



하수처리 공정시스템에서 유량제어기법의 활용에 관한 연구

A Study on the applications of flow control methods in sewage treatment process system

정성윤·강선홍*

Seong-Yun Jeong·Seon-Hong Kang*

광운대학교 환경공학과

Department of Environmental Engineering, Kwangwoon University

ABSTRACT

This study was begun with the object of actively reflection the rapid technological advancements of the electronical control and mechanical control industries to sewage disposal methods. Or focuses on applying a flow control method that utilizes inverters and automatic valves to sewage treatment process systems.

This study proposes that sewage treatment process systems architects must acquire a certain degree of technical skills in the areas of electrical and mechanical controls in order to raise the standard of completeness of sewage treatment process systems. And further emphasizes that there is required continuous research on automatics valves that are used in sewage treatment.

Key words: automatic valve, flow control methods, inverter, sewage treatment process systems

주제어: 하수처리공정시스템, 유량제어기법, 인버터, 자동밸브

1. 서 론

하수처리란 가정이나 사무실에서 배출되는 생활하수, 축산농가에서 배출하는 축산폐수, 공장에서 배출하는 산업폐수 등을 집수하여, 오염물질을 제거한 후 하천이나 바다로 방류하는 과정을 의미한다. 하수배출로 인한 하천오염에 대응하기 위해, 정부에서 「하수도법」을 제정했던 것은 1966년의 일이다. 그리고 1976년에는 국내최초의 하수처리장인 청계천하수종말처리장이 건설되었으며, 이래로 국내의 하수도 보급률은 꾸준히 증가되어 왔다. 2000년에 이르러서는 하수도 보급률이 70%를 넘어서게 되었고, 정부에서는 하

수관거정비 사업을 통해, 하수처리장으로 유입되는 불명수를 줄여서, 하수처리효율을 개선하고자 하는 목표를 세우고, 사업 타당성을 검토하기에 이르렀다. 그리고 2002년에는 정부가 “하수관거정비 종합계획”을 수립하여, 당해 연도를 “하수관거정비원년”으로 삼고, 하수관거정비 사업을 하수도정책의 최우선 과제로 선정하였음을 발표하였다. 이듬해부터, 팔당상류 하수관거정비 시범사업이 추진되었으며, 2005년부터는 임대형 민자 사업(BTL) 방식으로 하수관거정비 사업이 추진되기 시작했고, 2006년에는 댐 상류 하수도 시설 확충사업이 추진되는 등 하수관거정비 사업은 전국적으로 시행되었다. 국가하수도정보시스템에 의하면, 2014년 기준으로 하수도 보급률은 92.5%이며, 하수관거 보급률은 77.8%로 집계되고 있다.

Received 8 August 2016, revised 18 October 2016, accepted 19 October 2016

*Corresponding author: Seon-Hong Kang(E-mail: seonhong@kw.ac.kr)

pp. 481-489

pp. 491-500

pp. 501-509

pp. 511-519

pp. 521-532

pp. 533-543

pp. 545-551

pp. 553-559

pp. 561-569

pp. 571-577

pp. 579-586

pp. 587-596

pp. 597-604

pp. 605-612

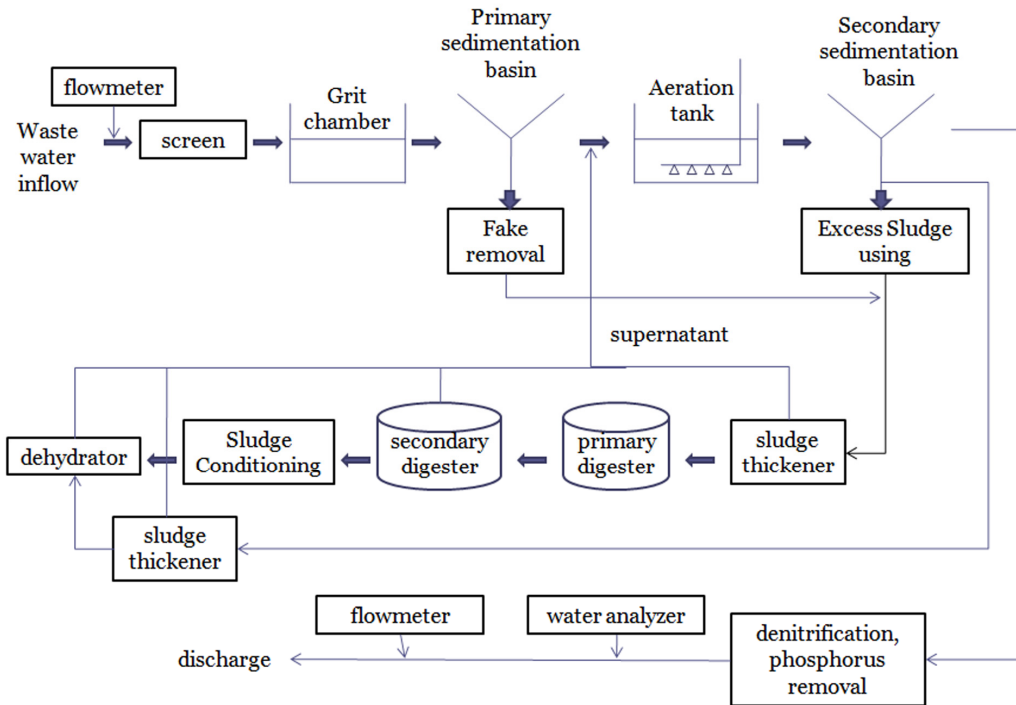


Fig. 1. Block Diagram of Sewage Disposal

본 연구는 높은 하수도 보급률을 보이는 시대적 상황을 고려하여, 빠른 발전 속도를 보이고 있는 전기제어 분야의 기술력을 하수처리공법에 적극적으로 활용해 보고자 하는 취지로 시작되었으며, 인버터와 자동밸브를 활용한 유량제어기법을 하수처리공정시스템에 적용하는 부분에 대해 주로 다루고 있다.

2. 이론적 고찰

2.1 하수처리공법

하수처리공법은 좁은 의미에서 수질오염방지기술을 뜻한다. 수질오염방지기술은 물리적 처리, 화학적 처리, 생물학적 처리방법으로 분류할 수 있으며, 하수처리과정에서 발생하는 슬러지의 처리과정을 포함한다. 현재 대부분의 하수처리장은 생물학적 처리방법과 물리적 처리방법을 혼용하여 하수처리를 하고 있다.

스크린을 사용하여 비교적 큰 혐잡물은 제거하는 과정과 침사지에서 중력으로 무기물을 제거하는 과정, 그리고, 침전지에서 중력으로 슬러지를 침전시켜 인발하는 과정이 물리적 처리방법에 해당하며, 포기조에서 호기성 미생물을 이용하여 유기물을 제거하는 과정과

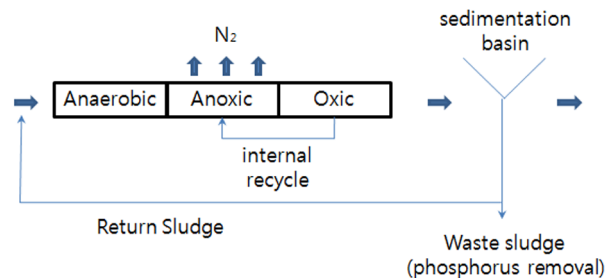


Fig. 2. Block Diagram of A2O Process

혐기성 소화조에서 혐기성 미생물을 이용하여 슬러지를 소화시키는 과정이 생물학적 방법에 해당한다.

Fig. 1은 많이 적용되는 하수처리시설 계통도이고, Fig. 2는 고도처리공법 중 질소와 인을 제거하기 위한 A2O 공정설비의 계통도이다.

2.2 자동밸브

자동밸브는 개도율 제어 또는 On/Off 동작을 전기제어시스템을 통해서 운전자가 조작할 수 있는 밸브들을 의미한다. 구동에너지에 따른 분류로서 전기식, 공압식, 유압식이 있다. 동작특성에 따라서는 On/Off Valve와 Control Valve로 분류할 수 있으며, 주로 사용



되는 Body 형상은 게이트밸브, 볼 밸브, 글로브 밸브, 버터플라이밸브 등이 있다.

하수처리시스템을 설계할 시에 다수의 자동밸브를 적용하려 한다면, 공압식 구동시스템을 갖춘 자동밸브를 채택하는 것이 합리적이고, 자동밸브의 사용이 많지 않은 시스템으로 설계가 된다면, 전기식 구동시스템을 갖춘 밸브를 적용하는 것이 적절하다. 공압식 구동시스템은 자동밸브의 구동을 위해서 별도로 구축해야 하는 반면에, 전력공급설비는 이미 갖추어져 있어서 전력케이블로 연결만 하면 되기 때문이다.

공압식 구동시스템은 유압식과 전기식의 중간 정도의 파워를 가진다. 그리고 공압식 구동시스템은 전기식 구동시스템보다 정밀도면에서는 떨어지나, 직선운동을 목적으로 하는 경우에는 전기모터의 회전운동을 직선운동으로 바꾸는데 필요한 에너지 및 장치의 낭비를 방지할 수 있으며, 장치가 간단하다는 장점이 있다. 또 유압식에 비해서는 유지보수가 간단하고, 가격이 저렴하다는 장점이 있다.(Hwang, 1997)

공압식 구동밸브는 구동에너지가 공급되지 않으면, 기본적으로 Fail Last의 동작특성을 보이나, Spring Return방식을 적용하여, Fail Close 또는 Fail Open 등의 동작특성을 나타내게 할 수도 있다. Spring Return 방식은 Actuator의 부피가 커지고, 고장발생의 확률이 높아지게 되므로, 하수처리 공정특성상 꼭 필요한 경우에만 적용하는 것이 합리적인 선택이다.

자동밸브를 하수처리공정에 적용할 경우에는, 유지보수가 가능하도록 바이패스 라인을 적용해야 하며, 수동밸브를 적절한 위치에 배치하여야 한다. Fig. 3은 자동밸브 설치시 바이패스 라인과 수동밸브 배치도를 표기한 것이다.

2.3 전기에너지의 주파수제어장치를 활용한 전동기의 회전수 제어

니콜라 테슬라가 회전자계를 이용한 교류유도전동

기를 개발한 이래로 전동기는 인류의 생활에 없어서는 안 될 매우 중요한 기기로 자리 잡았다. 현재 전력 시장에서는 전 세계 전기부하의 약 60%가 전동기 부하일 것을 추정하고 있을 정도이니, 인류는 전동기가 포함된 전기기기로 둘러싸여 살아간다고 해도 과언이 아닐 것이다. 오늘날 주로 사용되어지는 3상 유도전동기는 3상 전기의 회전자계 원리를 이용한 방식이다 보니, 전동기에 공급되는 전기에너지의 주파수와 전동기의 회전속도는 밀접한 관계를 형성하고 있다.

전동기의 속도식은 $N = \frac{120f}{P} \times (1-S)$ 로서, 주파수(f), 극수(P), 슬립(S)의 영향을 받는다. 극수를 변화시켜도 전동기의 속도는 변화하게 되고, 슬립을 변화시켜도 전동기의 회전속도는 변화한다. 그리고 주파수를 변화시켜도 마찬가지로 변화된 전동기의 회전속도를 얻을 수 있다.

유량제어에 적합한 전동기의 속도제어법을 검토해보면, 극수제어법은 연속제어가 불가능하고, 정교한 속도제어도 가능하지 않아서 유량제어방식으로는 적용이 불가능하다. 슬립을 변화시켜서 회전속도를 제어하는 방법도 속도제어범위가 좁아서 유량제어효과에는 한계가 뚜렷하다. 현재 사용되는 전동기의 속도제어 방식 중에는 VVVF형 인버터를 활용한 주파수제어법이 가장 정밀도가 좋아서, 효과적으로 유량제어에 적용할 수 있는 방식이다.

과거에는 인버터 고조파 영향, PWM 전압에 의한 전동기 열화, 진동, 소음, 에너지절감 효과가 미비하여 유체커플링이 유량제어설비로 도입되었으나, 최근 전력소자의 기술발달로 인버터가 가변속 유량제어설비로 채택되고 있다.(Ahn, 2011)

이와 같이 주파수 제어방식은 운전자가 3상유도전동기에 공급되는 전기에너지의 주파수를 조절하게 되면, 전동기의 회전수를 변화하게 되고, 따라서, 펌프 임펠러의 회전수가 제어되어 송유량을 조절하게 되는 방법이다.

주파수 제어법은 전기에너지의 주파수를 제어하는

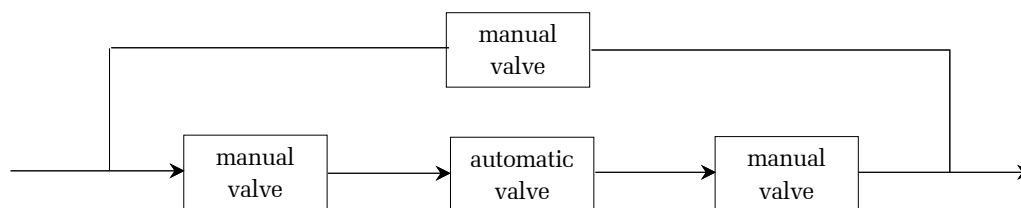


Fig. 3. Installation of Automatic Valve

pp. 481-489

pp. 491-500

pp. 501-509

pp. 511-519

pp. 521-532

pp. 533-543

pp. 545-551

pp. 553-559

pp. 561-569

pp. 571-577

pp. 579-586

pp. 587-596

pp. 597-604

pp. 605-612

장치로서, VVVF형 인버터를 사용한다고 하여서 VVVF제어라고도 하며, PWM형 인버터를 사용한다고 하여서 PWM제어라고도 한다. VVVF(Variable Voltage Variable Frequency)는 가변전압 가변주파수형 인버터를 의미하며, CVCF(Constant Voltage Constant Frequency, 정전압 정주파수형 인버터)와 비교되는 의미이다. 가변전압가변주파형 인버터가 사용되는 이유는 감소되는 주파수에 비례해서 전압을 감소시킴으로서 전동기에서 발생하는 토크를 일정하게 유지시키기 위함이다. 전압이 일정한 상태에서 주파수만 낮추게 되면 자속이 과대해져서, 전동기 소손의 원인이 된다. 이와 같은 가변전압 가변주파수 기법은, 1960년대부터 팬 또는 펌프에 사용되기 시작한 것으로 알려져 있으며, 1977년에는 일본의 철도차량에 적용되기에 이르렀다. 이후로 엘리베이터, 전기자동차, 가전용 기기 등 속도 제어가 필요한 다양한 장치에 적용되고 있다.

$$\text{전동기의 토크특성: } T \propto \frac{V}{f} \times I$$

PWM(Pulse Width Modulation, 펄스폭 변조)은 인버터 제어방식을 의미한다. 인버터제어방식의 종류로는 전류제어형, 전압제어형, PWM 제어형 등이 있다. Sung et al.(2000)은 PWM 인버터에 의해 구동되는 유도전동기는 인버터의 높은 스위칭 주파수와 제어기술의 발달로 매우 우수한 동작 특성을 가지고 있다고 하였다. 최근에는 벡터제어형 인버터라고 하여서, 토크전류와 여자전류를 분리시키는 방식을 적용하여, V/f 일정제어방식에서의 단점인 고조파의 영향을 최소화 시킨 제품들이 출시되고 있다. 이러한 벡터제어 인버터는 마이크로프로세서 및 전력용 반도체의 발전으로 인하여 쉽게 구현할 수 있게 됨으로써, 유도전동기를 산업용 서보제어시스템에 사용하는 것은 매우 보편적인 일이 되었다.(Lee, 2014)

VVVF형 인버터를 전동기에 적용할 경우, 전동기의 제어시스템과 전력공급시스템의 전체적인 계통은 Fig. 4와 같이 구성된다.

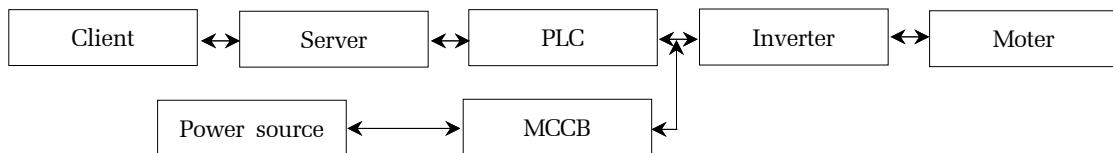


Fig. 4. Block Diagram of System Inverter

3. 연구방법

3.1 하수처리공정시스템에서 유량제어기법

하수처리공정시스템에서 유량을 제어하는 방법으로는 3상유도전동기에 공급되는 전기에너지의 주파수를 제어함으로써 펌프의 회전수를 조절하여 송유량을 제어하는 전기공학적인 측면에서의 방법이 있고, Control Valve의 개도율을 조절하여 송유량을 제어하는 기계공학적인 측면에서의 방법이 있다.

자동밸브와 전동기를 조합한 유량제어방법보다는 VVVF형 인버터를 활용한 유량제어방법이 에너지 소모량이 더 적은 방법이라고 할 수 있겠는데, 관련하여, An et al.(2011)은 밸브제어와 인버터 제어시 전력원단위를 비교한 결과, 밸브 개도가 적고 운전주파수 영역이 낮을수록 인버터 도입에 따른 효율성이 증대되는 것을 알 수 있었다고 한다.

경제적인 측면을 좀 더 검토해 보면, VVVF형 인버터의 시설공사가 자동밸브 시설공사에 비해서 더 많은 비용이 소요되는 특성이 있고, 장비의 수명은 자동밸브가 더 짧게 나타날 수 있어서, 장비의 감가상각비와 유지관리비를 포함해서 종합적으로 비용을 고려할 필요가 있다. 특히, 하수처리관로에 시설하는 밸브들은 유체 성상이 밸브의 수명에 영향을 미칠 수 있고, 또 밸브의 재질과 형상에 따라서도 그 수명이 다르게 나타날 수 있다. 밸브의 수명을 추정하기 위해서는, 하수처리시스템의 운전자가 유지관리 건별로 꼼꼼히 기록하고, 보전해야 할 필요가 있다.

3.2 하수처리공정시스템에서 유량제어기법의 적용

Fig. 5와 Fig. 6은 유량제어기법을 활용하여 자동으로 하수처리 약품을 투입하는 공정 중 한 가지 사례의 공정설계도이다. 고도처리시설에서 무산소조의 탈질작용을 돕기 위해 주입하는 메탄올의 주입량을 하수처리시스템 운전자가 전산시스템을 활용하여 선택

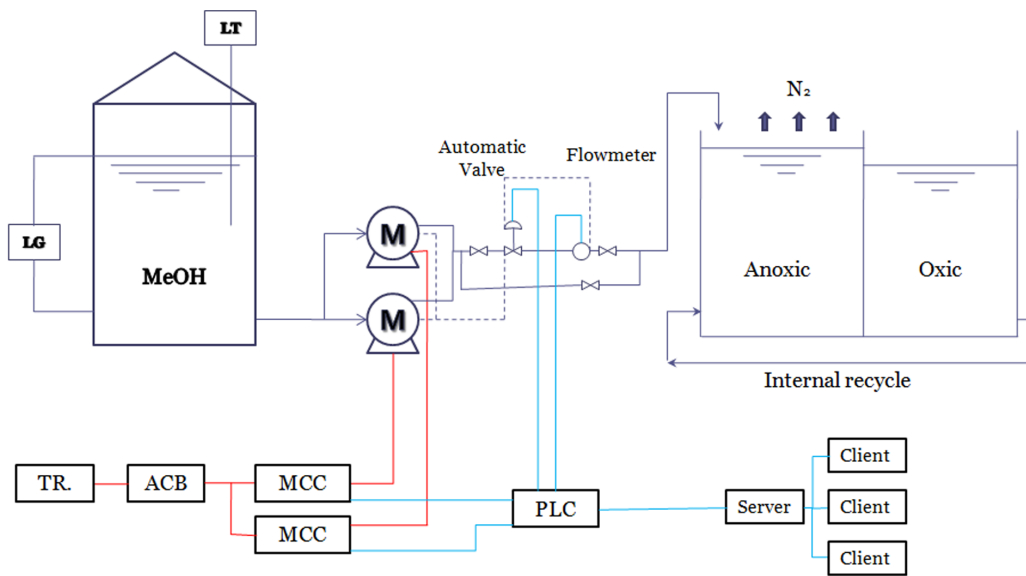


Fig. 5. Control an input methanol by automatic valve

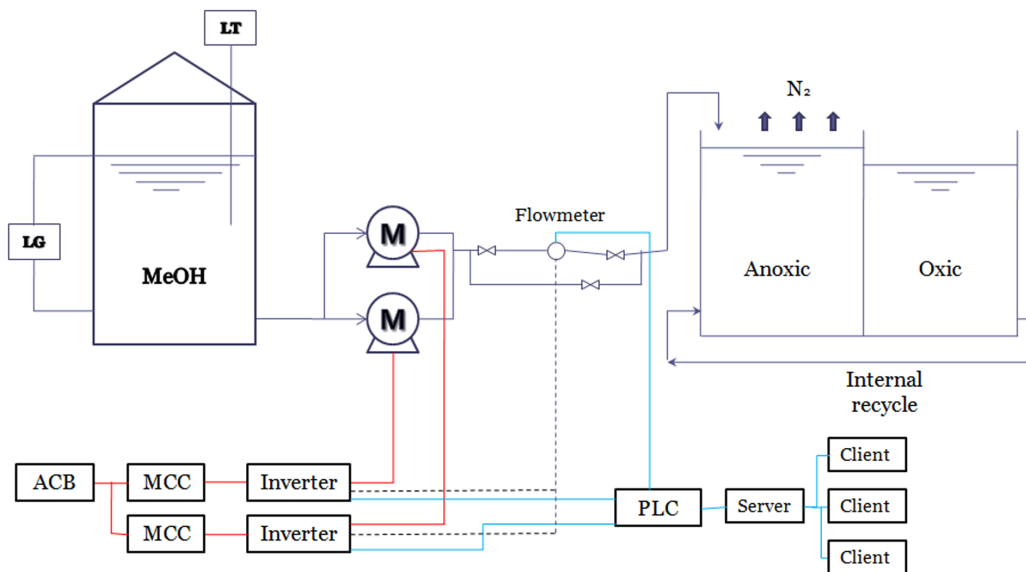


Fig. 6. Control an input methanol by inverter

할 수 있게 해 주는 공정시스템을 표현하고 있다.

방류수 수질 중 T-N 값을 고려해서 탈질처리 효율을 향상시킬 필요가 있다고 판단되어지면, 호기성조의 질산화 상황을 확인하고, 무산소조의 MLSS 농도, DO농도를 점검한 후 외부탄소원 또는 메탄을 투입을 결정하게 된다. 이때, 적절한 메탄을 투입량을 결정하는데 있어서, 많은 도움을 줄 수 있는 시스템이 될 것이다. 또, 결정된 메탄을 투입량을 언제나 일정하게 유지시켜 주는 동작을 하게 된다.

4. 결과 및 고찰

4.1 하수처리공정시스템에서 유량제어기법 적용에 대한 고찰

앞서 살펴 본 바와 같이 메탄을 자동주입 방식을 구축하게 되면, 하수처리장 운전자가 적절한 메탄을 주입량을 결정하는 과정에 많은 도움을 줄 수 있다. 방류수의 T-N농도를 파악하는 장비로 T-N분석기, 호

pp. 481-489

pp. 491-500

pp. 501-509

pp. 511-519

pp. 521-532

pp. 533-543

pp. 545-551

pp. 553-559

pp. 561-569

pp. 571-577

pp. 579-588

pp. 587-596

pp. 597-604

pp. 605-612

기성조의 질산성 질소(NO₃)의 농도를 파악하는 장비로 질산성 질소 분석기를 사용하고, 무산소조의 DO량을 파악하는 작업은 DO Meter를 활용하며, MLSS농도를 확인하는 도구로 MLSS Meter를 활용할 수 있게 된다면, 하수처리장 운전업무는 보다 세련된 수준으로 이루어질 것이다. 이와 같은 공정 시스템의 완성도를 좌우하는 부분은 각 수질분석기의 신뢰성이다.

상기와 같은 자동제어기법은 다른 공정에도 적용할 수 있는데, 이렇게 자동제어기술을 적극적으로 적용하게 되면, 인건비가 절감되어 초기 시설비를 상쇄할 수 있다는 계산은 적절하지 않다. 자동제어요소가 많이 반영될수록, 운영해야할 시설은 늘어나게 되고, 그에 따른 유지보수 인력은 더 많이 필요하게 되므로, 운전비용은 더 높아진다고 보아야 한다. 자동제어시설이 하수처리장 운영에서 핵심역할을 담당하게 되면, PLC와 서버 등 전산시스템을 관리하는 인력이 필요하게 되고, 현장의 수질분석기, 유량계, 자동밸브 등을 전담해서 관리하는 인력이 추가로 필요하게 된다. (인버터와 전동기는 기존의 전력시설물 관리 인력과 기계시설물 관리 인력이 수행하면 된다.)

초기 투자비용과 유지보수비용을 크게 증액시키면서까지 하수처리공정에 자동제어시스템을 적극적으로 도입해야 하는가, 하는 문제가 논란이 될 수 있다. 자동제어시스템이 가져오는 장점은 각 소규모 공정별 또는 계측기별로도 데이터 축적이 가능해지고, 자동제어 시스템으로 운전 중, 문제점이 발생하면, 그 문제점을 해결하는 과정을 통해 경험이 축적되고, 그 경험이 하수처리장 운전자의 운영기술 향상 효과로 이어지게 된다. 또한, 각 소규모 공정별로 제어시스템의 완성도가 높아지게 되고, 사용하는 각종 계측기들의

신뢰성 향상에 긍정적인 영향을 미쳐서 궁극적으로 방류수 수질 개선에도 효과를 보게 된다. 이러한 과정들이 산업기술의 발달과정이고, 기술력의 축적과정이다. 기술문명의 발달은 인류가 궁극적으로 추구하는 이념이기도 하기에, 비용 투입에 우선하여, 산업 기술의 향상이라는 측면을 고려해야 한다. 자동제어시스템의 도입을 결정하는 과정에서, 경제적인 측면을 우선하여 고려하려 한다면, 낙후된 기술수준도 감수해야만 한다.

4.2 하수처리공정제어시스템에서 수질환경 분야의 역할에 대한 고찰

하수처리장은 Fig. 7과 같은 형태의 제어 시스템 계통을 갖게 된다. Fig. 7에서 PLC상위의 시스템들은 전자계산기 분야로 하수처리공정설계자가 고려할 필요는 없는 부분이다. 이 부분은 하수처리 분야 뿐 아니라 다른 플랜트 분야에서도 동일하거나 유사한 형태의 제어시스템이 구축되어 사용되어지고 있기 때문이다.

하수처리공정설계자의 연구가 필요한 부분은 PLC 하위의 각종 장치들에 관한 부분이다. 각 장치별로 연계동작을 능숙하게 구사할 수 있어야 하고, 또, 활용 가능한 각종 계측기는 어떠한 것들이 있는지 정보가 충분히 축적되어 있어야 한다. 하수처리공정시스템의 설계자가 전동기 제어분야에 대해서 어느 정도 수준으로 이해하고 있는지, 또 자동밸브에 대한 이해도가 어느 정도인지에 따라서, 전혀 다른 수준의 공정설계도서가 만들어지게 된다. 하수처리공정에 자동제어시스템을 반영하는 것은, 현재의 업무 프로세스 상에서는 공정설계자의 역할이 가장 중요하다.

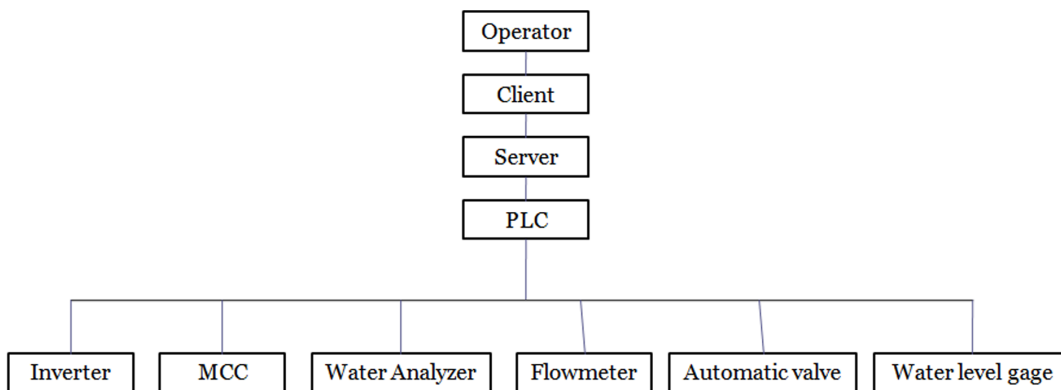


Fig. 7. Schematic Diagram of Sewage Disposal Process Control System



4.3 하수처리공정제어시스템과 관련한 연구 사례에 대한 고찰

하수처리장의 제어시스템과 관련하여서 전기공학 분야의 Kim et al.(1990)은 하수처리 프로세서 제어를 위한 감시제어 시스템에 관한 연구결과를 전기학회지를 통해 발표하기도 하였으며, 동분야의 Park(2002)은 PLC를 이용한 사여과지 공정을 제어하는 방안에 대하여 학위논문을 발표한 적이 있다. 자동제어분야에서는 Park(2011)이 하수처리시설에서의 자동제어설계와 관련한 내용을 설비저널을 통해 발표하기도 하였다. 최근에는 하수처리장 운영에 사용되는 에너지를 절감하고자 하는 연구가 시도되고 있는데, Kim. et al (2014)은 하수처리장 포기조에서 미생물에 필요한 최적의 DO농도를 산정하고, 산정된 DO값에 대응하는 송풍량을 자동제어 함으로써, 송풍시 소요되는 에너지를 절감하는 방안을 제시하였다. 수질환경분야에서는 Lee(2001)가 BT(BioTechnology)와 IT(Information Technology)를 ET(Environmental Technology)에 접목시킨 학위논문을 발표 하였으며, 동분야의 Yoon(2012)은 소규모 하수처리시설에서의 DO와 MLSS 모니터링 및 제어가능성에 대한 학위논문을 발표하였다. Lim(2002)은 중소규모 하수처리장의 원격통합관리를 위한 정보시스템 연계방안에 관한 학위논문을 발표하였는데, 이 논문은 환경공학 분야의 연구자이면서도 정보통신 분야를 중심으로 연구한 점이 특징이다. Kang(2004)은 유로변경식 고도하수처리 공정과 관련하여 최적의 제어 알고리즘을 개발하고자 연구하였으며, 관련한 학위논문을 발표한 적이 있다. 또한, Sin et. al.(2007)은 환경부에서 시행한 환경기술개발사업의 연구결과로 하수처리장 정보화 시스템 구축방안 관한 보고서를 발표한 바 있다.

이외에도 수질환경분야의 연구논문 중 다수의 논문들이 제어시스템을 언급하고 있는데, 소규모 공정연구가 많은 것이 특징이다. 전기 분야의 연구자가 하수처리분야에 대해 연구논문을 발표하는 경우에는 PLC 또는 PLC 상위의 시스템을 주로 다루면서, 하수처리 공정을 제어목적으로 해석하는 경향을 보이고 있다. 자동제어분야의 연구자가 하수처리와 관련한 연구논문을 발표하는 경우에는 PLC 상위의 시스템과 하위의 시스템을 아우르는 하수처리장의 전반적인 제어시스템을 소개하는 경향이 있다. 최근에는 자동제어기

법을 이용하여 하수처리장 운영시 소요되는 에너지를 절감하려는 목적의 연구들도 진행되고 있다.

5. 결 론

효과적으로 유량을 제어하기 위해 우수한 성능을 가진 VVVF형 인버터를 개발하는 과제는 전기공학 분야의 몫이라고 할 수 있다. 그러나 VVVF형 인버터를 적절히 사용하여, 효과적으로 하수처리공정시스템을 구현하는 것은 수질환경분야의 몫이다. 그리고 VVVF형 인버터 사용으로 인한 유량제어효과의 효용성을 평가하는 역할 또한 수질환경분야에서 수행해야 한다. 현재 상황에서는, 하수처리공정시스템을 설계하는 공정설계자는 전기제어분야에서 수행하는 전자접촉기, PLC, 인버터 등을 활용한 전동기 제어방법에 대하여 어느 정도의 기술력은 습득하고 있어야 할 필요가 있는 것으로 사료된다.

하수처리에 사용되는 자동밸브는 사용수명과 관련하여 많은 연구가 필요한 분야이다. 하수성상에 따라서, Body 부분의 형상 및 재질 따라서, 밸브의 기대수명에 대한 정리가 시급하다. 그렇게 밸브의 사용기간을 예측할 수 있어야, 하수처리공정시스템 구축시, 자동밸브를 적극적으로 설계에 적용하며, 예상비용을 산정할 수 있을 것이기 때문이다.

References

- Ahn, J. H. (2011). A study on efficiency and stability of induction motor using inverter system, Master's Degree, The Graduate School of Engineering Hanyang University, pp. 24.
- An, J. H., Kim, J. C., Ha, S. J. (2011). "A study on efficiency and stability of induction motor using inverter system", Proceeding of the 42nd the KIEE Summer Conference 2011, The Korea Institute of Electrical Engineers, pp. 1128.
- Hwang, W. T. (1997). Study on the effective operating method of on-off valves for a pneumatic servo system, Master's Degree, Graduate Admissions, Korea Advanced Institute of Science and Technology, pp. 1.
- Kang, S. W. (2004). A Study on the Optimal Control Algorithms for the Advanced Wastewater Treatment Process with Variable Hydrodynamic Flow Patterns, Master's Degree, Graduate School, The University of SUWON, pp. 2.
- Kim, H. K., Oh, S. K., Hwang, H. S., Woo, K. B. (1990),

pp. 481-489

pp. 491-500

pp. 501-509

pp. 511-519

pp. 521-532

pp. 533-543

pp. 545-551

pp. 553-559

pp. 561-569

pp. 571-577

pp. 579-586

pp. 587-596

pp. 597-604

pp. 605-612

- Supervisory control system for control sewage treatment process, PEE, V.39, No.6. 1990. pp.67
- Kim, M. H., Ji, S. H., Jang, J. H. (2014), A Study on Energy Saving Effect from Automatic Control of Air Flowrate and Estimation of Optimal DO Concentration in Oxidic Reactor of Wastewater Treatment Plant, Journal of energy engineering V.23, No.2, pp. 49.
- Lee, J. G. (2014). A Study on Power Factor Correction of Low-Cost Vector-Controlled Inverter for Induction Motor, Master's Degree, Graduate School of Kongju National University Cheonan, pp. 1.
- Lee, S. W. (2001). The Study of the Remote Process Control System for the Small or Medium Sized Wastewater Treatment Plants, Master's Degree, Graduate School The University of Suwon, pp. 50.
- Lim, J. R. (2002). Development of remote control system for integration management of sewage treatment plants, Master's Degree, Graduate School, Chonnam National University, pp. 1.
- National Sewerage Information System, <https://www.hasudoinfo.or.kr/stat/statView.do?year=2012&page=01>(August 06, 2016)
- National Sewerage Information System, <https://www.hasudoinfo.or.kr/stat/statView.do?year=2012&page=02>(August 06, 2016)
- Park, I. J. (2011). Design automatic control system in the sewage treatment equipment, The magazine of the Society of Air-conditioning and Refrigerating Engineers of Korea, V.40., No.3, pp. 4.
- Park, K. G. (2002). A design on the sand filter controller of k-sewage plant by using PLC, Graduate School of Industry & Technology Chonnam National University, pp. 27.
- Sin, H. S., Jeong, H. S., Seo, C. W., An, Y. T., Kim, D. H., Lee, M. Y., Kim, Y. J., Oh, S. D., Lee, J. W., Moon, C. M., Korea Advanced Institute of Science and Technology (2007). Development of Information System for Wastewater Treatment Plants, 071-041-084, pp. 2.
- Sung, B. M., Lyu, D. H., Park, S. J., Kim, C. U. (2000). A Study on the Reduction of high frequency leakage current in PWM inverter fed Induction Motor PWM, TKPE v.5 no.5, pp. 443.
- Yoon, S. B. (2012), Monitoring and Control of DO and MLSS Concentrations in Small Wastewater Treatment Plants, Master's Degree, Graduate School, Chungbuk National University, pp. 1.