

제지산업의 지속가능한 처리공정을 위한 제지슬러지 재활용 기술

글 _ 임미희, 이종규, 남성영, 안지환*
한국지질자원연구원(KIGAM)

요약

This paper has investigated physicochemical properties and conventional and environmental-friendly treatment methods of paper mill sludge to emphasize the importance and necessity of the sludge recycling. The paper mill sludge generally shows high contents of calcium and water, and is mostly discharged by landfill after incineration process rather than being recycled due to technical or economical problems. In recent years, however, several possible methods for recycling the paper mill sludge have been suggested for its sustainable process as follows; compost, raw material for the construction and paper industry, new energy source for reducing fossil fuel use and raw material of activated carbon for treating paper mill wastewater. Thus the authors suggest that practical recycling technologies of the paper mill sludge must be developed for substantiality in the paper industry through comprehending physicochemical compositions and generation status of the sludge and actively performing various related studies. Furthermore, this investigation could be used as preliminary information for the study on recycled paper development using paper mill sludge incineration ash.

1. 서론

산업의 발전과 더불어 인간의 생활수준과 인쇄기술도 발전함에 따라 종이의 사용량 역시 증가하고 있다. 가장 대표적인 에너지 다소비 국가인 미국의 종이 사용량은 전 세계적으로 가장 많은 양인 연간 9,200만 톤, 중국은 4,300만 톤, 일본은 3,100만 톤, 독일은 1,900만 톤을 보이고 있고 약 10년 후인 2020년에는 현재수준의 약 2배 정도 소비할 것으로 예상된다. 우리나라의 제지산업 역시 지난 몇 십년간 크게 성장했으며 국내 종이류생산량은 약 1,055만 톤을 기록하며 세계 8위의 생산국으로써 그 입지를 다져 나가고 있다.¹⁾

전 세계적으로 하루 동안 사용되는 종이를 생산하기 위해서는 약 1,200만 그루의 많은 나무가 필요한데, 이로 인해 산림자원 고갈문제가 심각한 상황이다. 또한, 제지산업공정에서는 폐수 및 슬러지가 많이 발생하는 특성이 있으며 제지산업의 성장과 함께 이러한 오염물질의 발생량도 지속적으로 증가하는 추세이다. 제지산업에서 슬러지는 폐수처리과정에서 주로 발생하며 일부 생물학적으로 분해되기는 하지만 그 양과 부피가 상당히 크기 때문에 심각한 환경문제를 일으킬 수 있다. 따라서 현재 제지슬러지의 처리공정 개선과 처리비용 절감을 위한 많은 연구가 진행 중이다.^{2,3)}

정부의 환경보호 정책 수립과 함께 제지산업은 환경오염물질을 많이 배출하는 산업으로 인식되었는데, 그 이유는 제지 공정상에서 발생하는 폐수의 유출이나 대기오

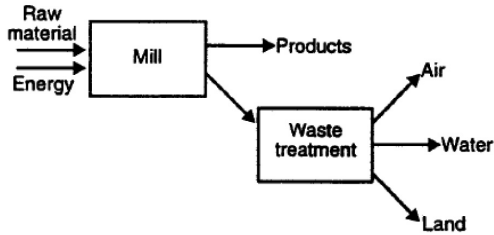


Fig. 1. Flow chart of raw material process in the paper industry.³⁾

염 물질의 방출, 다량의 슬러지 배출과 관련된 문제 때문이다(Fig. 1).⁴⁾ 특히, 제지공정상에서 발생하는 폐수 문제를 최소화하기 위하여 대부분의 제지회사는 관련 기술을 개발하여 폐수처리에 대한 부분은 크게 개선하였지만,⁴⁾ 제지슬러지의 처리문제는 여전히 많은 제지회사들이 어려움을 겪고 있으며 이를 해결하기 위해 적절한 기술의 도입 또는 개발을 통해 최적의 처리방안을 모색하고 있다. 전 세계적으로 기후변화대응 및 원가 절감을 위한 폐지재활용의 필요성이 대두되면서 제지공장은 여러 종류의 폐지를 원료로 사용하고 있는 추세이지만, 폐지를 재활용함에 따라 슬러지의 양은 늘어나고 그 질 또한 악화되고 있는 상황이다. 이러한 슬러지문제 해결을 위해 공장에서 발생하는 슬러지의 처리방법 개선과 더불어 처리

비용 절감을 위한 많은 연구가 진행 중이다. 폐수슬러지는 종이의 종류에 관계없이 대부분 섬유질이나 충전제 이물질 등으로 구성되어 있기 때문에 이들을 효율적으로 분리하여 재활용한다면 경제성과 2차 오염의 방지 차원에서 아주 혁신적일 수 있다 (Fig. 2).^{5,7)}

본 논문에서는 제지산업에서 발생하는 제지슬러지의 환경 친화적인 처리와 재활용의 필요성을 강조하기 위해 제지슬러지의 물리화학적 특성과 발생현황에 대해 조사하였다. 또한, 기존의 제지슬러지 처리기술과 새롭게 제시된 친환경 처리방법에 대해서도 알아보았다.

2. 제지슬러지의 발생현황

제지공정은 제품 생산량 1톤 당 10톤 내지 30톤의 공정수를 사용하여 제품 당 공정수 사용량이 염색공정 다음으로 많다. 국내의 제지산업은 1인당 종이 소비량이 연간 200kg을 넘어설 만큼 고도의 성장을 지속하고 있으며 폐수를 처리하는 과정에서 발생하는 제지 슬러지 역시 매년 증가하고 있다. 제지슬러지는 매립, 해양배출, 소각 등의 방법으로 처리하는 것이 일반적이지만 폐기물관리법 시행규칙의 개정에 따라 2003년 7월부터는 슬러지의 직매립이 금지되어 소각하거나, 시멘트 또는 아스팔

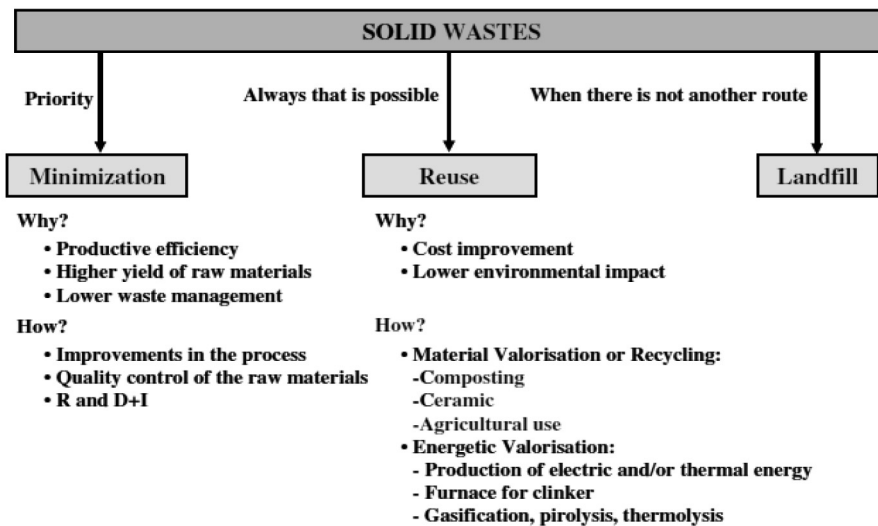


Fig. 2. Management of the solid wastes in papermaking.¹⁾

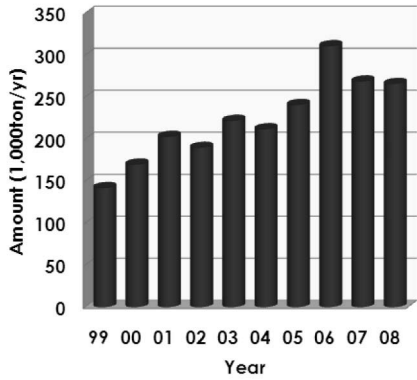


Fig. 3. Generation amount of paper mill sludge in Korea.⁹⁾

트 등의 화합물을 혼합한 후 수분을 15% 이하로 조정하여 매립 또는 생물학적 방법으로 퇴비화하여 재활용하도록 하고 있다.⁸⁾

2010 환경통계연감에 따르면 우리나라 슬러지의 발생량은 1999년 14만 2천 톤에서부터 2008년 26만 6천 톤에 이르기까지 점점 증가하는 추세를 보이고 있다 (Fig. 3).⁹⁾ 또한 폐산, 폐유, 폐합성고분자화합물, 분진, 의료폐기물 등 총 8개 항목의 지정폐기물 중 슬러지가 차지하는 구성비는 1999년 5.2%에서부터 2008년 7.6%에 이르기까지 발생량과 비례하며 꾸준히 증가해왔다.

제지산업에서 생산되는 종이에는 다음과 같이 다양한 종류가 있는데, 박스나 골판지 등에 사용되는 포장용지나 신문지 제조에 사용되는 신문용지, 그 외 잡지나 카달로그, 책의 겉표지 등에 널리 사용되는 코팅지 뿐만 아니라 화장지 등 아주 다양한 종류의 종이가 생산되고 있다. 이렇게 생산된 종이의 특성에 따라 발생하는 슬러지의 고형분 함량도 달라진다. Table 1은 종이의 종류에 따른 슬러지의 발생량을 보여주는데, 우선 백상지를 제조하기 위해 표백한 펄프인 화학펄프에는 종이의 질을 높이기 위해 충전제를 투입함으로써 더 많은 슬러지가 발생한다는 것을 알 수 있다. 한편, 신문용지 등에 사용되는 쇠목펄프나 골심지 등에 사용되는 반화학펄프, 그리고 재생판지 등은 상대적으로 슬러지의 발생량이 적은 종류라는 것을 알 수 있다. 이들 펄프는 충전제 등을 거의 첨가하지 않은 저급 종이이기 때문에 슬러지 내 고형분 함량이 줄어 최종 발생량이 줄어든다고 할 수 있다.

이를 뒷받침할 수 있는 부분으로 인쇄용지나 화장지 등을 탈묵한 탈묵펄프의 경우 다른 종이류에 비해 상대적으로 훨씬 많은 슬러지를 발생시킨다는 점을 들 수 있으며, 이들 펄프에는 상대적으로 많은 양의 충전제를 첨가하는 특성 상 슬러지의 발생량이 많아지는 것은 필연적이라고 보인다.

이러한 국내 현황과 유사한 외국의 슬러지발생량 현황을 Table 2에서 볼 수 있는데, 이 결과는 실제 유럽에서 조사된 것으로 어떤 종류의 종이를 생산하는 공장인가에 따라 슬러지의 발생량에서 차이가 난다는 것을 알 수 있다. 국내 제지슬러지 발생량과 마찬가지로 유럽의 경우 다른 공정들에 비해 탈묵공정에서 발생하는 슬러지의 양이 가장 많다는 것을 알 수 있다.³⁾

Table 1. Generation Amount of Paper Mill Sludge According to Pulp or Paper Type⁶⁾

Pulp or paper type	Generation amount of the sludge (kg/ton)
Chemical pulp (low loading)	10 - 40
Chemical pulp (high loading) (newspaper and others)	20 - 70
Semi-chemical pulp (Corrugating medium)	10 - 30
De-inking pulp (printing paper and tissue)	40 - 150
Printing paper	10 - 40
Recycled paperboard	0 - 30

Table 2. Generation Amount of Paper Mill Wastes According to Paper Mill Type³⁾

Mill type	Sludge(kg/ton)	Additional waste(kg/ton)
Kraft mill	58	
Sulfite mill	102	
Deinking mill	234	
- Bale wrappers		23
- Sorting rejects		9
- Baling wires and metal		4
- Other waste		2

3. 제지슬러지의 특성

3.1. 수분

제지 공장에서 발생하는 폐기물의 수분 함량은 일정하지 않는데 이는 투입 원료의 상태, 정선 과정 그리고 목적하는 종이의 품질에 따라 폐수로 유입되는 폐기물의 종류가 다르기 때문이다. 그러므로 제지공정에서 발생되

Table 3. Water Content of Paper Mill Sludge Compared to that of Waste Synthetic Resins⁷⁾

	Water content (wt%)					Total
	61~65	66~70	71~75	76~80	> 80	
Sludge	3	13	14	4	1	35
Waste synthetic resins	-	-	1	8	3	12

는 폐기물의 성상을 정확히 알기 위해서는 지속적인 분석을 필요하지만, 현재 이에 대한 자료가 거의 없고 다만 제지 연합회 회원사 공장에서 채취한 폐기물을 분석한 결과가 있어 이를 아래 Table 3에 나타내었다.

제지슬러지는 비교적 폭넓은 수분 함량을 가지고 있다고 볼 수 있으며 이 중 약 77%의 제지슬러지가 66~75%의 수분함량을 보이고, 폐합성수지류 폐기물은 제지슬러지에 비해 높은 수분 함량을 갖고 있으나 76~80%의 함유율을 갖는 폐기물시료 수는 67%로 제지슬러지보다 낮게 조사되었다. 이는 펄프에서 발생한 제지폐기물을 탈수과정을 거치지 않고 야적 등으로 처리하기 때문이며 또한 제지공장의 폐수처리장에 설치되어 있는 탈수기의 운전 또한 원활치 않았기 때문으로 사료된다.

3.2. 화학적 구성성분

백상지 공장에서 채취한 슬러지의 화학적 구성성분을 Table 4에서 볼 수 있다. 슬러지의 함유율은 60% 정도로 슬러지 내에는 다량의 수분이 존재하고 무기물질의 양이 약 65%, 유기물질의 양은 약 35% 정도, 기타 물질이 약 5% 정도를 나타내고 있다. 이중 유기물은 제지 공정상에서 손실되는 미세섬유나 각종 유기물질을 비롯한 이물질 등이며, 무기물질의 대부분은 제지용 충전제라고 할 수 있다.³⁾

제지공업연합회에서 제지공업연합회 회원사 중 1개 공장을 임의적으로 선택하여 발생하는 폐기물의 화학 성분 및 발열량을 조사한 결과를 Table 5에서 볼 수 있다.

Table 4. Composition of Paper Mill Sludge¹²⁾

Components	Moisture	Solid materials (Dry basis)		
		Inorganic compounds	Organic compounds	Etc.
Contents(%)	60	60	35	5

화학성분에 있어서 슬러지류와 폐합성수지류의 큰 차이 점은 탄소와 수소함량의 경우 폐합성수지가 폐기물에 비해 2배 정도 높고 질소 함량도 더 높다는 점이다. 또한 발열량에 있어서 신문용지 공장의 슬러지는 3,300 kcal/kg을 나타내고 있고 인쇄용지와 판지는 2,390 kcal/kg와 2,740 kcal/kg으로 각각 나타나고 있다.⁷⁾

4. 제지슬러지의 열처리 방법

제지 공정에서 발생하는 슬러지는 일반적인 폐수슬러지와 유사하게 농축, 안전화, 기계적 탈수 및 건조과정을 거친 후 재활용하거나 목적에 맞게 최종처리하게 된다. 정화조에서 침전시킨 슬러지의 고형분 농도는 평균 3% 미만이지만 이를 10%까지 농축하기 위하여 중력 농축기를 사용한다. 중력 농축기 이외에도 부유 농축기, 원심농축기 등을 사용하기도 한다. 처리 공정을 거치지 않은 슬러지의 경우 농축 후에도 여전히 생분해가 진행되어 악취발생, 부패 등의 문제가 생기기도 하므로 생분해를 중지 혹은 저하시키기 위하여 석회를 첨가하거나 혐기성 발효, 가열 등의 방법에 의해 안정화 처리를 한다. 안정화시킨 슬러지는 여과, 원심탈수, 압착 등의 방법으로 기계적 탈수를 실시하여 수분함량 80% 내외의 여과케이크(cake)로 생산한다. 이러한 처리가 완료된 슬러지는 매립이나 소각, 해양배출 등의 최종 처리를 하거나 재활용하게 된다.

제지공정상에서 발생하는 슬러지는 여러 방식의 열처리 공정을 통해 처리할 수 있다. 열처리 공정은 각 공정

Table 5. Component Analysis of Paper Mill Sludge and Waste Synthetic Resins⁶⁾

	Water content(%)	Chemical component								Heating value(Kcal/kg)
		C	H	O	N	S	etc	Ash		
Sludge	Newspaper	67.3	28.7	3.9	29.5	0.2	0.2	2.8	34.7	3,300
	Printing paper	71.7	21.0	2.7	23.3	0.2	0.1	1.4	51.3	2,390
	Paperboard	69.6	24.6	3.3	26.3	0.1	0.2	1.6	43.9	2,740
Waste synthetic resins	80.8	44.5	7.4	19.6	1.8	0.7	2.2	23.8	6,150	

마다 여러가지 장단점을 보이는데, 이러한 특성들을 아래와 같이 항목별로 나누어 조사해보았다 (Table 6).¹⁾

4.1. 소각(incineration/combustion)

열처리의 공정 중 대표적인 하나로 소각을 들 수 있는데, 이 방법의 장점은 매립하는 슬러지 폐기물의 양을 줄이고 슬러지 내 잔존하는 유기물질을 거의 대부분 제거할 수 있다는 점이다. 또한, 소각 후 발생하는 소각재 또한 다양한 분야로 적용 가능하다. 하지만 소각 시 에너지가 많이 소비되기 때문에 에너지 사용면에서 비효율적일 수 있고 소각공정이 완료된 후에는 소각재에 다이옥신과 같은 유해물질이 잔존할 수 있다. 또한 소각 공정상에서 발생하는 질소나 이산화황 등의 오염물질로 인해 대기오염에 악영향을 미칠 수 있으며, 이를 방지하기 위한 정화시설을 배기구에 설치하는 데에도 많은 비용이 요구된다.

4.2. 열분해(pyrolysis)

두 번째 방법으로 열분해 공정이 있는데, 이는 별 다른 연소공정을 요구하지 않으며 기체 또는 액체 연료와 고형 비활성 잔류물의 혼합생산이 가능하고, 수질오염이나 대기오염, 토양오염을 최소화 할 수 있어 친환경적이다.

열분해 공정은 별도의 새로운 공정을 만들 필요 없이 기존에 있던 대부분의 공장에서 적용이 가능하고 슬러지에서 발생한 바이오가스 중 일부를 아주 효율적인 에너지원으로 사용할 수 있다는 장점이 있다. 하지만 열분해 공정은 수분함량이 20% 이하인 슬러지처리에만 적용이 가능하기 때문에 제지슬러지에 이 기술을 적용하기에는 아직 기술개발이 미흡한 실정이다.

4.3. 수증기 개질법(steam reforming)

열처리 공정의 또 다른 방식인 수증기 개질법은 열전달률이 높아 그만큼의 운영비와 유지비용을 절약할 수 있다는 장점이 있다. 또한 질소발생량을 줄이고 다이옥신이나 퓨란과 같은 유해물질의 발생을 억제하여 유해중금속의 기화를 최소화 할 수 있는 방식이라 할 수 있다. 하지만 수증기 개질법은 이 방식에 적합한 일부 특정한 슬러지에만 적용이 가능하다는 제약이 있다.

4.4. 습식 산화법(wet oxidation)

습식산화법은 수증기를 사용하기 때문에 대기오염이 발생하지 않고 고압증기의 생산이 가능하다는 장점이 있지만 이 공정을 적용시키고 유지하는데는 비용이 많이

Table 6. Advantages and Disadvantages of Current Treatment Methods for Paper Mill Sludge¹⁾

Technology	Advantages	Disadvantages
Pyrolysis	<ul style="list-style-type: none"> •Non-burning process •Production of a mixture of gaseous and liquid fuels and a solid inert residue •Can be sited at most existing plants •Minimization of air, land and water pollution •Conversion of all sludge biomass fractions into useful energy •Volume reduction by as much as 90% and production of a sterile carbon char 	<ul style="list-style-type: none"> •A consistent waste stream such as tyres or plastics is required to produce an usable fuel product •Pyrolysis technologies based on the recovery of liquied fuel require low moisture in the sludge (<20%) •Low technical maturity for application to paper sludges
Wet oxidation	<ul style="list-style-type: none"> •No air pollution •Production of high-pressure stream 	<ul style="list-style-type: none"> •High cost
Super critical water oxidation	<ul style="list-style-type: none"> •Complete destruction of organic material •No Nox and dioxins formation due to low operating temperature •Recovery and reuse of salts and fillers precipitated out of supercritical water •Recovery of all heat of reaction as stream and as hot water 	<ul style="list-style-type: none"> •Specification for the sludge: high content of dry substances and small particle size •Traces of acetic acid and nitrous oxide may be formed
Gasification	<ul style="list-style-type: none"> •Higher efficiency of energy recovery •Reduced environmental emissions •Ability to handle most inorganic compounds found in sludge •Ash sintering dose not impact on reliability •Production of an inert solid waste 	<ul style="list-style-type: none"> •Dewatering and drying of sludge •Not commercially developed for pulp and paper sludge treatment •Complexity of technology •Sludge characteristics which limit gasification efficiency is not fully understood

든다는 단점이 있다. 단순히 수증기나 뜨거운 물을 섞은 것이 아니라 단일한 고유 상태의 물을 사용한 초임계수 산화 공정은 유기물을 완벽히 제거할 수 있고 낮은 온도에서 운용하기 때문에 다이옥신이나 질소가 발생하지 않는다. 초임계수의 사용 시 염분이나 충전제가 침전되는데, 그 물질들은 다른 공정에 재사용 할 수 있다. 또한, 증기나 온수에서 발생하는 모든 열의 회수가 가능하기 때문에 아주 효율적인 공정이라 할 수 있다. 그러나 이 방식을 슬러지에 적용하게 되면 건조물질이나 작은 입도를 갖는 입자들의 함량이 높아야 하고 공정 중 미량의 아세트산이나 이산화질소가 생길 수 있는 점들을 유념해야 한다.

4.5. 기화법(gasification)

기화공정을 사용하게 되면 에너지 회수율이 높아지고 환경에 영향을 주는 각종 배출물을 줄일 수 있게 된다. 슬러지로부터 비롯된 대부분의 무기화합물을 사용할 수 있으며 비활성 고체 폐기물을 생산할 수 있게 된다는 장점이 있다. 하지만 기화 공정 적용 시 슬러지의 탈수 및 건조문제를 야기할 수 있으며 기술의 복잡성으로 인해 특히 제지슬러지 처리에 대해서는 아직 정확한 기술이 개발되지 않았다.

5. 제지슬러지의 환경 친화적 처리방안

한국을 비롯한 세계 각국에서는 환경 친화적인 제지 슬러지 처리를 위해 오래전부터 다양한 각도로 연구해왔으나 계속해서 대량으로 사용하는 방식은 아직까지 실용화단계에 이르지 못한 상황이다. 이는 제지슬러지를 가장 적합한 곳에 얼마나 효율적으로 적용시키느냐에 대한 문제를 간과한 탓이 아닌가 생각된다. 일례로 제지 슬러지를 사용한 비료 제조는 비료가 주로 봄과 가을에만 쓰인다는 점을 주의해야 하며, 제지 공장은 사계절 모두 슬러지를 방출한다는 것을 고려해야 한다. 건축 내장재 등의 원료로 제지슬러지가 쓰이는 경우에는 장기간 인체 접촉에 대한 영향이 검증되어야 할 것이다.⁶⁾ 최근까지 국내 혹은 국외에서 연구된 제지슬러지의 환경 친화적인

처리방안에 대해 아래와 같이 조사하였고 이를 Table 7 과 8에 정리하였다.^{5,10,11)}

5.1. 퇴비화

펄프 및 제지슬러지의 처분 방안으로는 소각과 매립 이외에도 퇴비화를 비롯한 다양한 재이용 방안들이 제시되고 있는데, 특히 퇴비화의 경우 최근 선진국 일부 제지 공장에서 지속적인 연구 개발을 하고 있으며 국내에서도 “폐기물 자원화 기술 사업”의 일환으로 연구가 진행 중에 있다. 폐기물 자원화 기술 사업에서 조사한 제 슬러지의 성분은 pH가 7.1, C/N비가 28~30, 그리고 수분이 60~65% 정도로 나타나 퇴비화하기에 적정 수준일 뿐만 아니라 수은, 카드뮴, 납 등의 중금속이 검출되지 않고 있어 적절한 조건이 주어진다면 효율적인 퇴비화가 가능할 것으로 사료된다.

5.2. 각종 건축 자재로의 이용

진흙에 슬러지를 적당량 섞어서 소성하면 경질이면서도 내한성이 강한 기와를 만들 수 있기 때문에 이 방법의 실용화가 검토되고 있으나 아직 실용화에는 이르지 못하고 있다. 그러나 슬러지를 조립하여 열 성형함으로써 벽면, 타일, 바닥재 등의 건축재로 이용하기도 하고, 건조 분체로 하여 열가소성 수지와 섞어 성형하여 인테리어 관계의 각종 용기, 케이스 등으로 이용하는 방안도 시도되고 있다.

5.3. 폐열 이용

목피, 나무 부스러기 등을 보일러 연료로써 1차적으로 열 회수를 한 후 그 발생 증기를 발전, 난방, 급탕, 기타 보조열원 등으로 유효하게 이용될 수 있으며, 이른바 Oilless 공장을 지향하는 공장에서 활발한 실용화가 이루어지고 있다. 한편 소각로도 여러 종류로 개량되어 왔으며 새로운 소각공정도 개발되고 있다. 유동상 소각로는 물론이고 거기에 건조 공정을 새로 설치하는 방식, 유동상에 매체를 사용하지 않고 원료의 성상을 개량하는 등 여러 가지 기술개선이 이루어지고 있다. 또한 폐기물을 혐기성 발효할 때 발생하는 메탄가스를 새로운 연료 원

Table 7. Recycling Methods According to Types of Paper Mill Sludge⁷⁾

Sludge type		Recycling field
Dehydration sludge	Organic sludge	compost, feed for animals, raw material of ethanol, and absorbent
	Inorganic sludge	raw material of wall, press board and building board
Incineration sludge	Incinerated sludge	filler for rubber and paper, cement weighting reagent, soil stabilizer, light-weight aggregate, and artificial aggregate
	Carbonized sludge	cold-resistant roof tile, heat insulating material for steel-making, and raw material of activated carbon

으로 이용함으로써 에너지 절감에 기여하는 방안도 추진되고 있다.

5.4. 증량제, 여과조제로서의 이용

슬러지 소각 시 발생하는 소각재를 제철산업에서 보온재로 이용하는 방안과 요업제품의 증량제, 합성수지의 충전제 등으로의 이용 방안이 있다. 또한 아스팔트 포장재료의 대체품으로서도 이용이 기대된다.

5.5. 폐기물로부터의 활성탄 제조 시 이용

슬러지 소각재를 펄프 폐수의 탈색처리에 이용하는 것과 목피에서 활성탄을 제조하여 폐수 처리에 활용함으로써 수질향상에 기여하고자 하는 방법도 진행중이다.

폐기물의 재활용 방안은 아직 역사가 짧고 보다 다양한 분야에 적용가능하다고 하지만 현실적으로는 매립과 소각에 의한 많은 문제점이 나타나고 있어 제지슬러지의 친환경적인 재활용 측면에서 기업뿐만 아니라 관련 학계의 노력이 필요하다.

6. 결론

고지의 재활용과 더불어 제지산업에서 발생하는 슬러지의 환경 친화적인 처리 방향을 설정하기 위해 국내 제지산업의 현황, 제지산업의 슬러지 발생 및 처리현황 그리고 제지슬러지의 효율적인 재활용 방안에 대해 조사하였다. 제지산업에서 발생하는 슬러지의 대부분은 탈묵공정과 폐수처리공정에서 발생하고 원료 물질에 따라 슬러지의 종류 및 구성성분도 달라진다. 이렇게 발생된 제지슬러지의 구성성분을 정확히 파악하고 함수율이 높은 제지슬러지의 특성을 이용하여 연료로 전환하거나 무기물 함량이 많은 슬러지를 이용하여 충전제로 재활용하는 것을 통해 제지슬러지의 친환경 처리에 접근할 수 있다. 또한, 열처리나 기화, 열분해 방법도 최근에 보고된 아주 흥미로운 기술인데 이를 잘 응용한다면 제지슬러지를 환경 친화적으로 처리할 수 있다. 우선 슬러지의 발생을 최소화하는 것이 중요하겠지만 필연적으로 발생하는 제지슬러지의 재활용 방안에 대하여 체계적이면서 과학적인

Table 8. Application of Paper Mill Sludge to New Material Production for Recycling⁷⁾

Application	Description of the use
Absorbents	Dried sludge could be used as an absorbent, e.g., for spreading on oil spills. The limitations of this use are the same as those of cat litter production.
Pesticide/fertilizer carrier	The active sludge is dried and the active ingredients are absorbed. After spreading and decomposition the active ingredients are released. This gives a slower and more controlled addition of pesticides/fertilizers to the soil. Contamination associated with the sludge would be the ongoing threat to such a disposal route.
Conversion to fuel components	Levulinic acid has been found to be economically produced from paper sludge and converted into an alternative fuel component called methyltetrahydrofuran which can be used with ethanol and natural gas liquids to create a cleaner-burning fuel.
Bioconversion of the cellulosic fraction of sludge to ethanol	The cellulosic fraction is hydrolyzed by enzymes to produce glucose and, subsequently, the glucose is converted to ethanol by fermentation. In general, the kraft and sulphite sludge are more amendable to ethanol production than sludge from thermomechanical mills.
Cement tiles	Sludge with a 20% to 30% ash content may be used to produce a facing brick for commercial use. The advantages of the bricks are better compression rates and water permeability.

연구개발 또한 필요하다. 지금까지 조사된 내용들은 본 연구팀에서 수행중인 친환경 제지생산을 위한 무기충전제 개발 연구에 기초자료로써 유용하게 활용될 것이다.

감사의 글

본 연구는 지식경제부 에너지기술혁신 연구개발 사업 (ETI R&D Program)의 지원에 의해 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

참고문헌

1. M. C. Monte and E. Fuente, "Waste Management from Pulp and Paper Production in the European Union," *Waste Management*, **29** 293-308 (2009).
2. V. Corinaldesi and G. Fava, "Paper Mill Sludge Ash as Supplement Cementitious Materials," 2th ICSCMT, (2010).
3. Gary M. Scott and A. Smith, "Sludge Characteristics and Disposal Alternatives for the Pulp and Paper Industry," pp269-279, International Environmental Conference, TAPPI Press, 1995.
4. J.W. Ahn and M. Lim, "Characteristics of Wastewater from the Pulp · Paper Industry and its Biological Treatment Technologies," *J. Kor. Inst. of Resources Recycling*, **18** [2] 16-29 (2009).
5. A. G. Jesus, "Feasibility of Recycling Pulp and Paper Mill Sludge in the Paper and Board Industries," *Resources Conservation and Recycling*, **52** 965-972 (2008).
6. Y. B. Seo, "Environmentally Friendly use of Paper Mill Sludge," *J. Kor. TAPPI*, **29** [2] 51-59 (1997).
7. J. H. Cho, "Study on the Expression Dehydration by Recycling of Paper Sludge," *J. Kor. TAPPI*, **36** [4] 77-82 (2004).
8. 2010 환경통계연감, 통계청, 2010 (Available at <http://kostat.go.kr/wnsearch/search.jsp>).
9. 국제 환경 동향 63호, "잔류성 유기오염물질의 온상이 되고 있는 E-waste 처리장," 121-124 (2007).
10. J. Martin and V. James, "Impact of using paper mill sludge for surface-mine reclamation on runoff water quality and plant growth," *J. Environ. Qual.*, **37** 2351-59 (2008).
11. Y. Yamashita and C. Sasaki, "Development of Efficient System for Ethanol Production from Paper Sludge Pretreated by Ball Milling and Phosphoric Acid," *Carbohydrate Polymers*, **79** 250-254 (2010).
12. J. H. Cho and Y. S. Choi, "Studies on the Recycling of Sludge Originated from a Copy Paper Mill by Calcination," *J. Kor. TAPPI*, **42**[1] (2010).

●● 임미희



- 2007년 한국해양대학교 환경공학과 석사
- 현재 한국지질자원연구원 연구원

●● 이종규



- 2010년 충남대학교 임산공학과 학사
- 현재 한국지질자원연구원 연구원 및 충남대학교 임산공학과 석사과정

●● 남성영



- 2010년 인하대학교 환경공학과 학사
- 현재 한국지질자원연구원 연구원

●● 안지환



- 1997년 인하대학교 자원공학과 박사
- 현재 한국지질자원연구원 책임연구원