J. KSWQ. SEP. 2000. P501~512
한국물환경학회지. 제16권 제4호

미생물배양조를 결합한 회전원판법에 의한 하수처리 효과

임 봉 수·어 성 욱*·정 원 문

대전대학교 환경공학과 · *우송대학교 토목환경공학과

The Effect of Wastewater Treatment by Rotating Biological Contactors with HBR

Lim, Bong Su · Oa, Seong Wook* · Chung, Won Moon

Dept. of Environmental Engrg., Taejon Univ.
** Dept. of Civil and Environmental Engrg., Woosong Univ.*

Abstract

This study was carried out to develop the new process for RBC process which is capable of nutrient removal and to obtain its design parameters for Sludge Settling Type Rotating Biological Contactors by comparing RBC with RBC combined with HBR(Hanmee Bio-Reactor). To achieve more than 90% of organic removal efficiency, organic loading rate less than 6.0g BOD/m^2/d is recommended. Nitrification rate was about 90% at 6.0g BOD/m^2/d. TN removal efficiency of RBC+HBR was higher than those of RBC1 and RBC2. TN removal efficiency at condition of 5.0g BOD/m^2/d was about 60% in RBC1. When BOD loading rate was 6.0g BOD/m^2/d, TN removal efficiencies in RBC2 and RBC+HBR were about 70%, 80%, respectively. TP removal efficiency was more than about 67% for RBC1, about 63% for RBC2 and about 71% for RBC+HBR at the same loading rate. From the blank experiment to observe removal efficiency in the first stage, it can be known that COD removal efficiency was about 30% and suspend solids settling rate was about 45%. It was proved that RBC+HBR is much better in sludge dewatering than RBC.

KEYWORDS : Rotating Biological Contactors, BOD Loading Rate, HBR(Hanmee Bio-Reactor), Settling Rate, Sludge Dewatering

1. 서 론

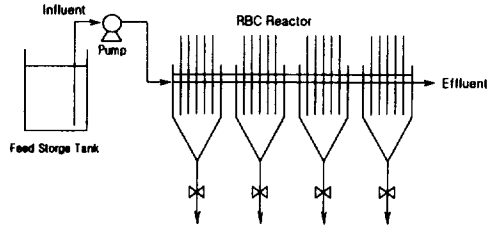
지금까지의 국내 하수처리사업은 대도시의 대규모 하수처리장 중심으로 진행되어 대부분이 활성슬러지 공정을 이용하여 건설되어 왔다. 대도시 하수처리장의 건설이 완료되면서 최근의 하수처리 사업은 읍,면 지역의 소규모 하수처리장 건설사업으로 진행되고 있는데, 소규모 하수처리장 역시 활성슬러지 공정이 가장 많이 채택되고 있는 실정이다. 그러나 소규모 처리장은 대규모 하수처리장과는 관리인원 등과 같은 유지관리 측면에서 상이하므로 이에 적합한 공정을 선정하는 것이 바람직한 것으로 사료된다. 소규모 처리장은 최근의 하수처리시설 위탁관리 추세에 부응하여 소수의 인원에 의해 운전되어야 하는 실정이므로 공정 선정시 유지관리의 간편성이 처리효율 못지 않게 우선적으로 고려되어야 할 항목이다. 유지관리의 간편성을 고려할 때 활성슬러지와 같은 부유성장(suspended growth)공정 보다는 부착성장(attached growth)공정이 바람직한데, 살수여상, 회전원판 등의 부착성장공정은 주기적인 슬러지 제거가 없다는 측면에서 생물학적 인 제거시 제한 요소로 지적되고 있다. 한편, 하수·분뇨·축산폐수처리장 등의 환경기초시설에서 발생하는 악취가스가 민원문제로 인식되어 처리장 건설에 막대한 지장을 받고 있다. 이러한 민원문제에 대한 해결방안의 하나로 기존의 생물학적 처리공정에 부식토 성상의 pellet을 충진하여 토양미생물을 우점종으로 배양할 수 있는 미생물배양조를 기존 처리장에 추가하여 효율증진, 악취제거 등의 효과를 얻고자 한다. 본 연구는 하수처리시 운전이 간편한 회전원판법(RBC:Rotating Biological Contactor)을 채택하여 토양미생물을 우점종으로 유지시킬 수 있는 미생물배양조를 결합한 RBC공정이 생물학적으로 질소, 인제거가 어느 정도 효과가 있는지를 평가하고, 회전원판 반응조의 침전효과와 침전된 슬러지의 특성을 살펴보고자 하였다.

2. 재료 및 방법

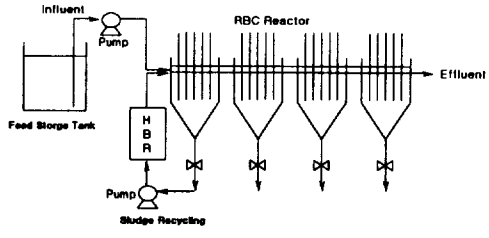
2.1 실험장치 및 운전방법

(1) 실험장치

본 실험을 위해서 사용된 침전형 회전원판 반응조(a)는 기존의 회전원판 반응조에서 탈리되는 미생물과 부유되는 미생물이 침전 가능하도록 변형한 것이고, RBC+HBR(b)는 H사에서 개발한 미생물배양조(HBR : Hanmee Bio- Reactor)를 RBC공정에 결합하여 미생물배양조가 없는 침전형 회전원판공정과 비교하기 위한 것으로 그림 2.1에 도시하였다.



(a) RBC



(b) RBC+HBR

Fig. 2.1 *RBC와 RBC+HBR 장치 모식도*

회전원판반응조는 아크릴을 사용하여 제작하였으며 4단으로 나누어서 자연유하식으로 하수가 이동하게 설치하였으며, 각 단의 운전용적은 약 1.7 ℓ 정도로서 전체 용적은 약 6.8 ℓ 이다. 미생물배양조의 체류시간은 약 1일이고 내

부 반송을 위한 순환유량은 유입유량을 기준으로 0.1Q이며 MLSS는 2800mg/L을 유지하여 운전하였다. RBC 첫단 반응조는 유기물질부하가 높고 다른 단계의 반응조 보다 슬러지가 가장 많이 축적되므로 이 침전슬러지가 미생물배양조의 우점미생물에 의해 전체 공정에 쉽게 활성화되도록 미생물배양조로 순환을 시켜주었다.

미생물배양조는 별도의 배양조를 설치하여 운영하는 것으로 토양미생물중 *Bacillus* 종 미생물을 활성화시켜 우점종시킨 것으로 지금까지의 연구결과에 의하면 토양미생물의 대사산물은 폐수 내 유기물질과 결합, 응집 및 킬레이트 화합물로 중축합 반응을 일으켜 거대분자를 형성하여 침전조에서 고액분리를 촉진시키는 것으로 알려져 있다.[10]

배양조 내부에는 국내 H사에서 판매하는 부식토 pellet을 적당량(약 23g×5개)을 충진하였다. 표 2.1은 본 연구의 미생물배양조 내부에 첨가된 pellet에 대한 타 연구기관[1]의 결과로서 일반부식토에 비해 Si, Al, Fe등의 무기물질 함량이 높은 특성을 지니며, 특히 Si의 성분이 26%로 가장 높은 것으로 조사된 바 있다. 본 pellet을 투여하는 이유는 토양미생물을 이용한 폐수처리의 기본 이론인 부식화 반응을 촉진하기 위해서 토양에 오수를 살포하는 대신, 활성화된 토양을 주입하여 토양내에서와 동일한 부식화 반응을 진행시키기 위함이며, 이를 위해 과도한 포기보다는 저농도의 용존산소를 유지하도록 배양조 환경을 조성함이 유리한 것으로 보고된 바 있다.[2,3]

표 2.2는 본 실험에 사용된 회전원판의 주요 제원이다. 원수저장조에는 유입시료의 부유물질의 침전을 막기 위해 혼합할 수 있는 순환장치를 바닥에 설치하였고, 회전원판 반응조의 수온은 가능한 약 20℃정도로 유지시키기 위해 외부에 항온수조의 물을 반응조 외부에 순환시켰다. 탈리되는 미생물처리를 위해서 별도의 최종침전지를 설치하지 않았으며 최종침전지의 효과를 고려하기 위해서 반응조의 최종처리수를 일정량 채취하여 혼합한 후 2시간 침전 후에 상징수를 최종처리수로 간주하였다.

Table 2.1 *Pellet 의 성상비교*

항 목	Pellet	일반부식토	분석방법
수 분	8.63%	10.0%	105℃ (dry oven)
pH	2.76	2.91	Dry Sample 10g + water 25mL, 500℃ Furnace
Organic matter	13.04%	20.5%	
Carbon	16.0%	20.0%	CHN analyzer
Hydrogen	2.23%	1.95%	
Nitrogen	1.20%	3.50%	
Sulfur	2.65%	2.50%	Sulfur Determinator
K	3.50%	3.82%	ICP
Si	26.0%	1.09%	
Ti	0.80%	3.38%	
Al	4.20%	1.60%	
Ba	0.17%	-	
Fe	3.54%	2.03%	
Sb, Cd, Cr, Co	-	-	
Cu, Ni, Pb, Mn	0.1%이하	0.1%이하	

Table 2.2 *RBC의 주요 제원*

항 목	사 양	
	RBC반응조	HBR
원 판 재 질	고밀도 polyethylene	· 체류시간 :약 1일 · 유효용적 : 4 ℓ · pellet 주입량 약23g × 5개
단 수	4	
원판두께(mm)	2	
원판직경(cm)	20	
원판매수(매)	5매/단×4단 = 20매	
원판간격(cm)	약 2	
원판면적(m^2)	1.256	
조용적(ℓ)	약 1.7 ℓ/단×4단 = 6.8 ℓ	
침적율(%)	40	
액량면적비 (ℓ/m^2)	5.414	
회전속도(rpm)	8	
원주속도(m/min)	약 5	

(2) 운전방법

회전원판법의 설계기준[4]에서 회전원판의 소요면적은 우리나라의 경우 BOD면적부하 5~12g/m^2/d 또는 수리학적 부하 50~100 ℓ/m^2/d로 정하고, 미국의 하수도 시설기준[5]에는 첫단의 BOD면적부하를 31g/m^2/d 이하로 고려하고 있으며, 유지관리[6]를 위해서는 BOD 면적부하는 15~20g/m^2/d, 수리학적 부하는 BOD 제거를 목적으로 120~400 ℓ/m^2/d이고, 질산화를 위해서는 40~100 ℓ/m^2/d로 추천하고 있다.

RBC1은 유입수의 BOD가 약 80mg/L, RBC2와 RBC+HBR은 BOD 약 110mg/L으로 RBC1과 RBC2는 다른 유입수 농도를 갖는 것으로 구분되며 미생물배양조가 없는 단독 RBC 공정이다.

표 2.3은 본 연구에 적용되어진 운전인자를 나타낸 것으로 BOD면적부하가 2.5~6.3g/m^2/d, 수리학적부하가 30~76 ℓ/m^2/d의 범위에서 운전하였고, 체류시간은 RBC1을 4hr, 2hr, 1.7hr으로 RBC2와 RBC+HBR의 경우는 4hr, 2hr으로 변화를 주어 운전하였다. 본 연구에서는 BOD면적부하 및 수리학적부하가 설계기준에서 제시되고 있는 적정 범위보다 낮게 설정한 이유는 공정운전을 저부하로 운전되었을 때의 효과를 검토하기 위한 것이다.

Table 2.3 *각 반응조별 운전방법*

구 분	RBC1			RBC2		RBC+HBR	
BOD 면적 부하 (g/m^2/d)	2.5	4.5	5.7	4.0	6.1	3.0	6.3
수리학 적부하 (ℓ/m^2/d)	30	57	76	30	57	30	57
HRT(hr)	4.3	2.3	1.7	4.3	2.3	4.3	2.3

2.2 대상시료의 특성 및 분석방법

D시 수질환경사업소(하수종말처리장)에서 채취한 활성슬러지를 침전시켜 회전원판 반응조에 종균한 후 대상시료를 일정기간 주입시켜

적응시킨 후 회전원판에 어느 정도 미생물막이 형성되고 유출수의 수질이 일정하였을 때 정상상태로 판단하여 운전조건에 따라 시료를 분석하였다.

대상시료는 아파트 단지내 오수정화시설의 유입 생활오수로 1차침전지의 효과를 고려하기 위해 시료를 2시간 정도 침전하여 본 연구의 유입수로 사용하였으며 그 유입수의 성상은 표 2.4와 같다. 유입수의 TCOD/TKN비는 9.1~15정도였고 TCOD/TP비는 30~33정도였으며 VSS/SS비는 0.7정도였다.

Table 2.4 *유입수의 성상(평균값)*

구 분	RBC1	RBC2	RBC+ HBR
pH	6.4	6.9	6.8
TCOD/	146/	223/	204/
SCOD	70	122	111
TBOD/	79/	111/	108/
SBOD	32	39	44
TSS/VSS	69/45	100/80	102/75
TKN	16	19	18
NH_4^+-N	11	15	14
TP	4.5	6.6	6.6

(주) pH를 제외한 모든 단위는 mg/ℓ. TCOD (SCOD)는 중크롬산 칼륨에 의한 COD값임.

본 연구에서의 분석항목은 유입수와 처리수에 대해서 pH, TBOD, SBOD, TCOD, SCOD, SS, VSS, TKN, NH_4^+-N, NO_3^--N, TP를 측정했다. 각 반응조의 슬러지의 성상 및 탈수시험은 별도의 2차침전지가 없었으므로 탈리되는 슬러지의 성상을 분석하기 위해 인위적으로 회전원판을 정지하여 원판 하부에 침전된 슬러지를 확보하여 측정하였다. 주요 수질분석방법은 Standard Methods[7]에 따랐다.

3. 결과 및 고찰

3.1 유기물질 제거

RBC1은 BOD 약 80mg/L, RBC2와 RBC+HBR은 BOD 약 110mg/L의 유입수에 의한 처리공정을 나타낸다. 그림 3.1~3.3는 BOD, COD등의 유기물질 제거효율을 나타내고 있다. 유입농도는 75~115mg/L, 유출수 농도가 2.2~10mg/L의 범위로 BOD 제거효율은 91~98%범위의 높은 효율을 나타내었다. 그림 3.1은 유입 BOD 면적부하에 따른 전체 BOD 제거효율을 RBC1, RBC2, RBC+HBR으로 구분하여 나타내고 있다. TBOD제거율과 BOD부하율과의 상관관계는 유입수의 농도에 따라 차이가 있는데, 동일한 유입수의 경우 TBOD제거효율 90% 이상을 얻기 위해서는 RBC2와 RBC+HBR의 경우 BOD 부하율이 약 6.0gBOD/m^2/d으로 나타났으며 미생물배양조의 운전이 유기물질 제거에 미치는 영향이 크지 않은 것으로 관찰되었다.

BOD부하율과 SBOD제거의 관계는 동일한 부하율에서 TBOD제거효율이 SBOD제거효율보다 약간 높은 편이었고, BOD부하율과 제거효율의 관계는 순수한 미생물에 의해 처리되는 SBOD가 더 강한 상관성을 띠는 편인데 이것은 부유물질에 기인하는 불용성 BOD가 침전에 의해 제거되기 때문이다.

그림 3.2는 수리부하에 따른 TBOD제거효율을 나타내고 있다. 수리부하율은 원판면적이 고정되어 운전되고 유량에 의해 변화되므로 유입수의 농도 변화와 관계없이 체류시간에 따라 결정된다. 약 90%이상의 TBOD제거효율을 얻기 위해서는 수리부하율이 약 75 ℓ/m^2/d이하로 나타나 짧은 체류시간(약 1.7hr)에서도 처리가 양호한 것으로 나타났다.

그림 3.3은 BOD 면적부하율에 따르는 최종처리수의 BOD와 SS농도를 함께 나타내고 있으며, 짧은 체류시간 약 2hr(약 BOD 부하 6.3g/m^2/d) 경우에도 운전방법에 큰 차이 없이 SS농도는 7mg/L이하로 약 93%이상의 제거효율로 양호한 결과를 나타냈다. 일반적으로 RBC의 최종처리수의 경우 SS는 BOD와 유사하거나 작은 경향을 띠는데[8], 본 연구에서도 유사한 경향이 나타났다.

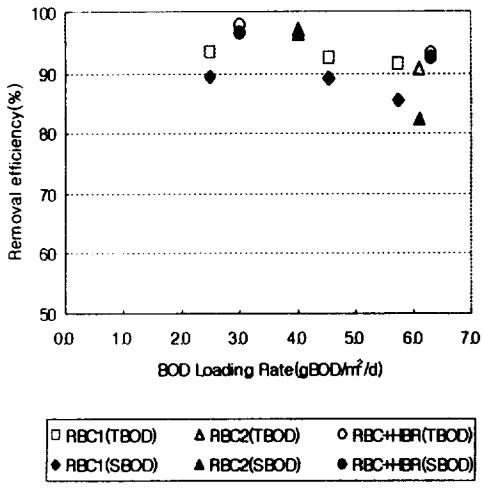


Fig. 3.1 *BOD 면적부하율에 따른 BOD 제거효과*

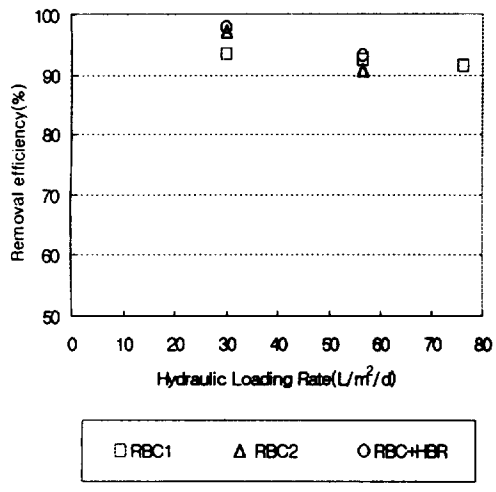


Fig. 3.2 *수리학적부하율에 따른 BOD 제거효과*

일반적으로 표준활성슬러지의 BOD용적부하율[6]이 0.3~0.6kg/m^3/d 범위에서 운전되고 있는데 본 연구에서는 BOD면적부하를 BOD 용적부하율로 전환시켜 보았을 때 0.5~1.3kg/m^3/d범위로 운전되어 짧은 체류시간과 적은 부지면적에서도 회전원판법의 성능이 우수하다고 사료된다.

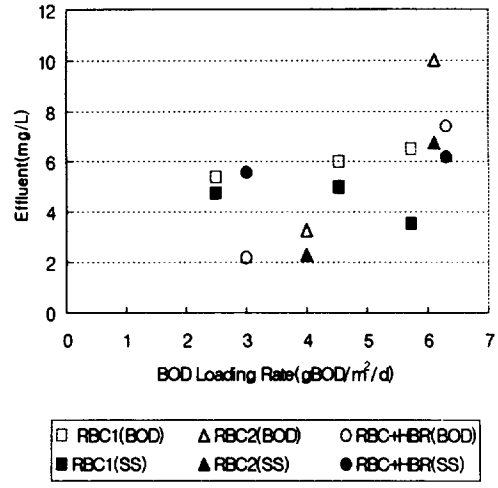


Fig. 3.3 *BOD 면적부하율에 따른 BOD와 SS의 유출수 농도*

3.2 영양소 제거

(1) 질소 제거

그림 3.4는 BOD부하율에 대한 질산화율을 비교한 것이다. 질산화율은 유입수의 TKN에 대한 최종 유출수 NH_4^+-N을 이용해서 구한 것으로 유출수에 포함되어 있는 고형물질이 매우 적으므로 이것에 포함되어 있는 유기질소의 양을 무시한 것이다. 공정내에서 가수분해에 의해서 유기성 질소가 암모니아성 질소로 전환되기 때문에 회전원판공정의 질산화 설계시 유입수의 암모니아성 질소만 고려하여 설계하면 설계에 요구되는 규모에 비해서 처리시설 규모가 작아지므로 유입수의 TKN을 기준으로 설계하여야 한다.[9] BOD부하율이 증가하면서 질산화율은 감소하는 경향을 보였으며 BOD 부하율 약 6.0g/m^2/d 에서 90%이상을 나타냈다.

TN 제거효율은 유입수의 NO_3^--N과 유출수의 NO_2^--N이 검출되지 않았으므로 유입수의 TKN에 대한 유출수의 NH_4^+-N과 NO_3^--N의 대해서 나타내었다. RBC1의 경우 유입되는 원수의 농도는 TKN 14~17mg/L, NH_4^+-N 8.6~12mg/L의 농도를 나타내었으며, 처리수 농도는 RBC1이 TKN 1.1~2.5mg/L을 나타

내었다. RBC2와 RBC+HBR의 유입되는 원수의 농도는 TKN 17~19mg/L, NH_4^+-N 13~16mg/L의 농도를 나타내었고 처리수 TKN 농도를 보면 RBC2가 2.3~4.3mg/L, RBC+HBR이 2.2~3.6mg/L의 결과를 나타내었다. 그림 3.5는 BOD부하율에 따른 TN제거율을 나타낸 것이다. BOD 부하 약 5.0g/m^2/d에서 TN제거효율은 RBC1, RBC2, RBC+HBR 모두 약 60%이상을 보였으며, RBC2와 RBC+HBR은 BOD부하율 6.0g/m^2/d 에서 약 70%, 약 80%의 TN제거효율을 각각 보였다

여기서 TN제거효율이 HBR+RBC가 비교적 좋은 결과를 나타내었는데, 반응조내에 토양미생물의 서식과 미생물배양조에서 DO가 0.5 mg/L 이하로 낮게 운전되어 탈질효과가 어느 정도 나타난 것으로 사려된다.

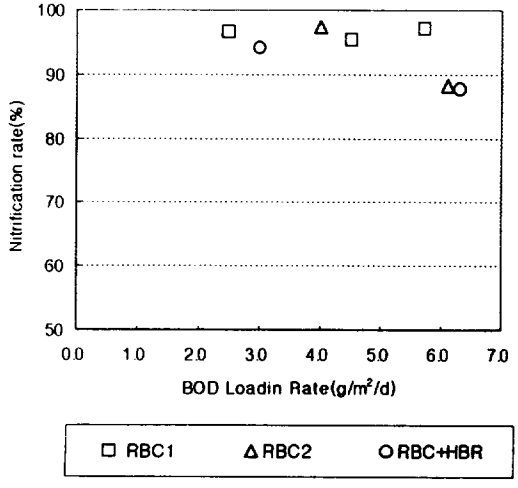


Fig. 3.4 *BOD부하율에 따른 질산화율의 변화*

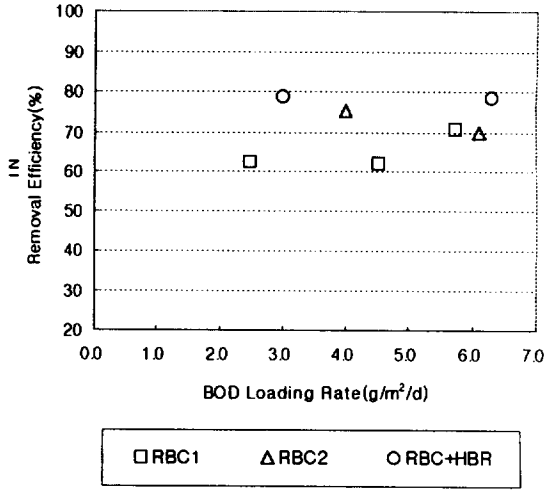


Fig. 3.5 *BOD부하율에 따른 TN제거율의 변화*

거효율을 각각 나타내고 있다. 제거효율은 RBC2와 RBC+HBR 두 경우 모두 반응조 첫단에서 50%이상의 제거효율을 볼 수 있었으며, RBC+HBR이 RBC2보다 높은 제거효율을 나타내었으며, 총제거효율은 체류시간 2hr의 경우에 71%를 나타내었다.

RBC1의 경우 약 60%의 제거효율을 보기 위해서는 BOD 부하가 약 5.0g/m^2/d 이하까지 가능한 것으로 나타났고, 이때의 수리부하는 약 50 ℓ/m^2/d 이하로 나타났다. RBC2와 RBC+HBR는 BOD부하 5.0g/m^2/d이하, 수리부하율 50 ℓ/m^2/d의 부하에서 RBC2가 약 65 %, RBC+HBR이 약 70%이상의 제거효율로써 RBC+HBR이 RBC보다 높은 제거효율을 보였다. 또한, 부하율이 높아질수록 TP제거효율은 감소하였으며, 약 6.0gBOD/m^2/d에서도 RBC+HBR이 약 70%, RBC가 약 60%로 RBC+HBR이 높게 나타났다. 이는 배양조의 Pellet으로부터 용출된 Ca, Mg 등이 보조적인 화학적 인 제거작용을 수반하여 환경조건에 민감한 인 제거 미생물의 불안한 신뢰도를 높이는 작용과 *Bacillus* 미생물의 안정적인 인 제거효율 때문인 것으로 사료된다.[10]

(2) 인 제거

RBC1의 유입수의 인 농도가 4.0~5.5mg/L를 나타내었고, RBC2는 5.9~7.2mg/L, RBC+HBR은 5.5~7.7mg/L를 나타내었다. RBC1의 경우에는 첫단계 반응조에서 대부분 인이 제거가 되었으며 다음 각 단에서는 거의 변화를 볼 수 없었다. 그림 3.6과 3.7은 BOD부하율과 수리부하율에 따른 TP제

각 반응조에서 미생물의 침전, 부착 등의 영

향에 의해 일반적인 활성슬러지인 경우인 인 제거율 약 30%[11] 보다 비교적 높은 편이며, 최종 처리수의 TP 농도는 체류시간이 짧은 1.7시간에 약 1.8㎎/L 정도로 나타났다.

른 RBC 반응조 각 단의 TKN 제거분율을 물질수지에 의해 구하여진 것을 나타낸 것이다. TKN은 유기물질 부하가 높고 침전율이 높은 1단 반응조(R1), 2단 반응조(R2) 에서 많은

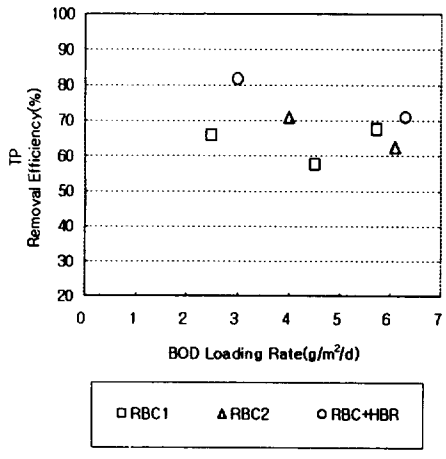


Fig. 3.6 *BOD부하율에 따른 TP의 제거효율 변화*

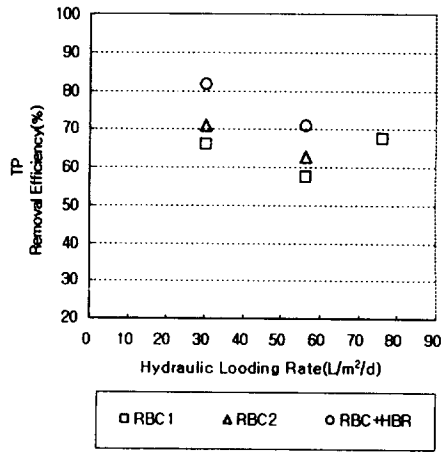


Fig. 3.7 *수리부하율에 따른 TP의 제거효율 변화*

3.3 회전원판법의 침전효과

(1) 정상운전에서의 침전효과

본 RBC 반응조 내부에서 부유물질과 탈리된 미생물에 의한 침전효과 매우 높을 것으로 예측되어 침전효과를 검토하였다. 그림 3.8은 체류시간에 대해서 각 단계의 부유물질 침전율을 나타낸 것이다. 침전율은 각 반응조에서 각 단계에 유입, 유출되는 FSS(Fixed Suspended Solid)의 평균값으로 계산된 것으로 대부분 1단 반응조(R1)와 2단 반응조(R2)에서 침전되는 경향을 보였으며, 체류시간이 감소함에 따라서 4단 반응조(R4)로 침전율이 증가하는 경향을 띄었다. 그림 3.9는 체류시간에 따라서 각 단의 유기물질 제거효율을 나타낸 것이다. COD제거효율은 각 단에 유입되는 유입수와 유출수로 나타낸 것으로 전체적으로 체류시간에 관계없이 대부분 침전율이 1단 반응조(R1)와 2단 반응조(R2)에서 제거되는 것을 볼 수 있었다. 그림 3.10은 체류시간에 따

제거효율을 보였으며, 침전율과 비슷한 경향을 보였다. 그림 3.11은 체류시간에 따른 TP 제거분율을 나타낸 것으로 TP 제거는 일반적으로 슬러지제거로 이루어진다. 본 연구에서는 1단 반응조에서 50%이상 제거되는 것을 볼 수 있었는데 이것은 슬러지를 제거하지는 않았지만 1단 반응조에서 침전율이 가장 높은 것으로 보아 침전 기작에 의해 인 제거되는 효과가 높은 것으로 사료된다.

(2) 공실험에 의한 침전효과

본 연구에서 회전원판법에 의해서 유기물질, 영양소가 각 단계에서 침전되는 현상과 비례하여 대부분 제거되는 것을 발견할 수 있었다. 따라서 원판 각각에 의해서 제거되는 소비율을 계산하여, 침전이 고려된 RBC의 적용을 검토해 볼 필요가 있을 것으로 사료된다. 그림 3.12는 유기물질(COD)이 각 단에서 순수하게 수리학적으로 제거되는 것을 분석하기 위하여 원판에 부착된 미생물을 탈리시킨 후 분석조건

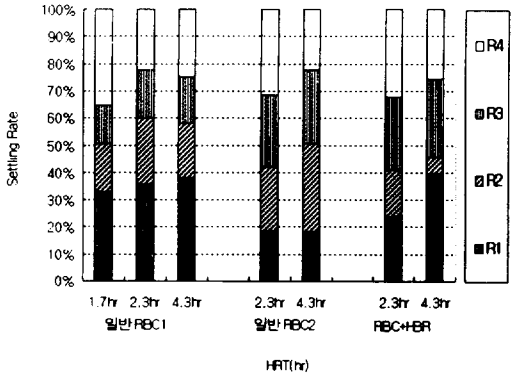


Fig. 3.8 *체류시간에 대한 각 단계의 침전효율 비교*

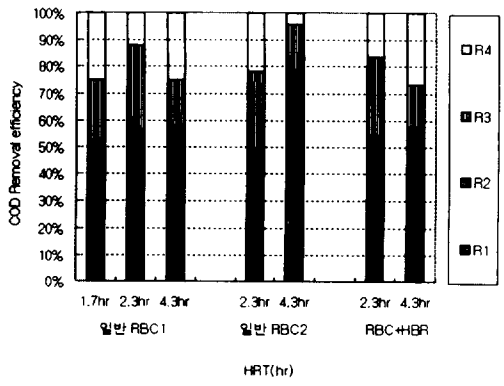


Fig. 3.9 *체류시간에 따른 각 단계의 COD 제거분율 비교*

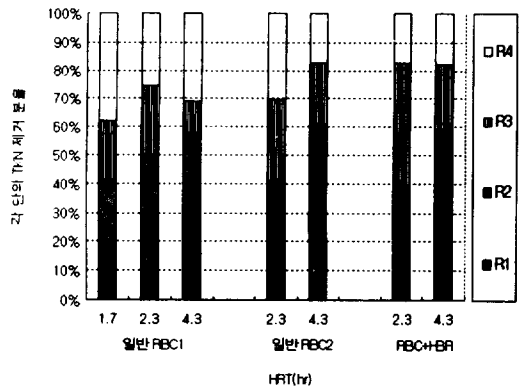


Fig. 3.10 *체류시간에 대한 각 단계의 TKN 제거분율 비교*

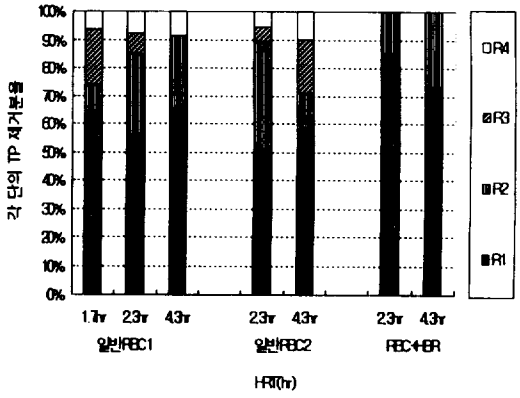


Fig. 3.11 *체류시간에 따른 각 단계의 TP 제거분율 비교*

과 동일한 상태에서 공실험(Blank Test)을 한 결과를 도시하였다. 실제체류시간 2.3hr에 대해서 6hr 동안 2hr 간격의 COD 제거효율을 각단의 유입수와 유출수로 계산된 것으로 시간이 경과함에 따라서 1단 반응조에서 대부분 제거되고, 4hr, 6hr의 체류시간에서는 일정한 유출수의 결과를 볼 수 있었다. 그 결과, 공실험에 의해 제거되는 COD제거율은 6hr에서 1단 반응조에서 약30%를 나타내어 대부분 1단 반응조에서 제거되는 것을 알 수 있었으며, 박[12]의 연구결과인 COD소비율 33%과 유사하게 나타났다. 따라서, 본 공정에서는 회전원판법의 유기물제거에서 적용되는 COD부하보다약 30%정도 확대된 부하범위의 설정이 가능할 것으로 사료된다. 그림 3.13는 각 단에서 부유물질 침전율을 분석하기 위하여 미생물을 탈리시킨 후 분석조건과 동일한 상태에서 공실험을 한 결과를 도시하였다. 부유물질 침전율은 1단 반응조에서 약 45%이상을 보여 정상상태에서 분석한 침전율과 비슷한 결과를 나타내었다.

3.4 슬러지 특성

(1) 폐슬러지 농도

RBC 원판의 미생물은 탈리나 수리학적 충격에 의해서 씻겨져 나갈 가능성이 많은데 이 경

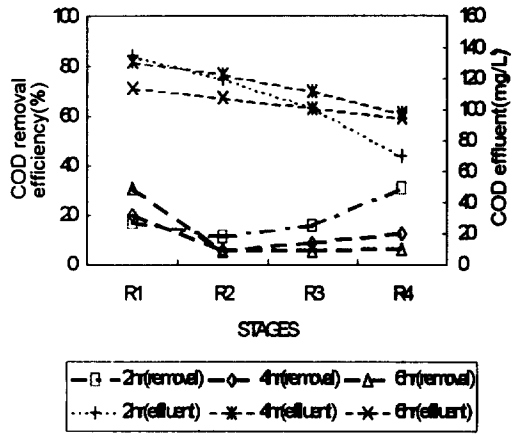


Fig. 3.12 *체류시간에 대한 각 단의 COD 제거효과 (공실험)*

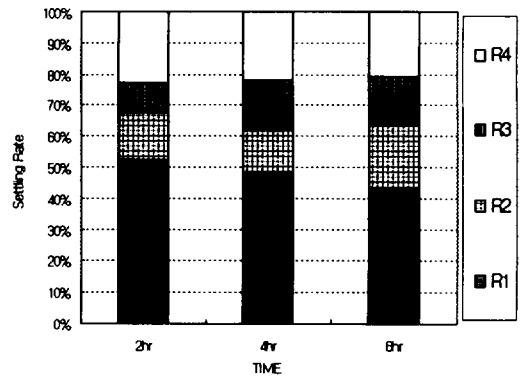


Fig. 3.13 *RBC 각 단의 부유물질 침전율 변화(공실험)*

우 발생된 생물은 2차 침전지에서 침전하게 된다. 본 실험에서는 2차 침전지를 별도로 후단에 부착시켜 운전하지 않았는데, 발생된 미생물이 주로 회전원판의 첫 단계에 발생하여 그 반응조 내에서만 주로 침전되고 다음 단계의 반응조로 이동이 미약하여 침전지에서 슬러지를 확보하기 곤란하였기 때문이다. 또한 실제 실험실 규모에서는 회전원판이 현장에서처럼 유입수의 흐름방향에 대해 1축 1단 축직각 흐름이지만 원판은 여러장 포개지 못해 유입부측 폭이 직경보다 작게 설계되어 있어 수리적 혼합이 충분히 일어나지 않았기 때문이다. 현장에서는 충분히 혼합이 일어나므로 반응조에 침전없이 발생된 미생물이 이동된다.

따라서 본 연구에서는 각 체류시간별 정상상태에서의 운전을 끝낸 후 각 반응조의 용액을 인위적으로 배출시킨 후 침전슬러지의 농도 등을 측정하였다. 슬러지의 농도는 Imhoff cone을 사용하여 2시간까지 침전시켜 TS, VS를 측정하였으며, 탈수성 평가를 위한 비저항계수 측정도 침전시간 2시간 후의 시료를 이용하여 측정하였다.

표 3.1은 RBC와 RBC+HBR의 폐슬러지 농도를 측정한 결과이다. 침전된 폐슬러지는 1단계 반응조(R1)에서 대부분 침적되어 있었는데, RBC2의 경우 슬러지의 농도는 TS 1.2 ~ 1.5%, RBC+HBR의 경우 R1의 슬러지를 HBR로 반송시켜 체류시간이 1일 체류하도록 해 주었고 이 때의 슬러지 농도 TS 1.7~2.1%, VS 1.1~1.5%, VS/TS 0.52~0.88 정도로 HBR+RBC가 RBC2보다 높은 값을 나타냈다. HBR+RBC 반응조의 폐슬러지 농도가 우리나라 도시하수[13]의 일반적인 활성슬러지 공정에서의 폐슬러지 농도 1.3~1.5%보다 약간 높은 경향이다.

Table 3.1 *각 RBC 반응조 폐슬러지 농도의 비교*

구분	체류시간 (hr)	RBC2		RBC+HBR	
		TS (%)	VS (%)	TS (%)	VS (%)
R1	4	1.5	1.3	2.1	1.1
	2	1.2	1.1	1.7	1.5
R2	4	1.4	1.1	1.6	1.0
	2	0.7	0.5	1.3	1.1
R3	4	1.5	1.1	1.8	0.9
	2	1.4	1.3	1.3	1.1
R4	4	0.7	0.5	1.7	1.2
	2	1.7	1.2	1.2	0.9

(2) 슬러지의 탈수성

본 연구에서는 발생된 슬러지의 탈수특성을 비교하기 위하여 비저항계수를 측정하였다.

표 3.2는 첫단에서 발생한 폐슬러지의 비저항계수를 측정한 결과이다. RBC 반응조 첫단에서 발생한 폐슬러지의 비저항계수는 RBC2가 체류시간 4hr에서 1.8×10^{10}, 2hr에서 $1.6\times10^{10}sec^2/g$으로 나타났고, RBC+HBR이 체류시간 4hr에서 5.3×10^{9}, 2hr에서 $5.6\times10^{9}sec^2/g$로 나타났다. RBC+HBR이 RBC2보다 작은 값을 나타냈으며 비저항계수가 작을수록 탈수성이 상대적으로 양호하다. 도시하수 슬러지의 비저항계수[14]를 보면 1차슬러지는 $1.53\sim5.1\times10^{10}sec^2/g$이고, 2차슬러지는 $1\sim10^{9}sec^2/g$으로 본 실험 RBC+HBR의 결과가 문헌의 2차 슬러지와 큰 차이가 없었다. 또한, 우리나라의 2차슬러지의 비저항계수는 약 $0.8\sim33\times10^{9}sec^2/g$으로 이 범주에 속한 것으로 나타났다.

Table 3.2 *폐슬러지의 비저항계수 비교*

(단위:sec^2/g)

	RBC 2	RBC+HBR
4hr	1.8×10^{10}	5.3×10^{9}
2hr	1.6×10^{10}	5.6×10^{9}

4. 결 론

생물학적 영양소 제거가 보다 효과적인 RBC공정 개발을 위해 일반적인 RBC공정중 RBC1은 유입수 평균 BOD 80mg/L, RBC2와 미생물배양조(HBR)를 결합한 RBC+HBR공정은 각각 유입수 평균 BOD 110mg/L으로 실험을 통해 다음과 같은 결과를 얻을 수 있었다.

1) RBC1, 2, RBC+HBR 모두 BOD부하율에 대한 TBOD 제거효율은 큰 차이가 없는 경향이며 약 90%이상의 BOD 제거효율을 얻기 위한 BOD 면적부하가 약 $6.0g/m^2d$ 이하로 나타났다. 동일한 부하조건에서 모든 공정의 최종처리수 SS는 약 93% 이상의 제거효율로 BOD와 유사하거나 양호한 처리효과를 나타내었다.

2) TN 제거효율은 RBC1이 BOD 부하 약 $5.0g/m^2/d$에서 약 60%, RBC2와 RBC+HBR은 BOD 부하 약 $6.0g/m^2/d$에서 각각 약 70%, 약 80%로 RBC+HBR이 가장 좋은 결과를 나타내었다. TP 제거효율도 약 $6.0g/m^2/d$에서 RBC1이 약 67%, RBC2가 약 63%, RBC+HBR이 약 71%를 보여 RBC+HBR이 약간 높은 제거효율을 나타냈다.

3) 유기물질 제거, 영양소 제거, 부유물질 침전율은 1단 반응조에서 가장 높은 제거효율을 나타났고 이 때의 부유물질 침전율과 COD제거율은 45%, 30%로 각각 나타나 침전 기작의 효과가 높았다.

4) RBC 첫단계 반응조에서 발생한 폐슬러지의 비저항계수 측정 결과에 의하면 탈수성 효과는 RBC+HBR이 단독 RBC 보다 양호한 것으로 나타났다.

감사의 글

본 연구는 1999년도 대전대학교 연구년 기간 중 수행되었음에 감사를 드립니다.

참고문헌

1. 최용수 외, 아파트 및 공공건물용 오수정화 시설의 개선에 관한 연구, *과학기술처* (1991).
2. 鵜飼信義, 依田 亮, 自然淨化處理技術 實際 地域環境保全, *(社)日本技術社會*, 地人書館 (1994).
3. 신응배 외 4인, 토양미생물을 이용한 연속 회분 식 반응조에서의 인제거 특성, *대한환경공학회지*, 제 21권, 제 6호, 1179-1189 (1999).
4. 한국수도협회, *하수도시설기준*, 531-532 (1998).
5. WEF, *Design of Municipal Wastewater Treatment Plants*, Volume I, 12-110 - 12-112 (1998).
6. WEF, *Operation of Municipal Wastewater Treatment Plants*, MOP No. 11, Volume II (1990).
7. APHA, AWWA, and WPCF, *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*, 19th Ed. (1995).
8. Antonie, R. L., *Fixed Biological Surface Wastewater Treatment*, CRC PRESS (1976).
9. 환경부, *폐수종말처리시설의 설계*, 4-157 - 4-167 (1995).
10. 어성욱, 특수미생물을 이용한 고도처리공정의 처리효율 및 성능평가, *우송대학교 산업연구소* (1999).
11. 고광백 외 6인, *폐수처리공학*, 동화기술 (1997).
12. 박재노, 회전원판법을 이용한 하수의 유기물제거와 탈질화 동시처리 특성에 관한 실험적 연구, *홍익대학교 석사학위논문* (1990).
13. 최의소, 위생처리장 예비시설 기초조사연구, *고려대학교 생산기술연구소* (1982).
14. 심성철, 비저항계수 측정방법의 비교와 우리나라 슬러지 탈수 특성 연구, *고려대학교 석사학위논문* (1989).