

단기 수리학적 충격부하시 침전지 내장형 상분리 산화구공정의 처리 안정성 평가

Stability Evaluation of Phased Isolation Intra-Clarifier Ditch Process on Short-Term Hydraulic Shock Loading

홍기호¹ · 장 덕^{2,*}

Hong, Ki-Ho¹ · Chang, Duk^{2,*}

1 건국대학교 공과대학 환경공학과

2 건국대학교 공과대학 환경공학과/차세대환경기술센터

(2005년 10월 11일 논문 접수; 2005년 12월 13일 최종 수정논문 채택)

Abstract

The phased isolation intra-clarifier ditch system used in this study is a simplified novel process enhancing simultaneous removal of biological nitrogen and phosphorus in municipal wastewater in terms of elimination of additional pre-anaerobic reactor, external clarifier, recycle of sludge, and nitrified effluent recirculation by employing intrachannel clarifier. Laboratory-scale phased isolation ditch system was used to assess the treatability on municipal wastewater. When the system was operated at the HRTs of 6~12hours, SRTs of 9~31days, and cycle times of 2~8hours, the system showed removals of BOD, TN, and TP as high as 88~97%, 70~84%, and 65~90%, respectively. The rainfall in Korea is generally concentrated in summer because of site-specific characteristics. Especially, the wet season has set in on June to August. In combined sewers, seasonal variations are primarily a function of the amount of stormwater that enters the system. In order to investigate the effect of hydraulic shock loading on system performance, the laboratory-scale system was operated at an HRT of 6hours (two times of influent flowrate) during two cycles (8hours). The system performance slightly decreased by increasing of influent flowrate and decreasing of system HRT. Nitrification efficiency and TN removal were slightly decreased by increasing of influent flowrate (decreasing of system HRT), whereas, the denitrification was not affected by hydraulic shock loading. However, the higher system performance could be achieved again after four cycles. Thus, the phased isolation technology for enhanced biological nutrient removal in medium- and small-scale wastewater treatment plants suffering fluctuation of influent quality and flowrate.

Key words: municipal wastewater treatment, biological nutrient removal, phased isolation intra-clarifier ditch, hydraulic shock loading

주제어: 하수처리, 생물학적 영양염류제거, 침전지 내장형 상분리 산화구, 수리학적 충격부하

*Corresponding author: Tel: +82-2-2201-6392, Fax: +82-2-2201-6392, E-mail: dcnang@konkuk.ac.kr (Chang, D.)

1. 서 론

하천의 오염방지 및 상수원의 수질보전을 위해서는 하수처리시설에서의 질소·인 제거가 중요시 되어야 한다. 따라서 유기물제거를 위주로 구축된 기존 하수처리체계를 질소·인 처리체계로 전환하여야 할 필요성을 절감하게 되었으며, 이를 위한 하수 고도처리시설의 도입이 절실한 상황에 이르렀다. 국내의 경우 대규모 하수처리시설에서는 하수의 고도처리공정 적용이 진행중이며, 현재까지 선진국 및 국내 하수처리장에서 사용하거나 연구 중에 있는 질소·인 동시 제거를 위한 생물학적 영양염류제거(Biological Nutrient Removal: BNR) 공법은 무산소, 혐기, 호기 조건의 단위 반응조들이 조합을 이루고, 각 단위반응조들 사이에서 혼합액을 순환시켜서 유기물 및 영양염류의 제거를 도모하는 내부순환포함 다단 완전혼합형 공정이 대부분이다(한국환경기술진흥원, 2002). 그러나 유입 유기물의 효율적인 이용이 요구되는 내부순환포함 다단 완전혼합형 BNR공법을 저농도 하수에 적용하는 경우, 무산소 조건에서의 탈질 및 혐기 조건에서의 인방출이 미비하여 전체 시스템의 질소·인 제거효율이 만족스럽지 않은 경향이 있다.

특히, 유입하수의 유량 및 부하의 변동이 매우 심한 중소규모 하수처리시설에 대한 고도처리공정 적용도 시급한 실정이나, 내부순환포함 다단 완전혼합형 BNR공법을 적용하는 경우에는 복잡한 반응구성에 따른 운전상의 부담으로 인해 공정의 불안정성 및 처리효율 저하 등을 초래할 수 있으므로 매우 유의해야 한다. 따라서 중소규모 BNR 하수처리시설에는 내부순환포함 다단 완전혼합형 BNR공법에 비해 공정구성이 상대적으로 단순한 산화구공법 및 SBR공법 등이 많이 적용되고 있다(WEF 및 ASCE, 1998). 특히 질소·인 제거를 위한 각종 산화구 기술의 개발 및 적용은 1980년대 후반부터 유럽 및 미국을 중심으로 활발히 이루어져 오고 있으나(Hughes 등, 1995; Stensel 및 Coleman, 2000), 경제성 및 효율성 등에 있어 계속적인 개선이 필요한 상황이다.

또한 재래식 활성슬러지를 포함한 생물학적 처리공정의 경우 온도 및 유입하수 특성 등 많은 환경인자들에 의해 처리특성에 있어 상당한 영향을 받을 수

있다. 특히 BNR공정의 경우 그 영향이 매우 크고, 특히 우리나라는 기후적 특성상 강우가 하절기인 6~8월에 집중되므로, 이 시기에 있어서의 단기적인 수리학적 충격부하는 공정의 안정성에 큰 영향을 미칠 수 있게 된다. 따라서, 본 연구에서는 저렴한 건설비 및 용이한 유지관리 특성을 지닌 산화구에 유로변경 및 간헐폭기 방법을 조합·적용하여 단순한 시간조작에 의해 혐기, 무산소, 호기조건의 분리를 구현할 수 있고, 별도의 혐기조 없이도 인방출을 수렴함과 동시에 무산소 및 혐기조건시 유입수를 지속적으로 공급할 수 있으며, 산화구 수로내에 침전지를 내장(intrachannel clarifier)시킴으로써 기존 고도처리 산화구 공정들의 단점을 개선하고 보다 단순화한 효율적이고 경제적인 「침전지 내장형 상분리 산화구(Phased Isolation Intra-Clarifier Ditch)공정」을 대상으로 실험실규모 연구를 통해 정상운전조건시의 시스템 처리 안정성 및 일시적·단기적인 수리학적 충격부하에 따른 영향도와 회복가능성을 검토·평가하여 중소규모 하수고도처리시설에의 적용 가능성을 알아보고자 하였다.

2. 실험재료 및 방법

내장형침전지가 장착된 상분리 산화구공정은 Fig. 1에서와 같이 산화구에 침전지를 내장시킨 단위반응조인 침전지 내장형 산화구 2개로 구성되고, 간헐폭기 및 유로변경 방법을 적용·조합하여 네 개의 반응단계로 변환시킬 수 있는 시스템으로, 각 단위산화구는 시간에 따라 무산소, 혐기, 호기 단계를 거치게 된다. Fig. 1은 내장형침전지가 장착된 침전지 내장형 상분리 산화구공정의 운전모식도를 나타낸 것이다.

A단계의 소요시간은 1.5시간이며, 유입수는 초기 무산소조건인 단위 산화구로 유입되어 유기물제거와 동시에 전단계에서의 질산화수가 탈질되고, 탈질 후에는 인의 방출이 일어나는 혐기성조건이 형성된다. 즉, 무산소 및 혐기조건은 별도의 공간적 상분리가 아닌 단일 산화구내에서의 시간적 상분리를 목표로 하고 있으며, 두 상 조건하에서 탈질과 인방출에 필수적인 탄소원, 즉 유입수가 계속 공급 가능하다는 장점을 가질 수 있다. 탈질 및 인방출 후에는 호기상태로 운전되고 있는 다음 산화구로 유입되어 잔류 유

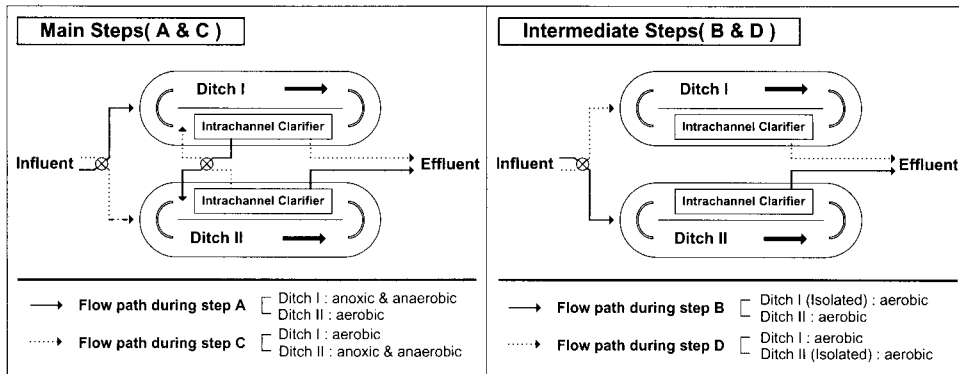


Fig. 1. Phased and alternating flow scheme for phased isolation intra-clarifier ditch process.

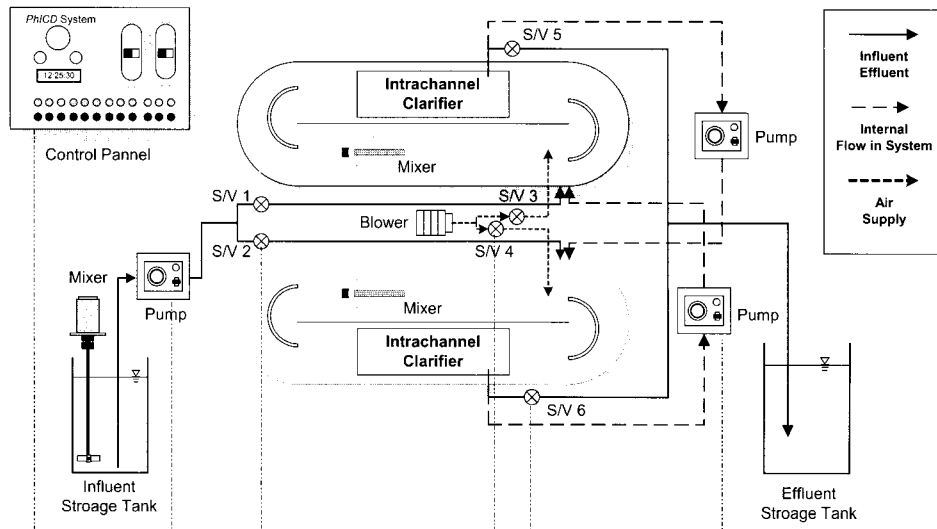


Fig. 2. Schematic diagram of the laboratory-scale phased isolation ditch process.

기물제거와 질산화 및 인섭취를 수행한 후 내장형침전지를 통하여 처리수가 유출된다. B단계에서는 유입유료가 변경되어 A단계에서의 호기조건인 산화구로 유입되어 유기물제거 및 질산화 후 유출되며, 접촉시간은 0.5시간이다. 이 때 A단계에서 무산소 및 혐기조건으로 운전하였던 산화구는 독립적으로 공복기를 실시하여 C단계로 전환하기 전에 인섭취와 아울러 잔류유기물 제거와 잔류 TKN을 질산성질소로 전환시키게 된다. C 및 D 단계는 유로만이 교차된채 A 및 D 단계와 동일한 과정이다. 이상의 4단계를 한 사이클이라 하며, 본 연구에서 한 사이클 주기는 4시간을 기준으로 운전하였고, 단일 산화구에 대해서는

무산소 및 혐기 1.5시간, 호기 2.5(0.5+1.5+0.5)시간으로 구성하였다. 본 연구에서 제작·사용한 실험실규모 침전지 내장형 상분리 산화구공정은 크게 Fig. 2와 같이 아크릴재질의 대칭으로 설치된 침전지 내장 산화구형 반응조 2기와 유로구성 및 운전의 자동제어를 위한 Programmable Logic Controller(PLC)로 구성된다.

산화구 2개의 총 유효용량은 30L(내장형침전지 2기 용량제외)이고, 각 산화구는 규격이 200mmW×910mmL×340mmH이며, 중앙격벽으로 두 개의 수로로 분리되고 각 수로폭은 85mm이다. 산화구 양쪽 끝부분은 흐름저항을 최소화하기 위하여 반원형으로 설

계하였다. 산화구 양 끝 곡면부에는 유체회전에 의하여 바깥쪽으로 유속이 편중되어 안쪽에 슬러지가 퇴적되는 현상을 방지하기 위하여 지름 80mm, 높이 220mm인 반원형 유도벽(guide wall)을 설치하였는데, 흐름의 입구쪽은 넓게 출구쪽은 좁게 설치해 곡면의 전후 유속분포를 보다 고르게 하고자 하였다. 또한 반응조내 수로에는 수류흐름형성 및 MLSS의 혼합을 위한 수중믹서와 공기공급을 위한 산기장치를 설치하였다.

기존 산화구공법의 최종침전지 대안으로 적용한 내장형침전지는 산화구 수로내에 침전가능한 영역을 두어 슬러지와 상징수를 분리하는 방식이며, 일반적으로 침전지하부에서 슬러지를 수류흐름에 의해 자동으로 중력반송시킴으로서 슬러지 농축 및 반송설비가 필요없고, 이에 따른 운전비 및 소모부지를 감소시킬 수 있다는 장점이 있다(Bender, 1987; WEF 및 ASCE, 1998). 본 연구에서는 형식별 침전지 비교연구결과(김 등, 2000)를 토대로 혼합액이 전단으로 유입되고, 하부에 cone을 설치한 수평류형 내장형침전지를 적용하였으며, 고액분리된 상징액은 위어를 통해 배출되도록 설계하였다. 아크릴재질의 내장형침전지 2개의 총 유효용량은 2L이고, 각 침전지는 규격이 60mmL×500mmL×150mmH이다. 파일럿 및 실시설에 비해 상대적으로 유효수심이 낮은 실험실규모 연구의 한계상 원활한 고액분리를 위하여 침전지내에 6rpm의 저속모터와 기어, 타임벨트로 구성된 별도의 슬러지수집장치를 설치·가동하였다. 시스템의 유입 및 유출, 유로변경 및 간헐폭기, 자동밸브개폐, 공기 흡입·차단 및 사이클주기 제어를 자동으로 제어하기 위한 PLC는 MASTER-K 30S(LG산전)를 사용하였으며, 연구목적에 따라 자동 및 수동으로 제어하였다.

실험실규모 침전지 내장형 상분리 산화구공정은 사이클주기 4시간(무산소 및 혐기 1.5시간, 호기 2.5시간)을 기준으로, 시스템 HRT(내장형침전지 용적 포함) 6, 8 및 12시간, 시스템 SRT(내장형침전지 용적 포함) 9~31일의 다양한 조합의 조건하에서 운전되었다. 일반적으로 우리나라의 합류식 하수관거 시스템에서 청천시 발생하수는 전량 차집되어 하수처리장에서 처리되지만, 우천시에는 우수와 하수가 혼합되어서 하수량이 증가하여 일정량(평소 유량의 3배,

청천시 시간최대오수량)은 차집관로를 통하여 하수처리장으로 수송·처리되며, 나머지는 1차침전지만 거치고 수계로 방류되거나 소독만을 수행하는 것을 원칙으로 하고 있다. 그러나 중소규모 시설에서는 부하변동이 극심할 수 있고, 1차 침전이 생략되는 등 만약의 경우 우천시에 생물학적 공정에 수리학적 과부하가 발생하면, 시스템의 수리학적 실체류시간을 감소시키는 악영향을 끼쳐, 표준 활성슬러지공정에 비해 환경영향인자에 더욱 민감한 BNR공정에서는 심각한 문제가 야기될 것이다. 일시적인 수리학적 충격부하가 발생할 수 있는 중소규모 BNR공정에서는 그 충격부하의 가능한 최대치는 평소 유량의 2배 정도까지 검토될 수 있을 것이다. 따라서 시스템의 반응특성 및 내장형침전지의 안정성 여부, 즉 충격의 영향 정도와 회복여부 및 가능성을 고려하여, 본 연구에서는 BNR공정에 적용가능한 한계 최대치를 청천시 유량의 두 배, 즉 정상운전시 유량의 2배로 추정하여 이를 적용하였으며, 수리학적 부하에 따른 영향을 파악하기 위하여 HRT 12시간, SRT 20일, 사이클주기 4시간의 조건을 기본으로, 두 사이클주기(8시간)동안 유입유량을 2배 증가(시스템 HRT 6시간)시켜 이에 따른 시스템의 처리특성 변화 및 회복가능성에 대해 알아보았다.

또한 본 공정의 특성상 한 사이클 주기는 시스템 전체에서 일련의 연속반응과정이 한차례 끝나는 것을 의미함에 따라, 수리학적 충격부하 적용시 한 사이클(4시간)만을 적용하기에는 현실적으로 우천시의 상황을 재현하기에 무리가 있고, 유량증가에 따른 시스템의 반응성 및 내장형침전지의 침전특성을 파악하기에는 너무 짧은 것으로 판단되어 두 사이클(8시간) 동안 일시적인 유량증가를 적용하였으며, 일시적 유량증가시 시스템에 미치는 충격의 영향 정도와 처리특성의 회복여부 및 가능성을 중점적으로 살펴보기 위한 본 연구의 목적상 두 사이클 이상의 수리학적 부하의 적용은 제외하였다.

시스템 SRT는 산화구내 총 MLSS의 양을 매일 폐기되는 슬러지량으로 나눈 값(kgMLSS in all ditches/kg WAS/d)으로 계산하였으며, 산화구 2기의 총 유효용량이 30L인 관계로 산화구 수로내부가 아닌 내장형침전지 하부에 고농도로 농축된 슬러지를 폐기하여 SRT를 조정하였으며, MLDO(Mixed

Table 1. Overall performance of laboratory-scale phased isolation intra clarifier ditch process

Parameters	System Hydraulic Retention Time*								
	12hours			8hours			6hours		
Air temp.(°C)	12-29(21)			25-29(28)			25-29(28)		
Water temp.(°C)**	15-24(20)			26-28(27)			27-28(27)		
SRT(days)*	21-31(25)			9-20(15)			19-23(21)		
MLSS(mg/L)	1,840-3,630(2,570)			2,460-3,215(3,090)			2,800-3,780(3,210)		
	Influent	Effluent	Removals(%)	Influent	Effluent	Removals(%)	Influent	Effluent	Removals(%)
pH	6.5-7.5(7.3)	7.2-7.8(7.4)	-	6.9-7.1(7.0)	7.2-7.6(7.4)	-	7.1-7.2 (7.2)	7.3-7.5(7.4)	-
BOD(mg/L)	140-200(175)	6-18(12)	90.0-96.4(93.0)	100-180(140)	5-14(10)	90.7-95.0(92.9)	165-200(180)	10-15(13)	92.1-94.4(93.0)
SS(mg/L)	125-220(157)	5-12(7)	95.5-96.0(95.8)	105-220(170)	5-15(12)	91.2-96.9(94.4)	40-250(150)	7-20(18)	75.0-96.8(85.4)
TN(mg/L)	40.0-46.0(42.4)	8.9-9.8(9.2)	77.8-78.7(78.2)	30.0-48.7(37.8)	6.2-9.9(8.6)	71.3-80.1(76.9)	33.0-44.8(39.9)	5.3-10.3(9.5)	71.0-80.3(73.0)
TP(mg/L)	3.4-4.6(3.8)	0.5-0.8(0.6)	83.6-86.0(84.9)	2.0-5.0(3.3)	0.2-0.9(0.6)	66.9-89.7(81.7)	1.9-5.9(4.5)	0.7-2.1(1.5)	64.1-77.7(70.5)

minimum~maximum (average)

* 시스템 HRT 및 SRT 산출근거 : 산화구용적(내장형침전지용적 제외)

** Mixed liquor temperature

Liquor Dissolved Oxygen)는 호기조건에서 2mg/L 이하, 무산소 및 혐기조건에서 0.5mg/L 이하로 유지되었다.

유입하수로는 경기도내 분류식 하수배제지역 S환경사업소의 침사지 유출수를 이용하였으며, 정량펌프를 이용하여 일정한 유량이 공급되도록 하였다. 유입하수의 BOD(5일), 총질소(TN) 및 총인(TP) 농도는 각각 100~200mg/L(평균 165mg/L), 30.0~48.7mg/L(평균 38.3mg/L) 및 1.9~5.9mg/L(평균 3.9mg/L)이었다. 또한 유입하수내 pH 및 알칼리도는 각각 6.8~7.6(평균 7.2) 및 145~210mgCaCO₃/L(평균 180mgCaCO₃/L)이었으며, 아질산성질소(NO₂-) 및 질산성질소(NO₃-)는 거의 존재하지 않았다. 본 연구에서 측정된 모든 이화학적 분석은 미국 공중보건협회의 표준시험법(APHA, 1998)에 따라 수행하였으며, 시스템의 처리효율은 유입원수 농도와 호기조건(Fig. 1에서의 A 및 C 단계) 말기의 유출수농도를 기준으로 산정하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 정상상태 운전시 시스템 처리특성

실험실규모 침전지 내장형 상분리 산화구공정은 시스템 HRT 6~12시간, 시스템 SRT 9~31일, 사이클주기 4시간의 운전범위에서 정상 운전기간 동안 전체적인 BOD, TN, TP는 각각 90~97%, 72~80%,

64~90%의 제거효율을 나타내었다. 시스템 처리수의 BOD 농도는 5~15mg/L 범위였고, 시스템 HRT, 시스템 SRT, 사이클주기 등의 운전조건 또는 그 조합에 따라 대부분의 처리수 TN 및 TP 농도는 각각 2.7~10.2mg/L 범위 및 1mg/L 이하였다. 또한 운전조건에 관계없이 처리수의 SS 농도는 20mg/L 이하로 유지될 수 있었다. 시스템의 전체 처리특성을 요약하면 Table 1과 같다.

그러나 상기 연구결과의 경우 각 체류시간별로 장기간 적용한, 즉 운전조건 변화에 따른 정상운전 결과를 나타낸 것이며, 유입하수의 유량 및 부하의 변동이 매우 심한 중소규모 하수처리시설을 모사하기 위하여 단기간의 수리부하 및 체류시간을 적용한 결과는 다음과 같다.

3.2. 수리학적 부하변동에 따른 전체적인 유기물 및 영양염류 제거특성

재래식 활성슬러지를 포함한 생물학적 처리공정의 경우 온도 및 유입하수 특성 등 많은 환경인자들에 의해 처리특성에 있어 상당한 영향을 받게 되며, 특히 BNR공정의 경우 그 영향이 매우 크고, 특히 우리나라는 기후적 특성상 강우가 하절기인 6~8월에 집중되므로(기상청, 2004), 이 시기에 있어서의 단기적인 수리학적 충격부하는 공정의 안정성에 큰 영향을 미칠 수 있게 된다. 또한 유입하수의 유량 및 부하의 변동이 매우 심한 중소규모 하수처리시설에서의 영향

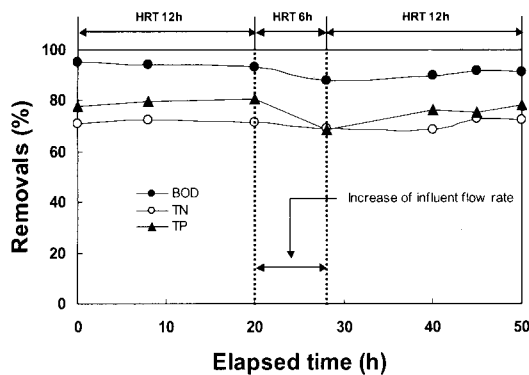


Fig. 3. Effect of hydraulic shock loading on overall system performance in laboratory-scale phased isolation intraclearifier ditch process.

은 더욱 크다고 할 수 있다. 따라서 본 연구에서는 시스템에 유입되는 단기적인 수리학적 부하의 증가변화에 탄력적으로 대응하고자 수리학적 충격부하에 따른 실험실규모 상분리산화구 시스템의 처리특성 상세 연구를 수행하였으며, 수리학적 충격부하 전·후 유기물 및 질소·인 제거효율의 변화는 Fig. 3과 같다.

초기운전은 상대적으로 높은 유기물 및 질소·인 제거효율이 확보가능하였던 운전조건인 시스템 HRT 12시간, SRT 20~25일, MLSS 2,500~2,800mg/L, 사이클주기 4시간으로 유지하였으며, 이후 하수의 유입량을 100% 증가시켜 두 사이클주기(8시간) 동안 수리학적 충격부하에 의한 시스템의 거동을 관찰하였다. 유기물제거, 질산화 및 탈질, 인섭취 및 방출과 같은 반응특성을 주로 고려하는 경우, 전체 충격부하 실험주기 동안 시간대별 회복 추이 및 거동이 필수적이나, 본 연구대상인 침전지 내장형 상분리 산화구공정은 유기물제거, 질산화 및 탈질, 인섭취 및 방출과 같은 반응특성은 물론 구조상 다른 부유성장식 생물학적 영양염류 제거과정과는 달리 침전지가 산화구수로내에 내장되어 있는 관계로 유량 증가시 시스템의 침전특성에 미치는 수리학적 충격여부가 중요하다. 따라서 본 연구에서는 회복시간대별 상세거동 보다는 우선적으로 정상 유량의 2배의 수리학적 충격부하시 시스템의 반응특성 및 내장형침전지의 안정성 여부, 즉 시스템 처리특성에 미치는 충격부하의 영향 정도와 회복 여부 및 가능성을 최우선적으로 알아보 고자 하였다.

유량부하 적용전의 BOD, TN 및 TP 제거효율은 각각 95%, 71% 및 78%이었으나, 전체적으로 유입 유량이 증가(시스템 HRT 감소)함에 따라 유입 BOD 부하율은 0.3kgBOD/m³/일에서 0.6kgBOD/m³/일로, 질소부하율은 0.087kgTKN/m³/일에서 0.174kgTKN/m³/일로, 또한 인부하율은 0.013kgTP/m³/일에서 0.026kgTP/m³/일로 증가하였으며, 유량이 증가된 두 사이클주기(8시간) 이후 제거효율은 각각 BOD 88%, TN 69%, TP 68%로 전체적인 처리효율이 저하되는 경향을 나타내었다. 그러나 BOD, TN 및 TP의 제거효율 변화폭은 4% 이내로 큰 변화가 없었으며, 부하적용전 초기운전조건으로 운전후 네 사이클주기(16시간)만에 부하적용 이전의 처리성능 회복이 가능하였다. 또한 시스템내로 유입되는 하수의 유입유량이 두 배로 증가함에 따라 내장형침전지내의 슬러지블랭킷층의 상승 및 고액분리효율의 저하가 있었으나, 침전지내 설치된 저속모터와 기어, 타 임펠트로 구성된 별도의 슬러지수집장치의 기능으로 인해 고액분리상태의 큰 저하는 관찰되지 않았다. 시스템의 규모상 한계로 인해 본 연구에서는 수리학적 부하에 따른 고형물질 제거특성의 변화는 크게 고려되지 않았으나, 육안관찰을 통한 내장형침전지내 슬러지블랭킷의 상승으로 미루어 보아 내장형침전지의 보완이 필요하다는 것을 간접적으로 알 수 있었으며, 향후 스케일업시에는 이에 대한 고려가 반드시 필요할 것이라 사료된다.

실험실규모 시스템에서의 수리학적 충격부하시 유기물 제거효율을 보다 상세히 파악하고자 BOD와 COD로 구분하여 충격부하 전후의 처리특성을 살펴 보았으며, 이는 Fig. 4와 같다. 충격부하가 끝나는 시점에서의 유출수 BOD 및 TCOD는 각각 18mg/L 및 68mg/L이었으며, 충격부하 적용 이전의 시스템 HRT(12시간)으로 전환한 후 약 12시간 경과 후의 처리수질은 BOD 15mg/L, TCOD 51mg/L로 충격부하 이전의 상태로 회복 가능하였다. 또한 충격부하 전후의 BOD와 TCOD의 농도변화는 거의 동일한 차이만큼 변화폭을 나타냄에 따라, 단기적인 수리학적 부하에 따른 유기물제거효율의 저하는 반응특성의 저하로 인한 것임을 확인할 수 있었다.

한편 Fig. 5는 단기적인 수리학적 충격부하 적용 전·후의 질산화, 탈질 및 질소제거효율의 변화를 나

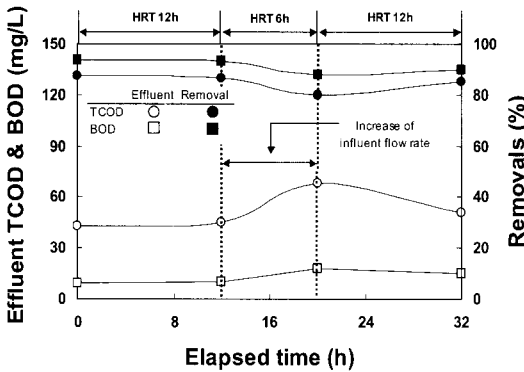


Fig. 4. Effect of hydraulic shock loading on BOD and COD removals in laboratory-scale phased isolation intra-clarifier ditch process.

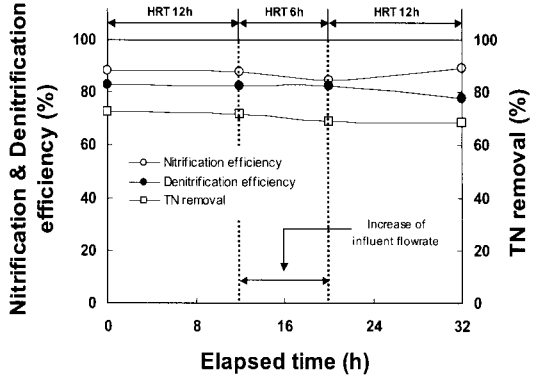


Fig. 5. Effect of hydraulic shock loading on nitrogen removal in laboratory-scale phased isolation intra-clarifier ditch process.

타낸 것이며, 질산화효율은 88%에서 84%로 감소하였으나 탈질효율의 저하는 관찰되지 않았다. 본 시스템에서 질산화효율의 저하에 영향을 미친 것으로 판단되는 가장 큰 영향요소로는 질산화시 유기물부하가 높을 경우 BOD제거로 인해 DO가 급격히 저하되고, 질산화효율이 저하된다는 기존 연구결과(Stenstrom 및 Song, 1991)와 마찬가지로 시스템내로 예상되지 못한 유입부하의 증가로 인하여 일어날 수 있는 유입수의 유기물과 질소의 부하의 증가로 인한 DO공급의 부족으로 인한 것으로 사료된다. 또한 상기 연구 결과로부터 수리학적 충격부하시 시스템의 질소제거 특성에 있어 탈질특성에 비해 질산화효율의 유지가 상대적으로 중요함을 알 수 있었으며, 이를 해결하기 위한 방안으로 호기성조건으로 운전시 자동DO측정 설비 등을 이용한 지속적인 DO 모니터링을 통해 유기물제거 및 질산화에 필요한 DO를 유지시키거나, 사이클주기내 호기조건의 시간 증가 등의 방법을 통하여 충분한 질산화가 가능하도록 해야 할 것으로 사료된다.

수리학적 충격부하에 따른 인제거효율은 Fig. 6에 제시된 바와 같이, 전체적으로 앞서 살펴본 유기물 및 TN의 경우와 마찬가지로 유입유량이 증가함에 따라 처리효율에 저하되는 경향을 나타내었으며, 수리학적 충격부하 적용 후 부하 적용전 초기운전시의 체류시간으로 운전한 뒤 12시간이 경과한 후에는 충격부하 이전의 처리효율 회복이 가능하였으나, 충격부하시 인제거특성의 경우 유기물 및 질소 제거특성

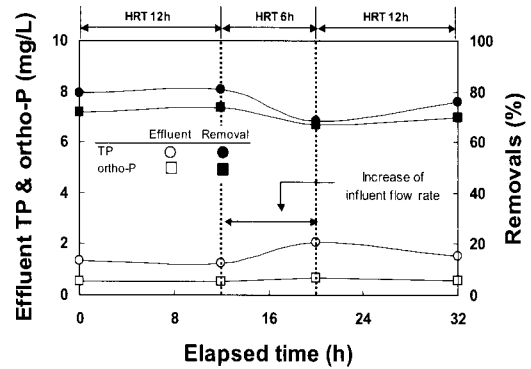


Fig. 6. Effect of hydraulic shock loading on phosphorus removal in laboratory-scale phased isolation intra-clarifier ditch process.

에 비해 크게 저하되는 경향을 나타내었다. 두 사이클주기(8시간) 동안의 수리학적 충격부하 적용 후 처리수내 TP 및 인산염인의 농도를 살펴본 결과 부하 적용전과 비교시 인산염인 농도의 경우 큰 변화가 없었으나, TP의 경우 처리수내 농도가 크게 증가하였다. 따라서 수리학적 체류시간의 감소는 내장형침전지의 성능저하 및 이로 인한 TP제거효율의 저하를 유발할 수 있음을 알 수 있었으며, 인의 방출 및 섭취와 관련된 반응특성에는 큰 영향을 미치지 않았음을 확인할 수 있었다. 별도의 슬러지수집장치의 적용을 통해 어느 정도 영향이 배제되었으나, 실험규모상의 한계로 인해 유량변화에 따라 내장형침전지의 고액분리능이 민감하게 영향을 받았으며, 본 시스템의 스케

일업을 고려할 경우 내장형침전지에 있어서의 수리학적 부하 및 고품물부하 검토에 보다 주의해야 할 것으로 사료된다.

4. 결 론

단기적인 수리학적 충격부하시 실험실규모 침전지 내장형 상분리 산화구시스템의 성능 및 처리 안정성을 검토·평가한 결과 유입하수의 유량 및 부하의 변동이 매우 심한 중소규모 하수처리시설에의 적합성 및 적용 가능성을 확인할 수 있었으며, 주요 결과를 요약하면 아래와 같다.

1) S환경사업소의 유입하수를 대상으로 사이클주기 4시간(무산소 및 혐기 1.5시간, 호기 2.5시간), 시스템 HRT 6~12시간, 시스템 SRT 9~31일의 운전 범위에서 정상 운전기간동안 전체적인 BOD, TN, TP는 각각 90~97%, 72~80%, 64~90%의 높은 제거효율을 얻을 수 있었다.

2) 시스템 HRT 12시간, SRT 20 25일, MLSS 2,500~2,800mg/L, 사이클주기 4시간으로 운전중인 상분리산화구 시스템을 대상으로 하수의 유입량을 2배로 증가시켜 두 사이클주기(8시간) 동안 수리학적 충격부하에 의한 시스템의 거동을 관찰한 결과, 유량 부하 적용전의 BOD, TN 및 TP 제거효율은 각각 95%, 71% 및 78%이었으나, 유량이 증가된 두 사이클주기(8시간) 이후 제거효율은 각각 BOD 88%, TN 69%, TP 68%로 나타났다. 그러나 BOD, TN 및 TP의 제거효율 변화폭은 4% 이내로 큰 변화가 없었으며, 4 사이클주기(16시간) 후에는 부하적용전의 처리성능 회복이 가능하였다.

3) 수리학적 충격부하시 유기물 제거효율의 저하는 반응특성의 저하로 인한 것임을 확인할 수 있었으며, 충격부하 적용시 질소제거측면에서는 탈질효율의 경우 거의 영향을 받지 않은 반면 질산화효율은 저하됨에 따라, 본 시스템을 부하변동이 심한 중소규모 하수처리시설에 적용하는 경우 총질소제거효율의 극대화를 위해서는 사이클주기내 호기조건의 시간 증가 등의 방법을 통하여 질산화효율을 확보하는 방안을 적극 모색할 필요가 있을 것으로 사료된다.

4) 수리학적 충격부하에 따른 인제거효율은 유기

물 및 TN의 경우와 마찬가지로 유입유량이 증가함에 따라 처리효율에 저하되는 경향을 나타내었으나, 정상 운전조건으로 회귀시 12시간이 경과한 후에는 충격부하 이전의 처리효율 회복이 가능하였다. 그러나 수리학적 체류시간의 감소는 인제거와 관련된 반응특성에는 큰 영향을 미치지 않았으나, 내장형침전지의 고액분리 성능 및 TP제거효율의 저하를 유발할 수 있음을 확인할 수 있었다.

사 사

본 연구는 환경부 G-7 3단계 환경기술개발사업 연구비 지원에 의해 이루어진 결과의 일부이며, 이에 감사드립니다.

참고문헌

- 기상청 (2004) 기상연감, 11-1360000-000011-10, 기상청, 서울.
- 김성원, 홍기호, 한상배, 장 덕 (2000) 산화구시스템에의 내장형침전지 적용 및 처리특성. 2000년도 공동추계학술 발표회논문집, 대한상하수도학회·한국물환경학회, 대전, pp.197-200.
- 한국환경기술진흥원 (2002) 환경공학기술개발연구보고, 한국환경기술진흥원, 서울.
- American Public Health Association, American Water Works Association and Water Environmental Federation (1998) *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*, 20th Ed., American Public Health Association, Washington DC, U.S.A.
- Bender, J.H. (1987) Assessment of Design Tradeoffs When Using Intrachannel Clarifiers, *Journal of Water Pollution Control Federation*, 59(10), pp. 871-876.
- Critics, R. and Tchobanoglous, G.(1997) *Small and Decentralized Wastewater Management Systems*, McGraw-Hill, Inc., Singapore.
- Hughes, J.D., Holland, R., and Holbrook, R.D. (1995) Assessment of Phased Isolation Ditch Technology - Review and Update, *Proceeding of WEFTEC'95 68th Conference*, Miami Beach, Florida, U.S.A., pp. 95-110.
- Stensel, H.D. and Coleman, T.E. (2000) *Technology Assessment: Nitrogen Removal Using Oxidation Ditches*, Water Environmental Research Foundation, Alexandria, U.S.A.
- Stenstrom, M. and Song, S. (1991) Effect of oxygen transport limitation on nitrification in the activated sludge process.

Journal of Water Pollution Control Federation, **63**, pp. 208-219.
Water Environmental Federation and American Society of Civil Engineering (1998) *Design of Municipal Wastewater*

Treatment Plants, 4th ed., Water Pollution Control Federation and American Society of Civil Engineering, II, pp. 11-195.