

平成 22 年 11 月 11 日

公益信託エスベック地球環境研究・技術基金
受託者 みずほ信託銀行 株式会社 御中

香川高等専門学校 建設環境工学科
多川 正

研究成果概要

1. 研究テーマ

さぬきうどん製造廃水の経済的浄化システムの開発

2. 研究概要

現在、香川県内のCOD汚濁負荷量の約3割はうどん店などの小規模事業場が占めており、苦情件数も相対的に多いことが問題となっている。そこで香川県は条例を改正し、小規模事業場対策として一日平均排水量 $10\text{m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$ 以上の工場・事業場に対して $\text{TOC}160\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 以下という排水基準を設定し(平成24年4月1日施行予定)、水質保全対策を打ち出した。この条例により、排水規制を受ける一部のうどん店は、排水処理装置導入による経済的影響が経営を圧迫する可能性があるとして予想される。これらの問題解決のため、筆者らの研究室では循環型嫌気性DHSリアクター(以下、DHSと称する)とUASBリアクターを組み合わせた新規の排水処理システムを構築し、持続可能なさぬきうどん排水処理技術の確立を目指してきた。本研究では、特に有機物汚濁負荷の高い、うどん煮汁排水を対象として、新規の排水処理システム(DHS+UASB)を用いた連続通水実験を行い、その処理特性の把握を行った。その結果、DHS+UASBシステムは、排水基準を達成し、かつ、平均的なうどん店の煮汁排水を全量処理することが可能であった。このときのHRTはDHSで10.6hr、UASBで4.4hr、全システムで15.0hrであり、OLRは最大でDHS: $28.2 \text{ kgCODcr} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{d}^{-1}$ 、UASB: $18.6 \text{ kgCODcr} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{d}^{-1}$ であった。

3. 研究発表成果

・第47回環境工学研究フォーラム

2010年11月12日～14日開催、高知大学

宮岡、多川ら；持続可能なさぬきうどん排水処理技術の確立

・12th World Congress on Anaerobic Digestion(AD2010)

2010年10月31日～11月4日開催、メキシコ、グアダハラ

宮岡、多川ら；Development of Revolutionary Anaerobic Wastewater Treatment System using a novel ER-An-DHS and UASB Reactor Combination.

4. 謝辞

このたびの貴公益信託エスベック地球環境研究・技術基金の助成により、本研究の遂行および2つの大きな学会での発表ができました。ここに記して感謝いたします。

以上

持続可能なさぬきうどん 排水処理技術の確立

○宮岡佑馬^{1*}・多川正¹・角野拓真²・出濱和弥³・佐々木優太⁴・山口隆司³

¹香川高等専門学校（〒761-8058香川県高松市勅使町355）

²四国旅客鉄道株式会社（〒760-8580香川県高松市浜ノ町8-33）

³長岡技術科学大学（〒940-2188新潟県長岡市上富岡町1603-1）

⁴香川県庁（〒760-8570香川県高松市番町4-1-10）

* E-mail: add_mallow@yahoo.co.jp

1. はじめに

現在、香川県内のCOD汚濁負荷量の約3割はうどん店などの小規模事業場が占めており、苦情件数も相対的に多いことが問題となっている。そこで香川県は条例を改正し、小規模事業場対策として一日平均排水量 $10\text{m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$ 以上の工場・事業場に対して $\text{TOC}160\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 以下という排水基準を設定し(平成24年4月1日施行予定)、水質保全対策を打ち出した。この条例により、排水規制を受ける一部のうどん店は、排水処理装置導入による経済的影響が経営を圧迫する可能性があるかと予想される。これらの問題解決のため、筆者らの研究室では循環型嫌気性DHSリアクター(以下、DHSと称する)とUASBリアクターを組み合わせた新規の排水処理システムを構築し、持続可能なさぬきうどん排水処理技術の確立を目指してきた。

本研究では、特に有機物汚濁負荷の高い、うどん煮汁排水を対象として、新規の排水処理システム(DHS+UASB)を用いた連続通水実験を行い、その処理特性の把握を行った。また、UASB保持グラニユール汚泥に対して、嫌気性生分解性・メタン生成活性試験を行い、排水の嫌気性分解性および保持汚泥の嫌気分解ポテンシャルの把握を行った。

2. 実験方法

(1)供給排水

筆者らのアンケート調査より、一日約300玉製造する平均的なさぬきうどん店からは、うどん煮汁排水(ゆで釜から排出)が約 $0.1\text{m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$ 、総合排水として約 $5\text{m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$ 発生している。今回の改正条例の規制の対象となりうる、総合排水が約 $10\text{m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$ 発生(煮汁排水量は釜容量による)するさぬきうどん店の規模は、一日約800玉製造する店舗規模であった。本研究では改正条例にて規制の対象と

なる規模よりもさらに多数を占める小規模なさぬきうどん店からの排水処理を想定し、一日約300玉製造、うどん煮汁排水量約 $0.1\text{m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$ のうどん店に煮汁排水を提供していただき、実験を行った。連続通水実験への供給排水にはうどん製造排水の中で最もCOD汚濁負荷量が高い、うどん煮汁排水を適宜水道水にて希釈(実用化の場合には、うどんを釜で煮た後の水道水によるうどんの「しめ」に使用した排水を使用する)して使用した。Table 1に希釈前のうどん煮汁排水の分析結果を示した。

Table 1 うどん煮汁排水の分析結果

	pH	COD _{Cr} ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	COD _{Mn} ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	TOC ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	BOD ₅ ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	SS ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	T-N ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	T-P ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)
煮汁排水	7.1	9,675	5,883	3,327	4,970	1,973	49.5	19.3

分析結果より、規制の排水基準 $\text{TOC}160\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ を達成するためには約95%以上の高いTOC除去率が要求される。また、うどん煮汁排水は高温(約 90°C)で排水され、且つ粘性が高く、SS濃度も $1,973\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ と高く、腐敗し易い排水であった。これらはうどん煮汁排水中の微細なうどん打ち粉や溶解しているうどんの主成分であるデンプン質に起因するものだと考えられる。

(2)DHS+UASBシステム及び連続通水実験

本研究では前段のDHSを酸生成相、後段のUASBをメタン発酵相と位置付けし、二相化(two-phase)による処理効率の向上を図っている。前段のDHSリアクター(有効容量200Lのポリエチレンタンク)の内部には、長岡技術科学大学で開発されたG-3型スポンジ担体を4,000個充填(スポンジ容積:88L)し、密閉して嫌気条件を保った。

後段のUASB(有効容量:33L, GSS部容量:33L)の内部には食品工場の嫌気性UASBグラニユール汚泥を植種した。

これらのリアクターに加えて、うどん煮汁原水（うどん煮汁排水を水道水希釈、pH調整をおこなったもの：以下、原水と称す）の供給や循環を確保するための調整槽を付帯設備として設置している。

原水はまず調整槽の混合水側に設定処理水量だけ供給され、循環ポンプにより原水とDHS処理水の一部をDHS上部より均等に散水（循環）する。DHS内を下降する間にスポンジに捕捉されている嫌気性微生物と接触し、嫌氣的に処理され調整槽の処理水側に流出する。DHS処理水は後段のUASBに供給され、更なる有機物の除去が行われる。UASBにて発生したバイオガスは脱硫装置を通過させ、発生量を計測した。原水はうどん店から提供していただいた煮汁排水を温度調整のため、水道水で適宜希釈し、pH調整のために炭酸水素ナトリウムを一定量添加した。

原水処理量及びUASB供給量は段階的に増加させていき、DHS循環量（散水量）は $560\text{L}\cdot\text{d}^{-1}$ で固定し、500日間を超える長期連続通水実験の間、DHS及びUASBリアクターにおけるHRT及びOLRが変化した場合の有機物除去特性を把握した。

(3)メタン生成活性試験

連続通水実験開始後350日目のUASBリアクター保持汚泥に対してメタン生成活性試験を行った。基質として煮汁排水を使用し、汚泥負荷(F/M比)は0.25、0.50、 $0.75\text{gCODcr}\cdot\text{gVSS}^{-1}$ の3段階とした。比較基質として酢酸、グルコース、デンプンを使用し、汚泥負荷は $0.50\text{gCODcr}\cdot\text{gVSS}^{-1}$ とした。汚泥濃度、栄養塩類などは所定の濃度に調整したものをバイアル内に添加した。初期pHは 7.0 ± 0.2 に調整し、 35°C シェイキングバスで振とう培養を行い、基質投後、経時的に発生ガス量及びメタン濃度を分析し、メタン生成活性値を算出した。

3. 実験結果

(1)連続通水実験

実験開始時はDHSリアクター単独にて処理を行い、後段のUASBリアクターは実験開始153日目に設置した。Fig.1(a)-(c)にTOC濃度($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)、HRT(hr)、OLR($\text{kgCODcr}\cdot\text{m}^{-3}\cdot\text{d}^{-1}$)の経日変化を示した。うどん煮汁排水を2倍希釈（水量ベース）した原水処理量及びUASB供給量は最終的にそれぞれ $200\text{L}\cdot\text{d}^{-1}$ 、 $180\text{L}\cdot\text{d}^{-1}$ に到達し、平均的なうどん店から排出されるうどん煮汁排水は全量処理が可能であった。HRTはDHS(原水基準とし、スポンジ容積で計算)にて10.6hr、UASBにて4.4hr、合計で15.0hrであり(Fig.1(b))、UASB単独処理と比較して高速処理が可能であった¹⁾。前段DHSにおける循環比(DHS循環量：原水処理量)は2.8($560/200$)であり、原水基準HRTの約3倍、DHSにてスポンジと原水との接触が行われる。OLRは最大で

DHSにて $28.2\text{kgCODcr}\cdot\text{m}^{-3}\cdot\text{d}^{-1}$ 、UASBでは $18.6\text{kgCODcr}\cdot\text{m}^{-3}\cdot\text{d}^{-1}$ であり、この時のCODcr除去率は原水基準でそれぞれ73%および97%であった。TOC濃度の推移に着目すると(Fig.1(a))、UASB処理水はスタートアップ時以外はほぼ安定して排水基準を達成していることが分かる。DHS処理水のTOC濃度はHRTの減少・OLRの上昇・変動に伴って、上昇している傾向が観察された。これは、実際のうどん店の煮汁排水は濃度変動が大きいいため、OLRも付随して日変動が激しくなるため、DHS処理水は不安定な除去特性になると考えられる。

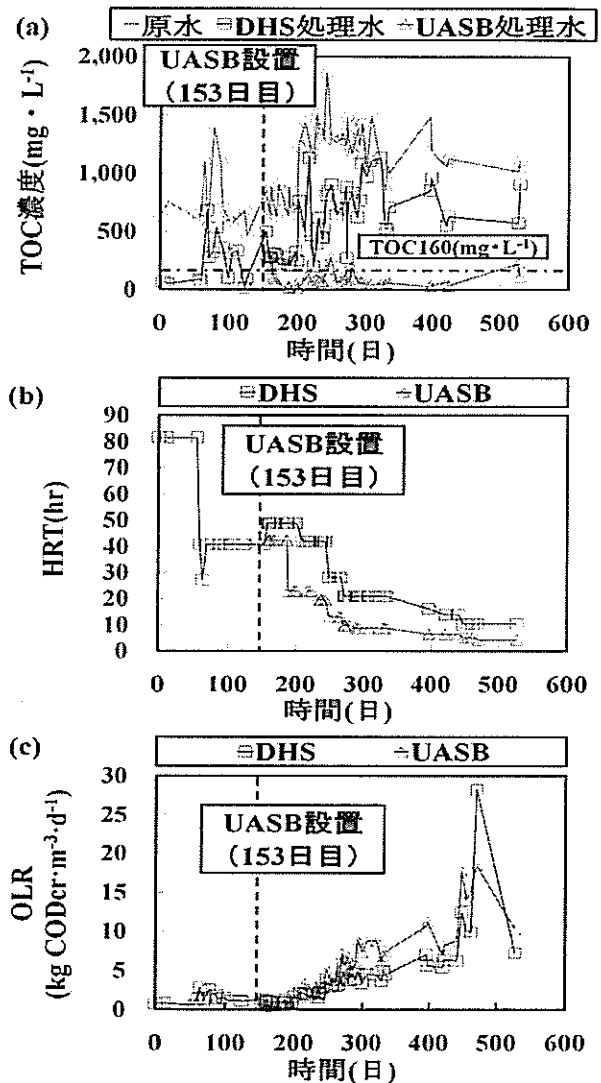


Fig.1 two-phase DHS+UASB連続通水実験結果

(a)TOC濃度($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$), (b)HRT(hr)

(c)OLR($\text{kgCODcr}\cdot\text{m}^{-3}\cdot\text{d}^{-1}$)の経日変化

Fig.2(a)にHRTとTOC除去率の関係、Fig.2(b)にOLRとTOC除去率の関係を示した。前段DHSでのTOC除去率はHRTの減少・OLRの上昇に伴って低下していく傾向および相関が見られ、(Fig.2(a), (b))、DHSは低HRT・高負荷運転及び負荷変動が弱点だと判断できる。しかしながら、

後段のUASBでのTOC除去はHRT及びOLRの変化による影響が少なく、安定して高速・高負荷運転が可能であり、負荷変動も許容できると判断できた。これは、前段のDHSによりうどん排水の低分子化・酸生成が行われているため、後段においてUASBが安定して処理が行われたと推察される。

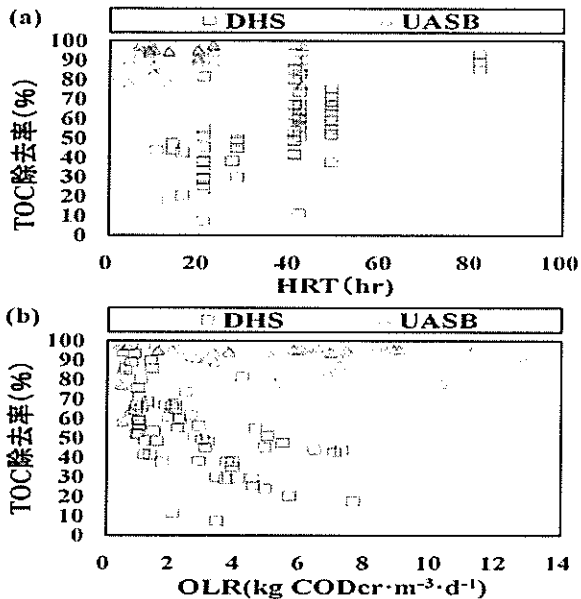


Fig.2 (a) HRTとTOC除去率との相関
(b) OLRとTOC除去率との相関

後段UASBにおけるHRT 4.4hr, OLR 18.6 kgCODcr · m³ · d⁻¹の条件下での発生バイオガスのメタン濃度は約70%であり、ガス発生量は約300L · d⁻¹、メタン回収率は約70%であり、良好なメタン発酵が行われていると判断できた。

SSの挙動は実験期間中の平均値で、原水は502mg · L⁻¹、DHS処理水は241mg · L⁻¹、UASB処理水は37mg · L⁻¹であり、前段のDHSにおけるSS除去率は52%、後段UASBにおけるSS除去率は85% (対DHS処理水)、93% (対原水)であった。これより、原水中のSS成分 (ほとんどは有機性) は前段のDHS内で捕捉・可溶化されることにより、後段のUASBにて安定的に処理されたと考えられる。また、実験期間を通じてUASB処理水中へのグラニューールのウォッシュアウトは確認されなかった。

UASB設置後309日目のUASBリアクター内保持汚泥量は822gVSS/Reactor, (24.9gVSS · L⁻¹)、VSS/SS=0.92であり、UASBリアクター内へのSSの蓄積による処理能力の低下は確認されなかった。

(2) メタン生成活性試験

Fig.3に各基質におけるメタン生成活性値の比較を示した。比較基質であるデンプンの活性値は0.27gCODcr · gVSS⁻¹ · d⁻¹と最も低く、グルコース基質は0.34gCODcr · gVSS⁻¹ · d⁻¹、酢酸基質は0.31gCODcr · gVSS⁻¹ · d⁻¹であった。

うどん煮汁排水基質の各汚泥負荷におけるメタン生成速度に着目すると、汚泥負荷0.25, 0.50および0.75gCODcr · gVSS⁻¹の3条件においても、概ね0.3gCODcr · gVSS⁻¹ · d⁻¹程度のメタン生成ポテンシャルが得られ、比較基質のデンプンよりも若干高く、馴養された汚泥はかなり高汚泥負荷まで耐えうることが示唆された。

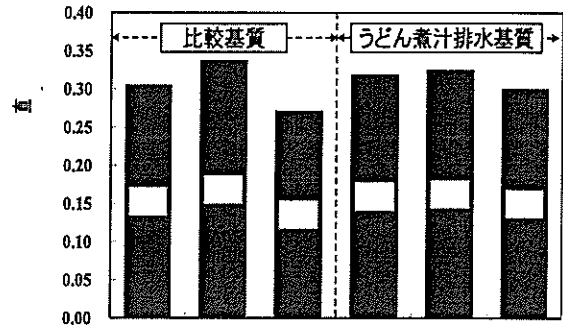


Fig.3 各基質におけるメタン生成活性値の比較

4. 結論

本研究より以下の知見が得られた。

- (1) 本研究で考案したDHS+UASBシステムは、排水基準を達成し、かつ、平均的なうどん店の煮汁排水を全量処理することが可能であった。このときのHRTはDHSで10.6hr、UASBで4.4hr、全システムで15.0hrであり、OLRは最大でDHS: 28.2 kgCODcr · m³ · d⁻¹、UASB: 18.6 kgCODcr · m³ · d⁻¹であった。
- (2) 前段のDHSは低HRT・高負荷運転及び負荷変動が弱点であり、有機物処理能力の低下を引き起こすことが確認できた。後段のUASBは高速・高負荷運転及び負荷変動を許容し、有機物処理能力への影響は少なく、TOC除去率で80-90%の水準で安定していた。
- (3) UASBにおけるグラニューールのウォッシュアウトは確認されず、長期実験期間中、SSの蓄積による処理能力の低下は観察されなかった。

謝辞

本研究は「公益信託エスベック地球環境研究・技術基金」の助成を受けて実施したものである。実験を行うにあたり、「古奈や」店主にうどん煮汁排水を提供していただいた。ここに記して感謝いたします。

参考文献

- 1) 藤田久雄ら: うどんゆで汁排水処理技術に関する研究-上向流嫌気性汚泥床(UASB)を用いた高速メタン発酵(2), 香川県環境保健センター所報 第8号 p.60-66 (2009)

Development of Revolutionary Anaerobic Wastewater Treatment System using a novel ER-An-DHS and UASB Reactor Combination

Y. Miyaoka*, T. Tagawa*, T. Kadono**, K. Dehama***, Y. Sasaki**** and T. Yamaguchi***

* Department of Civil Engineering, Kagawa National College of Technology, 355 Chokushi, Takamatsu, Kagawa 761-8058, Japan (E-mail: add_mallow@yahoo.co.jp; tagawa@t.kagawa-nct.ac.jp)

** Shikoku Railway Company, 8-33 Hamanocho, Takamatsu, Kagawa 760-8580, Japan

*** Department of Environmental System Engineering, Nagaoka University of Technology, 1603-1 Kamitomioka, Nagaoka, Niigata 940-2188, Japan (E-mail: dehama4c19@mail.goo.ne.jp; ecoya@vos.nagaokaut.ac.jp)

**** Kagawa prefecture, 4-1-10 Bancho, Takamatsu, Kagawa 760-8570, Japan

Abstract

We developed a novel wastewater treatment system concept combining two types of anaerobic bioreactors. An anaerobic downflow hanging sponge unit with effluent recirculation (ER-An-DHS) was coupled with an upflow anaerobic sludge blanket (UASB) reactor for treating discharge volumes (less than $100 \text{ L}\cdot\text{d}^{-1}$) of wastewater from the processing of thick white noodles (*udon*) that contained a high concentration of suspended solids. A continuous flow experiment using laboratory-scale reactors was conducted over a period of 450 days using a raw wastewater substrate with a high concentration of organic materials, the main component being starch from flour, obtained from a Japanese *udon* restaurant. The combined reactors achieved the following performance: more than 90% of total chemical oxygen demand by dichromate (COD_{Cr}) and total organic carbon (TOC) were removed by the system. The organic loading rate (OLR) was $12 \text{ kg CODcr}\cdot\text{m}^{-3}\cdot\text{d}^{-1}$ for the ER-An-DHS and $18 \text{ kg CODcr}\cdot\text{m}^{-3}\cdot\text{d}^{-1}$ in the UASB reactor. In this novel system, the ER-An-DHS unit functioned as pretreatment for the UASB unit, removing SS and adherent substances from the wastewater but producing volatile fatty acids (VFA) by acidification. The proposed system was easily maintained, and there was no washout of granular sludge from the UASB unit.

Keywords

Anaerobic digestion, ER-An-DHS, UASB, energy consumption savings

INTRODUCTION

The most widely used anaerobic treatment technology is the UASB (Upflow Anaerobic Sludge Blanket) system (Lettinga *et al.*, 1997). But when treating matter that retards the process, like high-strength wastewater containing suspended solids (SS), the UASB system may suffer breakdowns due to granular sludge washout (Tagawa *et al.*, 2002). There are many current reports of applications where UASB treatment is combined with DHS (Down-flow Hanging Sponge) systems to treat sewage, and a few reports where anaerobic DHS (An-DHS), DHS with effluent recirculation (ER-DHS), and combined DHS + UASB technologies have been investigated. An-DHS systems provide sufficient treatment; 70% to 90% of total COD is removed, and 60% to 90% of the methane produced can be recovered at 20°C with a Hydraulic Retention Time (HRT) of 2 hours (Tandukar *et al.*, 2006; Sumino *et al.*, 2007). We propose a system that combines ER-An-DHS and UASB treatment technologies. The ER-An-DHS unit is filled with polyurethane sponges attached in parallel to a polyvinyl chloride net ring in a reactor where anaerobic conditions are maintained.

To estimate this novel system's performance, we conducted a continuous flow experiment using a combination of ER-An-DHS and UASB units fed a raw wastewater from the production of thick white noodles (*udon*). In developing this novel anaerobic treatment system, we aimed for improvements in economy (low initial cost), ecology (anaerobic biological wastewater treatment) and energy savings (low operating cost) compared with conventional wastewater treatment systems such aerobic treatment.

MATERIALS AND METHODS

Development of the ER-An-DHS and UASB reactors

The experimental system consists of an ER-An-DHS reactor with a working volume of 200 L followed by a 33 L UASB system. The ER-An-DHS reactor was made from a 200 L polyurethane tank 56.42 cm in diameter and 80 cm high, filled with about 4,000 polyurethane sponges. The sponges were 0.56 mm in diameter and the sponge volume ratio was 44%. They were attached in parallel to a polyvinyl chloride net ring 3 cm high and 3 cm wide that was developed at Nagaoka University of Technology. The 33 L UASB reactor (20 cm in diameter, 100 cm high) was seeded with granular sludge that had been cultivated from soybean food processing wastewater. It was equipped with a water jacket and a gas-solid separator (GSS) with a working volume of 31 L placed on top of the reactor. *Udon* wastewater was fed into the ER-An-DHS reactor from a distribution system on the top of the reactor through a distribution tube. The raw *udon* wastewater was initially treated by immobilized anaerobic microorganisms on the sponges as it flowed from top to bottom in the reactor. Some of the effluent was recycled. The UASB reactor then acted as a polishing unit to remove the remaining organic substances.

Continuous flow test

To evaluate the performance of the ER-An-DHS+UASB system, we applied an *udon* wastewater, in which the main component was starch, from a Japanese food restaurant. The wastewater substrate had high concentrations of organics and suspended solids. An analysis of the *udon* wastewater is shown in Table 1.

Table 1 Characteristic of *udon* wastewater used as a feed

	pH	COD _{Cr}	COD _{Mn}	TOC	BOD ₅	SS	T-N	T-P
	(-)	(mg·L ⁻¹)	(mg·L ⁻¹)	(mg·L ⁻¹)	(mg·L ⁻¹)	(mg·L ⁻¹)	(mg·L ⁻¹)	(mg·L ⁻¹)
<i>udon</i> wastewater total	7.1	9,680	5,880	3,330	4,970	1,970	49.5	19.3

The characteristics of this wastewater, high concentrations of chemical oxygen demand by dichromate (COD_{Cr}), chemical oxygen demand by potassium permanganate (COD_{Mn}), total organic carbon (TOC), 5-day biological oxygen demand (BOD₅), SS, total nitrogen (T-N), and total phosphorous (T-P) arise from the abundant organic matter in this wastewater. The wastewater is also hot and contains adhesive matter. If fed directly into a UASB system, it could cause system breakdowns.

Some of the ER-An-DHS reactor effluent is recirculated, which dilutes the raw wastewater. Wastewater and recycled ER-An-DHS effluent are mixed in the feeding tank. Then the mixture is fed into the top of the ER-An-DHS reactor, and flows down through it. The portion of the ER-An-DHS effluent that is not recycled is sent to the UASB reactor for polishing. The organic loading rate (OLR) of the ER-An-DHS effluent treatment is increased step by step. The volume of recirculated ER-An-DHS effluent was 560 L·d⁻¹ at all times. Biogas produced in the UASB reactor was passed through a trap and a gas meter and discharged into the atmosphere. The temperature in the ER-An-DHS and UASB reactors was maintained at about 35°C by sending the inflow through a heat exchanger before it entered each reactor. The raw wastewater, ER-An-DHS effluent, and UASB effluent were the major targets of analysis. TOC, COD_{Cr}, pH, and the methane concentration in the UASB biogas were analyzed periodically.

RESULTS AND DISCUSSION

Figures 1(a) to 1(c) display the results of the continuous flow experiment. The TOC concentration in the UASB effluent, shown in Fig. 1(a) is $916 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ just after it is introduced into the ER-An-DHS+UASB system. The TOC concentration remained high for a while, but over time, stabilized at a TOC removal of about 90%. The system also maintained about 80% to 90% COD_{Cr} removal, as shown in Fig. 1(b). This result suggests that the granules in the UASB reactor become acclimated to the process conditions. Then, even when the OLR increased, the total removal stays at 80% to 90%. This shows that the ER-An-DHS+UASB system has an advantage in being able to handle OLR fluctuations such as those shown in fig. 1(c).

The effluent of the ER-An-DHS system smells of volatile fatty acids (VFA), but its use removed the factors that could retard the UASB reactor's operation. Treatment by the UASB reactor resolved the VFA problem, so the UASB effluent does not smell of VFA. The methane concentration in the biogas coming from the UASB reactor is about around 70% and methane recovery ranges from 60% to 90%.

Figure 2 shows the HRT as it changed over time for the ER-An-DHS and UASB reactors. The HRT was decreased step by step. The overall performance achieved by the ER-An-DHS+UASB reactors was as follows: more than 90% of total COD_{Cr} and TOC were removed by the system, methane recovery was about 70% to 90%, and about $350 \text{ L}\cdot\text{d}^{-1}$ of biogas was produced in the UASB reactor at the mesophilic temperature (about $35 \text{ }^\circ\text{C}$) of the reactors' operation. The HRT was 10.6 hours (based on wastewater) in the ER-An-DHS unit, which had a recirculation rate of 2.8, and 4.4 hours in the UASB reactor. The OLR was $12 \text{ kg COD}\cdot\text{m}^{-3}\cdot\text{d}^{-1}$ in the ER-An-DHS and $18 \text{ kg COD}\cdot\text{m}^{-3}\cdot\text{d}^{-1}$ in the UASB. Moreover, there were no serious breakdowns of either reactor, and daily maintenance consisted of only easy cleaning, which required no technical knowledge.

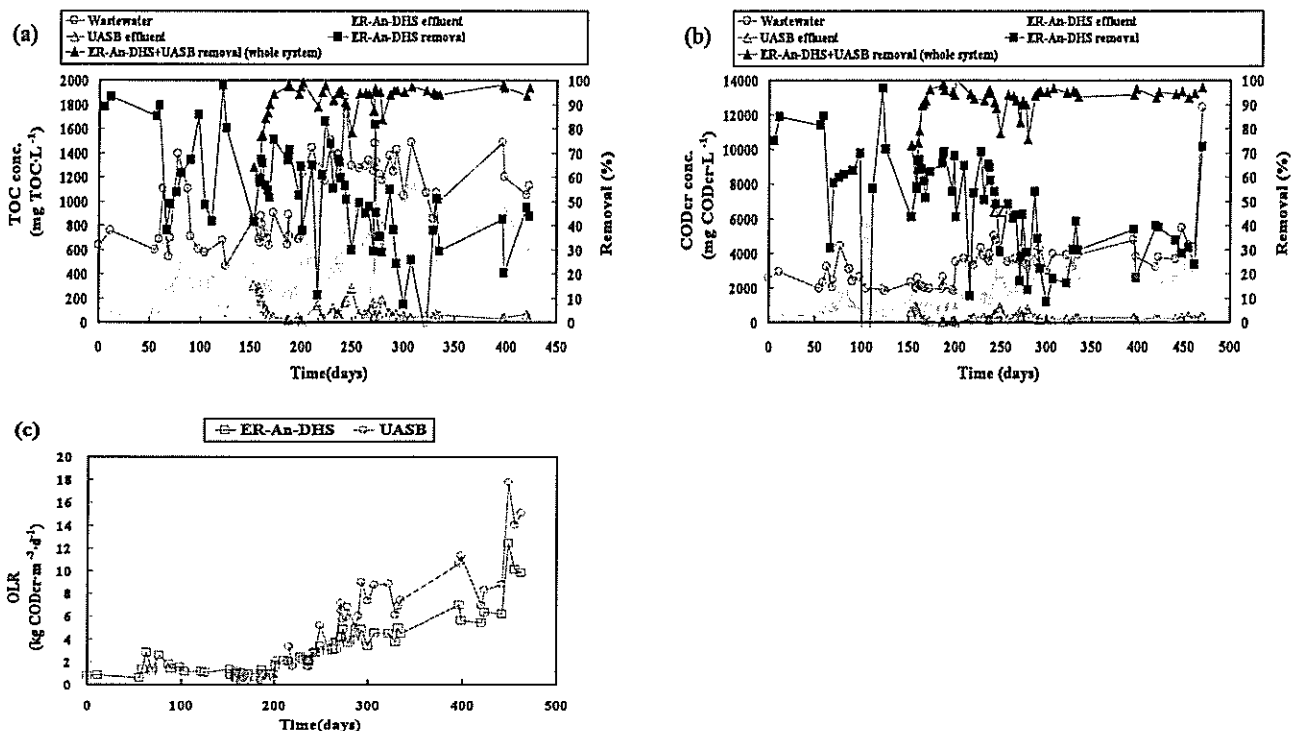


Figure 1 Process performance of the ER-An-DHS+UASB reactor treating an *udon* wastewater:(a) TOC concentration and removal, (b) COD_{Cr} concentration and removal over time, (c) COD_{Cr} loading

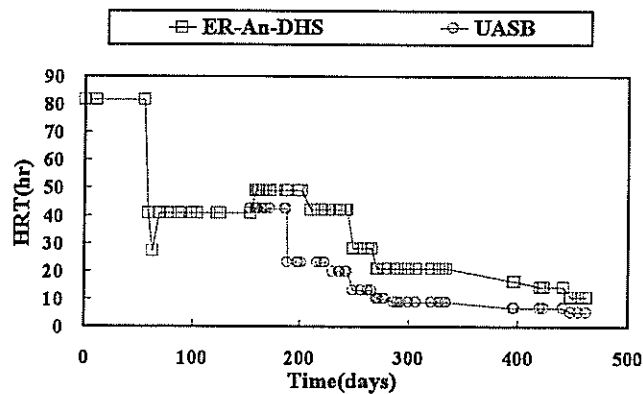


Figure 2 Time course of HRT(based on wastewater)

CONCLUSIONS

The ER-An-DHS+UASB system, supplied with a high-strength organic wastewater, with starch being the main pollutant, was operated over 450 days at a mesophilic temperature in both reactors. This process achieved the following performance: overall COD_{Cr} and TOC removals were more than 90% through the system, methane recovery was about 70% to 90%, and the volume of biogas produced in the UASB reactor was about 350 L·d⁻¹. The HRT was 10.6 hours (standard wastewater) in the ER-An-DHS unit, which had a recirculation rate of 2.8, and 4.4 hours in the UASB reactor that followed the ER-An-DHS treatment. The OLR was 12 kg COD·m⁻³·d⁻¹ in the ER-An-DHS unit and 18 kg COD·m⁻³·d⁻¹ in the UASB unit. The MLVSS concentration in the UASB reactor was 46,790 mg VSS·L⁻¹ (VSS·SS⁻¹=0.92) in the bed, 24,220 mg VSS·L⁻¹ (VSS·SS⁻¹=0.94) in the blanket, and the sludge loading rate was 0.59 g COD_{Cr}·g VSS⁻¹·d⁻¹.

These reactors were operated with relatively easy maintenance, and there was no washout of sludge from the UASB reactor. The initial cost and operating cost of the entire system was relatively cheap. The ER-An-DHS+UASB system performs well under a high organic matter loading, is easy to maintain, and is economical (low cost). Thus it has the possibility of being successfully introduced to developing countries.

ACKNOWLEDGMENTS

This study was supported by ESPEC Foundation for Global Environment Research and Technology (charitable Trust).

References

- Lettinga, G., Field, J., van Lier, J., Zeeman, G., and Hulshoff Pol, L. W. (1997). Advanced anaerobic wastewater treatment in the near future, *Wat. Sci. Tech.*, **35**, 10, 5-12
- Sumino, H., Murota, R., Ohashi, A., Harada, H., and Syutsubo, K. (2007). Low-strength wastewater treatment by Anaerobic Down-flow Hanging Sponge (AnDHS) reactor at low temperature, 11th IWA World Congress on Anaerobic Digestion 23-27 September 2007 Brisbane, Australia
- Tagawa, T., Takahashi, H., Sekiguchi, Y., Ohashi, A., and Harada, H. (2002). Pilot-plant study on anaerobic treatment of a lipid- and protein-rich food industrial wastewater by a thermophilic multi-staged UASB reactor, *Wat. Sci. Tech.*, **45**, 10, 225-230
- Tandukar, M., Machdar, I., Uemura, S., Ohashi, A., and Harada, H. (2006). Potential of a combination of UASB and DHS reactor as novel sewage treatment system for developing countries: Long-term evaluation, *Journal of Environmental Engineering*, February, 166-172