

리그닌 응용 분야 동향

이 배 훈

남양대학교

E-mail: lbh217@gmail.com

요약문

지구온난화는 세계 모든 사람들뿐만 아니라 생태계에 재앙이 될 수 있다. 지구온난화의 주범인 이산화탄소를 규제하는 많은 노력들이 이루어지고 있다. 그 중 이산화 탄소를 자라는 과정 중에 소비하는 바이오매스로 얻어지는 바이오에탄올은 차세대 친환경 에너지 자원으로 각광을 받고 있다. 옥수수과 사탕수수와 같은 식량자원으로부터 얻어지는 바이오에탄올에 비해 목질계로부터 얻어지는 바이오에탄올은 식량문제와 관련이 없이 더 효율적인 자원으로 부각되고 있다. 목질계 바이오 에탄올 또는 펄프 제조 과정에서 나오는 부산물인 리그닌은 주로 연소되어 버려진다. 목재 중량에서 리그닌은 20-30% 차지하기 때문에 바이오매스인 리그닌을 활용하는 연구들이 많이 진행 되고 있다. 현재 북미와 북유럽에서는 리그닌은 바인더, 계면활성제, 바닐라 원료, 착물 화합물 등으로 이미 상품화되어 이용되고 있으며, 앞으로 탄소 섬유, 바이오플라스틱, 그리고 화학제품의 기초 원료인 페놀류로 제품화하기 위해 많은 연구를 하고 있다. 리그닌은 가격변동이 심한 석유 화학 유래 제품들을 대체할 앞으로 블루오션이 될 수 있는 바이오매스이다.

Key Words: 리그닌(lignin), 바이오매스(biomass), 탄소 섬유(carbon fiber), 바이오플라스틱(bioplastic)

목 차

1. 서론
2. 본론
3. 결론
4. 참고문헌

1. 서론

지구온난화는 전세계 지도자들이 한자리에 모일 때마다 대책 토의되는 주요 안건이다. 지구 온난화는 지구상에 존재하는 모든 사람들뿐만 아니라 동식물 등 자연 생태계에 모두 영향을 미치는 중대한 현상이다. 지구온난화의 주범으로 화석연료를 사용시 발생하는 이산화탄소는 전세계적으로 배출량을 규제하고 있다. 이산화탄소를 다량 배출하는 값비싼 석유자원 대신 바이오매스는 자라는 과정 중 이산화탄소를 흡수 소비하기 때문에 친환경적인 자원으로 관심을 받고 있다. 즉 바이오매스로부터 얻어지는 바이오 연료는 화석연료와 달리 재생 가능한 에너지 자원이다. 바이오 연료는 바이오가스, 바이오에탄올, 그리고 바이오디젤으로 구성된다. 바이오가스는 음식폐기물의 미생물 분해를 통해 메탄이 주성분인 가스연료이며, 바이오에탄올은 옥수수, 사탕수수 등으로부터 에탄올을 제조하여 자동차 연료로 미국과 브라질에서 주로 활용되며, 바이오디젤은 식물성 기름과 동물성 지방으로부터 얻어지며 선박 및 대형 트럭 연료로 사용되고 있다. 한편 목질계 바이오매스 (lignocellulosic biomass)는 전체 바이오매스 자원의 90% 이상을 차지하며 주로 태워서 에너지를 얻는데 활용되고 있다. 목질계 바이오매스는 셀룰로오스 (cellulose), 헤미셀룰로오스 (hemicellulose)와 리그닌으로 구성된 풍부한 목질계 천연 자원으로 생분해성과 친환경성으로 인해 많은 주목을 받고 연구가 진행되고 있다. 한편 가수분해를 통해 당분으로 전환 가능한 셀룰로오스와 헤미셀룰로오스가 주로 액체 바이오에탄올 자원으로 활용되고 있다.

리그닌은 식물의 세포벽의 주요 구성 요소로서 나무 구조를 단단하게 만드는데 중요한 역할을 하는 물질이며, 목재 조성의 셀룰로오스 (40-43% 중량) 다음으로 22-29% (중량)을 차지하는 주요 자원이다. 리그닌은 펄프 제조 공정 중에서 셀룰로오스를 주요 산물로 만든 후 남은 공정 부산물이다 (그림 1). 즉 펄프와 제지 산업에서는 백색도를 높이기 위해 리그닌은 꼭 제거되어야 하는 불필요한 물질이었다. 최근 들어 목질계 바이오 매스를 이용한 바이오 에탄올을 제조하고 있는 과정에서도 공정 부산물인 리그닌이 많이 생산되고 있다. 목재에서 에탄올 발효원료의 당을 분리하기 위해 효소 및 용매들을 사용 전처리 과정을 통해 리그닌을 제거하는데 과정 중 리그닌의 화학적 구조들은 변화를 겪게 된다. 리그닌이 얻어지는 공정과 특징을 표 1을 통해 나타내었다. 공정 부산물인 리그닌은 대부분 연료로 소비되고 있다. 일부 리그닌이 북미와 북유럽에서 분산제, 접착제, 계면활성제로서 활용 응용되고 있는데 최근에는 리그닌은 바이오플라스틱 자원, 그리고 고가의 탄소섬유 자원으로 활발히 연구되고 있다.

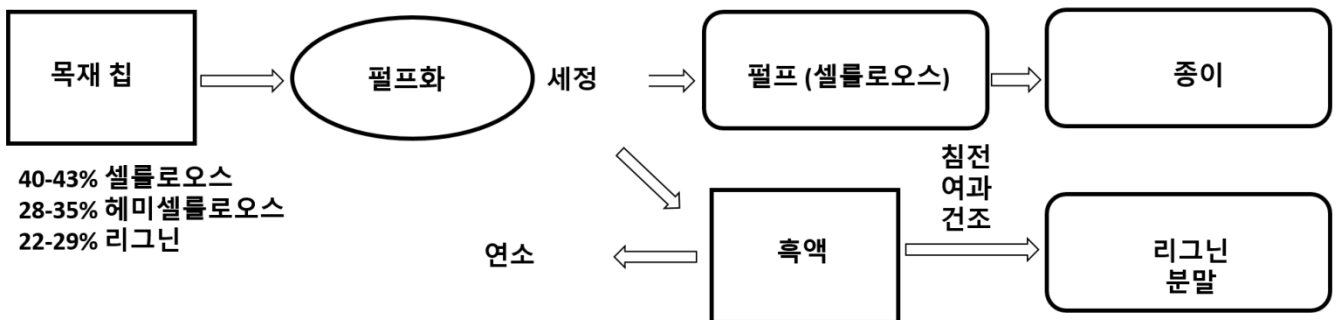


그림 1. 펄프화와 부산물 리그닌의 회수.

표 1. 리그닌의 종류, 추출 방법과 특징.

리그닌의 종류	추출 방법	특징
Kraft lignin (크라프트 리그닌)	Sodium sulfide/sodium hydroxide 용액 처리, 150-180 °C, 흑액으로 부터 리그닌 회수	대표 펄프 공정, SH 결합 (1-2% S)
Sulfite lignin (설파이트 리그닌)	Sulfurous acid 처리, 150-180 °C, lignosulfonate 형성 (95% 회수율)	수용성 (이온용액)
Organosolv lignin (유기용매 리그닌)	유기 용매 처리, 150-180 °C, 황이 포함되지 않는 친환경 공정	Inter-unit linkage (β -O-4) 구조, 용매 회수
Steam explosion lignin (스팀 폭쇄 리그닌)	고압 (200-500 psig), 고온 (180-230 °C) 스팀 처리, 펄프 섬유 (펄프수율: 낮음) 분리후 리그닌 회수 (90% 회수율).	저분자 리그닌, 유기 용매 용해성, Sulfur 없음
Dilute acid lignin (약산 처리 리그닌)	약산으로 셀룰로우스 분리후 리그닌 회수 (50-70% 회수율) (셀룰로오스의 분리 및 당화에 유리)	반응장치 부식 약산 회수 문제

에탄올 발효에 사용될 수 없는 성분인 리그닌은 지용성 페놀 고분자로서 페닐 프로판형의 탄소 골격 (C6-C3)을 가진 삼차원 망상 구조를 지닌다. 즉 리그닌은 삼차원 가교된 열경화성 고분자의 특성을 갖고 있다. 페닐프로판형 탄소 골격은 세 개의 cinnamyl alcohol 즉 para-coumaryl alcohol (hydroxyphenyl), coniferyl alcohol (guaiacyl), sinapyl alcohol (syringyl)과 같은 리그닌 전구체 (모노리그놀)로서 구성되며 효소 탈수소 반응으로 만들어진 리그닌 페닐프로판 구조 단량체들의 라디칼들이 carbon-carbon 또는 carbon-hydrogen 간의 라디칼 축합반응을 통해 방향족 고리 구조들이 ether 결합으로 다양한 형태의 삼차원 무정형 고분자인 리그닌을 만들어지게 된다 (그림 2). 리그닌은 메톡실기(methoxyl group), 수산기 (hydroxyl group), 그리고 카르보닐기 (carbonyl group)와 같은 기능기들을 가지고 있다. 이런 리그닌의 기능성기들은 화학적 개질을 통해 다양한 화학소재의 원료를 제조하는데 이용될 수 있다. 예를 들면 리그닌은 아스피린의 전구체로서 의약품 원료로 사용되기도 한다. 리그닌은 자연에서 존재하는 페놀류 화합물들 (천연 폴리페놀 화합물들)로서 각종 페놀성 물질과 방향족 화합물들의 원료로 이용될 수 있으며, 또한 리그닌은 항균성, 항산화성의 특성을 가지고 있어 천연 항산화제로서 활용될 수 있다. 리그닌의 페놀기에 붙은 수산기 (-OH)는 산성을 띠어 다양한 금속과 착물을 형성하기도 하여 토양 개선제 (서방성 비료)로서 또는 중금속 제거제로서 활용되기도 한다. 리그닌은 우수한 콜로이드 특성과 유동성을 지니고 있어 안정제 (stabilizer), 분산제 (dispersant)와 계면활성제(surfactant)로 활용된다.

산업 혁명 전후 리그닌은 가죽 염색 재료로 사용되었다가 점차로 시멘트와 아스팔트, 콘크리트 등의 도로 포장제의 안정제로 활용이 확대 되었다. 리그닌은 펄프 공정과 바이오 에탄올 생산에서 불필요한 물질이었지만 페놀계 정밀화학 제품 원료로 그리고 친환경 소재인 리그닌의 화학 개질을 통해 친환경 화학소재의 원료로 리그닌의 활용성이 최근 대두 되고 있다. 2008년 독일의 Tecnaro 회사는 리그닌을 이용하여 친환경 바이오플라스틱인 Arboform를 제품화 하였다. 또한 페놀수지와 에폭시 수지의 기본 원료인 phenol과 bisphenol A (BPA)은 독성 문제로 인해 천연에 존재하는 phenol 형태의 친환경 리그닌을 통해 환경친화적인 플라스틱을 생산하는 연구들이 활발히 진행되고 있다. 그 외에도 리그닌의 다양한 수산기를 활용한 친환경 폴리우레탄 플라스틱을 제조할 수 있다. 여기서 우리는 리그닌을 활용한 산업적 응용에 대해 알아보려고 한다.

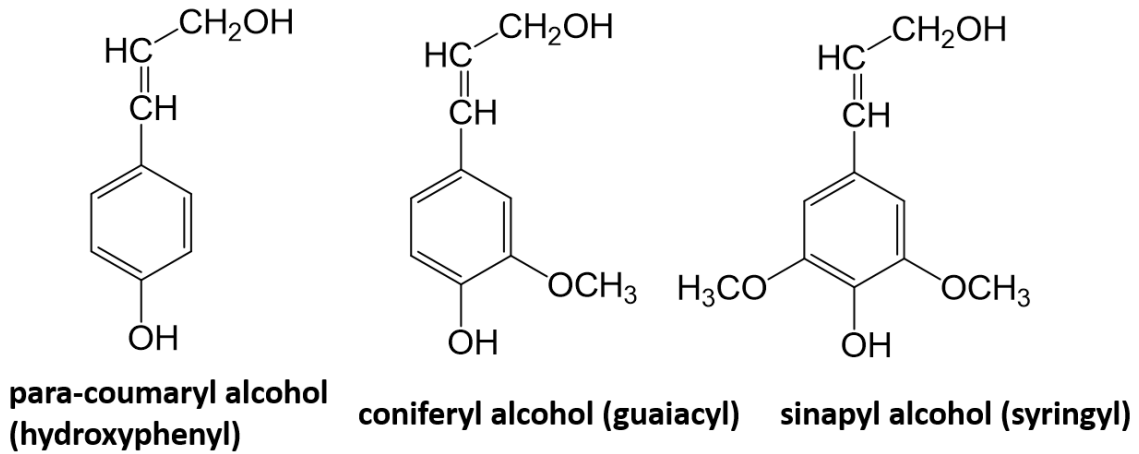


그림 2. 리그닌 페닐프로판 전구체 구조 (cinnamyl alcohol 즉 para-coumaryl alcohol (hydroxyphenyl), coniferyl alcohol (guaiacyl), sinapyl alcohol (syringyl)).

2. 본론

2.1 리그닌 탄소 섬유

탄소섬유는 인장강도가 높으며 가볍고 유연한 특성을 인해 고가의 자동차, 항공기 소재로 알루미늄과 타이타늄 합금을 대체하는 용도로 활용되고 있다. 또한 스포츠 및 레저 산업에서 탄소 섬유 복합체는 많이 활용되고 있다. 탄소 섬유는 전세계 생산의 90% 이상이 polyacrylonitrile (PAN) 원료부터 출발하여 탄소 나노 튜브나 그래핀 기반으로 제조되고 있다. 탄소 섬유 산업은 매년 5-25% 성장하고 있다. 탄소 섬유는 1000-2000 °C 의 carbonization 또는 graphitization 공정 후 spinning 과정을 통해 생산 된다. 한편 PAN은 공정 수율이 낮아 \$17-26/kg 높은 가격대에서 거래되고 있는데 리그닌과 같은 바이오매스를 기반으로 제조 시 \$6.5-11/kg 로 원가를 절감할 수 있다. 1960년대 일본의 Kayaku 회사에서 lignosulfonate (전구체)와 polyvinylalcohol (연화제)를 이용해 Kayacarbon fiber를 제조하였으나 1973년에 생산이 중단되었다. 리그닌을 이용한 탄소 섬유는 먼저 리그닌을 200-300 °C 에서 산화 후 carbonation과 graphitization 후 고온 spinning을 통해 제조되는데 인장 강도가 1.07 GPa정도이기에 스포츠 소재 및 자동차 내장 소재에 활용될 수 있다. 한편 리그닌은 열적 성질이 약하고, 다분산성이 높고 고온에서 숯이 발생하는 단점이 있다. 탄소 섬유의 기계 특성은 섬유 직경에 의존하게 되는데 고강도 특성을 갖는 PAN 계열은 탄소 섬유 지름이 7 μm 이며, 저강도 범용 피치계 탄소 섬유는 10-20 μm 지름을 갖는다. 한편 리그닌은 낮은 방사성으로 인해 침엽수계 (약 84 μm 지름, 약 26 MPa 인장강도)와 활엽수계 (약 26 μm 지름, 약 6 MPa) 등 섬유 직경이 크고 기계 강도가 낮다. 그리고 한편 광엽수계 탄소 섬유는 섬유 지름 (약10 μm 지름)과 인장 강도 (약 660 MPa)가 개선되었지만 여전히 PAN 계열 탄소 섬유 인장 강도(~ 2 GPa)에 비해 현저히 떨어진다. 전기방사(electrospinning)는 고분자 용액으로부터 고전압을 걸어 나노사이즈의 섬유를 제조하는 방법이다. 화학처리로 얻어진 리그닌 자체 만으로 전기방사를 할 수 있는 점도를 얻을 수 없어 poly(vinyl alcohol) 또는 poly(ethylene oxide)와 같은 분자량이 큰 고분자를 활용하여

blend를 만들어 전기방사에 용이한 점성을 얻은 후에 전기 방사를 하게 된다. 이렇게 전기방사 (Electrospinning)을 이용하여 리그닌으로부터 나노섬유를 제조한 후 1000 °C 열처리를 통해 나노 탄소섬유를 제조한 사례도 보고되고 있는데, 아직까지 PAN 계열 탄소섬유와 같은 기계적 강도를 얻지 못하였다. 리그닌 탄소섬유 연구는 계속해서 충분한 기계적 강도를 갖는 탄소섬유를 저렴하게 제조하는데 중점을 두고 있다 (표 2).

표 2. 리그닌의 산업적 응용 평가.

특징	활성 탄소	탄소 섬유	페놀류
리그닌	Kraft 리그닌, 가수분해 리그닌, Vanillin 생산 리그닌	Kraft 리그닌	가수분해, sulphite, Kraft 리그닌
시장성	넓고 다양한 응용	지속적인 탄소 섬유 시장 성장 (5-25% 성장/1년)	10.7 메가톤/1년 4.5% 성장/1년
특허	80년대와 90년대에 많은 특허 출원	리그닌 유래 탄소 섬유에 관련 많은 특허 출원	관련 사항 없음
기능	원자재 리그닌에 따른 활성 탄소의 특성과 효과가 상이함	리그닌 유래 탄소 섬유는 PAN 유래 탄소 섬유보다 인장 강도가 떨어짐	생산/정제된 리그닌 유래 페놀류는 석유 유래 페놀류와 거의 유사
에너지/환경	에너지와 화학물질이 요구됨, 다른 공정들과 유사함	천연 물질에 함유된 많은 산소로 인해 PAN 보다 탄소화에서 많은 에너지 사용	천연 유래 페놀류. 생산시 용매와 촉매, 에너지가 요구됨
가격 경쟁력	리그닌 유래 활성 탄소의 고유 특성이 확보되지 않는 한 가격 경쟁력이 약함	가격 경쟁력이 있음. (PAN 보다 저렴). 문제는 기계적 강도	석유 유래 페놀류에 비해 가격 경쟁력 약함

2.2 리그닌 바이오플라스틱 소재

바이오플라스틱이란 바이오매스를 기본 소재로 이용하여 만들어진 고분자 플라스틱을 말한다. 재생 자원을 이용한 바이오 플라스틱 소재들은 대부분 생분해성으로 자연에서 분해되며 친환경 성질을 갖고 있어 석유화학에 기초한 합성 플라스틱 재료들의 대체물질로 간주된다. 리그닌을 셀룰로오스, 아마포와 같은 천연 섬유와 함께 섞어 바이오플라스틱 재료를 만들 수 있고 성분 조성을 달리하여 기계적 성질과 치수 안정성 등을 조절할 수 있다. 리그닌을 화학적으로 개질한 물질을 이용해 polyesters, polyethers, polyurethanes와 같은 바이오플라스틱을 제조할 수 있다. 리그닌을 함유한 바이오플라스틱은 조경 재료, 가구, 음악 악기 재료로 활용될 수 있다. 2018년까지 바이오플라스틱 산업은 약 7조 달러까지 성장할 것으로 예상된다.

2.3 리그닌 유래 활성탄소

활성탄소는 넓은 표면적과 다공성 특성으로 인해 흡착제로서 각종 액체 및 공기의 탈취와 정제 등 폭넓게 활용되고 있다. 리그닌을 물리적 화학적 활성화를 통해 활성 탄소로 제조할 수 있다. 한편 리그닌 유래 활성 탄소가 기존 활성 탄소와 비교해 고용량의 흡착 성능 및 선택 특이적 흡착 성능과 같은 선별화된 리그닌 유래 활성탄이 제조되어야만 시장에서 경쟁력 있게 살아남을 수 있다.

2.4 페놀류

페놀류는 화학 산업의 플랫폼 화학물질로서 다양한 화학물질들이 페놀류를 통해 합성되고, 섬유, 플라스틱 (페놀-포름알데하이드, 우레탄 레진), 자동차 산업, 의약품 산업(아스피린, 살충제, 각종 의약품의 기초 원료)에 응용된다. 리그닌은 자연에 존재하는 유일한 생물학적 방향족 계열의 화합물이다. 지금까지 페놀류들은 오직 석유로부터 제조되었다. 리그닌으로 얻어진 페놀류 물질은 화석 연료로부터 얻어진 물질과 성분과 물리적 특성에서 다르지 않다. 리그닌을 얻는 과정에서 다양한 종류의 방향족 화합물들이 만들어지는데 순수한 페놀 화합물들을 제조하는 것은 계속 연구 발전되어야 한다. 리그닌으로 순수한 페놀류를 얻는데 40% 효율에 1 톤당 \$800 단가가 소요되는데 기존 시장의 페놀화합물의 제조 원가와 유사하다. 한편 기존의 페놀화합물은 가격변동이 심한 석유로부터 제조 되기 때문에 리그닌 유래 페놀류는 친환경 자원이고 가격 경쟁력이 있는 프로세스가 확실히 확립된다면 시장점유율을 높일 수 있다.

2.5.바닐린 (Vanillin)

바닐린 (Vanillin, 3-methoxy-4-hydroxybenzaldehyde)은 바닐라 식물로부터 추출되고 향료로 사용되고 있다. 바닐린은 천연 바닐라, 석유화학유래 바닐린 (90%이상 차지), 리그닌으로 제조된 바닐린 등 세 가지로 구분된다. Sulphite 펄프공정으로 얻어진 liginosulfonate은 바닐린 제조에 사용된다. 리그닌 유래 바닐린은 프리미엄 제품으로 kg 당 \$100-200 판매된다. 노르웨이에 있는 Borregaard 회사가 리그닌으로부터 바닐린을 유일하게 생산하는 회사이며, 60% 바닐린은 식품 산업에, 33% 바닐린은 향신료 및 화장품에, 7% 바닐린은 의약품에 이용된다.

2.6. 기타 리그닌을 이용한 제품들

리그닌은 탄소섬유, 페놀류 화합물, 바이오플라스틱 외에도 여러 영역에서 상품화가 시도되고 있다. Liginosulfonate은 철, 칼슘, 구리, 니켈, 알루미늄, 아연과 착물 화합물을 형성한다. 리그닌 금속 착물은 토양의 미네랄 제공 및 중금속 제거에 활용된다. 리그닌은 바인더로 아스팔트 바인더로 활용되며, formaldehyde 기초한 바인더 시스템 (phenol formaldehyde, urea formaldehyde, melamine formaldehyde, resorcinol formaldehyde, tannin formaldehyde resin 등)에 첨가 개질제로 활용된다. 또한 리그닌은 화학 개질을 통해 분산제, 에멀션화제로 활용되기도 한다. 그리고

lignosulfonate 물질은 극성과 비극성 물질과 잘 결합하기 때문에 작은 먼지를 제거하는 용도로도 활용된다. 리그닌은 천연폴리올로서 항산화 작용을 하기 때문에 폴리올레핀 고분자 또는 합성/천연 고무와 함께 섞을 때 자외선으로부터 고분자의 산화를 방지하는 역할을 할 수 있다 (표 3).

표 3. 리그닌의 산업적 응용 사례.

회사	국가	생산품
Alberta-Pacific (Alpac)	Ontario	Kraft 펄프 공정으로 얻어진 리그닌에 기초한 가치가 부과된 새로운 재료들 연구 개발 (Lignoworks Network 회사와 공동 개발)
Innventia	Sweden	제지 펄프 공정으로 부터 고순도의 리그닌 생산과 함께 탄소섬유 생산 (Chalmers University of Technology와 공동 연구)
Domtar	Canada	Innventia와 함께 리그닌 생산 공정 수립; 바이오펜올 및 바이오플라스틱 생산
Tecnar GmbH	Germany	리그닌, 천연 섬유들과 함께 바이오플라스틱 합성. 자동차 내장재, 전자용품 케이스, (제품명: Arboform, 바이오플라스틱)
Green Value	Swiss	고순도 황이 없는 리그닌과 그 유도체 개발 (접착제, 바인더, 분산제)
Ligno Tech	USA	리그닌, lignosulfonate로 유도된 바인딩 분산제 (용도: 분산제, 항산화제)
Tembee	Europe/ North America	년간 5,70,000 MT의 lignosulfonate 생산 (용도: 분산제, 바인더, 착화물)
MeadWestvaco	USA	Non-sulfonated Kraft 리그닌, 방향족 고리 sulfonated 그리고 hydroxyl methylated 리그닌 및 propoxylated 리그닌 폴리올 생산 (응용: 분산제, 염료 및 안료)
KMT Lignin Chemicals	U.K.	Lignosulfonate 생산 (바인더 및 분산제, 살충제)
Melbar	Brazil	Lignosulfonate 생산 (용도: 응집제, 분산제, 착물)
Lennox Polymers	USA	리그닌에 기초한 formaldehyde-free 레진 과 접착제 기술 (2007)
Borregaard	Norway	Lignosulfonate (응용: 바닐린 (vanillin), 식품 첨가품, 화장품, 의약품)

3. 결론

바이오매스는 이산화탄소를 자라는 과정 중에 소비하기 때문에 친환경 자원으로 앞으로 석유 대체 자원으로 활용 및 연구되고 있다. 바이오매스로부터 얻어지는 바이오에탄올은 차세대 친환경 에너지 자원으로 이미 선진국에서 이용되고 있다. 식량자원 (옥수수과 사탕수수)으로부터 얻어지는 바이오에탄올에 비해 목질계 바이오매스로부터 제조되는 바이오에탄올은 식량문제와 연관이 없어 더 효과적인 자원으로 대두되고 있다. 한편 목질계 바이오매스로부터 바이오 에탄올 또는 펄프 제조 과정에서 나오는 부산물인 리그닌은 일부만 활용되고 주로 연소되어 버려진다. 리그닌은 메톡실기(methoxyl group), 수산기 (hydroxyl group), 그리고 카르보닐기 (carbonyl group)와 같은 기능기들을 가지고 있는 방향족 고분자 화합물로서 이미 목재자원이 풍부한 북미와 북유럽에서 분산제와 계면활성제와 착물 같은 물질의 원료로서 활용되고 있다. 그리고 리그닌은 바이오플라스틱 즉 바이오 폴리우레탄과 페놀수지, 에폭시 수지의 원료로도 응용이 가능하다. 리그닌을 이용한 탄소 섬유 제조는 인장강도만 높이는 기술이 완성되면 가격 경쟁력이 있어 고가의 PAN 유래 탄소 섬유를 대체할 가능성이 높다. 한편 천연에 존재하는 방향족 화합물인

리그닌으로부터 다양한 알코올류 (메탄올, 에탄올, 부탄올, 펜탄올)와 정밀화학의 기초 원료인 방향족 화합물 (벤젠, 톨루엔, 자일렌)을 제조하는 연구들이 진행되고 있는데 가격 변동에 영향을 받는 석유제품에 비해 리그닌 유래 화합물은 안정된 가격으로 제품 공급이 가능한 장점이 있다. 앞으로 최적화된 공정기술 개발과 고순도의 제품 기술 개발이 선행될 것으로 생각된다. 석유가 생산되지 않고 국토의 70%가 산악지형인 우리나라에서 목질계 바이오매스를 이용한 환경친화형 정밀 화학, 바이오플라스틱, 고가의 탄소섬유를 상용화하는 것은 원천 기술 확보차원에서 무척 중요하다고 생각된다.

4. 참고 문헌

1. Akriti Agrawal, Nirmala Kaushik* and Soumitra Biswas, 2014. Derivatives & Applications of Lignin – An Insight. *The Scitech Journal*, 1, 7, 30-36.
2. Wong Jason Timothy, 2012, Technological, commercial, organizational and social uncertainties of a novel process for vanillin production from lignin, Simon Fraser University, Canada.
3. Lignin Market-Global Industry Analysis, size, Share, Growth, Trends and Forecast, 2013-2019, March 2014.
4. Research and Markets, March 2014. Concise Analysis of the international Activated Carbon Market-Forecasts to 2016, Dublin, Ireland.
5. 김영숙, 2011, 목질바이오매스 에너지 부산물(리그닌)이용에 관한 연구 동향, *Journal of Forest Science*, 27, 3, 183-194.
6. 정재영, 이유미, 이은열, 2016, 목질계 바이오매스 전처리 공정에서 발생하는 리그닌 부산물 활용 기술 개발 동향, *Appl. Chem. Eng.* 27, 2, 135-144
7. 김용식, 이성숙, 조성택, 유원재, 김석주, 2015, 리그닌을 이용한 바이오공중합체 제조 및 소재화 연구, 국립산림과학원, 연구보고 제 15-14호.
8. Matsushita Yasuyuki, 2015, Conversion of technical lignins to functional materials with retained polymericproperties, *J Wood Sci*, 6, 1, 230-250.

The views and opinions expressed by its writers do not necessarily reflect those of the Biological Research Information Center.

이배훈(2016). 리그닌 응용 분야 동향. BRIC View 2016-T16
Available from <http://www.ibric.org/myboard/read.php?Board=report&id=2557> (Aug 17, 2016)

Email: member@ibric.org

※ 본 콘텐츠는 **invitrogen** **applied biosystems** 의 후원으로 작성되었습니다.