

위생용지 생산 제지공장 폐수슬러지의 처리 현황

정용준⁺ · 이홍태*

부산가톨릭대학교 환경공학과

* 유한김벌리

Sludge Disposal Analysis of Sanitary Paper Manufacturing Wastewater Treatment Plant

Yong-Jun Jung⁺ · Hong-Tae Lee*

Department of Environmental engineering, Catholic University of Pusan

* Yuhan Kimberly

요 약

위생용지 제조 폐수처리장에서 발생하는 슬러지를 3년간의 일일 운전일지를 토대로 분석하였다. 발생 폐기물은 79% 슬러지, 14% 재, 5%의 합성폐기물 및 기타 2%로 구성되었다. 일일 최대 슬러지 생산량은 233톤, 평균 슬러지 생산량은 113톤으로 분석되었는데, 일차 슬러지가 85% 및 이차슬러지는 15%를 차지하였다. 슬러지 탈수용 응집제의 농도는 과량 주입되고 있어 적정 응집제 주입을 위해 주기적으로 자테스트와 같은 부가적인 실험에 의한 주입농도의 설정이 필요한 것으로 나타났다. 현재 발생하는 폐슬러지의 일부는 위탁처리되고 있고, 일부는 자체 처리되고 있지만, 장기적으로는 대부분의 폐슬러지가 제철소 슬러지의 진정제로 재활용될 계획이다.

핵심용어 : 응집, 탈수, 자테스트, 위생용지 제조 폐수, 슬러지 처리

Abstract

The operating conditions of sludge disposal for sanitary paper manufacturing wastewater treatment plant were monitored on the basis of daily check sheets during the 3 years of operation. Generated wastes were mainly composed of 79% of sludge, 14% of ash, 5% of waste synthetic resin and 2% of etc. Maximum sludge was produced to 233 ton and the average was 113 ton daily, where the primary sludge occupied 85% and 15% for the secondary sludge. The concentration of coagulant for sludge dewatering was extremely exceeded and the additional experiment such as jar-test was required for the establishment of proper dosage. Presently, the generated sludges were partially treated outside and were also partly handled inside. In the future, most sludges will be expected to be treated to recycling material for the iron industry.

Keywords : Coagulant, Dewatering, Jar-test, Sanitary paper manufacturing wastewater, Sludge disposal

1. 서론

공장폐수는 오염부하량이 매우 큰 폐수이므로 미처리 상태에서 토지나 수계로 유입될 경우 토양 축적 및 지하수 오염을 유발할 뿐만 아니라 생태계까지 위협할 수 있기 때문에 신중히 관리되어야 한다 (Kim et al., 2012). 폐수처리시설은 폐수처리 자체의 목적달성에도 불구하고 원하지 않는 부산물인 슬러지도 생산하게 된다. 폐수슬러지는 1~5%의 무기성 및 유기성 부유고형물로서 매우 다양한 용존성 고형물이 함유된 액체에 혼합되어 있으므로 처분이 어렵고, 비용이 많이 소요되어 일반적인 폐수처리시설 운영예산의 50% 이상을 차지하고 있다 (Jung, 2007).

폐수처리과정에서 발생하는 슬러지는 일반적으로 슬러지의 안정화와 탈수공정의 효율 증가를 위하여 다양한 형태의 전처리 공정을 거친 후, 소각이나 매립과 같은 최종 처분을 하고 있으나, 수분 함량이 75%를 초과하는 슬러지의 대부분은 상대적으로 위탁처리비가 저렴한 해양에 배출하고 있는 실정이다. 하지만, 런던협약에 의해 해양 투기마저도 점차 어려워지고 있는 시점에서 슬러지처리 대책이 시급한 상황에 직면해 있다 (Bae, 2002).

국민들의 일상생활에 필요한 각종 펄프·종이 및 종이 제품을 생산하고 있는 제지공업은 다른 공업과 달리 다량의 공업용수를 사용하기 때문에 다량의 폐수를 발생시킬 수 있다. 제지폐수는 폐수처리장에서 종종 슬러지

⁺ Corresponding author : yjjung@cup.ac.kr

정회원: 부산가톨릭대학교 환경공학과 교수: yjjung@cup.ac.kr

별킹을 초래하여 처리가 곤란하고 (Thomson and Forster, 2003), 슬러지 발생량이 많으며, 생물학적 분해 가능한 유기물질 보다는 대부분 생물학적 난분해성 유기물로서 혐기성 소화나 호기성 소화에 의해 슬러지를 쉽게 안정화시키기 어렵다는 문제점을 가지고 있다. 또한 농축과 탈수성이 불량하여 매립시 매립장의 용적을 크게 차지하거나 소각을 위한 적절한 탈수조작이 필요(Kim et al., 1992)한 것과 같은 많은 문제점을 내포하고 있다.

제지폐수의 처리는 상당량의 슬러지를 배출하는 특징을 지니고 있어 수질관리 차원에서 별도의 대책을 강구할 필요가 있다(Kim et al., 1993). 제지슬러지는 대부분 매립하거나 소각에 의존하고 있지만, 향후 매립장 부지의 부족으로 인한 매립처분 곤란과 소각에 의한 대기오염을 유발할 수 있어 이들로 인한 슬러지 처리비용 또한 점차 증가할 것으로 예상된다. 한편, 제지슬러지는 다른 슬러지에 비해 성장과 성분이 비교적 균일하고, 유기물 함량이 높은 것으로 보고(Kim and Jang, 1999)되고 있지만, 재활용처에 따라서는 중금속을 환원(Battaglia et al., 2007) 처리하거나, 흡착에 의해 제거되는 연구(Calace et al., 2003)가 진행될 만큼 유용한 자원으로도 기대할 수 있다.

다양한 제지생산 업종과 달리 제지폐수 및 슬러지 처리와 관련된 국내외의 구체적인 연구는 부족한 현황이다. 특히 위생용지를 생산하는 제지공장에서 발생하는 폐수 및 슬러지 처리에 대한 국내외 연구 사례는 찾아보기 어려운 실정이다.

따라서 위생용지를 생산하는 제지공장에서 배출되는 폐수슬러지를 효율적으로 관리하기 위한 연구가 필요하게 되었다. 본 연구에서는 2006~2008년간 3년 동안 위생용지를 생산하는 제지공장 폐수처리장의 슬러지 관리 현황을 현장의 일일 운전자료를 토대로 분석한 후 운영상의 문제점을 도출하고, 응집실험을 통하여 슬러지 처리에 필요한 적정 운전 인자를 제시함과 아울러 전체 처리장의 효율을 향상시키기 위한 개선 방안을 제안하였다.

2. 연구방법

2.1 폐수처리장 현황

본 연구에서는 위생용지를 생산하는 제지공장 폐수처리장의 슬러지 처리 공정을 대상으로 분석하였다. 슬러지는 화장지 원료인 폐지를 재활용함으로써 원료 해리, 탈묵 및 세척 공정을 거쳐 발생하는 폐수중에 함유된 부유물질을 탈수함에 함에 따라 발생되며, 이는 공장 전체 폐기물 발생량의 80% 이상을 차지하고 있다.

Fig. 1에 수처리 공정에서 발생한 슬러지의 전체 처리 공정도를 표시하였다.

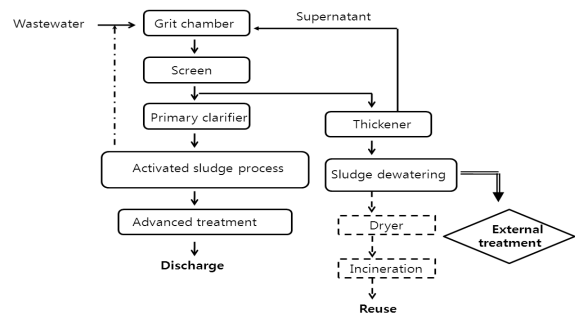


Fig. 1. Schematic of waste paper-mill sludge

생물학적처리 공정에서 발생된 슬러지는 농축탈수건조소각 공정을 통하여 처리되며, 소각재는 시멘트 생산 공정에서 재활용되고 있다. 또한 공정 도중에 발생하는 배기가스는 원심력 집진시설, 여과 집진시설, 직접 연소 시설 및 세정식 집진시설에서 처리된 후 배출되고 있다. 슬러지내 유기물의 함량이 많을 경우에는 혐기성 또는 호기성 소화에 의해 슬러지내의 유기물을 감소시킨 다음 후속 공정에서 처리하지만, 본 연구의 대상 사업장에서 배출된 슬러지는 유기물 함량이 낮아 농축-탈수-소각 공정만으로 처리하고 있다.

본 연구에서는 위생용지를 생산하는 제지회사를 대상으로 2006~2008년간 3년 동안 모니터링했던 폐수처리장 일일 운영 자료를 토대로 슬러지 처리 현황을 분석하였다.

2.2 탈수슬러지 응집성 평가

제지공장 폐수처리장에서는 발생 슬러지의 탈수를 위하여 벨트프레스 탈수기를 사용하고 있다. 처리장에서 지출되고 있는 비용의 상당수가 탈수시에 투입되는 응집 약품비용이므로, 투입되는 응집제의 적정 주입율과 탈수슬러지의 특성을 평가하기 위해 자테스트를 실시하였다. 하수도시설기준(KWWA, 2005)에는 벨트프레스탈수기의 응집제 약품주입율을 0.5~1.0%의 농도가 되도록 제시하고 있지만, 본 연구에서는 현장에서 현재 투입하고 있는 응집제 주입율을 고려하여 0.05~0.2%가 되도록 용해하여 준비한 후, 자테스트를 진행하였다. 실험 종료 후의 수질은 탁도로 평가하였고, 적절한 비율로 주입된 응집 슬러지의 탈수성은 1분간 여과포를 통해 빠져나온 여액량의 부피로 평가하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 폐기물 발생량

Fig. 2는 대상사업장에서 매월 4,000톤 정도 발생되는 사업장 폐기물의 종류와 폐기물 처리 현황을 분류한 것이다.

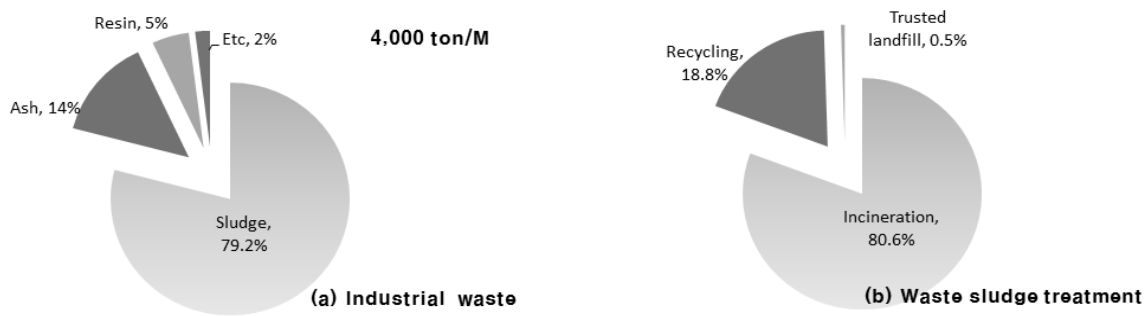
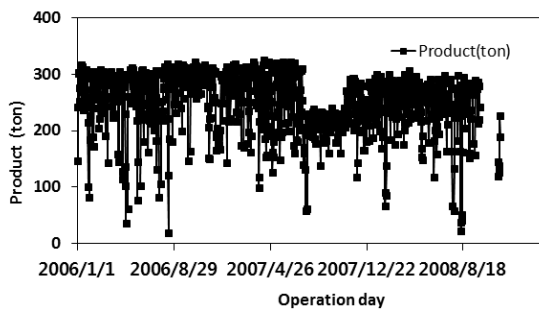


Fig. 2. Classification of wast generated and treatment process

사업장 폐기물은 폐수처리장의 슬러지가 79%, 소각재 14%, 폐합성수지 5% 및 기타 2% 정도로 구성되어 있다. 발생 폐기물들은 18.8%의 재활용과 0.5%의 매립처리 공정을 제외하면 약 80% 정도가 소각으로 최종처리되고 있는 실정이다. 일일 1,890톤의 폐기물을 발생하고 있는 제지공장의 폐기물 종류별 현황을 보고한 자료 (Lee, 1992)에서는 슬러지가 86.1%, 소각재가 8.6% 및 폐합성 수지류가 5.3%로 나타나, 본 폐수처리장에서 발생하는 폐슬러지가 기존 연구 결과보다 약 7% 적은 것으로 분석되었다.

3.2 폐수 슬러지 발생량

2006년부터 2008년까지 3년 동안 소비한 원료 현황



(Lee et al., 2009)을 바탕으로 산정한 일일 최대 제품 생산량은 Fig. 3에 표시한 바와 같이 325.9톤, 최소 생산량은 18.9톤이었으며, 평균 249.8톤을 매일 생산하여 변동폭이 큰 것으로 분석되었는데, 이는 소비자의 요구에 따른 생산 지종의 잦은 변경으로 인하여 제품 생산량의 변화까지 영향을 끼친 것으로 판단된다. 제품 생산에 사용된 용수양과 함께 배출된 슬러지량을 분석하면, 일 최대 슬러지 발생량은 233톤, 최소 발생량은 9톤이었으며, 평균 113톤의 슬러지가 매일 생성되는 것으로 분석되었다. 대상 시설에서는 생산 지종의 교체에 따른 폐수의 부하 변동이 심하여 후속 공정으로 이어지는 생물반응조 운영에서도 상당한 어려움으로 작용하고 있는 실정이다.

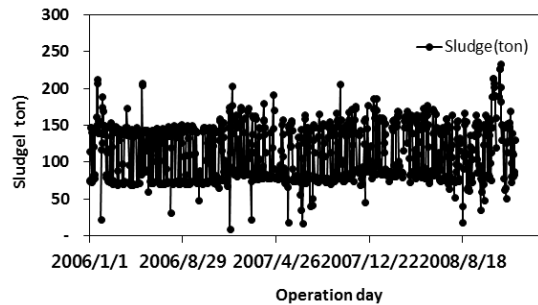


Fig. 3. Produced manufactures and sludge generated

이와 같이 투입 원료의 변화에 따른 유기물 부하 변동에 대처하기 위한 생물반응조의 효율적 운영 관리 대책 수립이 필요할 것으로 판단된다. 또한 슬러지 발생을 원천적으로 감량하기 위한 투입 원료별 스크린 시설의 선택적 운전이 필요하고, 아울러 발생 슬러지를 처분하기 용이하게 하도록 여유 공정시설을 활용하여 침전 효율을 향상시키면서 공정내에서 발생슬러지의 수분을 최소화 할 수 있는 방안 등을 수립해야 할 것으로 판단된다.

Lee (1992)의 연구에 의하면 제지폐수 처리장에서 발생하는 슬러지 가운데 1차 슬러지와 2차 슬러지의 비율이 60%와 40%로 보고하였지만, 본 연구에서는 1차 슬

러지가 85%, 2차 슬러지가 15% 정도로 분석되었다. Table 1은 본 처리시설에서 발생하는 폐수슬러지의 성상을 정리한 것이다.

Table 1. Characteristics of wastewater sludge from sanitary paper manufacturing

Parameter	Primary sludge	Secondary sludge
TS (mg/L)	26,858	3,448
VS (mg/L)	10,743	1,517
FS (mg/L)	16,115	1,931
Moisture (%)	96	99

이는 폐수중에 포함된 섬유상 부유물질이 1차 침전지에서 화학약품에 의한 응집 처리에 의하여 다량 침전되었기 때문에 판단된다. 본 대상시설은 기존의 연구 결과 (Lee et al., 2009)에서도 보고한 바와 같이 배출수의 SS 농도가 유사업종보다 4배 이상 높은 4,953 mg/L을 나타내고 있으므로, 1차 침전지에서 배출되는 슬러지의 비율이 다소 높은 것으로 분석된다.

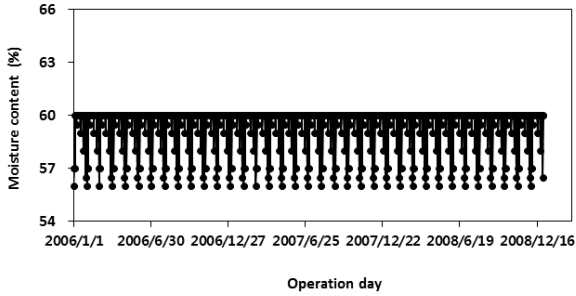


Fig. 4. Moisture contents of sludge after dewatering process

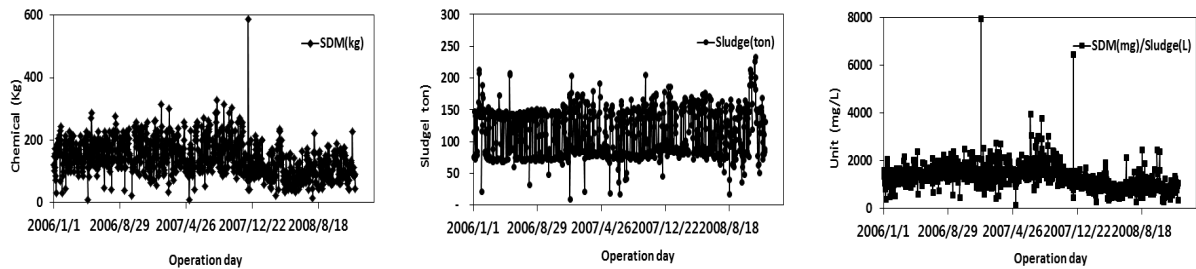


Fig. 5. Amount of coagulant, sludge production and dosage concentration

2006년부터 2008년까지 3년 동안 사용한 고분자 응집제의 일일 최대 주입량은 586 kg, 최소 주입량은 8 kg이었고, 이때의 평균 주입량은 143 kg으로 분석되었지만, 일일 변동폭은 큰 것으로 나타났다. 슬러지 탈수 처리를 위해 주입한 응집제량을 발생 슬러지량으로 나누어 농도를 계산해 보면, 최대 농도는 7,944 mg/L, 최소 농도는 128 mg/L 및 평균 주입 농도는 1,326 mg/L로 나타났다.

일반적으로 제지폐수 슬러지내에 함유된 결합수를 제거하기 위해 무기 또는 유기응집제를 사용하는데, 1차 처리시에 무기응집제가 투여되어 있으므로, 유기응집제만 사용한다. 또한 응집제의 적정 주입량을 설정하기 위해 자테스트를 실시하며, 선행 연구 (Lee, 1992)에 따르면 자테스트 결과 응집제의 적정 주입 농도는 2.6~3.0 mg/L로 나타났지만, 본 연구에서는 저분자량의 양이온성 유기응집제를 사용하고 있으므로 이보다 훨씬 높은 농도로 투여되고 있다. 이에 따라 현재 사용중인 응집제를 대상으로 자테스트를 실시하여 적정 응집제 주입농도를 재설정함이 바람직할 것으로 판단된다.

발생 슬러지량과 생산 제품 양의 변화에 따른 투입 약품량의 변화를 분석하였다. 발생된 슬러지 1톤을 처리

제지 슬러지의 성상을 연구(Kang, 1991)한 결과에 따르면 탈수슬러지의 함수율이 70%로 나타났으나, 본 연구에서는 Fig. 4에 표시한 바와 같이 56~60%, 평균 59%를 나타냈다. 이는 탈수 공정 이전 및 탈수 공정중에 사용된 응집제 약품 등에 대한 영향으로 판단할 수 있으므로, 약품사용량의 적정성 및 효율성에 대한 구체적인 검토가 필요할 것으로 판단된다.

3.3 응집제 주입량

Fig. 5는 슬러지처리 시설중 2006년부터 2008년까지 3년 동안 탈수기에서 사용한 고분자 응집제 약품(SDM)의 사용량과 동일 기간동안 발생한 슬러지량 및 주입한 약품량을 발생한 슬러지량으로 나눈 주입 농도 변화를 표시한 것이다.

하는데 투입된 응집제 최대 약품량은 7.9 kg/sludge ton, 최소 약품량은 0.1 kg/sludge ton 및 평균 약품량은 1.3 kg/sludge ton으로 분석되었다. 또한 제품 1톤을 생산하는데 사용한 최대 응집제량은 5.9 kg/product ton, 최소 응집제량은 0.04 kg/product ton, 평균 응집제량은 0.6 kg/product ton으로 나타났다.

3.4 탈수 슬러지 응집 특성

Table 2는 탈수시에 사용된 응집제의 적정 주입량과 탈수 특성을 정리한 것이다. 응집수의 수질은 응집제 주입율이 0.08~0.09% (800~900 mg/L)범위내에서 가장 양호한 것으로 나타났다. 현재 가동되고 있는 탈수기의 운전 조건대로 운전하면서 1분간 여과포를 통하여 빠져나온 여액량의 부피로서 탈수성을 평가한 결과는 응집제 주입율이 증가할수록 탈수성이 다소 양호한 것으로 나타났다. 하지만, 다른 추가적인 영향 인자를 제외한 응집수의 수질과 저약품량 투입으로 인한 경제성 등을 종합적으로 고려할 경우 현재 가동되고 있는 벨트프레스 탈수기에 적합한 슬러지의 응집제 주입율은 0.08~0.09% (800~900 mg/L)가 적당할 것으로 판단된다.

앞서 기술한 바와 같이 현장에 투입된 3년 동안의 응집제 평균 사용량은 1,326 mg/L였지만, 탈수에 필요한 응집제 주입율과 비교할 경우 실제 응집제 주입율이 과다한 것으로 분석되었다. 이는 응집제 주입율과 슬러지 탈수성과의 관계 및 탈수기의 운전 조건 등이 서로 복합적으로 상호 작용을 하고 있기 때문에 차이가 발생하고 있는 것으로 판단된다.

Table 2. Sludge turbidity and dewaterability depending on the coagulant dosage

	Coagulant injection (%)				
	0.05	0.08	0.09	0.15	0.20
Turbidity(NTU)	152	105	122	145	178
Dewaterability(mL)	23	48	53	57	62

Fig. 6에 적정 응집제 주입율로 도출된 0.08% 및 0.09%에서의 탈수 슬러지 사진을 제시하였다. 응집제 주입율이 0.08%보다는 0.09%에서 수분함량이 적은 것으로 육안관찰이 가능하였다.

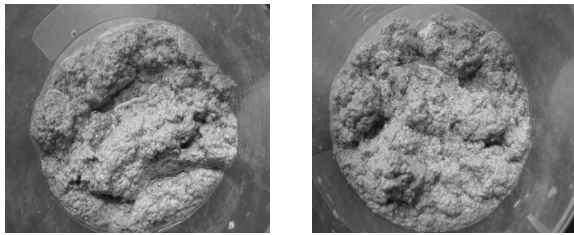


Fig. 6. Photographs of dewatered sludge cake with different injection ratio(0.08%, 0.09%) of coagulant

4. 결론

위생용지를 생산하는 제지공장 폐수처리시설을 대상으로 2006~2008년까지 3년 동안 폐수처리장의 슬러지 관리 현황을 일일 운전일지를 토대로 분석한 후, 운영상의 문제점을 도출하고 개선 방안을 제시하였으며, 도출된 결과는 다음과 같다.

1. 위생용지를 생산하는 제지공장의 폐기물은 폐수처리장의 슬러지가 79%, 소각재 14%, 폐합성수지 5%로 구성되어 있다.
2. 제품 생산에 사용된 용수량과 함께 배출된 일 최대 슬러지 발생량은 233톤, 최소 발생량은 9톤, 평균 113톤의 슬러지가 매일 생성되었는데, 이중 1차 슬러지가 85%, 2차 슬러지가 15% 정도로 분석되었다.
3. 슬러지 탈수 처리를 위해 주입한 응집제량을 발생 슬러지량으로 구한 농도를 계산하면, 최대 7,944 mg/L, 최소 128 mg/L 및 평균 주입 농도는 1,326 mg/L로 나타났다.
4. 슬러지 탈수에 사용된 응집제의 적정 주입량은 0.08~0.09% (800~900 mg/L) 범위가 응집수 수질 및 탈수성을 고려할 경우 가장 적합한 것으로 나타났다.

Reference

- Bae, JG (2002). Special feature. *J. of KOWREC*, 10, pp. 21-33. [Korean literature]
- Battaglia, A, Calace, N, Nardi, E, Petronio, BM and Pietroletti, M (2007). Reduction of Pb and Zn bioavailability forms in metal polluted soils due to paper mill sludge addition: Effects on Pb and Zn transferability to barley, *Bioresource Technology*, 98(16), pp. 2993-2999.
- Calace, N, Nardi, E, Petronio, BM, Pietroletti, M and Tosti, G (2003). Metal removal from water by sorption on paper mill sludge, *Chemosphere*, 51, pp. 797-803.
- Jung, YG (2007). *Sludge into Biosolids - Processing, Disposal and Utilization*, Donghwa Pub, pp. 4-5. [Korean literature]
- Kang, YS (1991). *A study on the rational utilization of sludge in the paper mill wastewater treatment plants*, Master's thesis of Chonbuk National University.
- Kim, EH and Jang, SH (1999). A study on biological treatment of abandoned acidic mine drainage using sewage sludge and papermill sludge as carbon sources, *J. of KoSES*, 4(2), pp. 63-75. [Korean literature]
- Kim, HG, Park, SS and Lee, JH (1992). A study on the characteristics of paper mill sludge thickening and dewatering, *Research of urban and environmental studies*, 7, pp. 1-10. [Korean literature]
- Kim, JB, Eun, JK and Park, SC (1993). Dewatering and incineration paper making sludge, *DEPRI*, 16(2), pp. 1-12. [Korean literature]
- Kim, KJ, Kim, JS, Kim, LH and Yang, KC (2012). Characteristics of nutrient uptake by aquatic plant in constructed wetlands for treating livestock wastewater, *J. of Wetlands Research*. 14(1), pp. 121-130. [Korean literature]
- KWWA (2005). *Korean Standard of Sewage Facility*, pp. 776-777. [Korean literature]
- Lee, JH (1992). *A study on the rational treatment of*

paper mill sludge, Master's thesis of Chonbuk National University. [Korean literature]

Lee, HT, Jung, YJ and Lee, SH (2009). Operating condition analysis of sanitary paper manufacturing wastewater treatment plant, *J. of KSWST*, 17(3), pp. 103-110. [Korean literature]

Thomson, G and Forster, C (2003). Bulking in activated

sludge plants treating paper mill wastewaters, *Water research*, 37(11), pp. 2636-2644.

○ 논문접수일 : 2013년 05월 29일

○ 심사의뢰일 : 2013년 05월 31일

○ 심사완료일 : 2013년 06월 17일