

유기폐자원을 이용한 고도하수처리 대체탄소원 개발 및 실프랜트 적용

정인철·김호영·강동효·정종순^{*}·이상원^{**}·임근택^{**}·김창원^{***}
부산광역시 환경시설공단·부산광역시 보건환경연구원·
^{*}(주)엔바이론소프트 부설연구소·^{**}부산대학교 환경공학과
(2004년 8월 26일 접수; 2004년 10월 25일 채택)

Development of Alternative External Carbon Source from Wasting Carbonaceous Organic Resource and Full Scale Application

In Chul Jung, Ho Young Kim, Dong Hyo Kang, Joung Soon Jung^{*},
Sang Won Lee^{**}, Keun Taek Lim^{**} and Chang Won Kim^{***}

Busan Metropolitan City Environmental Installations Corporation, Busan 607-830, Korea

Busan Metropolitan City Institute of Health & Environment, Busan 613-104, Korea

Environsoft co. Ltd., Busan 609-735, Korea

****Department of Environmental Engineering, Pusan National University, Busan 609-735, Korea*

(Manuscript received 26 August, 2004; accepted 25 October, 2004)

The purpose of this research was evaluated economical effect to apply alternative external carbon source. Conventional activated sludge process in municipal wastewater treatment plant was adapted and introduced to Biological nutrient removal processes to meet the newly enforced effluent quality standard for nutrient removal in Korea. Low COD/NH₄⁺-N ratio and higher nutrient concentration of influent characteristics force to inject external carbon source for denitrifying recycled nitrate. In the most case, methanol was used as external carbon source. But Methanol is expensive and very dangerous in handling. So we could find cheaper and safer external carbon source substituted methanol in last study. This alternative external carbon source is named RCS(recoverd carbon source) and a by-product of fine chemical product at chemical plant. When RCS was applied real municipal wastewater treatment plant, average 55~65% of T-N removal efficiency, 8.8mg/l of effluent T-N concentration, 11.3mg/l of effluent COD concentration were obtained without effluent COD increase as against used methanol. To apply RCS in municipal wastewater treatment plant obtain approximately 74.5% expenditure cost reduction in comparison with methanol dosage cost.

Key Words : External carbon source, Alternative carbon source, RCS, Denitrification, Waste-resource

1. 서론

녹산하수처리장은 분류식 관거를 통해 공장폐수가 유입된다. 유입수 COD_{Mn}/T-N비는 평균 3.1정도로 낮아, 국내 대부분의 하폐수처리장과 같이 효과

적인 탈질 반응을 위해 외부탄소원을 투여한다. 국내에서 주로 이용되는 외부탄소원은 생분해도가 높고 단일물질로는 비교적 저렴한 메탄올이 선호되고 있다. 그러나 메탄올은 전량 수입에 의존하며, 유가에 따른 가격 변동에 취약하고, 국내 수요 급증에 따른 가격의 지속적 인상은 장기적으로 하폐수처리장 운전비용 압력으로 작용한다. 또한 고인화성 물질이므로 소방법에 따른 제약이 뒤따르는 단점이 있다. 따라서 이를 대체할 수 있는 탄소원 개발의

Corresponding Author : Chang Won Kim, Department of Environmental Engineering, Pusan National University, Busan 609-735, Korea
Phone : +82-51-510-2416
E-mail : cwkim@pusan.ac.kr

기본 방향은 다음 두 가지로 나눌 수 있다.

우선, 처리 의무가 있는 물질의 재활용을 검토하는 것으로 대상 물질은 하수 슬러지, 분뇨, 음식물 쓰레기 등이다. Jowitt¹⁾ 등은 고온호기성소화(Thermophilic Aerated Digestion, TAD) 상정액에 축적된 VFAs를 탈질과 인방출을 위한 탄소원으로 주입한 실험실 규모의 실험을 수행하였으며, Nam²⁾ 등은 유기물 농도가 낮은 하수처리에 분뇨 산발효 상정액을 외부탄소원으로 적용할 수 있는 가능성에 대해 시험하여 외부탄소원으로 이용 가능성을 밝혔다. 또한 최은희³⁾ 등은 음식물 쓰레기 소화액과 하수 슬러지에 대한 대체탄소원 가능성을 연구하였는데 폐자원의 산발효는 낮은 pH로 인한 알칼리원의 추가공급이 요구되고 탄소원 자체 C/N 비가 상대적으로 낮다는 문제점을 지적하였다.

두 번째 개발 방향은 대체탄소원의 일반기준을 만족하는 산업부산물을 가공·정제 재활용하는 것을 검토할 수 있다. 이를 위해 본 연구에서는 정밀화학 공정의 부산물을 정제 가공하여 상품화한 RCSs (recovered carbon sources)를 물질 평가, 적합성 판단, 파일럿 모형 실험을 거쳐 현장 적용하였다. 그 결과 RCS의 경제성과 안정성을 입증하였고 폐자원 재활용을 통한 폐기물 발생 저감 및 자원 절약의 사례를 제시하였다.

2. 재료 및 방법

2.1. 대체탄소원의 조건

대체탄소원은 질소, 인 성분이 매우 낮거나 없어야 한다. Christensson⁴⁾ 등은 에탄올과 메탄올의 단위질량 질산성 질소 제거를 위해 요구되는 기질 양을 실험하였는데, 에탄올은 3.85 gCOD_{Cr}/gNO_x-N, 메탄올은 4.45gCOD_{Cr}/gNO_x-N 이었다. 최은희⁵⁾ 등은 메탄올 4.37 gCOD_{Cr}/gNO_x-N, 피혁폐수 5.44 gCOD_{Cr}

/gNO_x-N, 제과폐수 3.04 gCOD_{Cr}/gNO_x-N로 보고하였고, 본 연구에 사용된 RCS5와 RCS15의 정제 이전 형태 정밀화학 부산물의 경우 4.30gCOD_{Cr}/gNO_x-N, 4.42gCOD_{Cr}/gNO_x-N임을 밝혔다. 따라서 투여 탄소원이 처리장 유입수 중의 질소 제거를 위해 사용되려면 탄소원 자체 C/N 비가 5이상은 되어야 이론적으로 검토 가능하다. 효과적인 탈질 유도를 위해서는 무산소조에 투여 시 C/N 비 10 이상이 되어야 기질 제한에 의한 탈질 반응 억제가 일어나지 않는데 이를 위해서는 탄소원 자체에 질소 성분이 없는 것이 바람직하다.

또한 대체탄소원은 공급 안정성을 위해 성상이 일정해야 하며, COD 성분 중 난분해성 물질이 적어 실제 생물학적 반응에 이용될 수 있는 기질 분율이 높아야 하고, 탄소원 생산 중에 환경 유해물질 및 독성물질을 포함하지 않아야 한다. 최은희⁶⁾는 Ekama⁷⁾ 등이 제안한 호흡율 측정기를 이용하여 생물학적으로 쉽게 분해되는 COD 함량 조사를 통해 다양한 탈질용 대체탄소원 후보 물질에 대한 평가를 실시하였고, 이를 통해 RCS5와 RCS15의 정제 이전 형태인 정밀화학 공정 부산물 A와 B의 RBCOD(readily biodegradable COD) 함량이 전체의 77.7%와 81.2%임을 밝혔다.

위의 조건들과 함께 대체탄소원은 메탄올과 거의 동등 또는 그 이상의 탈질 효과를 보여야 하며, 생산 및 관련 비용에서 경제적 성과를 이룰 수 있어야 한다.

2.2. RCSs, Recovered carbon sources

본 연구에서는 최은희⁵⁾ 등의 선행연구를 통해 대체 탄소원으로써 가능성 및 경제적으로 우수한 것으로 보고된 정밀화학 공정 부산물 두 가지를 정제 가공하여 RBCOD 함량 99%이상의 대체탄소원 후보 물질로 하였다. 두 물질은 RCS15와 RCS5로 Fig. 1에

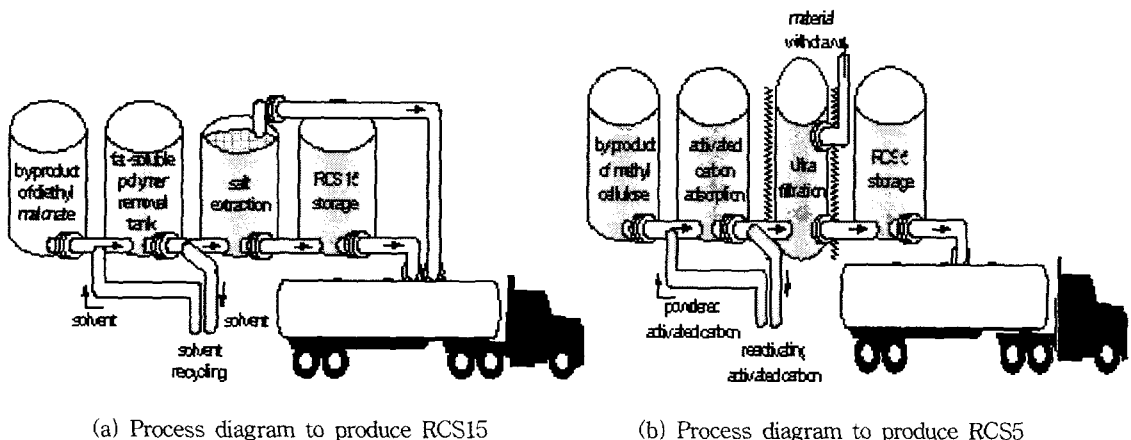


Fig. 1. Recovered carbon sources production process diagram.

그 생산 공정을 도시하였다. RCS15는 향신료 생산 부산물로부터 지용성 고분자 물질 제거 및 염 석출을 통해 정제되고, RCS5는 보습제 생산부산물을 활성탄 흡착과 한의여과를 통해 정제한 것이다. RCSs를 한국화학시험연구원에 의뢰 분석한 결과 메탄올을 포함한 탄소수 4개 이하의 직렬 구조 물질로 구성되어 있으며, 체인 말단에 초산기와 수산화기가 존재하여 생체 반응성이 높은 친수성 물질임을 알 수 있었다. 또한 복합 연쇄 및 환형구조 유기물이 없어 난분해성 및 잔존 COD문제가 거의 없을 것으로 예상되었다. 분석 결과는 Table 1에 나타났다.

RCSs의 유해 중금속 함유 농도는 환경부령 나지역 기준 이하였으며, 염양염류는 포함되지 않았다. 생산된 RCSs의 성상변동은 RCS15의 경우 5%이내, RCS5의 경우 매우 경미하여 안정적인 품질을 유지할 수 있으며, RCSs의 유기물 조성을 Table 2에 나타냈다.

2.3. 파일럿 플랜트 평가

RCSs를 대체 탄소원으로 적용하기 위한 파일럿 플랜트 평가는 2003년 10월 10일에서 2003년 11월

21일까지 녹산하수처리장에서 실시되었다. 유입원수는 녹산하수처리장의 세목스크린을 지난 유입수를 사용하였다. 테스트를 위한 반응조는 녹산하수처리장의 modified Ludzack-Ettinger(MLE) 공정을 축소, 스테인레스로 제작하였다. 총 4개의 계열로 탈질 탄소원을 각각 달리하였는데 1계열-메탄올, 2계열-RCS15, 3계열-RCS5, 4계열-유입수의 탄소원 투입없음으로 설치하였다. 각 계열은 무산소조 (W15cm × L36cm × H25cm, water level 16cm), 호기조 (W15cm × L54cm × H25cm, water level 15cm)로 제작되었다. 파일럿 반응기의 운전 조건은 유입수 유량 60L/d, HRT 8hr, SRT는 10일로 설정되었으며, 반응조 MLSS농도는 평균 2500mg/L로 유지하였으며, 무산소조의 교반강도는 약 100rpm으로 혼합이 원활히 될 수 있도록 하였고, 무산소조에 히터를 설치하여 온도컨트롤러를 통해 25~28℃의 수온을 유지하였다(Table 3).

파일럿 플랜트 운전 중 내부반송을 200%에서 100%로 변경하였다. 이는 실플랜트의 운전현황에 근접하려는 의도였다.

파일럿 플랜트의 외부탄소원 주입량을 산정하기

Table 1. COD properties of carbon sources

carbon source	TCOD _{Cr} (mg/L)	SCOD _{Cr} / TCOD _{Cr}	RBCOD / SCOD _{Cr}	Purity (%)	Dosage volume ratio
methanol	1,173,150	1.0	1.0	99.8	1.0
RCS15	276,000	1.0	1.0	-	4.2
RCS5	58,000	1.0	1.0	-	20.2

Table 2. Organic matter composition of RCSs

carbon source	composition(%)	molecular formula (molecular weight)
RCS15	methanol(85)	CH ₃ OH (32)
	malonic acid(15)	COOH-CH ₂ -COOH (104)
RCS 5	methanol(40)	CH ₃ OH(32)
	prophylen alcohol(30)	CH ₃ -C(OH)-CH ₂ (OH) (76)
	methoxy propanol(30)	CH ₂ (OH)-CH ₂ -CH(OH)-OCH ₃ (90)

Table 3. Operation variables of pilot plant test

settings	period	2003. 10. 10. ~2003. 10. 27.	2003. 10. 28. ~2003. 11. 17.	2003. 11. 18. ~2003. 11. 21.
HRT		8hr	8hr	8hr
Influent flow rate		60L/d	60L/d	60L/d
SRT		10 d	10 d	10 d
Water temperature(℃)		25~28℃	25~28℃	25~28℃
MLSS		2500mg/L	2500mg/L	2500mg/L
Internal return ratio		200%	100%	200%
Sludge return ratio		50%	30%	30%

위해 기존 운전 데이터를 바탕으로 다음과 같은 가정을 하였다. 유입수중 탈질에 이용가능한 평균 COD는 유입수 COD 평균과 유출수 COD 평균의 차를 고려 42mg/L로, 유입수 T-N 20.7mg/L를 가정하였다. 외부탄소원에 의해 공급되어야 할 COD 요구량은 McCarty⁸⁾가 제시한 식(1)으로 계산된 메탄올 요구 농도에 COD로의 환산계수 1.5를 곱하여 구한다. 이때 유입 T-N이 모두 NO₃⁻-N으로 전환될 것으로 예상하고 반송 흐름의 DO회송을 고려한 D₀는 호기조 평균 DO농도 2.7mg/L에 유입 및 전체반송량에 대한 내부반송량 비를 곱하여 2.7×(2/3.5) = 1.5mgO₂/L로 정하였다.

$$C_m = 2.47N_0 + 1.53N_1 + 0.87D_0 \quad (1)$$

- C_m: 메탄올 투입 요구량 (mg/L)
- N₀: 초기 NO₃⁻-N 농도 (mg/L)
- N₁: 초기 NO₂⁻-N 농도 (mg/L)
- D₀: 초기 DO 농도 (mg/L)

$$CS_{require} = 1.5 \left(\frac{mgCOD}{mg_{methanol}} \right) \times C_m - COD_{avail}$$

$$= 36.7(mgCOD/L_w) \quad (2)$$

- CS_{require}: 유입수에 COD 투입 요구량 (mgCOD/L_w)
- COD_{avail}: 유입수 가용 COD 농도 (mg/L_w)

계산 결과 C_m은 52.4mg메탄올/L이고 COD 단위로 환산하면 유입수에 대해서 78.7mgCOD/L이다. 유입수중의 COD_{avail} = 42.0mgCOD/L를 제외하고 요구되는 외부 탄소원은 유입수량에 대해 36.7mgCOD/L이다.

이때 탄소원의 투입유량이 매우 적기 때문에 정량 펌프의 적절한 동작 범위를 보장하기 위해 메탄올은 1000배, RCS15는 200배, RCS5는 50배로 각각 희석해 사용하였다.

$$Q_{DCS} = \frac{36.7 \times Q_i}{COD_{CS} - 36.7 \times D_{CS}} \times D_{CS} \quad (3)$$

- COD_{CS}: 외부 탄소원 COD 환산 농도 (mgCOD/L)
- Q_{DCS}: 희석 탄소원 유량 (L/d)
- Q_i: 유입수 유량 (L/d)
- D_{CS}: 외부 탄소원 희석 배수 (L/L)

식(3)로부터 희석 외부탄소원의 투입량은 메탄올 1.93L/d, RCS15 1.64L/d, RCS5 1.96L/d로 설정하였다. Table 4에 채수지점별 일일 분석항목을 정리하였다.

2.4. RCS15 현장 적용 평가

RCS15의 현장 적용에서는 동일 조건의 대조군은 설정할 수 없다. 따라서 2003년 1월~2월의 현장 운전 자료와 비교를 통해, 공정의 성능 개선 또는 현상 유지 여부, 비용 절감 효과 확인을 통해 현장 적용 평가를 실시하고자 하였다. Table 5에 RCS15 현장 적용 평가 기간의 운전 조건과 대조군의 운전 조

Table 4. Analysed items in pilot plant

Analysis items	Influent	Anoxic tank	Aeration tank	Effluent
water temperature		✓	✓	
pH	✓	✓	✓	✓
DO		✓	✓	✓
SCOD _{Cr}	✓	✓		✓
TSS	✓			✓
T-N	✓			✓
NH ₄ ⁻ -N	✓	✓		✓
NO ₂ ⁻ -N	✓	✓		✓
NO ₃ ⁻ -N	✓	✓		✓
MLSS			✓	

Table 5. Operating conditions of RCS15 field test and methanol operation period

Period	Carbon source	Influent			Aeration tank MLSS (mg/L)	Internal return (%)	Sludge return (%)	HRT (hr)	SRT (d)
		flow rate (m ³ /d)	COD _{Mn} (mg/L)	T-N (mg/L)					
2004. Jan. ~Feb.	RCS15	29,582	66.2	21.6	1,879	105	41	10.4	21
		±3,457	±10.1	±3.4	±107.3				
2003. Jan. ~Feb.	Methanol	19,481	56.7	30.6	1,905	133	40		
		±3,060	±7.6	±4.4	±42.7				

건을 정리했다. 2003년도 메탄올 주입 시에 비해 현장 적용 평가 시점의 처리 유량이 평균 34.1% 증가하였으나, 평균 T-N 농도가 약 9mg/L 낮아져 일평균 T-N 부하는 605.7kgT-N/d (2003년)에서 638.4kgT-N/d (2004년)로 근소한 차이를 보였다.

외부탄소원을 완전 대체하기 이전-2003년 12월 18일에서 2003년 12월 31일-에는 외부탄소원 변경에 따른 슬러지 순응을 위해 메탄올과 RCS15를 혼합주입하였고, 현장 적용 평가 기간에는 RCS15 원액만을 무산소조에 투입하였다. 현장 적용 평가는 2004년 1월 1일에서 2004년 2월 28일까지 이뤄졌다. RCS15 투입량은 2003년 9월~11월 메탄올 투입량 평균 0.915kg/d를 토대로 계산하면,

$$\begin{aligned} & \text{RCS15투입량(m}^3\text{/d)} \\ &= \frac{0.915\text{t 메탄올}}{\text{d}} \cdot \frac{\text{m}^3}{0.79\text{t 메탄올}} \\ & \cdot \frac{4.24 \text{ m}^3\text{RCS15}}{1 \text{ m}^3 \text{ 메탄올}} \\ &= 4.91 \left(\frac{\text{m}^3\text{RCS15}}{\text{d}} \right) \end{aligned}$$

로 산출된다. 평가 기간 동안의 채수 지점별 일일 분석 항목을 Table 6에 정리하였고, 각 항목은 공정 시험법에 의거 측정되었다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 파일럿 플랜트 평가 결과

Table 7은 파일럿 플랜트 평가 기간에 사용한 유입수 성상을 보여준다. Fig. 2에 메탄올, RCS15, RCS5를 외부탄소원으로 투여한 계열과 외부탄소원을 전혀 투입하지 않은 계열의 T-N거동을 나타냈다.

$$\frac{R}{R+1} = \frac{C_i - C}{C_i} \quad (4)$$

R: 내부 반송율 + 슬러지 반송율

C_i: 유입수 T-N 농도 (mgN/L)

C: 생물학적 반응조 월류수 T-N 농도 (mgN/L)

파일럿 플랜트 평가 기간의 유입수 T-N은 평균 16.4mg/L 였고, 평가 기간의 후반부로 갈수록 유입수 T-N 농도가 대체적으로 높아졌다. 각 조건의 평균 T-N 제거율은 메탄올 54%, RCS15 56%, RCS5 49% 였으며, 외부탄소원을 투입하지 않는 조건도 31%를 나타냈다. 이상적인 공정에서의 질산화 100%를 가정한 경우, 최대 T-N 제거율은 식(4)로 나타낼 수 있는데 파일럿 플랜트의 경우 내부반송 200%, 슬러지 반송 50%인 경우에 최대 71%, 내부반송 100%, 슬러지 반송 30%인 경우 최대 56.5%의 T-N 제거율이 예상된다.

실측 결과는 각 조건에서 모두 이상적인 최대 T-N 제거율에 이르지 못했으나 가장 우수한 T-N 제거 거동을 보인 것은 외부탄소원 RCS15를 주입한 경우로 내부반송 200%에서 65~71%의 T-N 제거율을 보였고, 그 다음이 메탄올과 RCS5의 순이었다. Table 8은 탈질 반송율을 변화 시킨 시점을 기준으로 각 실험 구간별 결과를 정리한 것이다. 파일럿 플랜트 평가를 통해 RCS15와 RCS5는 메탄올과 비교하여 대체 탄소원으로써 그 이상 또는 동등의 효과를 보여 두 가지 모두 대체 탄소원으로 사용 가

Table 7. Influent properties of pilot plant test

(Unit: mg/L)			
Items	Max.	Min.	Average
TCOD _{Mn}	70	47	56
T-N	28.9	8.0	16.4
NH ₄ ⁺ -N	27.4	8.0	16.1
NO ₂ ⁻ -N	2.5	0.0	0.2
NO ₃ ⁻ -N	0.4	0.0	0.1
TSS	128	42	80
pH	7.69	6.58	7.33

Table 6. Analysed items in field test with RCS15

Analysis items	Influent	1st settler	Anoxic tank	Aeration tank	2nd settler	Effluent
water temperature	✓					✓
pH	✓					✓
DO	✓					✓
TBOD ₅	✓	✓			✓	✓
TCOD _{Mn}	✓	✓			✓	✓
SS	✓	✓			✓	✓
T-N	✓	✓			✓	✓
T-P	✓	✓			✓	✓
Alkalinity	✓	✓				✓
SVI			✓	✓		
MLSS			✓	✓		

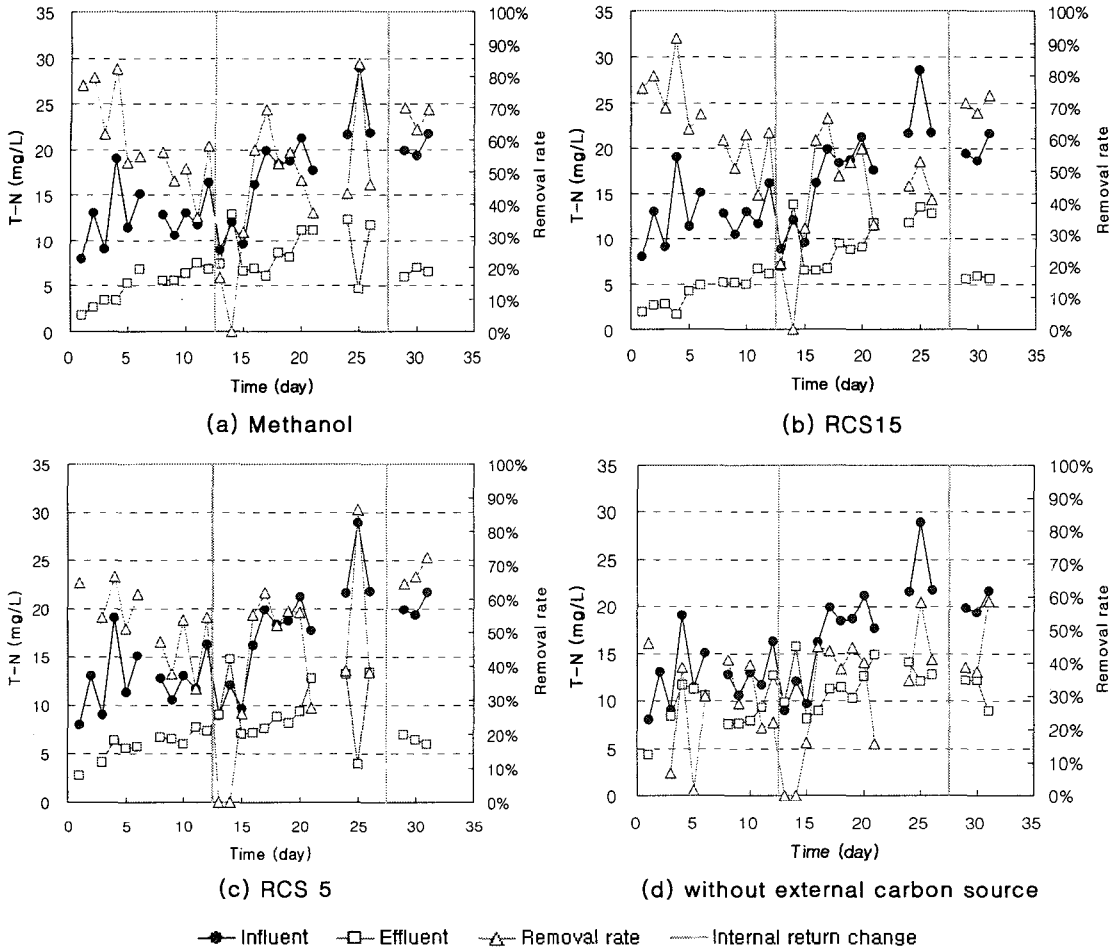


Fig. 2. T-N profiles in pilot plant test.

Table 8. Summary of N-removal efficiencies in pilot plant test

(unit: %)

Session	NH ₄ ⁺ -N removal efficiency				T-N removal efficiency			
	methanol	RCS15	RCS5	wastewater	methanol	RCS15	RCS5	wastewater
#1	97.6	97.5	97.5	97.5	59.8	65.9	56.9	34.0
#2	98.2	98.4	97.8	95.0	44.6	44.6	39.5	28.0
#3	98.2	98.0	98.3	98.4	67.6	71.6	67.8	44.8

능할 것으로 판단되었다. 그런데 RCS15의 경우 가성소다 절감의 효과를 동시에 거둘 수 있을 것으로 기대되어 현장 적용에는 RCS15가 선택되었다.

3.2. RCS15 현장 적용 평가

메탄올, RCS15, RCS5, 무탄소원의 4가지 조건에 대한 파일럿 플랜트 운전 결과와 가성소다 절감효과를 고려하여 RCS15를 대체탄소원으로 현장 적용 평가를 실시하였다. Fig. 3의 (a)와 (c)는 RCS15를 투

입한 현장적용 기간의 T-N 및 COD_{Mn} 거동을 나타내고, Fig.3의 (b)와 (d)는 전년도 같은 기간(2003년 1월~2월)의 현장 T-N 및 COD_{Mn} 거동으로 메탄올을 외부탄소원으로 한 대조군을 보여준다. T-N 및 COD_{Mn}의 평균 유출입 농도와 제거율을 Table 9에 정리하였다.

RCS15 현장 적용 기간의 평균 T-N 제거율은 58.4% 였으며, 유출 농도는 8.9mg/L 였다. 이는 탈

유기폐자원을 이용한 고도하수처리 대체탄소원 개발 및 실플랜트 적용

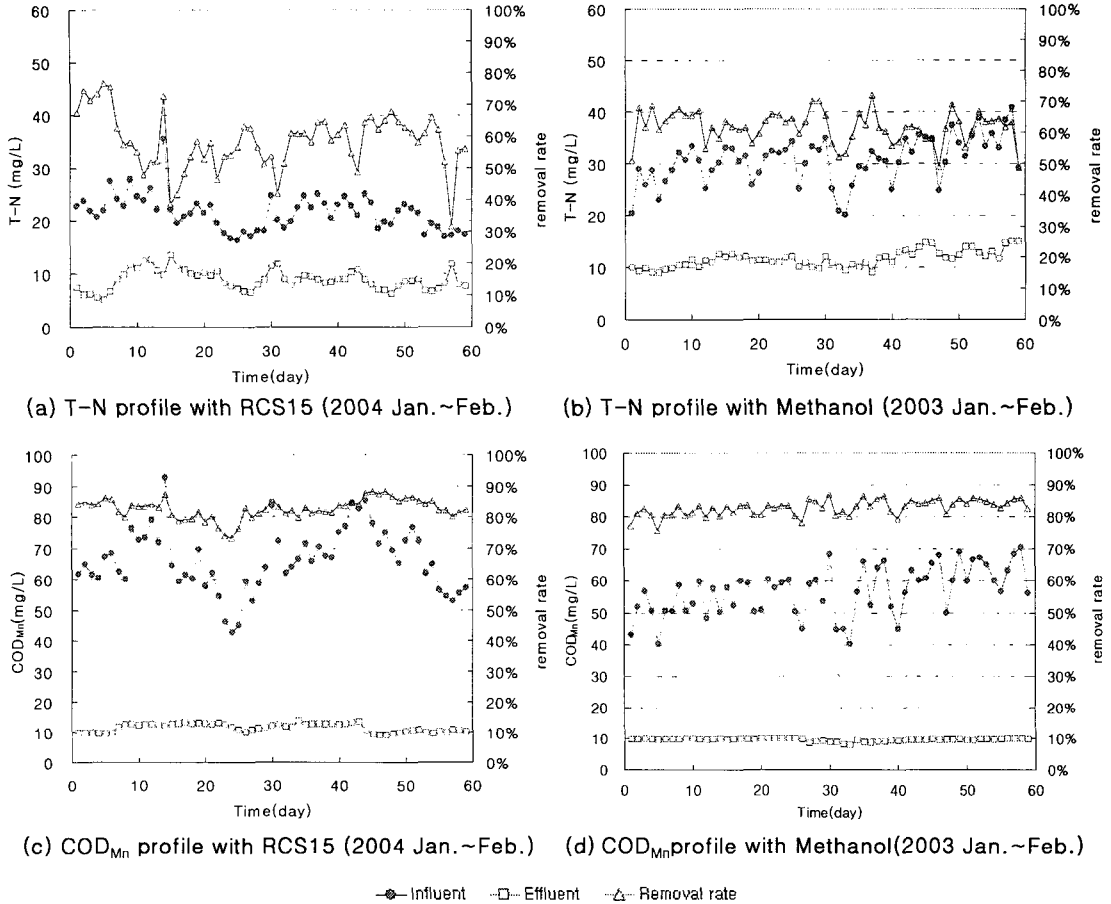


Fig. 3. RCS15 performance vs. methanol performance.

Table 9. Summary of field test

component	T-N			COD _{Mn}		
	inflow (mg/L)	effluent (mg/L)	efficiency (%)	inflow (mg/L)	effluent (mg/L)	efficiency (%)
RCS15	21.6±3.4	8.9±1.9	58.4±8.9	66.2±10.1	11.3±1.3	82.6±3.4
methanol	30.6±4.4	11.6±1.6	61.7±5.1	56.7±7.6	9.6±0.4	82.9±2.4

질 반응 105% 및 슬러지 반응 41%를 고려한 이론적 최대 질소 제거율 59.4%에 근접한 58.4%였다. 탄소원 투입에 따른 COD_{Mn} 증가는 거의 나타나지 않았고 제거율은 평균 82% 이상이였다. 대조군의 경우 내부반응 133%, 슬러지반응 40%에 의한 이론적 최대 질소 제거율은 63.4%이며 측정된 제거율은 평균 61.7%였다. 이 결과로부터 RCS15 투입시의 질소 제거 성능은 메탄올을 이용하는 경우와 비교해 손색이 없으며, 잔류 COD의 영향도 거의 없음을 확인하였다.

3.3. 경제성 평가

비용 절감 효과에 대한 평가는 탄소원 대체효과와 알카리원 보충 효과 두 가지를 고려하였다.

$$Q_{CS} = \frac{(CN_0 - CN_1) \times TN_1 \times Q_1}{COD_{CS}} \quad (5)$$

CN₁ : 유입수 C/N 비 (gCOD/gN)

CN₀ : 목표 C/N 비 (gCOD/gN)

COD_{CS} : 외부 탄소원 COD 환산 농도 (gCOD/m³)

- TN_i : 유입수 T-N 농도 (gN/L)
- Q_{CS} : 외부 탄소원 일 요구량 (m³/d)
- Q_i : 일평균 유입 유량 (m³/d)

녹산하수처리장의 현장 평가 기간 중 평균 T-N 유입농도 21.6mg/L, COD_{Mn} 유입농도 66.2mg/L, 처리유량 증가에 따라 일평균 유량 35,000m³/d(2004년 목표)을 토대로 1년간 외부탄소원 비용 견적을 작성하였다. 식(5)에 따라 유입 COD_{Mn}/T-N을 5.5로 유지하는 것을 목표로 하여 단위 유입수당 투입 외부탄소원량을 계산하면, 외부탄소원으로 널리 쓰이는 메탄올의 경우 460,000won/ton(=363,400won/m³), RCS15는 21,450won/m³이다. 이때 메탄올의 주입율은 유입수량에 대해 44.8ml/m³유입수, RCS15는 190.6ml/m³유입수이다. 따라서 연간 외부탄소원 비용은 메탄올 기준 208,246천원, RCS15는 52,221천원으로 예상되어 외부탄소원 비용에서만 연간 74.9%의 절감효과를 가져올 것으로 예상된다(Table. 10).

또한 본 연구 수행중 RCS15 제조 과정에서 이상적인 양질의 알카리원인 탄산나트륨(Na₂CO₃)이 석출되어지는 것을 파악하고, 이를 제거하지 않고 현탁 부유시켜 RCS15의 자체 알카리도를 향상시키도록 하였다. 현탁 부유전 평균 2,100(g Alk. as CaCO₃)/m³인 RCS15의 알카리도가 15,000(g Alk. as CaCO₃)/m³로 증가되는 것을 확인하였다. 녹산하수처리장의 경우 생물학적 반응조를 거친 공정수의 알카리도를 100(g Alk. as CaCO₃)/m³이상으로 유지하고 있는데, 현장 평가 기간의 경우 평균 115.5(g Alk. as CaCO₃)/m³로 유지되었다. 이를 위해 가성소다(NaOH 50%)를 유입수 대비 30.1(g as NaOH50%)/m³로 호기조에 주입하여 독립영양 미생물에 의한 질산화를 원활하게 하였다. 그런데 하루 유입수량 35,000m³/d에 RCS15 주입량 6.67 m³/d의 조건으로 보정하면 RCS15에 의해 160.1(kg as NaOH50%)/d에 상당하는 가성소다 보충효과가 발생한 것으로 약 15.5%의

비용을 절감하고 있다(Table. 10).

RCS15를 사용함으로써 절감되는 약품비는 연간 156,025천원에 달하며, 외부탄소원 및 가성소다 비용의 61.5%를 절감할 수 있다.

4. 결 론

본 연구를 통해 다음과 같은 결론을 도출하였다.

- 1) 대체탄소원 RCS15는 메탄올(99.8%)과의 비교과 일릿 플랜트 평가 및 현장 적용 실험결과 동등한 탈질성능을 나타내었다.
- 2) RCS15는 현장 적용 평가 결과에서 이론적 최대 T-N 제거효율에 도달하였으며 기존 외부탄소원인 메탄올을 전량 대체 가능한 것으로 확인되었다. 이를 통해 외부탄소원 비용의 74.9%를 절감할 수 있게 하였다.
- 3) RCS15 성분 중탄산나트륨(Na₂CO₃)재투입에 의한 자체 알카리도를 증가시켜 외부 알카리원인 가성소다의 사용량 15.5% 절감하였다.
- 4) RCS15를 사용함으로써 얻어지는 경제적 효과는 외부탄소원 비용의 74.9%절감, 알카리원 비용의 15.5% 절감을 통해, 전체 약품비의 61.5%를 절감하게 되었다.
- 5) RCS5도 메탄올과 유사한 처리효율이 나타났으나 투입 유량이 많은 것이 단점이었다. 그러나 비용 절감 및 신뢰성 있는 대체 탄소원의 수요 증가로 인해, RCS5 역시 2004년 11월 현재 장림하수처리장 2단계 및 김해 진영하수처리장에서 현장 적용에 성공하였다.

향후 지속적인 대체 탄소원 개발을 위해서는 고농도의 유기탄소 폐수발생 사업장을 통해 발생 물질의 생물학적 제거 가능성 및 안전성 연구를 지속하여야 한다. 이를 통해 대체 탄소원 물량의 안정적인 확보는 물론 부산물로 버려지는 자원을 이용함으로써 기업의 수처리 비용 절감과 하수 처리 시스템의 비용 절감 성과를 동시에 얻을 수 있다.

Table 10. Chemical cost reduction with RCS15

ECS	Dosage rate (ml/m ³)	Influent (m ³ /d)	Dosage flow (m ³ /d)	Unit cost (won/m ³)	Yearly cost (10 ³ won/yr)	Note
methanol	44.8	35,000	1.48	363,400	208,246	-
RCS15	190.6	35,000	6.67	21,450	52,221	74.9% reduction

Alkalinity source	Dosage rate (gNaOH _{50%} /m ³)	Dosage flow (kg50%NaOH/d)	Unit cost (won/t NaOH _{50%})	Yearly cost (10 ³ won/yr)	Note
NaOH _{50%}	34.8	1,218	136,950	60,884	-
NaOH _{50%} +RCS15	29.4	1,029	136,950	51,436	15.5% reduction

참 고 문 헌

- 1) Jowitt, Z. L., S. M. Donald and G. K. Harlan, 1999, Using thermophilic aerobic digested sludge supernatant as a potential carbon source in biological nutrient removal system, Proceedings of the 7th IAWQ Asia-Pacific regional conference-ASIAN WATERQUAL '99, 1, 388-393.
- 2) Nam, K. H., Y. H. Ahn and K. S. Min, 1999, Biological nutrient removal for low Streth sewage in rural areas using a fermenter supernatant as an externalcarbon source, Proceedings of the 7th IAWQ Asia - Pacific regional conference - ASIAN WATERQUAL '99, 1, 41-46pp.
- 3) 최은희, 전병희, 우혜진, 이재현, 최광수, 김창원, 2002, 고도폐수처리를 위한 폐자원 재활용에 관한 연구, J. of KSEE, 24(3), 521-531.
- 4) Christensson, M., E. Lie and T. A. Welander, 1994, A comparison between ethanol and methanol as carbon source for denitrification, Water Sci. Technol., 30(6), 83-90.
- 5) 최은희, 우혜진, 고주형, 부경민, 김창원, 2002, 다양한 탈질용 대체기질물질의 성능평가, J. of KSEE, 24(9), 1561-1568.
- 6) 최은희, 2002, Bioferric 슬러지 및 대체외부탄소원을 이용한 생물학적 폐수처리 성능 향상, 부산대학교 박사학위논문, 62-73pp.
- 7) Ekama, G. A., P. L. Dold and G. V. R. Marais, 1986, Procedures for determining influent COD fractions and the maximum specific growth rate of heterotrophs in activated sludge systems, Wat. Sci. Technol., 18, 91-114.
- 8) McCarty, P. L., L. Beck and P. St. Amant, 1986, Biological denitrification of wasterwater by addition of organic materials, Proceedings of the 24th Purdue Industrial Waste Conference.