

V. 제지 폐수 벌킹제어를 위한 미생물 적용

5.1 서론

활성슬러지 공정에서 가장 큰 문제점의 하나는 침전조에서 오니의 침강이 전혀되지 않는 슬러지 벌킹이라는 현상이다. 슬러지 벌킹은 슬러지 팽화라고도 하며, 활성슬러지의 용적이 극도로 증대하고, 밀도가 작은 플록을 발생하며, 침강성과 압축성이 저하하여 고액분리가 충분히 행해지지 않는 상태를 말한다.

슬러지지표가 현저히 커지고, 슬러지처리의 효율이 나빠지는 결과를 초래하며, 발생의 원인으로는 사상성 미생물들이 플록사이에 들어가 다량으로 증식함으로써 부패슬러지를 생성하거나, 슬러지속의 결합수가 비정상적으로 증가하여 플록자체가 변성되기 때문에 발생한다. 이러한 벌킹현상은 F/M비, 용존산소량, 온도, pH, 폐수의 성상, 부하량 등의 조건에 따라 일시적 혹은 지속적으로 나타나며 이러한 현상을 제어하기 위해서는 유입폐수의 경우 폐수의 온도, pH, 용존산소 등의 저하 및 BOD부하의 증대에 주의하여 슬러지를 빼내는 양과 반송슬러지의 양 등을 적절히 조절하거나, 물리, 화학적인 방법을 동원하여 조절하고 있으나 근본적인 폐수의 성상 등이 변화되지 않는 한 일시적인 효과 외에는 기대하기 어렵다.⁷⁷⁾

슬러지 벌킹을 일으키는 원인균은 Eikel- boom의 분류에 따른 Type 021N, 1701, 0041 등의 Type 시리즈와 *Sphaerotilus*, *Thiothrix*, *Beggiatoa* 등의 선상세균이 대부분 차지하고 있으며 일부 Fungi가 낮은 pH 영역에서 우점되어 벌킹원인균으로 나타나기도 한다.^{77,78)}

벌킹원인균인 대부분의 선상세균의 생물학적 처리방법은 용균 활성 미생물 이용과 원생동물의 포식관계를 이용한 연구가 활발히 진행되고 있으나 다양한 폐수성상에 대한 적응성 등으로 실제 현장에 적용하기에는 많은 시간과 노력이 필요하리라 예상된다.

본 연구는 실제 벌킹이 발생하는 제지 폐수를 대상으로 현장에 직접 적용할 목적으로 수행하였으며 벌킹원인균인 선상세균의 생물학적 억제기작의 하나로서 일정기질 이상의 농도에서 플록형성세균에 비해 선상세균의 비증식속도가 느린점에 착안하여 플록형성세균을 이용한 벌킹억제의 효율성을 검토하고자 하였다.

5.2 연구사

활성슬러지 혼합액의 고액분리에 문제를 유발하는 것중의 하나가 벌킹현상이다. 활성오니의 벌킹이라고 하는 것은 폭기조내의 DO, pH, BOD 부하율등이 정상적인 미생물에 부적합하여 실모양의(filamentous) 미생물들이 많이 번식하여 SVI가 높아 침전성이 불량함으로서 오니의 부피가 커지는 것을 말한다. 즉 MLSS 농도가 같은데 SVI가 150~200이상 되게 되면 활성오니의 침강속도가 떨어져서 청등한 상등액의 부분이 적어지게 되어 고액분리가 잘 안되는 현상을 벌킹이라고 한다.^{77,80)}

16년 전 Pipes는 벌킹을 슬러지 압밀성의 저하에 의해서 생기는 불침강현상만을 진정한 벌킹이라고 정의할 것을 제안하였다. 침강성의 불량여부를 결정하는 주된 요소는 응집성, 밀도, 압밀성 등이며 검사방법은 SV₃₀이나 SVI로 측정한다. 정상슬러지에 의해 처리된 폭기액의 상등수는 육안으로는 약간 혼탁하며 광학적 현미경에 의해 다수의 원생동물과 후생동물이 관찰된다.⁷⁷⁾

공장폐수의 벌킹중 대부분이 사상성 벌킹이다. 이 사상성 벌킹중에는 공장의 특수한 운전조건 및 기질조성과 관계가 있어 *Thiothrix*, *Beggiatoa* 등은 폐수중에 유기화합물과 관련이 있다고 한다. 그러나 *Sphaerotilus*는 아직 발생기구가 불명확하기 때문에 결정적인 대응책을 얻지 못하고 있다. 이런 사상성 세균에 관해서 Genetelli과 Pipes, Heukelekian, Pasveer등은 계통적인 연구를 하여 폐수의 기질성분, 오니부하, 조작조건 등에 강하게 지배되고 있다고 확인하였다.^{77,78,79)}

벌킹현상에 의한 폐수처리의 문제점이 두각되면서 이러한 벌킹현상을 제어하기 위한 연구들이 많이 시도되었다. Simth등은 염소를 첨가하여 벌킹을 제어하고자 시도하였다. 곰팡이 모양의 사상성 벌킹에 어느정도 효과가 인정되었으나 비사상성 벌킹에는 거의 효과가 없었다. 사상성 미생물에 대한 유효사용 농도는 반송슬러지에 대하여 0.7~7 mg/L가 좋았고, 과잉투여는 오히려 슬러지를 악화시키는 결과를 초래했다. Haseltine에 소석회첨가법이 시도되었다. 하수의 경우 유입수에 비하여 300~500 mg/L 연속 투여로 어느정도 효과가 있었다고 하나 석회의 비중이 크고 응집성이 있어 슬러지의 응집성과 밀도를 높여 호흡에 의한 탄산가스를 고정하여 pH를 개선하는 효과는 기대 할 수 있으나 장기사용은 오히려 응집의 효과를 저하시킬 위험성이 있다고 판명되었다. 고분자 전해질법이 Singer에 의해 검토되었으며 합성 고분자 전해질로서는 양이온계가

유효하며 최적농도는 1/400~1/600 mg/L 무기고분자 응집제는 1/250 정도였다. 사용량이 너무 많으면 flocc이 너무 커져서 잉여슬러지에는 문제가 없었으나 압밀성이 저하되어 SV가 증대되었다. Cole 등에 의해 시도된 과산화수소 첨가법은 반송슬러지에 첨가하는 것이 효과적이거나 동시에 폭기조에서 부하를 낮추고 DO를 높일 경우, 더욱 효과적이라는 결론을 얻을 수 있었으며, 사상성 별킹에는 유효하나 400 mg/L 이상에서는 Deflocculation이 발생하였다. Haywood가 냄새방지나 pH제어를 목적으로 활성탄 첨가법을 발견하였다. 슬러지의 압밀성 향상에 현저한 효과가 있었으며, 유효한 첨가농도로는 활성탄의 종류에 따라 변동이 있으나 4 mg/L정도라고 발표하였다. Kraus는 호기성 슬러지 소화액을 가지고 소화액 첨가법을 시도하였다. 소화액중의 질소 산화물에 의한 질소와 산소의 동시 공급과 충분히 소화된 활성오니 생물의 초기 흡착능력의 상승효과를 잘 이용한 것으로 과부하나 부하변동이 큰 처리시설에 유효한 방법이다.^{77,78,79)}

5.3 이론적인 배경

5.3.1 별킹의 원인 및 종류

1) 정의

활성오니의 별킹이라고 하는 것은 폭기조내의 DO, pH, BOD 부하율등이 정상적인 미생물에 부적합하여 실 모양의(filamentous) 미생물들이 많이 번식하여 SVI가 높아 침전성이 불량함으로서 오니의 부피가 커지는 것을 말한다. 즉 MLSS 농도가 같은데 SVI가 150~200이상 되게 되면 활성오니의 침강속도가 떨어져서 청등한 상등액의 부분이 적어지게 되어 고액분리가 잘 안되는 현상을 별킹이라고 한다.⁷⁷⁾

2) 원인

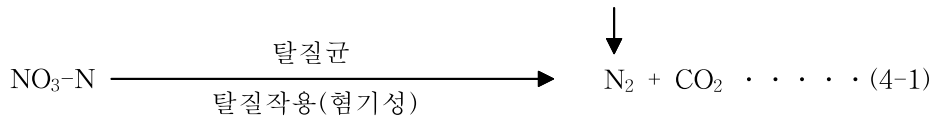
공장폐수의 별킹 중 대부분이 사상성 별킹이다. 이 사상성 별킹중에는 공장의 특수한 운전조건 및 기질조성과 관계가 있어 *Thiothrix*, *Beggiatoa* 등은 폐수중에 유기화합물과 관련이 있다고 한다. 그러나 *Sphaerotilus*는 아직 발생기구가 불명확하기 때문에 결정적인 대응책을 얻지 못하고 있다. 이런 사상성 세균에 관해서 Genetelli과 Pipes, Heukelekian, Pasveer등은 계통적인 연구를 하여 폐수의 기질성분, 오니부하, 조작조건 등에 강하게 지배되고 있다고 확인하였고 그 외에 일반적인 유발인자로는 다음과 같은 것들이 있다.⁷⁹⁾

- ① 급격히 유기질 부하가 높게되어 장기가 소요될 경우 (과부하)
- ② 원폐수 수질이 부패되어 있을 경우
- ③ 유지 함유량이 높고 독성물질을 포함한 세제등에 의해 영향을 받았을 경우
- ④ 유량과 수질이 급격히 변동된 경우 (충격부하)
- ⑤ BOD : N : P가 적당량 존재하지 않는 경우
- ⑥ DO가 부족할 경우
- ⑦ MLSS 농도가 과다 또는 과소할 경우
- ⑧ 침전조와 반응오니 관로에 장기간 오니가 체류되어 혐기성이 되었을 경우
- ⑨ T-Cl(염류) 농도가 급격히 변동할 경우
- ⑩ 유기폐수중에 무기질이 지나치게 적을 경우

- ⑪ 계절의 변화등으로 수온의 변화가 있을 경우
- ⑫ 폭기조내의 미생물이 분산상태에 있을 경우
- ⑬ 최종침전조에서 탈질화 작용
- ⑭ 폭기조내에서 섬유상이나 Zoogloea 박테리아의 과도분열
- ⑮ pH가 낮을 때

또, 현재까지 밝혀져 있는 원인을 관리 운영상으로 분류해 보면

- ① 폐수의 농도 변동은 슬러지의 응집성에 큰 영향을 주고 있는데 수질 변동 (shock loading)에 의해 dispersed growth는 큰 경우에 발생하고 dieflocculation 은 작은 경우에 생기는 것으로 pin-point floc은 BOD부하의 과소에 의해 발생된다.
- ② 처리설비의 규모 능력 용량 구조상의 결함에 따라서도 발생되는데 크게 4 가지로 나눌 수 있다.
 - ① Over-aerated sludge : 과폭기조 슬러지의 floc이 기계적으로 파괴되거나 미소한 기포가 침입하여 침강성이 저해하는 것이다.
 - ② Rising-sludge : 침전조의 체류시간이 너무 길어 혐기성이 되어 탈질반응에 의한 질소 가스를 내포한 슬러지가 부상하는 것이다. 반응식은 식 4-1 과 같다.



- ③ Aerobic sludge : 혐기성이 오래되어 유기물 분해에 의해 생긴 탄산가스나 메탄가스, 수소가스를 내포한 sludge가 부상하여 수면위에서 scum상을 띄우는 것이다.
- ④ Floating sludge : 곰팡이류에 의해서 죽은 원생동물이나 곰팡이류 자체의 균사등이 부패하여 겉보기 밀도가 감소하여 부상하는 경우이다.
- ⑤ 운전관리상에 있어서는 별킹이 압밀성에 의한 침강성 불량이라는 것 외에는 아직 불명한 점이 많지만 폭기조의 pH, DO, 탄소, 질소, 인의 영양성분 균형과 깊은 관련성이 있다.

3) 종류

① 분류

16년 전 Pipes는 별킹을 슬러지 압밀성의 저하에 의해서 생기는 불침현상만을 진정한 별킹이라고 정의할 것을 제안하였다.⁷⁹⁾ 침강성의 불량여부를 결정하는 주된 요소는 응집성, 밀도, 압밀성 등이며 검사방법은 SV₃₀이나 SVI로 측정한다.

정상슬러지에 의해 처리된 폭기액의 상등수는 육안으로는 약간 혼탁하며 광학적 현미경에 의해 다수의 원생동물과 후생동물이 관찰된다.

㉠ 응집성에 난점이 있는 슬러지

슬러지의 일부는 빨리 침강하나 일부는 매우 늦어서 30분 정치하여도 상등액중에 현탁 상태로 남아있는 현상이다. : dispersed growth, deflocculation, pin-point floc 등

㉡ 밀도에 난점이 있는 슬러지

겉보기 밀도가 정상 슬러지보다 작고 슬러지가 침강하지 않고 부상하는 경우와 일단 침강한 후에 부상하는 경우다. : rising sludge, aerobic sludge, over-aerated sludge, floating sludge 등.

㉢ 압밀성에 난점이 있는 슬러지

압밀성이 나쁘기 때문에 극히 천천히 침강하며 침강한 슬러지도 서로 엉키지 않고 상등액이 조금밖에 안되서 SVI가 300 이상되는 것으로 상등액과 슬러지의 경계는 명확하여 투명도가 높다. 처리현장에서 발생 빈도는 비사상성 별킹보다 사상성 별킹쪽이 훨씬 높다.

5.3.2. 별킹의 진단 및 제어방법

1) 진단

별킹의 진단을 함에 있어서는 수질과 오니 정상, 설비기능에 대하여 조사를 하여야 한다. 수질조사는 수량, 수질, 부하조건등을 조사하여 별킹의 발생원인을 찾아내야 한다. 수량, 수질은 시간, 일간, 주간, 월간, 계절에 따라 변동이 크고 제조량 공정에 따라서도 다르다.

오니 정상은 MLSS, SV₃₀, SVI, 오니의 활성도 사상균의 유무 등을 조사한

다. 오니 농도에 따라 침전율이 다른 경우가 있는데 처리시설의 침전조 능력에 따라서 영향을 준다. SVI가 200이상이면 대부분 사상성 세균이 현저하다. DO와 독성물질의 유입 유무, 배니상태의 발란스도 조사한다.

설비기능에 있어서는 폭기조 활성오니의 산소이용 속도에 준해서 폭기량이 정해지고 오니농도에 따라서 배니와 반송량이 정해지는데 배수량에 대해서는 조절할 수 없기 때문에 배수량에 준해서 부하량을 산정해야 한다. 그러므로 폭기장치의 산소공급 능력과 침전조의 체류시간에 따른 반송비와 적절한 SVI를 위한 배니능력을 설정해야 한다.

2) 제어방법

별킹을 제어함에 있어서 크게 대별하면 징조시 제어하는 방법과 기 발생한 현상을 원상태로 회복하는 방법 또는 예방적인 방지대책으로서 별킹이 일어나지 않은 상태에서 금후라도 일어나지 않게 하는 방법이 있다.

① 징조시 제어방법

일반적으로 행해지고 있는 방법이기는 하나 확실한 방법은 아니다.

- ㉠ 침전슬러지 또는 소화슬러지를 혼합시킨다.
- ㉡ 양호한 활성슬러지를 다량 접종시킨다.
- ㉢ BOD 부하를 낮추고 DO를 높인다.
- ㉣ 폭기조를 plug-flow 또는 회분법으로 한다.
- ㉤ 반송슬러지를 재폭기 한다.
- ㉥ 염화제2철 5~50 mg/L 또는 알루미늄 10~100 mg/L를 연속적으로 투입시킨다.
- ㉦ DO를 높인다.
- ㉧ 과산화수소 40~200 mg/L를 간헐적으로 투입시킨다.

② 발생시의 제어방법

- ㉠ 약제 및 유사한 방법을 이용하여 처리하는 방법

(가) 염소첨가법

Simth 등에 의하여 시도되었다. 곰팡이 모양의 사상성 Bulking에 어느정도 효과가 인정되었으나 비사상성 Bulking에는 거의 효과가 없었다. 사상성 미생물에 대한 유효사용 농도는 반송슬러지에 대하여 0.7~7 mg/L가 좋았고, 과잉투여는 오히려 슬러지를 악화시켰다.^{79,80)} 투입방법은 Fig. 5-1과 같다.

- ① 폭기조에 직접 투입
- ② 반송슬러지 Line에 투여
- ③ 폭기조의 MLSS 일부를 재순환시키면서 재순환 Line에 투여
- ④ 폭기조와 2차 침전조 사이에 투여한다.

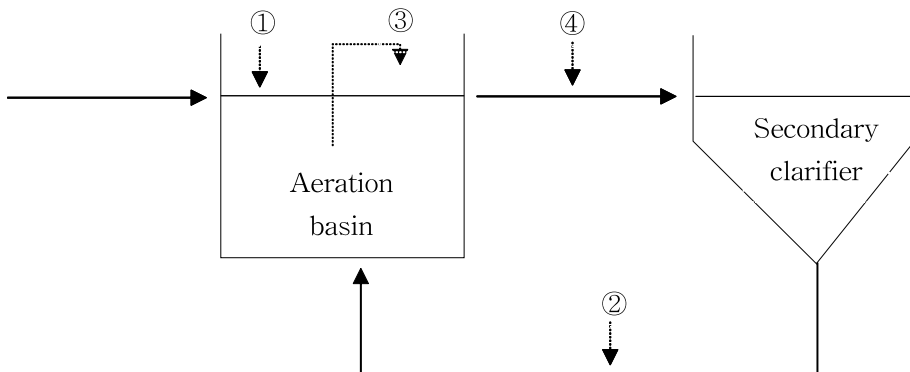


Fig. 5-1. Injection point of chlorine.

(나) 소석회 첨가법

Haseltine에 의해 시도된 것으로서 하수의 경우 유입수에 비하여 300~500 mg/L 연속 투여로 어느정도 효과가 있었다고 하나 석회의 비중이 크고 응집성이 있어 슬러지의 응집성과 밀도를 높여 호흡에 의한 탄산가스를 고정하여 pH를 개선하는 효과는 기대할 수 있으나 장기 사용은 오히려 응집의 효과를 저하시킬 위험성이 있다.^{79,80)}

(다) 고분자 전해질법

Singer에 의해 검토되었으며 합성 고분자 전해질로서는 양이온계가 유효하며 최적농도는 1/400~1/600 mg/L 무기계는 1/250 정도다. 사용량이 너무 많으면 flocc이 너무 커서 잉여슬러지에는 문제가 없으나 압밀성이 저하되어 SV가 증대한다.⁵²⁾

(라) 과산화수소 첨가법

Cole 등에 의해 시도된 방법에서 반송슬러지에 첨가하는 것이 효과적이나 동시에 폭기조에서 부하를 낮추고 DO를 높이면 한층 효과적이다. 투입방법은 고농도로 단시간에 200~300 mg/L를 24시간 연속 투여하고 또는 저농도로 장시간 20~40 mg/L를 수일~10일 정도로 연속 투여한다. 어느쪽이나 다같이 사상성 Bulking에 유효하나 400 mg/L 이상에서는 Deflocculation이 발생한다.^{81,82)}

(마) 활성탄 첨가법

Haywood가 냄새방지나 pH제어를 목적으로 검토하던 중 발견한 것이다. 슬러지의 압밀성 향상에 현저한 효과가 있고 유효한 첨가농도는 활성탄의 종류에 따라 변동이 있으나 4 mg/L정도이다.⁸²⁾

(바) 소화액 첨가법

Kraus가 호기성 슬러지 소화액을 가지고 검토한 것인데 효과는 소화액중의 질소 산화물에 의한 질소와 산소의 동시 공급과 충분히 소화된 활성오니 생물의 초기 흡착능력의 상승효과를 잘 이용한 것으로 과부하나 부하변동이 큰 처리시설에 유효한 방법이다.⁸¹⁾

㉞ 처리 개선에 의한 방법

활성슬러지 처리방법은 연속식 처리방식과 회분식 처리방식으로 구분되며 연속식 처리방법은 완전혼합형과 Plug-flow로 분류된다. 완전혼합형은 유입수가 단시간에 폭기되어 완전히 혼합하는 반면에 Plug-flow형은 칸막이를 넣어 좁은 유로를 길게하여 희석력을 억제시키며 혼합액을 돌출하듯이 흘러 보냄으로서 회분처리계에 접근시킨 방법으로 벌킹 억제에 유효하다.

Rensink의 실험결과에서 회분처리는 BOD 부하량이 0.3kg/kgMLSS · day 이하에서는 벌킹이 일어나지 않았는데 반해 완전혼합형 연속처리법에서는 부하량

이 0.025kg/kgMLSS · day에서도 별킹이 발생되었으며 0.1kg/kgMLSS · day 이상에서는 현저하게 별킹이 발생되었다고 한다.^{81,82)}

③ 성장조건을 제어하는 방법

슬러지 별킹의 발생조건이 여러 가지이므로 각 조건에서 성장하는 미생물들도 다양하여 근본적인 해결을 위한 통일적인 방법은 없지만 조건에 변화를 주어 해결하는 방법은 다음과 같다.

(가) DO를 높여 제거하는 법

(나) N, P등의 발란스를 맞추고 pH를 조정하는 법

(다) 유기물의 부하를 조절하는 법

(라) 폭기조의 체류시간을 길게 하는 법

(마) 염농도는 희석수를 사용하여 평균화시킨다.

(바) 활성오니를 무겁게 하여 강제 침강시킨다.

(중량제 : 소화오니 규조토, 탄산칼슘)

3) 별킹 방지 운전조작법

폭기조나 침전조에 대한 환경조건은 항상 최적 조건을 유지함으로써 각종의 별킹현상을 미연에 예방하고자 하는 방법이다.

① 폭기조의 MLSS를 적당량 보유하고 오니부하를 0.35 이하로 할 것

② 오니반송을 적당히 유지하고 서서히 증가시킨다.

③ 무기질 부족시 공업용 CaCO₃를 수시로 적당량 투입한다.

④ 적정온도를 유지하여 준다.

5.4 재료 및 방법

5.4.1 공시 재료

경기도 소재 H제지회사에서 벌킹의 현상이 발생되어 이를 대상폐수로 선정하였으며 대상 폐수의 폭기조 유입수 수질은 BOD 101.5 mg/L, COD 114.0 mg/L, 폭기조 슬러지 부피(SV30)는 99%로 거의 침강되지 않은 상태였다.

또한, 방류수 수질은 BOD 10 mg/L, COD 52 mg/L로 처리 수질은 비교적 불량하였다.

5.4.2 실험 방법

5.4.2.1 Floc 형성 미생물 분리 및 동정

플록 형성 미생물의 분리를 위해 폐수처리장 활성오니를 균원시료로 하여 2% glucose를 첨가한 nutrient agar 배지상에서 점질물을 내는 집락을 선별하였으며, 선별된 polymer 생성균주는 응집 침강 실험조건으로 플록형성을 비교 검토하였다.

먼저 무기성 입자로는 kaolin 5,000 mg/L를 증류수에 현탁시켜 급속교반하고, 선별된 polymer 생성균주 배양액을 0.1% 첨가하여 완속교반 후 플록의 침강성을 측정하였다. 유기성 입자로는 활성오니를 초음파 파쇄기와 homogenizer를 이용해 분쇄한 후, 현탁성 입자만을 회수하여 2,000 mg/L로 조정한 후 무기성 입자와 같이 침강성을 측정하였다. 침강성은 플록이 형성되어 침강할 때 수면에서 슬러지 부피가 50%에 도달되는 시점을 침강속도로 환산하여 나타내었다.

최종 선별된 미생물의 동정은 전자 현미경(SEM)을 이용한 형태학적 관찰과 지방산 조성 분석 등의 생리 생화학적 특징을 Bergey's manual에 준하여 실시하였다.⁸¹⁾

활성 sludge의 floc 형성에 관한 초기모델은 zooglea등이 사상체에 붙어 floc을 형성하는 것으로 설명되었으나 현재는 활성 sludge 내의 미생물이 생산하는 세포외 점성 고분자 물질이 세포응집과 floc형성의 중요한 역할을 하는 것으로 알려져 있다. 점성 고분자 물질은 heteropolysaccharide로서 Ca, Mg 와 같은

양이온 성분이 플록 형성에 연결 고리 역할을 한다.^{81,82)}

본 실험에서는 활성sludge를 균원 시료로한 polymer 생성 균주를 2% glucose 가 첨가된 nutrient agar 배지상에서 분리한 결과 18개 균주를 1차 선별하였고 이를 응집침강 실험을 통해 침강효율이 가장 높은 polymer 생성 균주를 floc 형성 미생물로 최종 선별하였다.

무기성 입자와 유기성 입자를 이용한 응집침강 실험 결과 floc 형성 균주 EBP-1 처리구는 무기성 입자에서 0.12cm/sec, 유기성입자에서 0.11cm/sec로 대조구에 비해 5배 이상의 높은 침강 효율을 나타내었으며 이를 본 실험의 사용 균주로 선정하였다.

EBP-1의 형태 및 생화학적 특징을 조사한 결과 *Bacillus* 속과 유사한 특징을 나타내었으며 이를 *Bacillus sp.* EBP-1으로 명명하였다. EBP-1의 형태 및 생화학적 특징을 Table 5-1에 나타내었다.

5.4.2.2 Bulking 억제 실험

회분식 Pilot을 사용하여 활성슬러지 2,500 mg/L에 폭기조 유입수를 첨가하여 용량 1,000 mL로 설정하고 이를 30°C, DO 2~4 mg/L 조건으로 대조구와 처리구의 처리 조건별 실험을 실시하였다.

산기관과 연속 주입장치를 설치한 연속식 Pilot를 이용하여 Working volume 2 L, HRT 28hrs, pH 7.0, Temp 30°C, DO 2~4 mg/L로 각각 운전조건을 설정하였으며, MLSS는 2,500 mg/L(F/M ratio 0.2) 범위에서 운전하였다.

Table 5-1. Characteristic of EBP-1

cell sharp	Rod
cell size	0.8-1.0 x 1.9-2.2 μm
sporangium swollen	+
Spore position	T
Gram reaction	+
acid fastness	-
catalase	+
anaerobic growth	-
V-P test	-
gas from glucose	-
acid from	
D-glucose	+
L-arabinose	-
D-xylose	-
D-mannitol	-
hydrolysis of	
casein	+
Gelatin	+
Starch	+
Citrate utilization	+
Nitrate reduction	+
Indole formation	-
growth at pH	
6.8 , nutrient broth	+
5.7 , "	+
Growth in NaCl	
2%	+
5%	-
7%	-
Growth at	
10°C	-
30°C	+
40°C	+
50°C	-

5.5 결과 및 고찰

5.5.1 Bulking 원인균 동정

대상 폐수 폭기조 슬러지를 현미경으로 관찰한 결과 약간의 점 플록과 함께 사상성 세균이 우점하고 있었으며 현미경 배율을 확대하여 형태적 특성을 조사한 결과 Type 021N, 1701, 0041 등이 존재하고 있었으며 이중 Type 021N이 주 우점종으로 조사되었다.

본 조사 결과는 Richard 등(1985)과 Williams 등(1985)이 보고한 산업폐수 처리장에서 발견되는 사상성 세균으로 Type 0041, 1701, *Haliscomenobacter hydrosis*, Type 021N등이 주종을 이룬다는 결과와 유사하였으며 국내에서도 Jung 등(1995)이 조사한 사상세균은 *Microthrix parvicella*, Type 0041, 1701 등이 출현빈도가 높은 것으로 보고되어 있다.⁸³⁾ 산업 폐수 현장의 경우 폐수 발생 특성상 많은 유형의 다양한 물질이 포함되어 있고 운전 방법 또한 다양한 점을 감안하면 출현되는 사상성 세균도 다종 다양할 것으로 추측되었다.

5.5.2 벌킹억제 Pilot Test

벌킹 현상이 폐수처리현장에서 발생되었을 때 현장의 조치 사항으로 염소, 과산화 수소 등 산화제 처리에 의한 방법과 슬러지 침전 촉진을 위해 합성 고분자 응집제, 석회, 철염, 황산철 등을 폭기조에 직접 투입하는 방법을 사용하고 있다. 또한 DO 농도 조절, F/M 비 조절과 같이 운전 조절에 의해 벌킹 현상을 제어시키고 있으나 산화제 및 응결제 투입의 경우 일시적인 억제 효과를 나타내고 또한 운전조절로는 상당한 기간이 소요되는 문제를 내포하고 있다. 생물학적 처리 기작으로서 사상성 세균에 대한 용균기작을 가진 미생물을 이용하는 기술이 보고되어 있으나 실제 현장에 적용성을 가지는지는 알려져 있지 않다.

본 실험은 사상성 세균의 성장에 저해 기작을 가지고 있으며 응결제 역할을 하는 철 화합물을 첨가하는 방법과 사상성 세균의 대체 역할로서 플록 형성 세균을 첨가하는 방법을 병행하여 처리 수질에 영향을 미치지 않으면서 침강성을 개선시키는 실험을 회분식 pilot 와 연속식 pilot를 이용해 실시하였다.

Fig. 5-2와 Fig. 5-3은 적정 체류 시간과 적정 F/M 비를 알아보기 위해 폭기조 활성 sludge 와 *Bacillus sp.* EBP-1 균주의 첨가에 따른 처리 수질 변화를 COD로서 나타내었다.

폭기조 체류시간의 설정은 일반적으로 폭기조 미생물의 대수 증식 후기에 설정하고 있으며 본 실험 폐수의 경우 기초 폭기조 활성 sludge의 미생물 개체군의 대수 증식 후기는 36시간 정도이나 처리율에서의 최적화는 60시간으로 조사되었으며, 반면 flocculation 형성 세균을 첨가하였을 때는 각각 24시간과 36시간으로 나타났다. 이와 같은 결과에서 flocculation 형성 세균이 적정 농도로 유지되어 진다면 보다 짧은 체류시간에 적절한 처리 효율을 얻을 수 있을 것으로 추정할 수 있었다. 또한 별킹 발생 현상의 체류 시간인 48시간을 기준으로 MLSS 양을 조절하여 적정 F/M 비를 조사한 결과 flocculation 형성 미생물 첨가구와 기존 폭기조 활성 sludge 처리구 모두 F/M 비 0.2 정도의 값이 최적인 것으로 조사되었다.

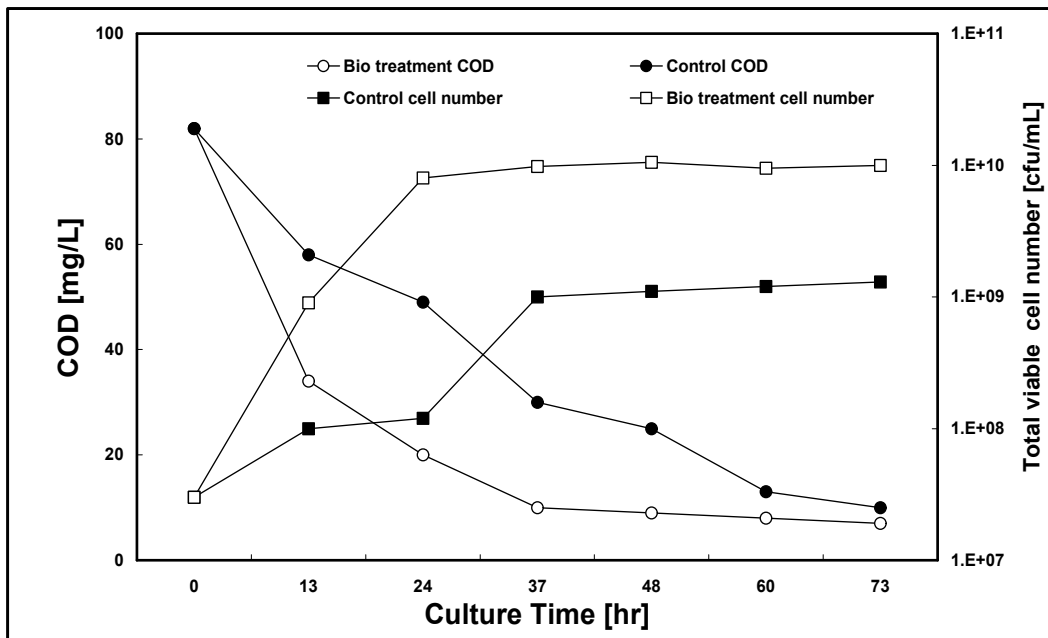


Fig. 5-2. Variation of COD and viable cell number on the treatment of paper wastewater.

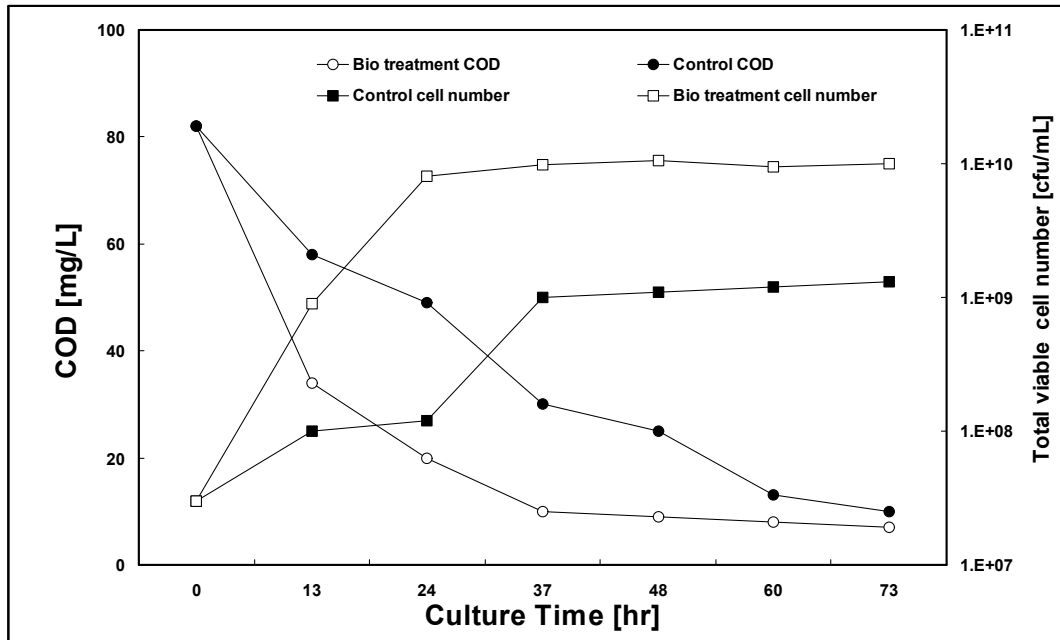


Fig. 5-3. Variation of COD removal rate on each F/M ratio.

철 화합물과 Floc 형성 세균의 조합에 의한 활성슬러지 침강성을 조사한 결과 (Fig 5-4, Fig 5-5) FeCl₃에 비해 FeSO₄에 의한 조합에서 보다 효율적인 것으로 조사되었으며, FeSO₄를 200 mg/L 투입한 결과(43%)와 500 mg/L를 투입한 결과(41%) 사이에 큰 차이가 없으므로 경제적인 면을 고려한다면 적정 투입량을 200 mg/L로 정하는 것이 바람직하다는 결과를 얻을 수 있다.

연속식 pilot 실험은 회분식 실험 결과를 운전 조건에 반영하여 실시하였다. 대조구에는 현장 폭기조 활성슬러지와 FeSO₄ 100 mg/L를 투입하였고, 실험구는 대조구에 floc 형성 세균 *Bacillus sp.* EBP-1 배양액을 200 mg/L 투입한 반응조를 동일한 운전조건에서 비교 조사하였다. FeSO₄와 floc 형성 세균의 투입은 현장 적용 시 과도한 슬러지 발생우려 및 경제적 비용을 고려해 48~96시간으로 투입 간격을 조절하였다.

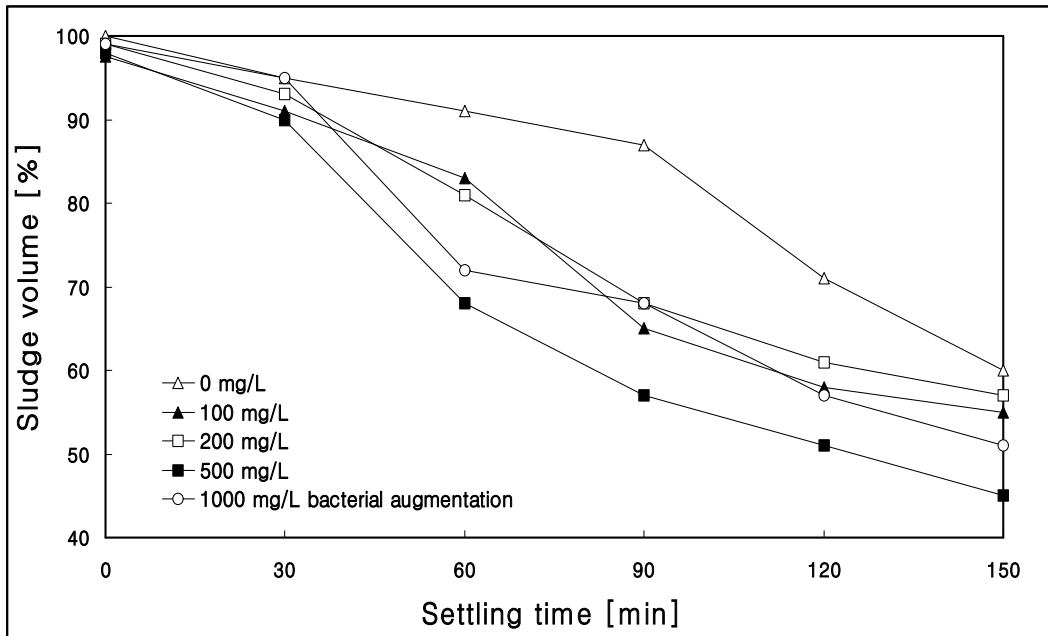


Fig. 5-4. Effect of concentration of bacterial augmentation with FeCl_3 100 mg/L.

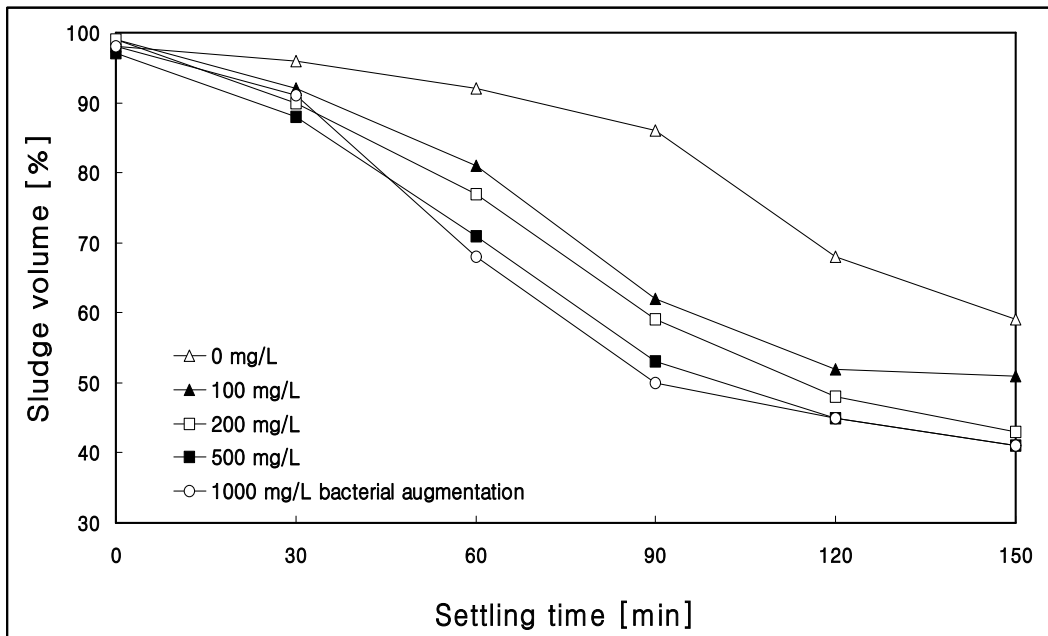


Fig. 5-5. Effect of concentration of bacterial augmentation with FeSO_4 100 mg/L.

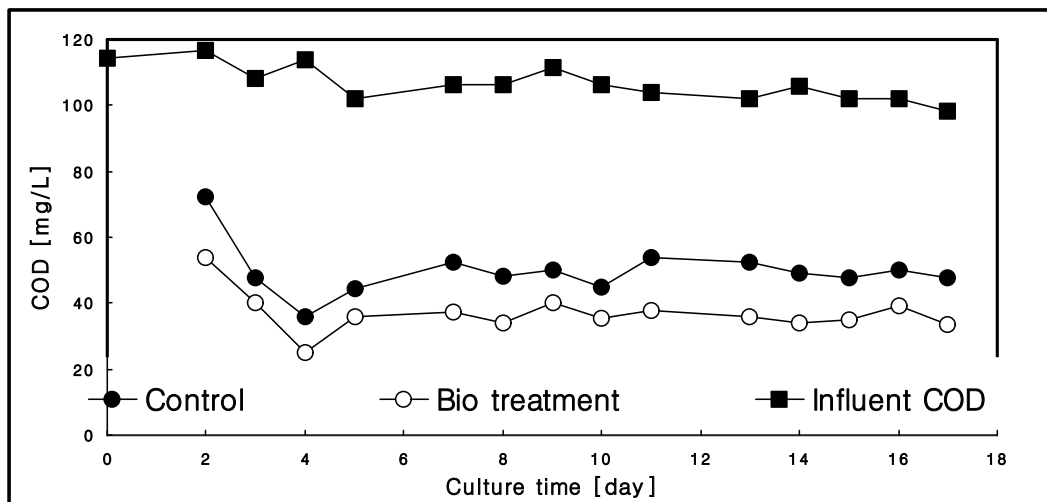
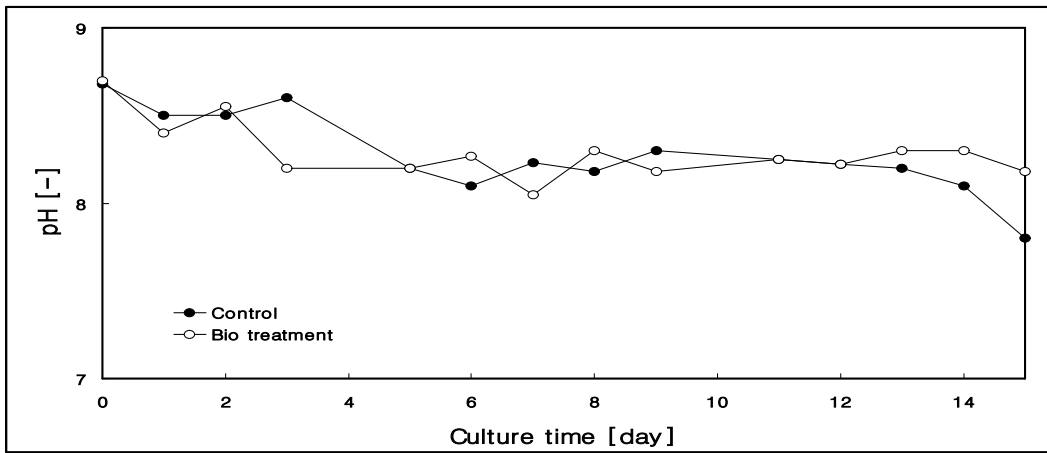
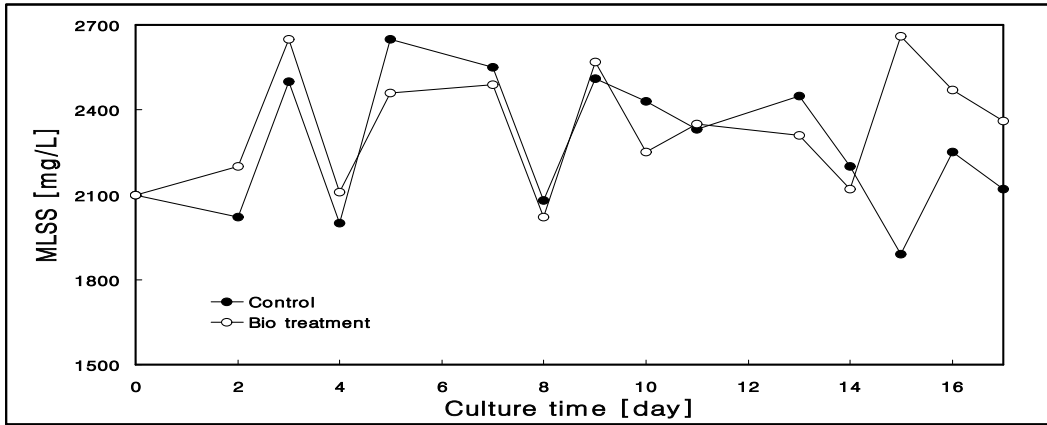


Fig. 5-6. Continuous treatment in bench scale pilot of paper wastewater.

Fig 5-6과 Fig 5-7~5-10에 나타난 결과는 연속 운전에서의 처리 수질의 변화와 침강성 변화를 조사한 결과이다. 연속운전 결과 floc 형성 처리구의 MLSS의 양이 운전 14일차 이후부터 대조구에 비해 차이를 내며 증가하는 것을 나타내었으며, pH는 운전하는 동안 거의 비슷하게 pH 8에 근접하게 유지하는 것을 볼 수 있었다. 유입수 평균 COD는 104.8 mg/L이었으며 대조구 처리수의 경우 평균 COD는 52 mg/L, floc 형성 처리구의 처리수는 평균 COD 35 mg/L로 floc 형성 세균 처리구에서 대조구에 비해 높은 처리 효율을 나타내었으며, 또한 침강성 조사에서 SV30의 경우 운전 초기에는 큰 변화가 없었으나 운전 7일차 이후 침강속도 차이가 나타나면서 운전 13일차에는 floc 형성 세균 처리구에서 50% 이하로 낮아져 처리 수질의 개선과 더불어 별킹제어가 가능함을 나타내었다.

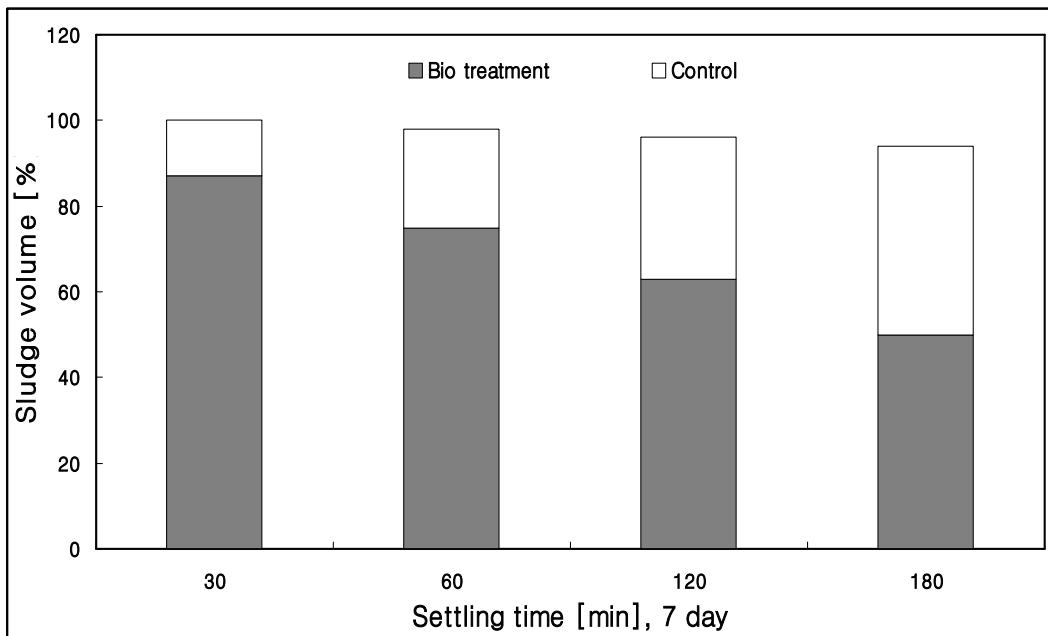


Fig. 5-7. Variation of sludge volume on the bench scale pilot test.

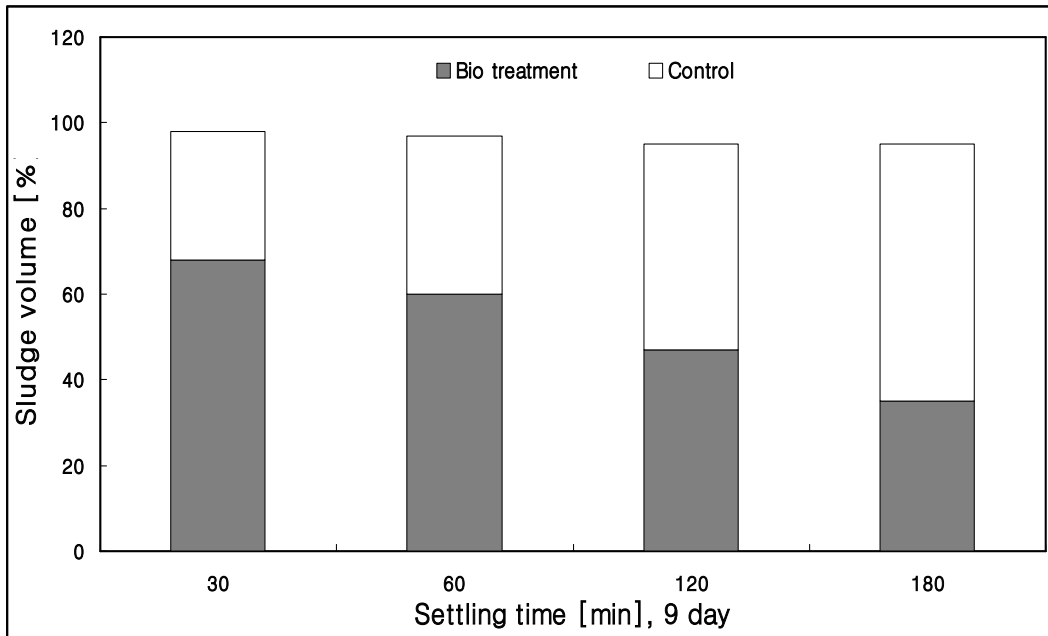


Fig. 5-8. Variation of sludge volume on the bench scale pilot test.

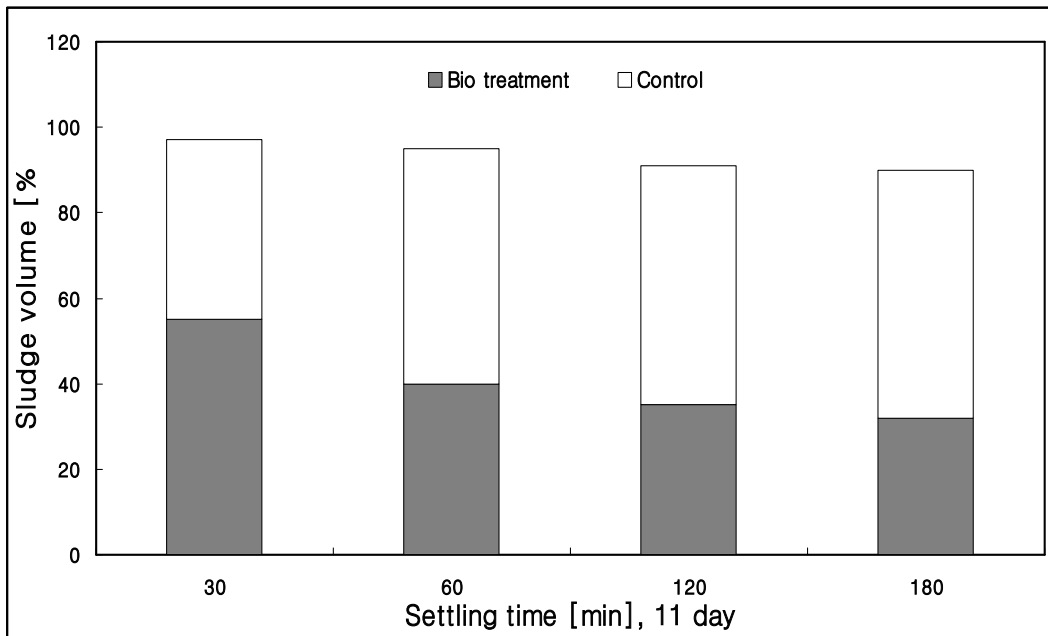


Fig. 5-9. Variation of sludge volume on the bench scale pilot test.

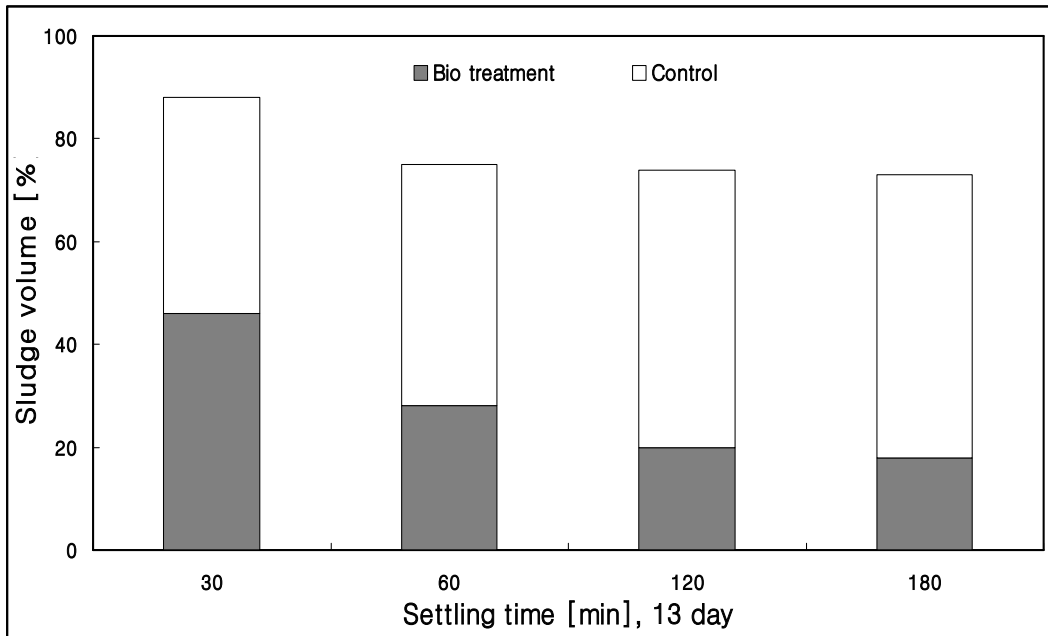


Fig. 5-10. Variation of sludge volume on the bench scale pilot test.

5.6 결론

플록 형성 미생물을 사용하여 실제로 벌킹이 발생한 제지폐수를 활성슬러지법으로 처리한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- (1) 벌킹 원인균으로는 Type 021N이 주 우점종으로 나타났다. 회분식, 연속식 pilot을 이용하여 실험한 결과 기초 폭기조 활성슬러지의 미생물 개체군의 대수 증식 후 최적화는 60시간으로 조사되었으며, 반면 floc 형성 세균을 첨가 하였을 때는 각각 24시간과 36시간으로 나타났다.
- (2) 대상폐수의 연속 운전에서 처리수질의 변화를 조사한 결과, 침강성 조사에서 SV30의 경우 운전 7일차 이후 침강속도의 차이가 나타나면서 운전 13일차에는 floc형성 미생물 처리구에서 50% 이하로 낮아졌다.
- (3) 유입수의 평균 COD 104.8 mg/L에서 대조구 처리수의 경우 평균 COD는 52 mg/L이었으나, floc형성 미생물 처리구의 처리수는 평균 35 mg/L로 높은 처리효율이 나타나 회복시간 단축과 처리수질의 개선으로 벌킹 제어가 가능함을 나타내었다.

