

UV-LED を用いた雨水消毒による一般細菌の挙動解析

東洋大学 学生会員 ○長峯 伸悟
 東洋大学 非会員 谷口 明義
 東洋大学 正会員 山崎 宏史

1. はじめに

「雨水の利用の推進に関する法律」¹⁾が平成 26 年 5 月 1 日に施行された。この法は、雨水の利用を推進し、水資源の有効な利用を図ると共に、併せて下水道、河川等への雨水の集中的な流出の抑制に寄与することを目的としている。そのため、雨水の有効な利用方法を検討する必要があると共に、併せて内水氾濫、洪水を防止するため、雨水の貯留方法も検討する必要がある。その 1 つの方法として、山海らは、各家庭に雨水貯留タンクを設置した場合、大規模災害において水道が途絶した際、1 家庭 4 人で、300L の雨水を貯留しておくことができれば、トイレ洗浄水の超々節水化技術と合わせ、30 日以上、トイレ使用が継続できると試算している²⁾。しかし、この研究では雨水の長期貯留における水質変化については考慮されておらず、雨水貯留槽内での微生物の増殖等についても検討されていない。実際、雨水の長期貯留において微生物が増殖することは広く一般的に知られており、雨水を長期間貯留し、有効に利用するためには、その水質を良好に保つための消毒方法を検討する必要がある。一般的な水の消毒方法としては塩素消毒が考えられる。塩素消毒は水道で用いられているように、安価で、高い消毒効果の持続が期待できるが、定期的に塩素を補充する必要があるため、頻繁な維持管理が必要となる。一方、近年、開発された UV-LED は、低電力で紫外線を照射する装置であり、頻繁な維持管理は不要である。また、同様に紫外線を照射できる従来からの水銀ランプと異なり、水銀を使用していないため、万が一破損した場合においても、環境汚染のリスクは低いことが特徴である。

そこで、本研究では、簡易な雨水貯留タンクに雨水

を貯留すると共に、その貯留雨水を UV-LED を用いて消毒した際の水質および微生物の挙動について、明らかにすることを目的に検討を行った。

2. 実験方法

2.1 実験方法

実験に使用した雨水は、東洋大学川越キャンパスの屋上に、簡易な雨水貯留タンクを設置し、漏斗を用いて、直接集水した。そこから、集水した雨水を 5L ずつ、2 種のタンクに分注し、その一方を図 1 に示す実験装置に供した。実験は、常に雨水表面から 2cm 離れた位置から UV-LED による紫外線照射を行うこととし、水質と微生物の経時変化を調査した。本実験に使用した UV-LED の性能は表 1 に示すとおりである。また、本実験では、微生物の光回復を抑制するため、本実験装置の外周にはアルミホイルを巻き、光を遮断した。各水質項目の分析は、飲用井戸水の検査項目に準拠した。UV-LED による一般細菌の不活化率は $-\log_{10}(N_0/N_t)$ によって求めた。ここで N_0 は紫外線照射前の一般細菌濃度(CFU/mL)、 N_t は紫外線照射時間 T おける一般細菌濃度(CFU/mL)である。また、次項で説明する推定紫外線照射量 J を求めるため、採水時には、276nm の吸光度を併せて測定した。

表 1 UV-LED の性能

項目	
型番	NS275L -6DMG
ピーク波長 (nm)	270~280
光出力 (mW)	50.0
順電流 (mA)	600
照射角 (°)	120

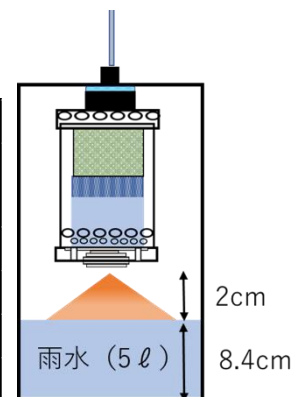


図 1 実験装置の概要

キーワード 一般細菌、紫外線、雨水

連絡先 〒 350-8585 埼玉県川越市鯨井 2100 東洋大学 理工学部 都市環境デザイン学科 E-mail : yamazaki058@toyo.jp

2.2 UV-LED による推定紫外線照射量の計算

UV-LED による推定紫外線照射量 J (mJ/cm^2) は、式 (1) によって求めた。この時、光の吸光による補正係数 WF は Lambert-beer の法則に従い、式 (2) より求めた。

$$W = I \times WF \div 1000$$

$$J = T \times W \quad \dots\dots\text{式 (1)}$$

J : 推定紫外線照射量 (mJ/cm^2)

W : 単位時間当たりの紫外線量 (W/cm^2)

T : 照射時間 (s)

I : UV-LED 素子の光出力 ($\mu\text{W}/\text{cm}^2$)

WF : 水の吸光による補正係数(-)

$$\frac{1 - 10^{(-A_{276} \times \ell)}}{A_{276} \times \ell \ln(10)} \quad \dots\dots\text{式 (2)}$$

A_{276} : 276nm 時の吸光度 (cm^{-1})

ℓ : 水深 (cm)

3. 結果と考察

本実験に用いた集水 1 日目の雨水を飲用井戸水の検査項目に準拠して分析した結果、基準値を超えた項目は、一般細菌のみであったため、本実験では、一般細菌の挙動を中心に検討を行った。

3.1 推定紫外線量と不活化率

図2は本実験における推定紫外線照射量(J)に対する一般細菌不活化率(%)の結果を示している。この図2から雨水に含まれる一般細菌は、UV-LED による紫外線照射により不活化されることがわかった。推定紫外線量が $30.6\text{mJ}/\text{cm}^2$ となる 15 分で 94%が不活化しており、紫外線照射として時間を約 3 倍とした推定紫外線量 $99.0\text{mJ}/\text{cm}^2$ で 97%不活化となった。この 2 つの推定紫外線量の差は約 3 倍の照射時間の差であるのに対し、不活化率は 3%しか増加していない。UV-LED による消毒は紫外線照射開始後、短時間で 90%以上の一般細菌を不活化させるが、さらなる不活化

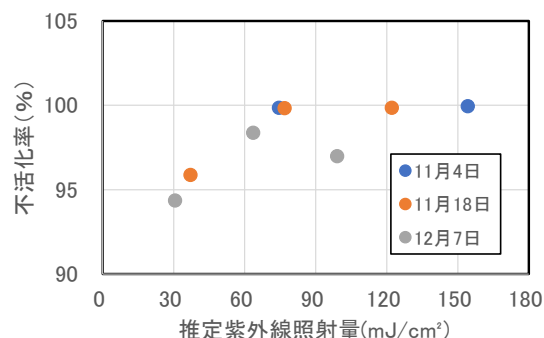


図2 推定紫外線照射量に対する不活化率

られた。

図3は推定紫外線量 J に対する一般細菌の log 不活化率の関係を示している。この様に、推定紫外線照射量 J に対し一般細菌の log 不活化率は、正の相関があり、一般に、上水道の消毒基準である $3\log$ 不活化を達成させるためには、推定紫外線照射量 J として、 $133.1\text{mJ}/\text{cm}^2$ 必要であると考えられた。

3.2 推定紫外線量に影響を及ぼす項目

前項で推定紫外線照射量 J が高い程、不活化率が高くなることを明らかにしたが、この推定紫外線照射量 J に影響を及ぼす項目として、雨水中に含まれる浮遊物質が多くなると (式2) で示した WF の値が相対的に小さくなり、単位時間当たりの紫外線照射量 W が小さくなる。そのため雨水貯留に UV-LED を適用する際は、事前にろ過や沈殿といった工程により、浮遊物質を取り除くことが重要になると考えられる。

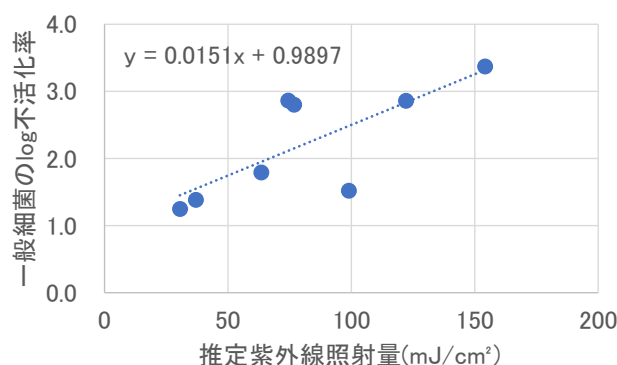


図3 推定紫外線照射量に対する Log 不活化率

4. まとめ

雨水に対し UV-LED による紫外線照射を行った結果、雨水に含まれる一般細菌の 94%は短時間で、不活化することが明らかとなった。しかし、単位時間あたりの推定紫外線照射量 W は吸光度によって変化すると共に、その吸光度は浮遊物質が多い程、高くなると考えられた。そのため、UV-LED により雨水から効率よく一般細菌を不活化させるためには、事前に浮遊物質を取り除く必要があると考えられた。

参考文献

- 1) 国土交通省, 雨水の利用の推進に関する法律
https://www.mlit.go.jp/mizukokudo/mizsei/mizukokudo_mizsei_tk1_000068.html (2020/10/30 閲覧)
- 2) 山海敏弘, 平成 27 年度大会 (大阪) 学術講演論文集 第 10 巻 都市・環境 編