

バンコクの下水処理場の費用および便益 に関する基礎調査研究

岡寺 智大¹・珠坪 一晃²・小野寺 崇²・Wilasinee Yoochatchaval³

¹非会員 独立行政法人国立環境研究所 地域環境研究センター

(〒305-8506 茨城県つくば市小野川16-2)

E-mail:okadera@nies.go.jp

²正会員 独立行政法人国立環境研究所 地域環境研究センター

³Non-member of JSCE, Department of Environmental Engineering, Faculty of Engineering, King Mongkut's University of Technology Thonburi, Thailand

水質汚濁はバンコクの重要な環境問題の1つで、バンコク都は水質改善事業として下水処理を行っている。しかし、下水処理区内でも水質改善は不十分で、その原因の1つに予算制約の問題がある。バンコク都では下水処理費用が全て公的資金で賄われており、下水道料金の徴収システムが確立していない。その背景には、下水処理の社会的便益は認識されつつも、その価値の不確実性により、費用対効果が認識し難いという課題が想定される。そこで、本課題の事前研究として、バンコク都の下水処理場(20施設)の月刊報告書から、下水処理にかかる費用及び便益の現状調査を行った。その結果、バンコク都の下水処理費用は年間5億バーツ(1バーツ=約3円)となり、38%が電気代であった。また、最後に現状から費用対効果を改善する方策について検討した。

Key Words : Wastewater treatment, cost-benefit, Bangkok, electrical charge, BOD

1. はじめに

水質汚濁はバンコクの重要な環境問題の1つであり、バンコク都は水質改善事業の一環として、下水処理システムが導入されている。バンコク都では、7つの大規模下水処理場と13のコミュニティプラント（以下、コミプラ）により、195平方キロメートルの地域を対象に、311万人分の下水を処理している（2012年現在）。設計容量は1日あたり103万m³で、1日あたり73万m³（年平均）の下水が処理されている¹⁾。しかしながら、下水処理区内においても、必ずしも十分な水質改善がなされているとはいえない。その原因としては、下水処理場の処理効率などの技術的課題、下水の収集システムの構造的課題（合流式下水道）、バンコク都の下水の性状の特性などの、様々な要因が考えられるが、こうした要因を規定する予算制約の問題が、行政レベルでは主要な課題となっている。

こうした予算制約の背景として、まず、バンコク都では下水処理にかかる費用はすべて公的資金で賄われており、下水道料金を利用者から徴収するシステムが確立し

ていない¹⁾事が挙げられる。また、下水処理場を管轄する排水・下水道部では洪水・排水対策の優先順位が高いため、下水処理事業への予算配分が圧縮され易いという事情もある。

更に、このような事態を招いている根本的な原因として、下水処理事業が公衆衛生や安全な水へのアクセスビリティの向上といった社会的便益をもたらす事は認識されているものの、その（経済的）価値が不確実であるため、費用対効果が測定しにくいという学術的課題が想定される。そこで、本課題に資する事前研究として、バンコク都の下水処理場を対象に、下水処理にかかる費用及び便益について調査をおこなった。以下、本稿では調査方法、調査結果を紹介し、最後に結論を取りまとめる。

2. 調査方法

本研究では、バンコク都下水道部と（独）国立環境研究所の間での研究協力の覚書に基づいて、バンコク都の管理する下水処理場の財務データについて調査を行った。

まず、下水道部の担当者へのヒアリングにより管轄する下水処理施設の下水処理場の運転費用について、バンコク都下水道部の管理する月間報告書から、12ヶ月分（2012年1月～12月）の電気代、水供給費、人件費、化学薬品費、メンテナンス費、事務費に関するデータを収集した。

また、バンコク都の下水処理場の費用対効果を評価するために、下水処理場がもたらすサービスに関するデータも整備した。まず、下水処理場は排水から基準を満たした水を地域環境・社会へ還元する機能を有するため、それを評価する指標として、バンコク都の全処理場の下水処理水量を収集した。また、そうした処理水を生み出す過程では、様々な汚濁負荷物質が除去されることから、汚濁物質の除去量の推計を行った。本稿では、下水処理場の流入水及び放流水のBOD濃度データを用いて、流入水BODから放流水BODを減じることで、各処理場におけるBOD除去量を求めた。

なお、バンコク都の大規模下水処理場とコミプラの集水方式は異なっている。前者は汚水と共に雨水を集水する合流式下水道を利用しており、後者は汚水のみを収集する分流式下水道となっている。そのため、大規模下水処理場へ流入する下水データは、降雨による制約を有している。

3. 結果

(1) バンコク都の下水処理費用

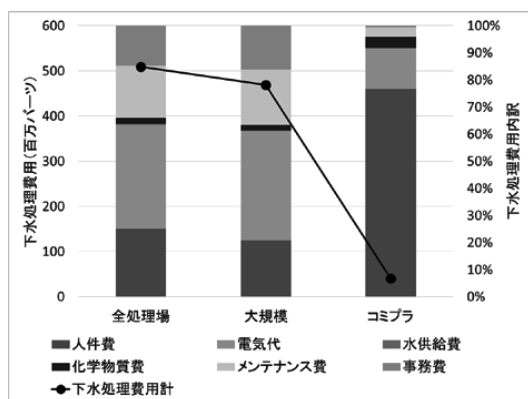


図-1 バンコク都の下水処理費用

バンコク都の下水処理費用は年間5億バーツ(1バーツ=約3円)となり、電気代（38%）の占める割合が最大となった（図-1）。また、全処理費用の92%を大規模処理場が占める事も明らかとなった。大規模処理場の処理費用内訳は、電気代が40%と最も高く、続いて人件費、メン

テナンス費が21%と高い値を示した。一方、コミプラの下水処理費用は全体の8%と少ないものの、処理費用の77%が人件費で占められており、次いで電気代（17%）が費用の主要構成要素となる事がわかった。

また、全下水処理場の月ごとの下水処理費用について3,904～4,674万バーツの間で変動しており、2月が最も安く、9月が最も高くなる事がわかった（図-2）。また、大規模処理場での下水処理費用の変動は、全処理場と同様に、9月が最も高く（4,322万バーツ）、2月が最も安く（3,573万バーツ）となった。一方で、コミプラの月あたりの下水処理費用は、326～351万バーツの間で変動しており、大規模処理場と同様に、9月にピークを迎える傾向は観察できたものの、年間を通して下水処理費用の変動がほとんどないことも明らかとなった。

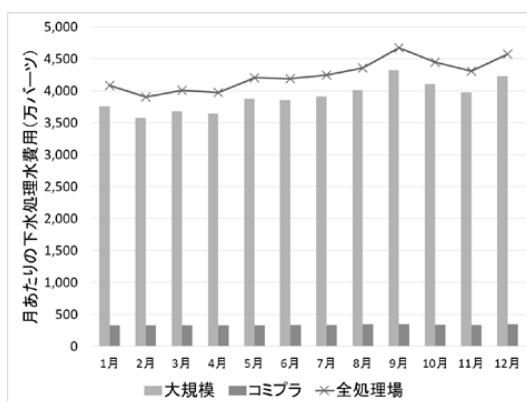


図-2 月別の下水処理費用

大規模処理場の下水処理費用内訳の変動（図-3）を見ると、9月に電気代、メンテナンス費、化学薬品費が増加している。特に電気代とメンテナンス費の増加率が大きいことから、同月の下水処理費用の増加の主な要因と考えられる。

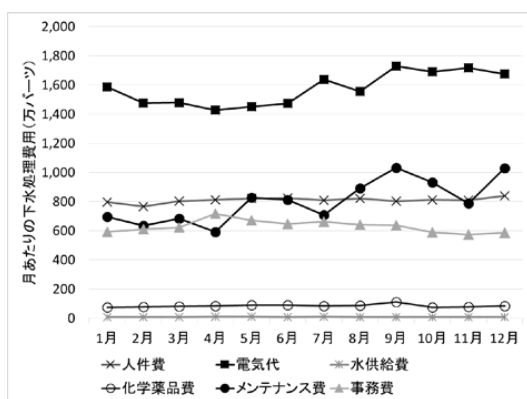


図-3 大規模処理場の月別下水処理費用内訳

(2) 下水処理費用あたりの処理水量

バンコクの下水処理費用に対する処理水量（図-4）を見ると、年間平均値は1パーツあたり0.53 m³の下水を処理しているとの結果が得られた。また、大規模処理場では0.56m³で、コミプラでは0.12 m³となり、コミプラの費用対効果は大規模処理場の22%である事がわかった。

月別の下水処理費用あたりの処理水量は、全処理場の場合、1パーツあたり0.49～0.59 m³の間で推移しており、1月が最もコストパフォーマンスが高く、6月のコストパフォーマンスが最も悪いという結果が得られた。また、大規模処理場の月ごとのコストパフォーマンスの変動は全処理場と同様の傾向を示し、また、全ての月において全処理場の値より高くなった。一方、コミプラは1パーツあたり0.11～0.14 m³と小さな幅で変動しており、7月のコストパフォーマンスが最も高く、4月が最も低くなる事がわかった。

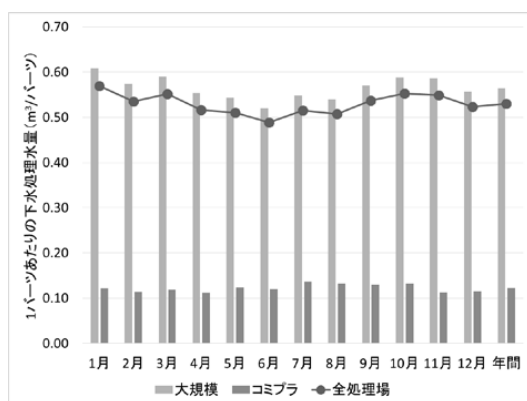


図-4 バンコクの下水処理費用あたりの処理水量

(3) 下水処理費用あたりのBOD除去量

バンコクの下水処理費用に対するBOD除去量（図-5）は、全処理場で1パーツあたり年平均で16.6 gとの結果が得られた。また、月別の同BOD除去量は、14.0～19.2 gの間で変動しており、9月が最も除去量が少なくなり、3月が最も大きくなる事がわかった。

大規模処理場とコミプラの下水処理費用に対するBOD除去量は、年平均で1パーツあたり17.0gおよび11.1gとなり、コミプラの下水処理費用対効果は大規模処理場の65%に相当する事が明らかとなった。また、大規模処理場の月毎の下水処理費用に対するBOD除去量は、1パーツあたり14.2～19.8 gの間で推移しており、9月が最小で、3月が最大となった。一方、コミプラの月別の下水処理費用に対するBOD除去量は、1パーツあたり7.9～12.6 gの間で遷移しており、6月のコストパフォーマンスが最も低くなり、7月が最も高くなる事がわかった。

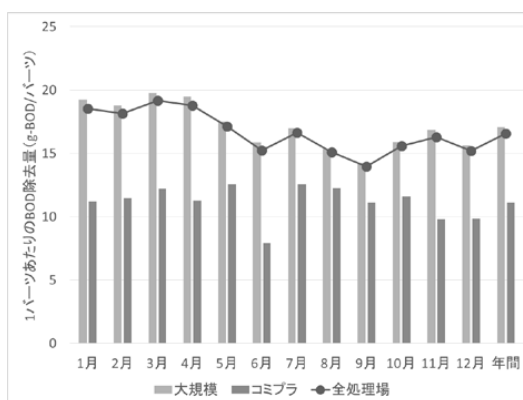


図-5 バンコクの下水処理費用あたりのBOD除去量

4. 考察

先述したとおり、バンコクの下水処理費用の9割を占める大規模下水処理場は合流式下水道を用いているため、降雨が混入しており、特に雨季にこれらの影響が出ると考えられる。そこで対象期間（2012年）のバンコク（観測地：バンナー区）の月別降水量³⁾と全処理場のコストパフォーマンスの比較を行う（表-1）。

まず、バンコクの2012年の年間降水量は1,679 mmとなり、内7割は7月～10月の4ヶ月に集中しており、特に9月の降水量が大きくなっている。ちなみに、9月の下水処理費用1パーツあたりの処理水量は0.54 m³と比較的高いコストパフォーマンスを示す反面、1パーツあたりのBOD除去量は最低値（14.0 g）となる事がわかった。これらの結果から、雨季の下水処理場への水量の増加により、下水の有機物濃度の低下が生じ¹⁾、BOD除去に対するコストパフォーマンスが大きく低下していると考えられる。

一方、下水処理場への流入水量の増加により最高降雨期の9月の処理水量に対するコストパフォーマンスは比較的高くなっていると考えられるが、雨季前期2ヶ月（7～8月）は全国平均を下回っており（図-4）、更に雨季の転換期である6月のコストパフォーマンスは最低値となっている。このことから雨季の流入水への増加への対応に関して、前期2ヶ月は費用対効果の面からは必ずしも効率的に進められておらず、高いコストパフォーマンスを発揮するのに2ヶ月ほど時間がかかっているものと推察される。

同様に、1パーツあたりのBOD除去量の雨季の変化を見ると、雨季開始月の7月のパフォーマンスが年平均値を示したものの、8～10月のコストパフォーマンスはいずれも年平均を下回っている（図-5）。そのため、雨季

の下水処理場への流入水の増加は、流入水のBOD濃度の低下による微生物処理効率の悪化を招き、いずれの月においても下水処理場のBOD除去のコストパフォーマンスの悪化させたと考えられる。

表-1 降水量と下水処理の費用対効果

	月平均降水量	下水処理量	1 パーツあたりの処理水量	1 パーツあたりのBOD除去量
	mm	万 m ³	m ³	g-BOD
1 月	12. 8	2, 325	0. 57	18. 6
2 月	<u>0. 2</u>	2, 089	0. 54	18. 2
3 月	54	2, 208	0. 55	19. 2
4 月	74. 8	2, 053	0. 52	18. 8
5 月	108. 8	2, 142	0. 51	17. 1
6 月	131. 4	<u>2, 044</u>	<u>0. 49</u>	15. 2
7 月	203. 6	2, 187	0. 51	16. 6
8 月	223. 6	2, 207	0. 51	15. 1
9 月	471. 8	2, 511	0. 54	<u>14. 0</u>
10 月	300	2, 459	0. 55	15. 6
11 月	98. 2	2, 365	0. 55	16. 3
12 月	<u>0. 2</u>	2, 390	0. 52	15. 2

備考: 表中の太字は最大値、下線は最小値を示す。また、灰色の背景は雨季を表す。

以上のことから、バンコク都の下水処理システムは、雨季の流入水の増加に対して、量的な対応はある程度されているものの、質的な対応についてはまだ十分対応できていないと考えられる。そこで、こうした現状に対して、費用対効果を改善するための方策について検討する。

まず、雨季初期段階の流入量増加へ対応の効率化である。バンコク都では比較的雨季の流入水の増加に対し、費用対効果の高い対応を示しているが、6月～8月の雨季転換期及び前期のパフォーマンスが低下しているため雨季初期での費用対効果の改善を行うことが必要である。そのため、タイ国内の気象データ公開システム⁴⁾や洪水リスク情報システム⁵⁾および準実時間観測システム⁶⁾の活用により、雨季初期段階での下水処理場への流入水量を事前に予測する体制の構築が有効と考えられる。

次に、雨季の下水処理場への流入水量の変動の抑制が考えられる。そのために、まず、雨季の流入水を一時的に貯水する予備タンクの設置を検討する。乾季（1月～6月、及び11～12月）の下水処理場への月平均流入水量は約2,200万m³とであり、流入水量が最大となる9月を基準とすると最大309万m³が受け入れ可能な貯留槽が必要となる。バンコク都の下水処理場の全敷地面積は約23万m²であるため、敷地面積全体に貯留槽を設置した場合、高さ13mに相当する貯留槽が必要となり、土地制約を考慮すると下水処理施設単体での流入水量の安定化は現実的ではないと考えられる。そのため、下水道システムそ

のものの雨季の流入水を減少させる事が有効と考えられる。バンコク都排水・下水道部での対応策としては、下水道システムの分流化が挙げられるが、冒頭で述べた通り、開発資金の調達の問題がある。そのため、浸透性の舗装技術の導入等により地表面の地下浸透率を向上させることで下水処理場への流入水の抑制を図るのが現実的な方策として考えられる。ただし、本施策はバンコク都下水道部の管轄外の事業となるため、バンコク都他部署の他、運輸省等タイ政府との協働が必要不可欠となる。

最後に、雨季の流入水量の増加に伴う流入水BOD濃度の低下を前提とした対策として、下水処理システムの効率化が考えられる。活性汚泥法を代表とする排水処理システムがバンコク都においても主要な処理方式であるが、バンコクの様な希薄な下水（BOD濃度が30～50 mg/l未満）の処理においては効率的に微生物を増殖・保持する事が困難であるため処理性能が低下しやすい⁷⁾。そのため、低有機物濃度の下水でも微生物濃度を維持しやすい生物膜利用型の好気性処理法などの適用が効果的であると考えられる^{8) 9)}。

5. まとめ

本稿では、バンコク都の下水処理事業の予算制約に着目し、同地域の下水処理施設の費用および便益の現状について調査を行った。その結果、雨季の流入水量の増加が、下水処理場の費用対効果の低下を招いている事が明らかとなり、その対策として、雨季初期段階での対応の効率化、流入水量の変動抑制、および下水処理効率の向上について検討した。

謝辞：本研究は（独）国立環境研究所先導研究プログラム環境都市システム研究プログラム及び地域環境研究センター奨励研究プログラムの成果の一部を取りまとめたものである。また、タイの下水処理場のデータの収集に際し、BMA 下水道部（Department of Drainage and Sewerage）のMs. Suthimol Kessomboon, Ms. Nisita KhangpaiboonおよびMr. Kasame Thepnoo、三氏の多大な貢献に謝辞を表す。また、タイの気象及び水文情報に関して、（独）国立環境研究所地球環境研究センター気候変動リスク評価研究室花崎直太主任研究員より助言を頂いた。

参考文献

- 1) 岡寺智大、珠坪一晃、小野寺崇、Wilasinee Yoochatchaval：バンコク都（BMA）の下水処理とエネルギー消費、第41回環境システム研究論文発表会

- 講演集, pp81-85, 2013.
- 2) 独立行政法人 国際協力機構(JICA), 株式会社 東京設計事務所(TEC), 日本工営株式会社(NK) : タイ国バンコク下水道整備事業準備調査ファイナルレポート(I) 概略マスタープラン 第1巻 要約, 2011.
 - 3) Thai Meteorological Department : Monthly Statistics Data, Thai Meteorological Department Automatic Weather System, Thai Meteorological Department, Bangkok, . http://www.aws-observation.tmd.go.th/web/reports/weather_months.asp, 2008.
 - 4) Thai Meteorological Department : Thai Meteorological Department Automatic Weather System, Thai Meteorological Department, Bangkok, <http://www.aws-observation.tmd.go.th/web/main/index.asp>, 2008.
 - 5) NESD, RID, DWR, JICA, FRICS, IMPAC-T and ICHARM: Flood Risk Information, http://floodinfo.rid.go.th/index_en.html, 2012.
 - 6) Hanasaki, N., Saito, Y., Chaiyasaen, C., Champathong, A., Ekkawatpanit, C., Saphaokham, S., Sukhaphunnaphan T., Sumdin, S. and Thongduang J. : A quasi-real-time hydrological simulation of the Chao Phraya River using meteorological data from the Thai Meteorological Department Automatic Weather Stations, Hydrological Research Letters, Vol. 8, No. 1, pp. 9-14, 2014.
 - 7) The IWA Task Group on Mathematical Modelling for Design and Operation of Biological Wastewater Treatment : Activated Sludge Models, IWA Publishing, London, 2000.
 - 8) Onodera T, Yoochatchaval W, Sumino H, Mizuochi M, Okadera T, Fujita T, Banjongproo P and Syutsubo K. : Pilot-scale experiment of down-flow hanging sponge for direct treatment of low-strength municipal wastewater in Bangkok, Thailand. Bioprocess Biosyst Eng., 2014 (in press).
 - 9) Yoochatchaval, W., Onodera, T., Sumino, H., Yamaguchi, T., Mizuochi, M., Okadera T. and Syutsubo K. : Development of a down-flow hanging sponge reactor for the treatment of low strength sewage, Water Science & Technology, 2014 (in press).

(2014. 7. 11 受付)

PRELIMINARY RESEARCH ON COST AND BENEFIT OF WASTEWATER TREATMENT IN BANGKOK

Tomohiro OKADERA, Kazuaki SYUTSUBO, Takashi ONODERA and Wilasinee YOOCHATCHAVAL

Water pollution is a main environmental problem in Bangkok and Bangkok Metropolitan Administration (BMA), for the mitigation of water pollution, treats wastewater by seven central and thirteen community sewage treatment plants (STPs). However, even in the served area, water quality has not been improved enough, and budget deficit is one of the reasons. BMA does not implement sewerage charge collecting systems, so covers sewerage systems by themselves. This is because it is difficult to evaluate cost-effectiveness of sewage treatment system, even though that brings various social benefits. Then, in this study, we have a survey on cost and benefit of STPs with monthly report of BMA. As the results, BMA costs 500 million Baht for sewage treatment, for 2012, and 38% used for electricity. Furthermore, we found that the components and cost-effectiveness differ by size of STPs. Finally, we discuss three measures to improve cost performance of sewage treatment of BMA.