

이미지 분석기법을 이용한 SV30 자동감지방법 및 탁도 추정 모델 개발

최수정 · 김예진* · 염훈식 · 차재환 · 최재훈 · 김창원†

부산대학교 사회환경시스템공학부 · *부산대학교 환경기술산업개발연구소

(2007년 11월 20일 접수, 2007년 1월 14일 채택)

Development of SV30 Detection Algorithm and Turbidity Assumption Model using Image Analysis Method

Soojung Choi · Yejin Kim* · Hoonsik Yoom · Jaehwan Cha · Jaehoon Choi · Changwon Kim†

Pusan National University · *Institute for Environmental Technology and Industry

ABSTRACT : Diagnosis on settleability based on human operator's experimental knowledge, which could be established by long term operation, is a limit factor to construction of automation control system in wastewater treatment plant. On-line SVI(Sludge Volume Index) analyzer was developed which can measure SV30 automatically by image capture and image analysis method. In this paper, information got by settling process was studied using On-line SVI analyzer for better operation & management of WWTPs. First, SV30 detection algorithm was developed using image capture and image analysis for settling test and it showed that automatic detection is feasible even if deflocculation and bulking was occurred. Second, turbidity assessment model was developed using image analysis.

Key Words : SVI(Sludge Volume Index), SV30, Image Analysis, On-line SVI Analyzer, Settleability

요약 : 본 논문에서는 하수처리장의 자동 계측 제어 시스템을 구축함에 있어 제한 요소로 작용되는 2차 침전조의 침전 상태를 자동으로 진단하기 위해 이미지 분석 기법을 적용한 On-line SVI(Sludge Volume Index) analyzer를 이용하였다. 침전 상태를 알아보기 위해 카메라로 촬영한 디지털 이미지로부터 RGB(Red-Green-Blue) 프로파일을 얻었으며, 이를 통해 상등수와 슬러지층의 경계를 자동으로 감지할 수 있는 SV30 감지 알고리즘을 제안하였다. 개발된 SV30 감지 알고리즘은 벌킹, 핀플러크와 같은 침전 문제 발생 시에도 신뢰성 있는 감지능을 보여주었다. 또한 본 논문에서는 상등수 부분의 RGB 값과 실제 운전자에 의해 측정된 탁도 값 사이의 상관관계를 통하여, 탁도 추정 모델을 제안하였다.

주제어 : SVI(Sludge Volume Index), SV30, 이미지 분석 기법, On-line SVI Analyzer, 침전 진단

1. 서론

전통적인 활성슬러지 공정의 목표인 안정적인 유출 수질 생산을 위해서는 생물학적인 오염물 제거 반응과 슬러지의 고액 분리가 동시에 달성되어야 한다.¹⁾ 성공적인 고액 분리를 위해서는 침전능의 변화를 항상 모니터링 하는 것이 매우 중요하므로, 숙련된 운전자는 매일 Sludge Volume Index(이하 SVI)를 측정하고 메스실린더 내에서 발생하는 침전 패턴을 육안으로 관찰한다. 관찰된 정성적 정보와 운전자의 경험적 지식에 의해 침전능의 상태 변화가 진단되고, 이 진단 결과는 침전능을 양호하게 유지하기 위한 필수적인 자료가 된다. 슬러지 침전능은 유입수 성상, 공정의 형태, 공정의 운전 패턴을 비롯한 다양한 인자에 의해 영향을 받으므로 각 현장마다 고유의 특성을 지닌다. 이것이 침전능을 진단하고 예측함에 있어 경험적이고 주관적인 운전자의 판단에 의존하는 이유이다. 하지만, 운전자의

판단은 일관성을 보장하기 힘들며 숙련된 운전자의 퇴직이나 이직 등으로 지식의 연속성이 없으므로 객관화된 진단 시스템의 구축이 요구되어진다.²⁾

이러한 요구에 의해, 기존의 하수처리장에서 필수적으로 수행하는 SVI 작업의 자동화와 침전능 감지 및 진단과정의 자동화를 목적으로 이미지 분석 기법을 이용한 On-line SVI analyzer가 개발되었다.³⁾ 개발된 On-line SVI analyzer를 통해 숙련된 운전자가 이미지 데이터를 통해 침전 양상이 육안으로 관찰이 가능해짐은 물론 이미지 분석 기법을 통하여 도출한 SV30 값과 데이터베이스에 저장되어 있는 MLSS 농도를 통해 SVI 값의 산출이 가능해진다. 하지만 이전연구자에 의해 제안된 SV30 감지 알고리즘은 높이 산출에 있어서 site-specific 한 특징과 상등수의 탁도를 반영하지 못함은 물론, 침전문제가 발생하였을 경우에 SV30을 감지하지 못하는 등의 한계점을 나타내었다.

본 논문에서는 개발된 On-line SVI analyzer의 SV30 감지 알고리즘의 한계점을 보완하기 위하여, 벌킹 및 핀플러크와 같은 침전문제가 발생하였을 시에도 SV30 값을 도출할 수 있는 알고리즘과 2차 침전조 상등수의 탁도 값을 RGB

† Corresponding author
E-mail: hjseo@inha.ac.kr
Tel: 032-860-7505

Fax: 032-865-1425

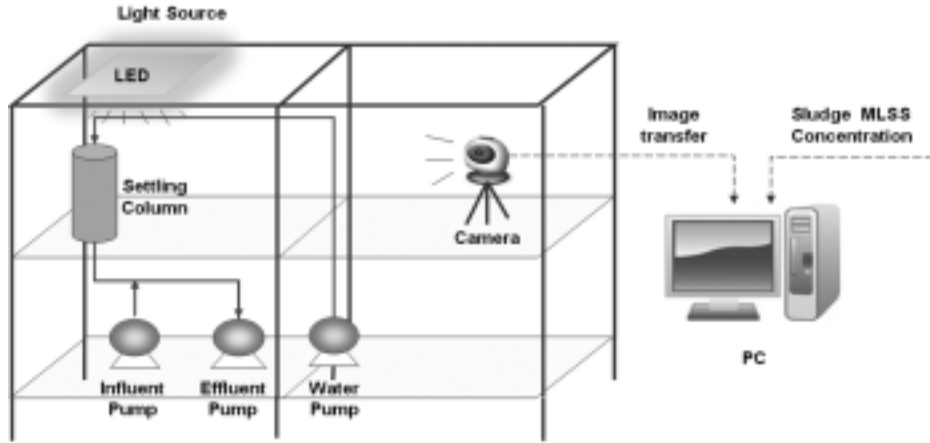


Fig. 1. Schematic structure of on-line SVI analyzer.

값으로 산출할 수 있는 모델을 제안하였다. 이를 통해 운전자의 업무 효율이 증진됨은 물론 실시간으로 침전능의 관찰이 용이하게 되어 하수처리장의 운전자가 2차 침전조의 상태를 보다 편리하게 모니터링 할 수 있을 것으로 기대된다.

2. 재료 및 방법

2.1. On-line SVI analyzer의 시스템 개요

본 연구에서 사용된 On-line SVI analyzer는 Fig. 1과 같은 구성을 통해 자동으로 SV30이 측정되도록 구성되어 있다. 측정 실린더는 실제 하수처리장에서 SVI 측정을 하기 위해 사용하는 1,000 mL 규격의 실린더와 동일한 직경과 높이로 제작되었다. 촬영된 이미지에서 이미지 분석을 통하여 각 픽셀의 RGB 값을 얻어야하므로 이미지 측정값에 오차를 유발할 수 있는 실린더 눈금 표시는 제거하였다.

이미지를 획득하여 RGB 값으로 전환하는데 있어서 가장 중요한 인자는 일정한 광원이다. 이미지의 RGB 값은

광원에 따라 민감하게 반응하여 같은 장면의 이미지라 할 지라도 다양한 값이 도출될 수 있기 때문에, 광원을 고정시켜주는 것이 무엇보다 중요하다. 따라서 측정 실린더와 카메라는 외부 광원의 유입이 없도록 밀폐된 공간(102 cm × 62 cm × 44.5 cm)에 설치되었으며, 빛의 파장이 없는 LED 광원이 밀폐된 공간의 광원으로 사용하였다. 정확한 이미지 측정을 위하여 330만 픽셀로 촬영이 가능한 디지털 카메라(V3, Samsung)를 사용하였다. 측정된 이미지는 모두 1,024×768 픽셀로 변환되어 연결된 PC로 전송되어, 이후 이미지 분석 작업에 의한 RGB 샘플링을 용이하게 하였다.

On-line SVI analyzer의 구동 순서는 LabVIEW 코드로 작성되어 자동으로 단계에 따라 진행되도록 하였다(Fig. 2). 우선, 측정 실린더는 세척수 펌프를 가동시켜 수돗물로 세척한다. 이후 유출 펌프를 가동시켜 세척수를 배출한다. 측정을 위한 다음 단계로서, 호기조로부터 일정량의 슬러지를 측정 실린더 내로 유입 정량 펌프를 사용하여 주입시킨다. 주입이 끝나면 30분간 침전이 진행되며, 1분마다 이미지가 획득되어 연결된 PC에 저장된다. 측정된 이미지는

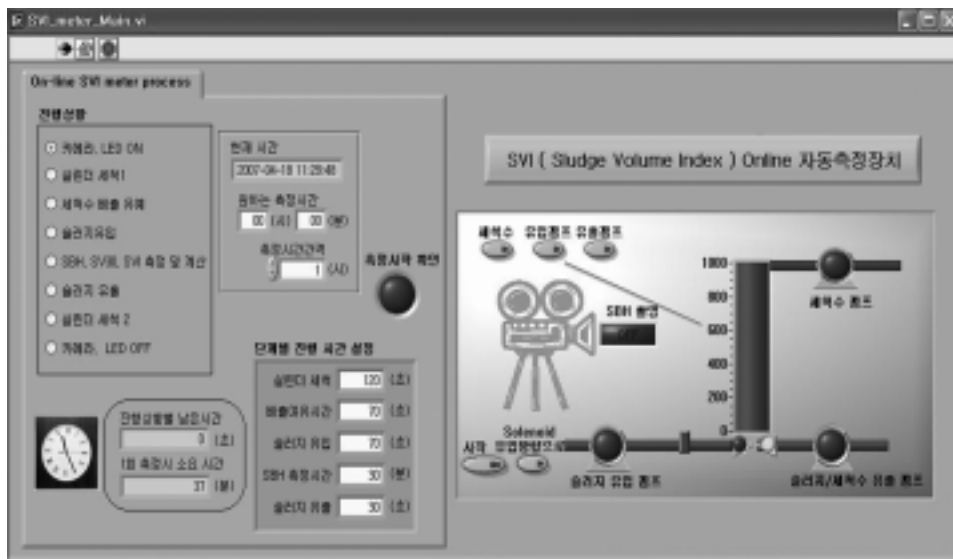


Fig. 2. Operating window by LabVIEW program.

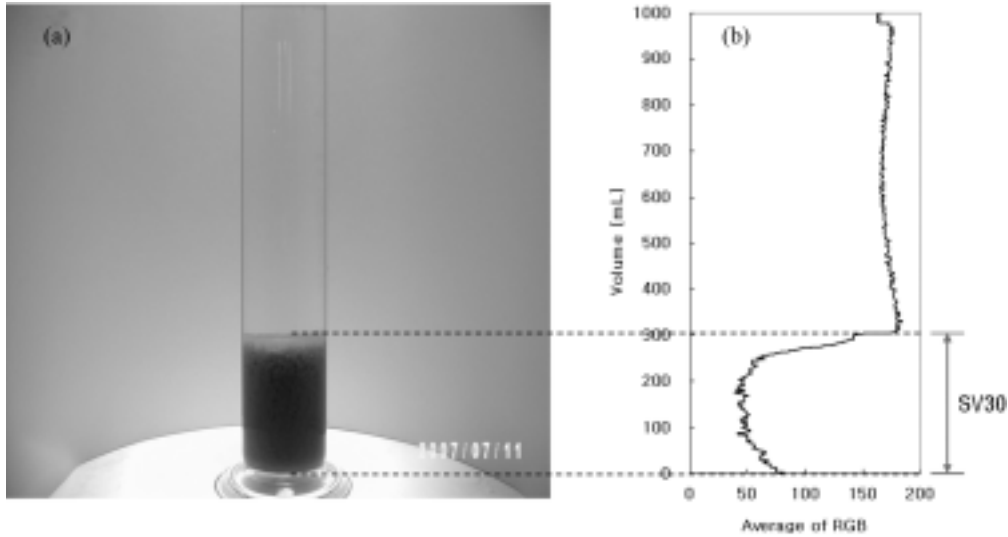


Fig. 3. Image from On-line analyzer(a) and extracted RGB pattern(b).

볼랜드 C 프로그램 코드로 이루어진 이미지 분석 방법을 이용하여 슬러지 높이를 감지한다. 또한 데이터베이스에 저장된 MLSS 농도를 통해, SVI 값이 이미지 촬영과 동시에 계산되어진다. 일반적으로 연속식 반응기 내에서는 MLSS 농도의 변동 폭이 좁기 때문에 고정적으로 MLSS 농도를 설정하여 SVI 값을 계산하는 것이 가능하다. 측정이 끝나면, 침전된 슬러지는 다시 호기조로 유입된다. 마지막으로 측정 실린더에 수돗물을 유입시켜 세척한 후, 다음 측정 시간 까지 휴지시간을 가진다.

2.2. 이미지 분석 기법

본 연구에서 응용한 이미지 분석 기법은 카메라로 측정된 디지털 이미지로부터 특정 패턴이나 특징을 추출하여 목적인 정보를 얻어내기 위해 주로 사용되는 기법이다. 디지털 이미지로부터 획득할 수 있는 정보는 다양하나, 본 연구에서는 주소화 될 수 있는 화면의 가장 작은 단위인 픽셀이 가지고 있는 색의 구성정보인 RGB(Red, Green, Blue)를 획득하여 침전에 관한 정보를 획득하였다.⁴⁾ 이미지 전체의 픽셀 수는 1,024×768이며, 각 픽셀에 할당되어 있는 색깔이 RGB 값으로 추출될 수 있어 RGB 패턴은 1,024×768×3의 3차원 행렬을 이루게 된다. Fig. 3(a)은 호기조 내 슬러지를 1,000 mL 메스실린더에 주입하여 30분이 지났을 때 촬영된 이미지 사진이다. 이미지 중 상등수 층에서 샘플

링 되는 RGB 값은 대략 (160, 159, 161)의 값을 가지고, 침전되어 있는 슬러지 층에서 얻어지는 값은 대략 (39, 42, 35) 값으로 존재하게 된다. 촬영된 이미지 중 전체 픽셀의 이미지가 다 유의미하지는 않으므로, 침전 상태를 대변할 수 있는 정중앙의 한 줄을 샘플링하여 RGB 값을 획득하였다. 슬러지 이미지는 특성상 무채색 계열로 나타나기 때문에 R 지수, G 지수, B 지수의 절대 값은 색의 농도에 크게 의존하여 유사한 패턴으로 변한다. 따라서 본 연구에서는 데이터 분석의 용이함을 위하여 세 값의 평균 값을 사용하였다. 그 결과 촬영된 이미지는 Fig. 3(b)와 같이 높이에 따른 RGB 패턴으로 얻어지며, 침전된 슬러지 층과 상등수 층이 명확하게 구분되어 정성적 관찰 정보가 정량적 정보로 성공적으로 변환되었음을 알 수 있다.

2.3. 침전 문제의 유형

활성 슬러지 공정의 2차 침전조에서는 대표적으로 6가지 고액 분리 문제들이 발생한다. 슬러지 부상, 분산 성장, 핀플러, 사상성 벌킹, 비사상성 벌킹, 거품/스컴 발생이 바로 그것이다.¹⁾ 그 중, 본 연구에서 대상으로 선정한 침전 문제들은 벌킹, 탈플러화이다. 이미지 패턴이 유사하게 얻어질 수 있는 사상성 벌킹(filamentous bulking)과 비사상성 벌킹(non-filamentous bulking)을 벌킹 사례(Bulking case), 핀플러(pin-floc)과 분산 성장(dispersed growth)의 현상은 탈

Table 1. Causes and effect of activated sludge separation problems

Problem		Cause of problem	Effect of problem
Bulking	Filamentous	Overabundance of filamentous organisms	High SVI with very clear supernatant, low RAS and WAS solids concentrations
	Non-filamentous	Excessive amounts of exocellular material (by zoogloal growths or not)	Reduced settling and compaction rates; virtually no solids
Deflocculation	Dispersed growth	Microorganisms dispersed and forming only small clumps or single cells	Turbid effluent, no zone settling of activated sludge
	Pin-point floc	Absence or disruption of exopolymer bridging	Low SVI and turbid, often high SS effluent

플러화 사례(Deflocculation case)로 대표하여, 2차 침전조에서 빈번하게 발생하는 침전 문제를 나타내었다(Table 1).

2.4. Lab-scale 반응기의 운전조건

본 연구의 대상인 벌킹 및 탈플러를 발생시키기 위하여 lab-scale의 SBR(semi-Sequencing Batch Reactor)을 운전하였다. 부산환경공단 S 사업소에서 유기물 부하 0.15 kg COD/kg MLSS/day로 운전되었던 슬러지를 이용하였으며, 초기 미생물의 유기물 부하를 합성폐수 조제를 통해 0.18 kg COD/kg MLSS/day에 맞추어 4 SRT 기간 동안 순응시켰다. 미생물 순응 후, 두 개의 series로 실험을 수행하였다. 하나는 핀플러를 관찰하기 위하여 유기물 부하를 서서히 감소시킨 후 공복하였으며, 다른 하나는 벌킹과 핀플러를 관찰하기 위해 유기물 부하를 0.28 kg COD/kg MLSS/day까지 높인 후 다시 감소시켜 미생물의 상태 변화를 유도하였다.^{5,6)} 각 단의 온도는 21~24℃를 유지하여 실험을 수행하였다. 본 연구에서 사용된 lab-scale의 운전조건을 Table 2에 나타내었다.

유기물 부하 변동에 따른 미생물 플러 크기 및 형태의 변화를 관찰하기 위해 현미경 관찰(Zeiss Axioskop 2plus, Germany)을 50배, 100배, 200배 렌즈를 사용하여 실험기간 동안 수행하였다. 이미지 분석 기법을 통해 도출된 SV30, SVI 값과 비교하기 위하여, 육안을 통해 SV30 값 및 SVI 값을 관찰하였다. 30분 침전 후 측정 실린더의 상등수 탁도는 핀플러를 확인하는 매우 중요한 매개변수이므로, 측정 실린더의 800 mL 지점의 상등수를 샘플링하여 Hach[®] laboratory turbidimeter(2001N)을 통해 탁도 값을 측정하였다. Hach[®] laboratory turbidimeter(2001N)의 탁도 측정 범위는 0-4000 NTU이다. Lab-scale semi-SBR의 운전방법은 총 cycle를 12시간으로 실험을 수행하였다. Cycle은 호기 8시간, 침전 2시간, 그리고 휴지 1시간으로 구성되어있으며, 원수 주입은 호기기간 동안 연속적으로 주입되었다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 침전 문제 유형에 따른 RGB 프로파일

2차 침전조에서 대표적으로 나타나는 문제인 벌킹, 탈플러화를 인위적으로 유발하기 위해 이상 침전 유발 실험을 실시하였다. 매일 standard method로 SV30을 측정함과 동시에, On-line SVI analyzer를 통해 침전 문제가 발생하였

Table 2. Operating data of the laboratory scale activated sludge units

Series	Change in organic loading (kg COD/kg MLSS/day)	case	MLSS (mg/L)	DO (mg/L)	pH
I	0.18 → 0.1 → 0	pin floc	1,800-2,000	0.1-4.0	6.5-7.5
II	0.18 → 0.28 → 0.1	bulking/ pin floc			

을 때 슬러지 침전능의 상태 변화를 연속적으로 촬영하여 이를 이미지 데이터로 획득하였다. On-line SVI analyzer로부터 전송되어진 이미지를 통해 RGB 값을 추출하여 분석한 결과, 벌킹과 탈플러의 경우 높이에 따른 RGB 값 패턴이 각각 다른 특징을 나타내고 있음이 확인되었다.

3.1.1. 벌킹 조건(Bulking case)

Lab-scale 반응기로 운전되었던 series II에서, 유기물 부하를 0.18 kg COD/kg MLSS/day에서 0.28 kg COD/kg MLSS/day로 점차 증가시켜 벌킹 상태를 유발하고자 하였다. 실험에 앞서 부산환경공단 S 사업소로부터 채취한 슬러지 플러 크기를 관찰하였을 때, 플러 크기의 범위가 약 75~100 μm로 나타났다. 유기물 부하를 0.28 kg COD/kg MLSS/day로 점차적으로 증가 시킨 후 현미경으로 플러 크기 관찰을 수행하였을 때, 플러 크기의 범위가 150~250 μm로 플러의 크기가 커지는 것을 관찰되었다. 반응기 내 플러들 사이에 가교 역할을 하는 filamentous 박테리아가 과잉 성장되었다고 사료되며, lab-scale semi-SBR 반응기의 침전 단계의 침전 상태가 불량한 상태로 변화되었다. SVI 값, 현미경 관찰, 침전 양상을 통해 벌킹 상태가 유발되었다고 판단되었다.

On-line SVI analyzer에서 전송된 bulking이 발생한 슬러지의 이미지를 이미지 분석을 통해 RGB 값을 추출하였다. 부피에 대한 RGB 값이 Fig. 4(a)와 같은 패턴으로 나타났다. case 1에서 case 7의 순서로 벌킹이 진행되었으며 standard method로 측정된 SVI 값이 높아지는 것이 관찰되었다. 이미지 분석 결과에서도 동일하게 벌킹이 진행됨에 따라 슬러지와 상등수의 높이 경계면이 아랫방향에서 윗방향으로 확연히 높아지는 것을 관찰할 수 있었다. 따라서 이미지 상에서 도출된 고액 경계면 높이와 RGB 패턴의 변화를 통해 슬러지의 벌킹 현상을 진단할 수 있음을 확인하였다. 상기 조건에서 상등수의 탁도는 3~4 NTU 사이로 유지되어 큰 변화가 없었으며, 이것은 핀플러 현상이 아니라는 점을 실험적으로 뒷받침한다.

3.1.2. 탈플러 조건(Deflocculation case)

Lab-scale의 semi-SBR 반응기의 series I에서, 유기물 부하를 점차적으로 감소시켜 0 kg COD/kg MLSS/day까지 유기물 부하를 낮추어 핀플러 상태를 유발하고자 하였다. 핀플러는 실험 수행 18일 경과하여 유기물 부하 0 kg COD/kg MLSS/day이 되었을 때 발생되었다. 유기물 부하를 감소시킴에 따라 플러의 사이즈 역시 작아지는 것을 현미경 관찰을 통해 확인하였으며, 반응기 내 플러들이 깨져서 70 μm 이하의 크기를 가진 플러들이 다수 발견되었다. 실험이 진행됨에 따라, 3.0 NTU 이하로 측정되었던 상등수의 탁도가 16.0 NTU 이상으로 상승하였다. 상등수의 suspended solid(SS) 농도가 정상상태에서 6 mg/L로 측정되었으나, 실험이 진행됨에 따라 방류수 배출 기준(20 mg/L) 이상인 40 mg/L로 측정되었다. 플러 파괴로 인하여 반응기 내 부유

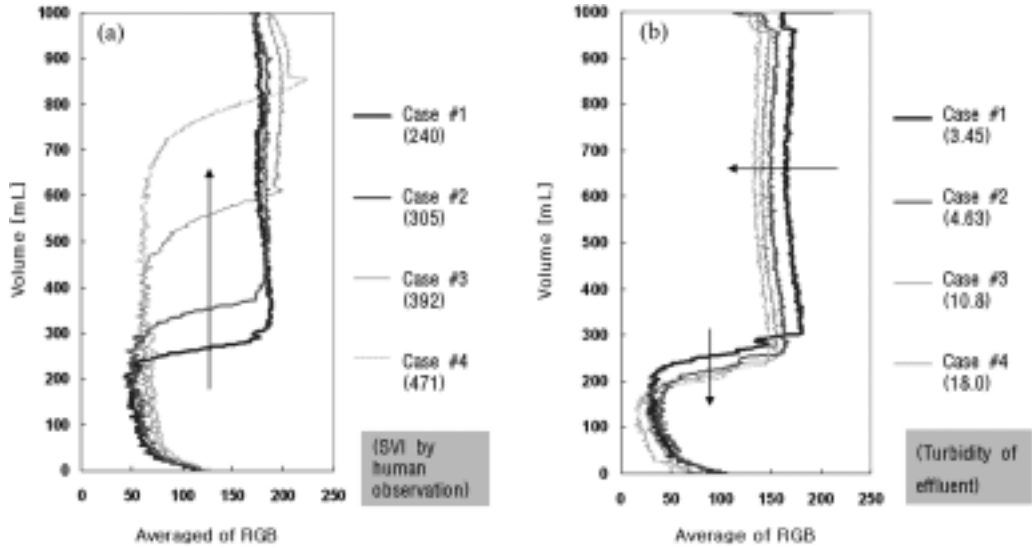


Fig. 4. SV30 RGB profile of bulking case(a) and deflocculation case(b).

하는 미세 플러클들의 농도가 증가하였으며, 이것이 탁도를 유발하고 있다고 판단되어진다. 이러한 것을 토대로 핀플러클 상태가 유발되었음을 확인하였다.

On-line SVI analyzer로부터 얻은 핀플러클 이미지 데이터를 이미지 분석을 통해 RGB 값을 추출하였을 때, 부피에 대한 RGB 값이 Fig. 4(b)와 같은 패턴을 얻을 수 있었다. case 1에서 case 6으로 핀플러클이 진행되었으며, 실험이 진행됨에 따라 슬러지와 상등수의 높이 경계면이 점점 하강하는 것이 관찰되었다. 무엇보다 핀플러클이 진행됨에 따라 상등수 RGB 값의 변화가 눈에 띄게 관찰되었다. 핀플러클이 발생되면 상등수에 침전되지 않은 미세 플러클들로 인하여 상등수가 혼탁해지며 결과적으로 탁도가 높아진다. 일반적으로 RGB 값은 탁도가 높을수록 작아지며, Fig 4(b)에서 볼 수 있듯이 핀플러클화가 진행될수록 상등수의 RGB 값이 작아지면서, 그 패턴이 오른쪽에서 왼쪽으로 이동하는 것을 확인할 수 있었다. 따라서 이미지 데이터에서 추출된 상등수 RGB 값, 고액 경계면 높이, 정상 대비 RGB 패턴의 변화 등을 통하여 슬러지의 핀플러클 상태를 감지할 수 있음을 확인하였다.

3.2. 이미지 분석 기법을 통한 SV30 감지 알고리즘 개발

침전된 슬러지 층에 해당하는 RGB 값은 슬러지 색깔이 어두워짐에 따라 RGB 값이 작아지는 양상을 보인다. On-line SVI analyzer로부터 전송되어진 사진은 이미지 분석을 통해 RGB 값으로 변환된다. RGB 값을 도출할 때, 전체 사진 중 한 행만을 선택하여 분석하기 때문에 실제 침전 양상과 다른 이미지 분석 결과가 나올 가능성이 있다. 따라서 도출한 RGB 값의 noise를 제거하기 위해 3 point moving average 통해 데이터 filtering 작업이 필수적으로 요구된다. On-line SVI analyzer를 통해 SV30을 감지하는 구체적인 알고리즘의 수행절차는 Fig. 5의 순서도와 Table 3에 기술되어 있는 단계를 따른다.

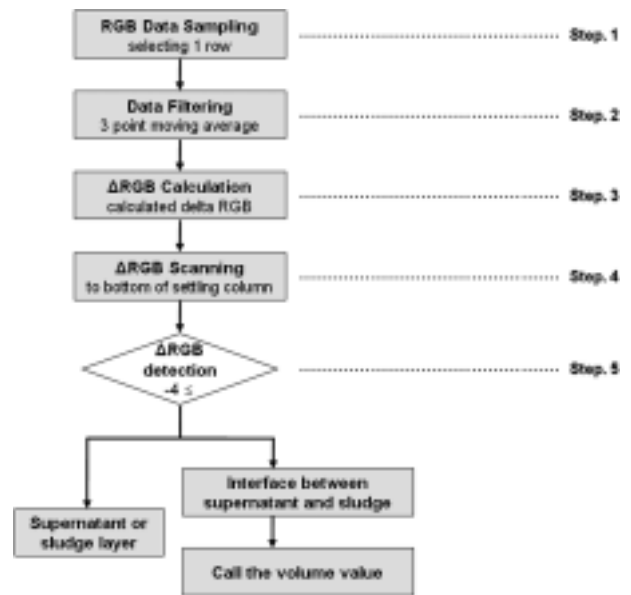


Fig. 5. Sludge blanket(SV30) detection flow chart.

Table 3. Settled sludge blanket(SV30) detection procedure

Steps	Description
Step 1 Sampling	SV30 RGB profile(A) created by selecting 1 row among the obtained pixel, and [1*A] matrix could be formed(A:number of vertical pixel).
Step 2 Filtering	Noise filtering was carried out using 3 points moving average method, and settled sludge volume value assigned to each matrix component.
Step 3 ΔRGB calculation	Calculated delta RGB values from 1,000 mL point to 0 mL point.
Step 4 ΔRGB scanning	Scanning the delta RGB value from 1,000 mL point to bottom of settling column.
Step 5 Sludge interface detection	Finding under -4 value element, and call the volume value equivalent to that element. It is the sludge blanket height(SV30).

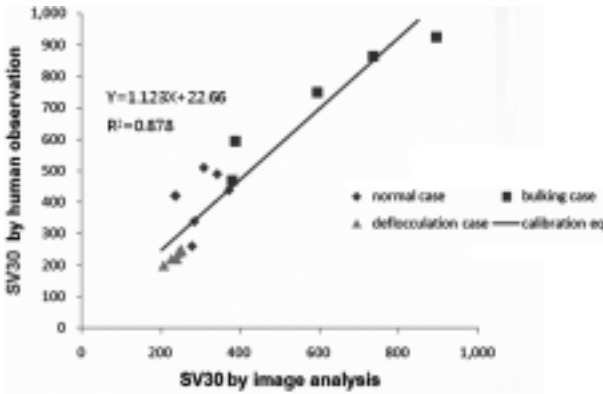


Fig. 6. Relationship of SV30 between human observation and image analysis.

3.3. SV30 감지 알고리즘의 신뢰도 평가

On-line SVI analyzer는 매일 SVI를 자동으로 측정하고 그 결과를 data base에 저장하여, 침전 상태의 모니터링이 용이하게 한다. 하지만, On-line SVI analyzer의 효과적인 이용을 위해 신뢰도 평가는 필수적으로 수행되어야 한다. 이전 연구자에 의해 개발되었던 SV30 감지 알고리즘은 신뢰도가 98%를 나타내었다.³⁾ 하지만 개발된 알고리즘의 경우, 정상상태만 기준으로 하여 평가되었으며 침전 상태에 문제가 발생하였을 경우에 대한 재현성 평가가 이루어지지 않았다. 실제로 탈플럭이 발생할 경우 이미지를 분석하였을 때 SV30 감지가 불가능 하였다.

Fig. 6은 On-line SVI analyzer의 SV30 감지 알고리즘으로부터 산출한 SV30 값과 운전자에 관찰된 SV30 값을 비교한 것이다. SV30 감지 알고리즘의 신뢰도를 평가하였을 때, 신뢰도가 87.8%로 확인되었다. 이는 이전 연구자에 의해 개발되었던 SV30 감지 알고리즘의 신뢰도와 비교하여 볼 때, 신뢰도 수준이 낮다.³⁾ 하지만, 본 연구에서 개발한 SV30 감지 알고리즘은 앞서 개발된 알고리즘과는 달리, 침전 문제가 발생되었을 경우에도 SV30을 명확히 감지할 수 있었으며, 또한 이미지 분석 방법에 의해 도출한 RGB 값을 통해 상등수의 탁도를 감지할 수 있다는 장점을 가지고 있다.

3.4. 이미지 분석 기법을 통한 탁도 추정 모델 개발

30분간 침전 테스트를 통해 SV30을 얻은 후, 800 mL 위치의 상등수를 분취하여 Hach[®] laboratory turbidimeter (2001N)로 상등수의 탁도를 관찰하였다. 이것을 On-line SVI analyzer에서 도출한 RGB 값의 800~900 mL 구간의 RGB 값 평균과 비교한 것을 Fig. 7에 나타내었다. 그 결과, 이미지 분석을 통해 얻은 800~900 mL 구간의 RGB 값과 운전자에 의해 관찰된 탁도값이 선형관계를 가짐을 확인하였으며, 식 (1)과 같이 나타낼 수 있다.

$$Turbidity = -0.75 \times RGB + 119.9 \quad (1)$$

이를 통해, 침전 공정 후 배출되는 상등수 탁도 값을 On-

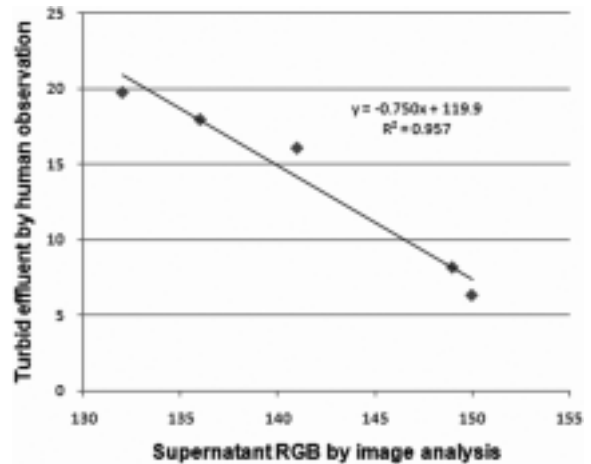


Fig. 7. Relation of human measured turbidity and RGB value.

line SVI analyzer를 이용해 도출되어진 RGB 값으로 추정할 수 있는 가능성을 확인하였다.

4. 결론

본 연구에서는 On-line SVI analyzer를 적용하여, 침전 상태를 대변하는 SV30을 자동으로 얻어내는 알고리즘을 개발하였다. 사용한 On-line SVI analyzer는 실린더와 유입/유출 펌프, 카메라의 하드웨어로 구성되어 있어 간단한 구조를 가지며, 구동이 복잡하지 않은 것이 본 장치의 장점이다. On-line SVI analyzer의 신뢰성과 재현성을 평가하기 위하여, lab-scale semi-SBR을 운전하여 사상성 별킹과 탈플럭을 유도하였고, 이미지 분석 기법을 통하여 각 침전 문제에 따른 RGB 프로파일도 획득하였다. 그 결과, 이미지 분석으로부터 얻어진 SV30 RGB 프로파일 패턴이 각각의 침전 문제를 대표하는 특징을 가진다는 사실을 확인할 수 있었다. 개발된 SV30 감지 알고리즘은 이전 연구와는 달리 침전 문제가 발생하였을 시에도 검출 되었으며, 탁월한 재현성을 나타내었다. 본 연구에서는 30분 동안 침전된 측정 실린더 상등수의 RGB 값을 통해 2차 침전조의 상등수 탁도를 추정하는 모델을 제안하였으며, 이를 통해 RGB 값을 통해 상등수의 탁도를 감지할 수 있는 가능성을 발견하였다.

이 후 연구를 통해, 자동으로 얻어지는 최종 SV30 값, 현재의 MLSS 농도를 참조하여 제공되는 SVI 지수, 그리고 각 침전 문제의 SV30 RGB 값 패턴의 변화와 그 특징을 이용한 패턴 매칭 기법의 적용과 규칙 생성을 통해, 침전 문제를 진단 할 수 있는 진단 알고리즘을 완성할 수 있을 것이다. 또한 이는 공정 운전자에게 효율적 운전을 위해 많은 도움을 제공할 수 있을 것이라 판단되며, 무인 측정 시스템의 발전에도 기여할 수 있을 것으로 예상된다.

참고문헌

1. Jenkins, D., Richard, M. G., Diaigger, G. T., Manual on

- the cases and control of activated sludge bulking, foaming, and other solid separation problems, 3rd ed., pp. 1~7(2003).
2. 김예진, “연속회분식 공정 관리를 위한 추론모델 및 인공지능형 진단 알고리즘 개발,” 부산대학교(2006).
 3. 안유가, “활성슬러지 공정의 침전능 진단을 위한 자동 SVI 계측기 개발 및 적용,” 부산대학교(2007).
 4. Image Processing Toolbox For Use with MATLAB, The Math Work, pp. 1.2-1.18(1998).
 5. Barbusinski, K., “Influence of floc size on activated sludge volume index,” *Environ. Protection Eng.*, **26**(2000).
 6. Chao, A. C. and Keinath, T. M., “Influence of process loading intensity on sludge clarification and thickening characteristics,” *Water Res.*, **13**, 1213~1223(1979).