액화물에서 분리된 리그닌은 분말상으로 얻었으며, 얻어진 분말상 리그닌의 수율은 Table 3과 같다.

신문폐지와 골판폐지는 사용한 폐지에 대해 14.5% 및 10.7%의 수율로 분말상 리그닌이 얻어졌고 사무실용 폐지의 경우는 거의 얻을 수가 없었다. 사무실용 폐지는 폐지 자체내의 리그닌 함량이 1.1%로 매우 낮기 때문이다.

3.2.3. 분리된 리그닌의 분자량 분포

액화물로부터 단리하여 얻어진 신문폐지 및 골판폐지 리그닌의 분자량 분포는 Fig. 8 및 Fig. 9와 같다.

분자량분포 분석 결과 신문폐지는 분자량 1,000 부근에 대부분의 분포를 나타냈고 분자량 400 정도의 저분자량 부근에 피크를 나타냈다. 골판폐지도 신문폐지와 같은 분자량 분포를 나타냈다. 일반적으로 기계필프나 화학필프에 존재하는 리그닌의 분자량은 10,000 이상의 고분자량을 나타내지만 이들 폐지에

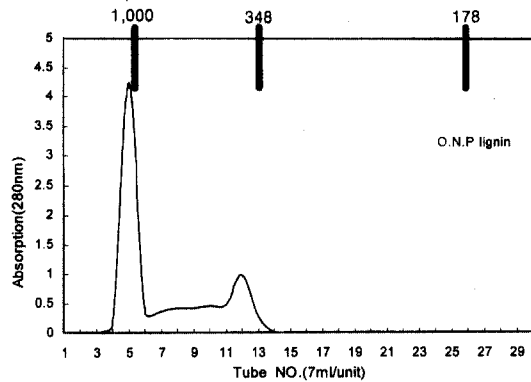


Fig. 8. Molecular distribution of ONP lignin obtained from liquefied waste paper.

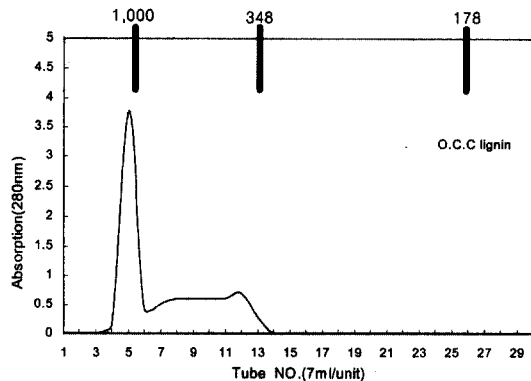


Fig. 9. Molecular distribution of OCC lignin obtained from liquefied waste paper.

함유된 리그닌은 용매인 크레졸에 의해 가용매분해를 받아 분자량 1,000 정도로 저분자화가 되었다고 생각된다. 이러한 저분자량의 리그닌은 용제에 대한 용해도가 높다. 위에서 언급한 것처럼 용제 용해성이 높게 나타나는 것도 이와 같이 리그닌이 저분자 상태이기 때문이다.

3.2.4. 분리된 리그닌의 nitrobenzene oxidation

Table 4는 액화 후 분리된 리그닌의 nitrobenzene oxidation 분석을 행한 결과를 나타낸 것이다.

액화 후 분리된 리그닌의 nitrobenzene oxidation 분석 결과에서 산화분해물이 일반적으로 알려져 있는

Table 4. Nitrobenzene oxidation of separated lignin components after liquefaction treatment

| Materials | Vanillin | Syringaldehyde | Vallinic acid | Syringic acid | Total |
|------------|----------|----------------|---------------|---------------|-------|
| ONP lignin | 6.9 | - | 0.9 | - | 7.8 |
| OCC lignin | 3.9 | - | 0.9 | - | 4.8 |

초산 리그닌에 비해 현저히 낮은 경향을 보이고 있으며(공 등, 2000). 이러한 원인은 액화과정 동안에 리그닌의 축합 혹은 탈메톡실화 반응과 β -arylether 결합의 개열에 의해 생성된 저분자 리그닌의 재축합과 같은 화학적 변화가 발생하였기 때문으로 생각된다.

4. 결론

석유 등 화석자원의 유한성에 따른 대체 소재 개발에 관한 연구는 전 세계적으로 다양하게 진행되고 있으며, 이러한 화석자원의 대체 소재로서 목질 바이오매스 자원의 중요성은 재고의 여지가 없다. 특히 생활 수준의 향상과 더불어 각종 폐기물의 발생량은 점차 증가하는 추세에 있고, 이에 따른 폐 목질 바이오매스 자원(임지폐잔재, 폐지 등)의 효율적인 이용 방안에 관한 연구가 반드시 추구되어야 할 것으로 판단된다.

본 연구는 폐지로부터 용액화물을 제조하고, 제조된 용액화물의 성분 분리 및 성분분석을 통해 용액화물의 효율적인 이용방안을 위한 기초자료 제공에 그 연구 목적이 있다.

폐지의 액화에 있어 건식해리된 폐지보다 습식해리된 폐지의 액화가 비교적 용이하였으며, 이러한 이유는 습식해리된 폐지의약품 침투가 비교적 용이하기 때문으로 판단된다. 폐지의 최적 액화조건은 폐지 1 g에 대해 크레졸 2 ml, 물 4 ml, 인산 0.5 ml로 첨가하여 190°C에서 60분간 액화시킨 조건이 가장 우수하였다. 폐지 액화물 중 리그닌은 용제인 크레졸 층으로, 탄수화물은 수층으로 용해되어 각각 분리되며, 두 성분의 분리·회수는 비교적 용이하였다. 액화 폐지 중의 리그닌은 80% 이상 회수되었고, 회수된 리그닌의 분자량은 1,000 정도의 저분자량을 나타냈었다.

참고 문헌

1. 神原彰. 1977. 地下有機資源とウッドケミカルス, 木材工業, 32(6), p. 3~8.
2. 한규성. 1995. 목재의 용액화와 접착제에의 응용, 목재공학, 23(2), p. 88~93.
3. 도금현, 공영토. 1995. 목재의 용액화, 목재공학, 23(20), p. 19~25.
4. Siraishi, N. and H. Kishi, 1986. wood-phenol Adhesives Prepared form Carboxymethylated Wood II, Mokuzai Gakkaishi, 32(7), p. 520~526.
5. 도금현. 1994. 목재의 용액화와 액화 목재의 용도개발, 경북대 박사학위논문.
6. 中谷啓一. 1990. ウレタン發泡體の製造法, 日本特許公報, 平 3~8370.
7. 森田, 坂田. 1985. 第35回日本木材學會研究發表要旨, p. 21~216.
8. 권기훈, 임부국, 양재경, 장준복, 이종윤. 2000. 폐지를 이용한 생분해성 고분자의 제조(I), 목재공학, 28(3), p. 34~41.
9. Bocharadt, L. G. and C. V. Piper, 1970, A Gas chromatographic method for carbohydrates as alditol-acetate, *Tappi J.* 53(2), p. 257~260.
10. 박상진, 이종윤, 조남석, 조병목. 1993, 목재과학실험서, p. 520-521.
11. 이종윤, 장준복. 2000, 생활쓰레기 중 폐지를 이용한 생분해성 고분자 및 신기능성 소재 개발에 관한 연구, 과학재단 특정기초연구보고서
12. 장준복, 이종윤. 1987. Solvolysis에 의한 소나무와 굴참나무의 목재 주요 성분분리, 펄프종이기술, 19(2), p. 37~45.
13. 공영토, 장준복. 2000, 액화목재 기능소재개발, 농림부 농특과제 연구보고서.