

<b>学 位 論 文 要 旨</b> (Summary of the Contents of the Doctoral Dissertation)	
学位論文題目 (Dissertation Title)	Study on Air-Water Interface Enhancer for Efficient Oxygen Transfer in Diffused Aeration System (曝気における効率的な酸素移動のための空気/水接触促進装置に関する研究)
氏 名 (Name)	Warunyuwong Passaworn

In wastewater treatment plants, an aeration system is considered as an important unit in biological treatment for supplying oxygen needed by microorganisms, providing dissolved oxygen distribution, and removing undesirable dissolved gases produced by biomass. In diffused aeration system, oxygen can dissolve into water through the bubble dispersion under water and the free water surface contacting atmospheric air. The bubble dispersion normally contributes to a larger proportion of overall oxygen transfer in comparison with water surface transfer. From the literature reviews regarding gas dissolution from the free surface, more than 10 percent of overall mass transfer was contributed from free surface transfer. Therefore, the atmospheric oxygen transfer in an aeration tank designated with a large free surface area should be taken into consideration as well. However, in some situations, available spaces for the aeration tank construction are limited so that the diffused aeration process in such tanks can only rely on bubble dispersion. Therefore, it comes to an idea to improve the oxygen transfer into the water by increasing the contact area between air and water from the free surface transfer which is the main subject to study in this dissertation.

The objective of this work is to study about the feasibility of oxygen transfer improvement by an apparatus called air-water interface enhancer which was designed for diffused aeration systems to increase the contact area between air and water along the depth of the aeration tank. Its function is to receive the bubble plume from a diffuser located under the apparatus, accumulate air, and generate the air-water interface inside the apparatus (which referred to as the inner interface). This part can increase the contact area between air and water, and extent contact time between air and water through the air accumulation. The variables related to the study of upscaling effect were also determined to achieve empirical models which can estimate volumetric oxygen transfer coefficient and can be used as guidelines for designing the aeration system.

The objective was accomplished by conducting experiments in a lab-scale aeration tank and a pilot-scale aeration tank with adjustable water depth. In the lab-scale aeration tank, the experiment was carried out to determine the optimal arrangement of the air-water interface enhancer which was chosen based upon the volumetric oxygen transfer coefficient and the standard oxygen transfer efficiency. Then the proportion of the oxygen transfer via different pathways and the enhancement of the specific interfacial area were investigated to understand the role of the apparatus. The effect of the diffuser submergence depth as well as the distance of the apparatus above the air diffuser on the oxygen transfer was also determined. By including results from the lab-scale aeration tank with the experiments in the pilot-scale aeration tank, upscaling of the application of apparatus was determined and data analysis was conducted by means of Solver function in the Microsoft Excel software to propose empirical models for estimating volumetric oxygen transfer coefficient. Finally, the horizontally additional installation of the apparatus was investigated for favorable operating conditions and empirical model development for aeration process with multiple aeration units.

The study on air-water interface enhancer for oxygen transfer improvement can be concluded as follows:

- A single layer of the air-water interface enhancer located near the water surface was the optimal arrangement which could improve the oxygen transfer process.
- The air-water interface enhancer increased contact between air and water not only by the presence of the inner interface but also by the air accumulation inside the apparatus.
- The oxygen transfer enhancement by the assistance of the air-water interface enhancer was possible in the deep aeration tank when the extent of air flow rate was sufficiently high for providing good mixing condition.
- Two empirical models developed as guidelines for designing diffused aeration system indicated that the air-water interface enhancer effectively improved the oxygen transfer at high air flow rate. They were also established that the effectiveness decreased with cross-sectional area of the aeration tank, but increased with water depth, diffuser submergence depth, and distance of the apparatus above the diffuser.
- The oxygen transfer improvement was possible in a deep, large aeration tank at high air flow rate when more than one aeration unit (an air diffuser equipped with an air-water interface enhancer) was applied providing significantly high degree of oxygen transfer performance, efficiency, and enhancement.
- The empirical models for aeration process with multiple aeration units were also proposed as design guidelines. However, the additional experiments were also recommended for more precise estimation.

(様式9号)

## 学位論文審査の結果及び最終試験の結果報告書

山口大学大学院創成科学研究科

氏名	WARUNYUWONG PASSAWORN
審査委員	主査：今井剛
	副査：関根雅彦
	副査：佐伯隆
	副査：樋口隆哉
	副査：鈴木祐麻
論文題目	Study on Air-Water Interface Enhancer for Efficient Oxygen Transfer in Diffused Aeration System (曝気における効率的な酸素移動のための空気/水接触促進装置に関する研究)
<p>【論文審査の結果及び最終試験の結果】</p> <p>生物学的廃水処理施設において、曝気装置は微生物が必要とする酸素を供給して水中の溶存酸素濃度を増加させ、一方微生物によって生成された二酸化炭素に代表される不要な溶存ガスを除去するために重要な装置である。曝気装置により、空気中の酸素は水中の気泡の分散と大気と接触する水表面を介して水に溶解する。通常、水中での気泡の分散による酸素の水への溶解は、水表面における酸素の溶解と比較して大きく、その大部分を占める。しかしながら、文献から酸素溶解総量の10%以上が水表面でのものであると報告されている。したがって、大きな水表面積を有する曝気槽においては、それを考慮する必要がある。そこで、本研究は曝気槽の底部に既設の曝気装置(以下、散気管)の上面に設置して、その空気/水接触面積を増加させ、酸素の水への溶解を促進させる空気/水接触促進装置を開発し、それによる酸素移動効率の向上を図ることを目的とする。この空気/水接触促進装置の特徴は、既設の散気管から発生する気泡をその上面で捕捉して本装置内で空気-水界面を形成し、そこで液膜(水の泡)を積極的に生成させることで気液接触効率を向上させる(本装置内での空気の一時的滞留とそれへの液膜の形成による接触面積の増加により気液接触時間を長くすることである。</p> <p>本博士論文は6章で構成されており、その内容は以下の通りである。</p> <p>第1章では、本研究の背景と従来の研究、目的、本論文の構成について述べている。</p> <p>第2章では、空気/水接触促進装置の基本構成とこの装置の予備試験について述べている。空気/水接触促進装置について、酸素移動を改善できる最適な配置は「水表面に単層設置」であった。</p> <p>第3章では、曝気装置の能力を評価するときに用いられる総括酸素移動容量係数を用いて、本装置の役割を理解するために、さまざまな経路(気泡の分散、本装置の内部、水表面)を介した酸素移動速度と空気/水接触界面の促進効果について実験的に検討した。その結果、</p>	

(様式 9 号)

空気/水接触促進装置は、装置の内部に形成された界面の存在だけでなく装置内の空気存在（滞留による気泡の存在）によっても、空気と水の間の接触効率を向上できた。また、酸素移動効率に対する既設の散気装置の位置および本装置の位置の影響についての検討も行った。その結果、曝気量が十分に大きく良好な混合条件が提供される場合、空気/水接触促進装置により深い曝気槽における酸素移動の促進が可能であった。

第 4 章では、本装置を実際に設計する場合に必要な経験的なモデル（このモデルにより本装置を設計する際に必要となる酸素移動容量係数を推定できる）構築に必要なアップスケールリング効果に関連する変数群を推定した。この経験的モデルにより、空気/水接触促進装置が高い流量下での酸素移動を効果的に改善できることが示された。また、曝気槽の断面積の増加とともにその効果が低下するが、本装置の設置水深が深くなるほど、既設の散気管の設置水深が深くなるほど、本装置と既設の散気管との距離が大きくなるほど、その効果が高まることが示された。

第 5 章では、複数の曝気ユニット（空気/水接触促進装置を備えた曝気ユニット）を適用することを検討した。結果から、本装置により曝気水深が深くかつ曝気量が十分に大きい大型の曝気槽における酸素移動を効率的に改善できることが示された。複数の曝気ユニットを使用する場合の設計指針を得るための経験モデルも構築した。

第 6 章では、以上をまとめて結論とし、今後の展望について述べている。

公聴会（オンラインにて開催）には、学内外から 20 名の参加があり、活発な質疑応答がなされた。公聴会での主な質問内容は、①この研究では実験で脱酸素処理した水道水を用いているが、実際の曝気槽では汚泥による酸素消費が起こるはずで、それをモデル式にどう反映させているのか、②提案するモデル式において単位の表記がないためわかりにくい、③実験においては装置を複数重ねた場合の曝気効率が減少しているが、今後の展望では装置を複数重ねた場合についての研究が必要とある。これはどういう意味か、④提案するモデルの適用範囲を示すべきである、など多数であった。

以上のいずれの質問に対しても発表者からの的確で具体的な回答がなされた。

以上より、本研究は独創性、信頼性、有効性、実用性および完成度ともに非常に優れており、博士（工学）の学位論文に十分値するものと判断した。

論文内容および審査会、公聴会での質疑に対する応答などから、最終試験は合格とした。

なお、主要な関連論文の発表状況は下記の通りである（関連論文：2 編）。

- 1) Passaworn WARUNYUWONG, Tsuyoshi IMAI, Improvement of oxygen transfer by increasing contact area between gas and liquid using air-water interface generator, *Environmental Technology*, 2019. <https://doi.org/10.1080/09593330.2019.1680740>, オンラインによる掲載。
- 2) Passaworn WARUNYUWONG, Tsuyoshi IMAI, Study of air-water interface generator as oxygen transfer enhancer in diffused aeration system, *Environmental Technology*, 2020. <https://doi.org/10.1080/09593330.2020.1830182>, オンラインによる掲載。