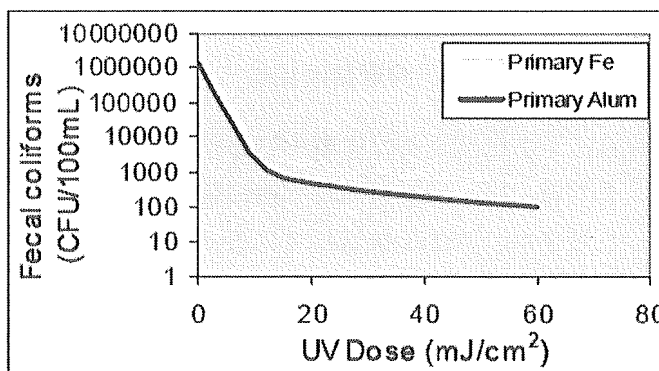


子の数を測定するのに適した代理手段である。規定の下水により、照射量曲線のテーリング領域で規定された照射量の不活化は、TSS が減少するにつれて増加する(図 4)。さらに、テーリングは対象微生物を含んでいる粒子の比率の効用を持つ。最近の研究では、全大腸菌を含んだ 10 ミクロンを越える粒子の比率が、下水によって 1%未満から 30%以上までさまざまに変わること示した(Emerick et al)。活性汚泥工程で、全大腸菌を含んでいる粒子の比率は、SRT とマイナスの相関作用を持っていた。規定の照射量により、より適した消毒が、長い SRT を備えた活性汚泥工程で観察された。

粒子内に結合する微生物の照射量は、粒子の物理的な特性に依存する。下水粒子内の微生物の消毒に影響を及ぼすと思われた要因は粒子 UV 透過率、サイズおよび構造を含んでいる。細胞を通す 254nm での UV 透過率は 1 ミクロン当たり約 61%である (Coohill, 1991 年)。

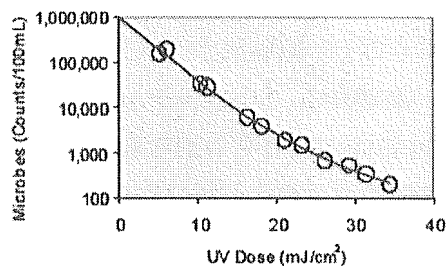
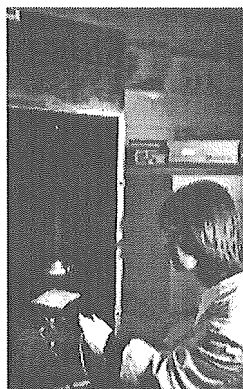


したがって、紫外線はバイオマスに 10 ミクロン通過することによって 1 パーセント未満まで減じられる。バイオマスによって放出された細胞外のポリマー内の核酸および芳香性の蛋白質は、さらに綿状の塊の UV 透過率に影響を与えるだろう。水酸化鉄も紫外線を吸収し、鉄よりもミョウバンで凝結した初期の流出で、規定の照射量における多大な消毒が成される(図 5)。

フィルタと RBCs が漏れるような固定フィルム工程から流出する下水粒子は、活性汚泥のように一時的に止められた成長工程からの流出よりも消毒が困難な傾向がある(図 3)。UV に対して増加した抵抗の原因は、粒子の UV 透過率が対象微生物を含んでいる粒子の比率のどちらかに関連しているかもしれない。

しばしば、大きな塊の中の微生物は、小さな塊の中の微生物よりも消毒することが困難であると思われている。しかしながら、塊の間隙率は粒子サイズに増加し、より大きな粒子の中への紫外線の浸透は、水路と気孔の存在によって助成される(Li and Ganczarczyk, 1991 年)。塊内の対象微生物の数が低くなることを考えれば、粒子サイズでの UV 照射量の依存関係は見られにくくなるだろう。

要するに、下水流出内の指標微生物の UV 用量作用は、上流工程とそれらの工程からの粒子の性質に強く依存する。有効な UV 服用の経費を使って規定の消毒目標を満たすためには、上流の処理が UV 消毒に従順な流出を与えることが必要になる。



Collimated Beam Apparatus UV Dose Response Curve

例えば、UV 消毒は、第三次濾過なしでは自由な再使用消毒目標を満たさず、鉄の凝結した一次流出での 200 の糞便性大腸菌 30 日間の幾何平均値を満たさないだろう。ベンチスケール平行ビーム装置(図 6)を用いた指標微生物の照射量曲線の測定は、規定の消毒目標を満たすのに必要な UV 照射量についての有効な情報を提供する。UV 照射量の測定は、鉄が上流で加えられる流出、固定フィルム工程、低い SRTs の活性汚泥流出、時間依存性流出、暴風時の主要なバイパスの流出、そして異例の消毒目標には、特に強く推奨されている。

5. 病原体不活化を照射量必要条件

消毒の目的とは、病原体を不活化するか殺すことである。下水消毒では、糞便性大腸菌、全体の大腸菌および大便連鎖球菌のような指標微生物が、病原体の代わりに使用される。指標微生物が集中目標に不活化される場合、十分な病原体不活化が仮定される。

表 1 は、指標微生物および病原体の UV 照射量必要条件を示す。データは分散微生物緩衝装置の研究所で測定された UV 用量必要条件からなる。この結果は、指標微生物がバクテリアの病原体および cysts/oocysts protozoan に適した代理になるが、病原性のウィルスの代理には乏しいことを示している。UV 消毒に最も抵抗する 2 つのウィルスの病原体はロータウイルスとアデノウイルスで、4-log の分散微生物の縮小のためにそれぞれ 36、121 mJ/cm2 の照射量を必要とした。それに比べて、4-log の分散糞便性大腸菌の不活化は 12 mJ/cm2 が

Pathogen	mJ/cm2 Required to Achieve			
	1 log	2 log	3 log	4 log
Cryptosporidium parvum oocysts	3.0	4.9	6.4	7.9
Giardia lamblia cysts	NA	<5	10	<10
Giardia muris cysts	1.2	4.7	NA	NA
Vibrio cholerae	0.8	1.4	2.2	.9
Shigella dysenteriae	0.5	1.2	2.0	3.0
Escherichia coli O157:H7	1.5	2.8	4.1	5.6
Salmonella Typhi	2.7	4.8	6.4	8.2
Shigella Sonnei	3.2	4.9	6.5	8.2
Poliovirus Type 1	4-6	8.7-14	14-23	21-30
Hepatitis A virus	4.1-5.5	8.2-14	12-22	16-30
Rotavirus SA11	7.1-9.1	15-19	23-26	31-36
Adenovirus	25-30	50-59	80-90	121
Fecal Coliform	3	6	9	12
Streptococcus faecalis	6.6	8.8	9.9	11.2

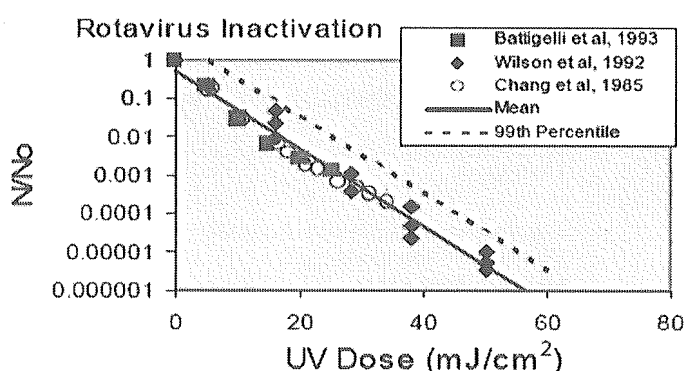
必要で、これはロータウイルス 1.3-log、アデノウイルス 0.4-log の不活化にそれぞれ相当する。ノーウォーク・ウイルスという重要な病気を引き起こす原因となる病原性のウイルスに対する UV 照射量のデータは存在しない。

典型的に、24~30 mJ/cm² の UV 照射量は、活性汚泥流出での 200/100mL の糞便性大腸菌 30 日間の幾何平均値を達成するために使用されている。下水での用量作用の病原体の仮定は指標微生物のそれに似た粒子化合物から影響を受け、24~30 mJ/cm² の照射量でバクテリアの病原体および原生動物胞の 3~4-log の不活化を十分得られる。しかしながら、この照射量は病原性のウイルスを 3~4-log 縮小するのには十分でない。

カリフォルニア・タイトル 22 の自由な再利用の適用は 4-log のウイルス不活化および中央平均値 7 日とした 2.2MPN/100mL の全大腸菌を必要とする。フロリダ下水の再利用は全サンプルの 75%の糞便性大腸菌が検知不可能になければならない。中膜濾過された流出では、UV 照射量は 3~4-log の不活化をした後の尾鉱に影響する。種ありのポリオウイルスと MS2 ファージの 4-log の不活化と、全大腸菌および糞便性大腸菌の指標を満たすには、およそ 100~140 mJ/cm² の UV 照射量を必要とする。

より最近の再利用の適用では薄膜濾過を使用している。薄膜濾過は 1 ミクロン以上の粒子を絶対に通さないで、この流出は UV 照射量中の尾鉱を引き起こす原因となる 8 ミクロン以上の粒子を含んでいない。従って、薄膜濾過の後の UV 照射量必要条件は中膜濾過の後よりも低い。5-log のポリオウイルスの不活化を得るために、80 mJ/cm² の UV 設計照射量がマイクロまたは限外濾過後の再利用の適用に推奨されている(NWRI/AWWARF, 2000 年)。3-log のポリオウイルス不活化を得るためには、50 mJ/cm² の UV 照射量が逆浸透の後に推奨されている。

飲料水の適用では、病原体不活化を示すのに有効となる十分な数値には指標微生物は存在しない。従って、飲料水の規則は指標微生物の目標と対立して照射量目標を指定する。USEPA は、クリプトスポリジウム、ジアルジア、ロータウイルスおよびアデノウイルスのための照射量表を開発している。これらの照射量表は、照射量データ中での測定の不確実性を説明するために安全係数を組込むものである。図 7 は、ロータウイルスのために設けられた照射量のデータと、99% の確信レベルでの照射量必要条件の評価を示す。



再生水を含む下水利用の中で使用される UV 照射量はアデノウイルスの 4-log の不活化を達成するのに十分ではない。アデノウイルスはロータウイルスに続く、幼年期の腸の病

気の 2 番めに重要な原因である(Crabtree、1997 年)。アデノウイルスは下水と表層水で検知されており、最近ではノルウェーでの水上爆発と関連付けられていた(Gerba、2002 年)。アデノウイルスは塩素によって比較的容易に不活化されている一方、UV に強く、分散微生物 4-log の不活化には 125 mJ/cm² の照射量を必要とする。これは、ロータウイルス、A 型肝炎ウイルスおよびポリオウイルスを 4-log 不活化するのに必要な 40、30 および 30 mJ/cm² の照射量にそれぞれ相当する。アデノウイルスの UV 抵抗が知られる前に、これらの他のウイルスは、USEPA 地下水規則、UV 住宅の NSF 基準 55 およびカリフォルニア再利用ガイドラインのような、多くの UV 規則での UV 照射量必要条件を基にする。アデノウイルスが体に悪影響を及ぼすため、それは今、来る第 2 段階の飲料水規則の目標ウイルスと見なされている。

アデノウイルスに比べると、クリプトスポリジウムとジアルジアは紫外線によって容易に不活化され、化学的な消毒に強い。多くの下水と飲料水の規則で推奨された UV 照射量は、ジアルジアとクリプトスポリジウムの 3-log 以上の不活化を達成する。しかしながら、クリプトスポリジウムは塩素消毒には実質的に影響を受けない。耐 UV 性のアデノウイルスの発見は、より強固な UV 照射量必要条件の導入を促すだろう。原生動物胞が UV に弱く塩素に強い一方、ウイルスは UV に強く塩素に弱いので、両方の技術を使用する消毒法は最もコスト効率のいい研究方法となり得る。下水では、この方法は、追加塩素がクロラミンに変換されるのを防ぐためにアンモニアの除去を必要とする。

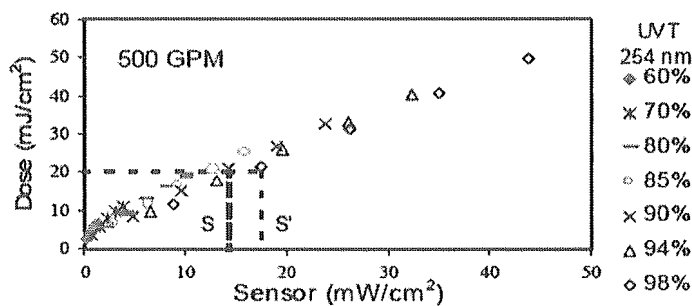
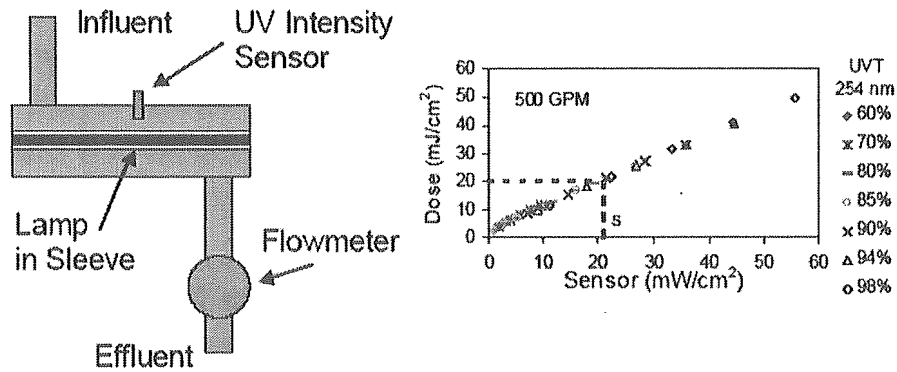
6. 監視装置の整合性

下水の UV 消毒では、整合性が指標微生物の凝集の測定により評価される。飲料水の消毒では、指標微生物の凝集が消毒剤の適用の後に検知範囲未満であり、消毒のレベルに達したことを示すためには使用することができない。そのため、飲料水中の消毒必要条件は、指標微生物の目標不活化の達成とは相反し、目標消毒剤 UV 照射量の供給に基づく。

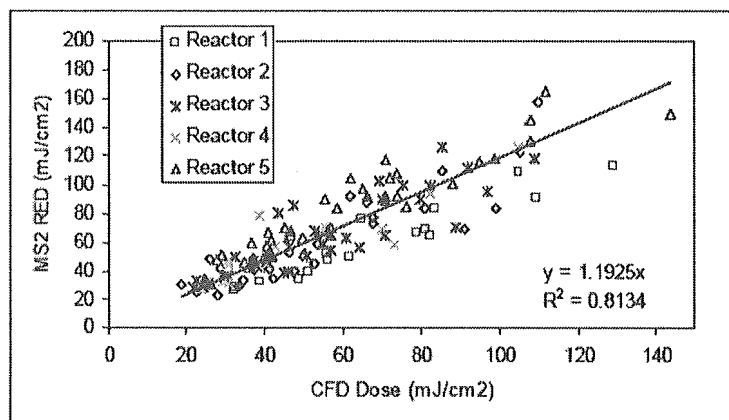
UV ベンダーは、監視照射量供給のため多くの提案を発展させてきた。これらの提案は、要求された監視装置の数とタイプ、およびそれらの複雑さによって変わる。

最も簡単な提案では、流量と UV 強度の測定が UV 照射量配達を示すために使用される。UV 強度は、ランプ出力への変換および水 UV 伝達への変換の両方に反応するために設置した UV 監視装置によって測定される。UV ベンダーが正確に UV センサーを設置すれば、規定の流量率での照射量は、ランプ出力および水 UV 伝達に関わらず、測定された強度に比例するだろう(図 8)。この照射量監視装置を使った UV 反応は、測定された UV 強度がセットポイント価値上にある場合、規定の流量率での整合性で検討される。

第二の提案として、コンピューターあるいは PLC が流量率、UV 強度および UV 伝達の測定を使用して導入された UV 照射量を計算するものがある。この提案を用いた多くの UV システムでは、照射量の計算は理想的照射量伝達に基づく。もしリアクターがうまく設計



されていなかったり、この計算が検知器を通して非理想の水理学から成る補正因子を用いていない限り、この提案は主として照射量配達を過剰評価する。過去数年にわたって開発されてきたいくつかのUVシステムは、それらの照射量監視装置ソフトウェア内で CFD に基づいた照射量計算を使用している (図 10)。これらの計算が複雑で、マイクロプロセッサを必要とするため、それらは実際の UV 反応装置の非理想の照射量配達を示す。



ランプとスペクトルの反応に関するセンサーの配置は、両方の技術による照射量の測定に大きな影響を与え、最適化されるだろう。強度セットポイント方法は計算を用いず、UV 伝達監視装置を必要としない簡単なものだが、異なるパワー・レベルで作動するランプを計上しない。CFD に基づいた提案は、複雑な計算に基づき UV 伝達モニターを必要とするが、異なるパワー・レベルで作動するランプを計上することができる。

下水の UV 適用において、UV 強度センサーは照射量配達を示す役目をしていない。LP

システムでは、それらはランプスリーブを清潔にする必要を示すために使用される。しかしながら、(指標微生物はない)薄膜の後の UV 消毒と照射量に基づいた目標では、下水の UV 消毒は、飲料水の中で使用されるものと類似した、照射量に基づく承諾方法に近くなる。

照射量伝達検証

USEPA は、WTP でインストールされた UV 消毒反応装置が使用に先立って有効であることを要する。UV 検証は、UV 反応装置のオンライン監視装置システムによって示される照射量が、要求された(規定する)照射量と同等あるいはそれ以上であることを示す。検証は、難題な微生物の不活化の測定と、平行ビーム装置を用いた難題な微生物の照射量を使用した照射量の値とその不活化の関連性を含んでいる。検証は、評定された反応装置の流量範囲で成されてきた。UV を吸収する化学薬品は水に加えられ、ランプ出力は最悪のシナリオをシミュレートして低下する。テストの手順は、反応装置によって使用される照射量監視方法に適切でなければならない。強度セットポイント方法を使用する反応装置と共に用いられるテスト条件は、CFD に基づいた照射量計算を使用する反応装置によって使用される手順と同じにはならない。

下水における UV 反応装置の検証は、飲料水反応装置の検証と異なる。検証は、下水 UV 伝達および寿命末期のランプ出力の設計条件の下での照射量伝達の評価に焦点をあてる。指標微生物を使用して整合性が評価されるため、照射量監視装置は判断されない。下水反応装置の検証は、典型的には異なる UV システムの実行効率を比較するために用いることができるデータを提供する。また、検証は UV 伝達(例えば初期のものおよび CSO の適用)の極端な条件の下での下水反応装置の実行を評価するために使用することができる。再生水の適用の中で使用される UV 反応装置の検証は、照射量監視用の必要条件および規定の上流処理での指標微生物の有効性に拠る。全大腸菌の流出する基準を、砂濾過の後にインストールされた UV 反応装置を評価するために使用することができる一方、有効な照射量監視装置は薄膜の後に必要とされる。

照射量伝達および UV 反応装置検証の測定に関わる不確実性は重要である。図 12 で示されるように、測定の不確実性は、反応装置によって伝えられた実際の照射量と、オンライン監視システムが示す照射量との相違に結びつく。UV 反応装置の検証はインストールされた反応装置の大多数が照射量目標を満たすことを保証するための規定の確証レベルで算定される必要がある。必要とされる確証レベルは、公衆衛生保護のために必要になった適用および精励に依存するであろう。

結論

UV 消毒はアメリカで下水を処理するために 15 年以上使用されており、飲料水への適用における重要な技術として定着してきた。飲料水の UV の適用と、消毒、微生物の不活化

目標、準拠した監視装置および反応装置検証試験の必要性の上での水品質の影響を持った下水の適用の間で、重要な違いがある。再生水の適用は、下水と飲料水の適用の間に置かれ、両方の範囲での向上と提案を利用する。

ライフサイクルコストの競争入札過程を通じた最大の価値を得る UV システムの実施
IMPLEMENTATION OF BEST-VALUE UV SYSTEMS THROUGH COMPETITIVE LIFE CYCLE COST
BIDDING PROCEDURES

Leslie S. Samel ら

1. 概略

下水処理水の消毒に関する最適 UV 装置の選択についての各社製品の性能及びコストの比較検討と、施設建設費・運転管理費・維持管理費等のライフサイクルコストでの入札による総コストの削減を実施した。

2. キーワード

UV 消毒, 低圧高密度 UV システム, 中圧高密度 UV システム, 排水, ライフサイクルコストでの入札

3. 内容

a) 代替消毒法の選択

CMUD 社 (シャルロット-メクレンバーグ ユティリティ社) が運転しているアーウィンクリーク下水処理場とシュガークリーク下水処理場では、現在塩素による消毒が行われている。安全性の問題や連続使用に関連する規制の問題により、CMUD 社と CDM 社 (キャンプドレッサーアンドマッキー社) は両処理場における代替消毒技術の使用を評価するため広範的な研究を行った。

評価した代替消毒技術は以下の通りである。

- (1) 引き続き塩素を使用 (浄化装置付き)
- (2) 次亜塩素酸ナトリウム
- (3) 紫外線消毒 (UV)

研究の結果、

- ・総事業費
- ・塩素添加及び脱塩素過程の副生成物に関連する毒性物質問題の除去
- ・処理場職員や周辺住民への高いレベルでの安全性といった多くのコスト計算外の利益から、両処理場において UV 消毒法が採用された。

b) UV システムの評価

その後、下水の消毒の現在利用可能な UV システムの技術について詳細に評価した。

調査した UV システムは以下のとおりである。

- (1) 開水路, 低圧, 高密度
- (2) 開水路, 中圧, 高密度
- (3) 閉反応槽, 中圧, 高密度

シュガークリーク及びアーウィンクリークにおいて導入する可能性のあるシステムとして下記の Table 1 に示す合計 7 つの UV システムを調査した。

調査は、設備に関し導入例も合わせて詳細な質疑や直接のミーティングを通じた、各 UV メーカーとの広範囲な調整を含んでいる。CMUD 社と CDM 社は、性能試験、実績、資本費用、運転・管理条件の比較等に基づいて 4 つの UV 消毒装置が両方の処理場において設計要求事項を満たすシステムであると決定した。

Table 1 - Comparison of UV System Technologies

	Trojan 3000 Plus	WEDECO	ODI	SunTec	Ultra Guard	Trojan 4000 Plus	Aquionics
Horizontal/Vertical	Hor.	Hor.	Vert.	Hor.	Vert.	Hor.	Hor.
Power Range	60-100% Step	50-100% Linear	N/A	60-100% Linear	30-100% Linear	30-100% Step	75-100% Step
Guaranteed Lamp Life (hrs)	12,000	12,000	13,000	12,500	8,760	5,000	8,000
Lamp Operating Temp. (°C)	100	110	95	100	160	350	600-800
Cool down to Restart	Yes	Yes	No	No	Yes	Yes	Yes
Power Consumption/Lamp (Watts)	250	300	165	200	1,100	2,800	4,050
UV Output/Lamp (Watts) @ 254 nm	106	125	52	65	340	400	585
No. of Lamps ⁽¹⁾ (Sugar/Irwin)	512/240	432/216	960/480	768/384	60/30	140/84	96/48
Efficiency	42%	41%	38%	32.5%	31%	14%	15%

(1) Original facility layouts were based on a peak flow at the Sugar Creek and Irwin Creek WWTPs of 40 and 20 mgd, respectively. After further research, the peak flow for Irwin Creek WWTP was increased to 30 mgd. This table presents the UV manufacturer configuration based on the initial Irwin Creek WWTP peak flow of 20 mgd.

(2) Values above are based on information provided on the UV Disinfection System Manufacturer Questionnaire. Refer to Table 6 for values provided during the bid evaluation.

Table 2 - UV Manufacturer System Non-Cost Criteria Matrix

Non-Cost Criteria	Selected UV Manufacturers			
	Trojan 3000 Plus	WEDECO	ODI	Aquionics
Constructability	2	2	1	3
Reliability	3	3	3	3
Meeting Future Permit Limits	1	3	3	3
Operation & Maintenance	3	2	2	4
Expandability	2	2	2	3
Hydraulic Limitations	2	2	2	3
Total	13	14	13	19

Scale: 1 – least beneficial; 4 – most beneficial

Table 3 - Sugar Creek WWTP UV System Reliability in Meeting Future Permit Limits

	Daily Max Fecal Limit (cfu/100 ml)	Lamps Required*	No. Rows per Bank*	No. Channels/No. Banks per Channel*	Estimated Capital Cost
Trojan 3000 Plus	1000	512	32	1/2	\$793,000*
	600	768	32	1/3	\$1,145,000
	400	800	25	2/4	\$1,216,000
	200	1200	25	2/6	\$1,734,000
	25	2016	28	3/9	\$2,950,000
Aquionics	1000	96	2 (bundles)	4 (vessels)	\$763,161*
	600	96	2 (bundles)	4 (vessels)	\$763,161*
	400	96	2 (bundles)	4 (vessels)	\$763,161*
	200	96	2 (bundles)	4 (vessels)	\$763,161*
	25	192	2 (bundles)	8 (vessels)	\$1,526,322
WEDECO	1000	432	6	2/2	\$844,200*
	600	432	6	2/2	\$844,200*
	400	432	6	2/2	\$844,200*
	200	504	7	2/2	\$914,200
	25	648	9	2/2	\$1,094,200
ODI	1000	960	5	2/12	\$792,000*
	600	960	5	2/12	\$792,000*
	400	960	5	2/12	\$792,000*
	200	960	5	2/12	\$792,000*
	25	1,040	5	2/13	\$942,000

* Indicates the original UV equipment capital cost estimated by each manufacturer provided on the UV Disinfection System Manufacturer Questionnaire.

Table 4 -Irwin Creek WWTP UV System Reliability in Meeting Future Permit Limits

	Daily Max Fecal Limit (cfu/100 ml)	Lamps Required*	No. Rows per Bank*	No. Channels/No. Banks per Channel*	Estimated Capital Cost
Trojan 3000 Plus	1000	240	15	1/2	\$413,000*
	600	368	23	1/2	\$586,000
	400	400	25	1/2	\$631,000
	200	600	25	1/3	\$905,000
	25	992	31	2/4	\$1,452,000
Aquionics	1000	48	2 (bundles)	2 (vessels)	\$392,940*
	600	48	2 (bundles)	2 (vessels)	\$392,940*
	400	48	2 (bundles)	2 (vessels)	\$392,940*
	200	48	2 (bundles)	2 (vessels)	\$392,940*
	25	96	2 (bundles)	4 (vessels)	\$785,880
WEDECO	1000	216	6	1/2	\$444,600*
	600	216	6	1/2	\$444,600*
	400	216	6	1/2	\$444,600*
	200	252	7	1/2	\$474,600
	25	324	9	1/2	\$566,600
ODI	1000	480	5	2/6	\$397,322*
	600	480	5	2/6	\$397,322*
	400	480	5	2/6	\$397,322*
	200	480	5	2/6	\$397,322*
	25	560	5	2/7	\$504,000

* Indicates the original UV equipment capital cost estimated by each manufacturer based on information provided on the UV Disinfection System Manufacturer Questionnaire. The values reported in this table reflect the original Irwin Creek WWTP UV System design capacity of 20 mgd. See Table 7 for Irwin Creek WWTP capacity and reuse limit values as provided during the bid evaluation.

Table 5 - Summary of UV Disinfection Design Criteria

		Sugar Creek WWTP	Irwin Creek WWTP
Peak Hourly Flow Rate (mgd)		40	30
Average Daily Flow Rate (mgd)		20	15
Maximum TSS (mg/L)		15	15
UV Transmittance @ 254 nm (%)		60	60
Maximum BOD (mg/L)		20	20
Maximum Iron Concentration (mg/L)		<1	<1
Fecal Coliform Limit- Discharge Permit Compliance (cfu/100 mL)	Daily Maximum	1,000	1,000
	Weekly Average	400	400
	Monthly Average	200	200
Fecal Coliform Limit- Reuse Limit Compliance (cfu/100 mL)	Daily Maximum	NA	14
	Monthly Average	NA	25
UV Dosage- Discharge Permit Compliance (mJ/cm ²)		30	30
UV Dosage- Reuse Permit Compliance (mJ/cm ²)		NA	80

Table 6 - Summary of Bid Lamp Operating Conditions and Component Part Guaranteed Prices

	WEDECO	ODI	Trojan 3000 Plus	Aquionics
No. of Lamps- Sugar Creek Discharge Limits	360	960	448	96
No. of Lamps- Irwin Creek Discharge Limits	288	720	320	72
No. of Lamps- Irwin Creek Reuse Limits	672	1,920	912	144
Guaranteed Lamp Life (hrs)	12,000	13,000	12,000	8,000
Guaranteed Ballast Life (yrs)	10	5	17	20
Guaranteed Wiper Life (No. of wipes)	30,000	1,000	1,000	8,000
Guaranteed Lamp Cost (\$/lamp)	\$160.00	\$45.00	\$125.00	\$367.50
Guaranteed Ballast Cost (\$/ballast)	\$275.00	\$135.00	\$315.00	\$1,560.00
Guaranteed Wiper Seal Cost (\$/wiper seal)	\$10.00	\$6.50	\$11.00	\$94.50
Guaranteed Quartz Sleeve Cost (\$/sleeve)	\$95.00	\$25.00	\$48.00	\$14.40

Table 7 - Summary of Bid Capital and Annual Operating Cost

		WEDECO	ODI	Trojan 3000 Plus ⁽¹⁾	Aquionics
UV Equipment Capital Cost (\$)	Sugar Creek Discharge Limits	\$433,100.00	\$628,000.00	\$491,000.00	\$581,900.00
	Irwin Creek Discharge Limits	\$363,300.00	\$543,350.00	\$399,000.00	\$351,900.00
	Irwin Creek Reuse Limits	\$742,800.00	\$1,007,200.00	\$860,000.00	\$659,900.00
Construction Impact Cost (\$)	Sugar Creek Discharge Limits	\$218,166.50	\$183,671.68	\$163,915.83	\$461,136.78
	Irwin Creek Discharge Limits	\$361,722.73	\$337,520.98	\$328,241.63	\$643,472.15
	Irwin Creek Reuse Limits	\$512,379.63	\$489,927.60	\$385,569.13	\$762,509.80
Total UV Equipment and Construction Cost ⁽²⁾	Sugar Creek Discharge Limits	\$651,266.50	\$811,671.68	\$654,915.83	\$1,043,036.78
	Irwin Creek Discharge Limits	\$725,022.73	\$880,870.98	\$727,241.63	\$995,372.15
	Irwin Creek Reuse Limits	\$1,255,179.63	\$1,497,127.60	\$1,245,569.13	\$1,422,409.80
Estimated Annual Power Consumption (\$/yr)	Sugar Creek Discharge Limits	\$20,704.74	\$27,682.30	\$17,678.56	\$69,608.49
	Irwin Creek Discharge Limits	\$16,556.90	\$21,854.45	\$12,601.26	\$68,854.80
	Irwin Creek Reuse Limits	\$38,621.02	\$55,364.60	\$34,400.52	\$137,709.60
Estimated Annual Equipment Replacement Cost (\$/yr)	Sugar Creek Discharge Limits	\$34,470.00	\$34,411.50	\$34,707.00	\$30,882.90
	Irwin Creek Discharge Limits	\$27,780.00	\$26,249.00	\$24,795.00	\$22,228.50
	Irwin Creek Reuse Limits	\$64,360.00	\$68,798.00	\$70,110	\$56,748.60
Estimated Annual Chemical Cost (\$/yr)	Sugar Creek Discharge Limits	NA	\$440.00	\$112.00	\$14,816.00
	Irwin Creek Discharge Limits	NA	\$440.00	\$80.00	\$11,112.00
	Irwin Creek Reuse Limits	NA	\$282.80	\$232.00	\$22,224.00
Estimated Annual Labor Cost (\$/yr)	Sugar Creek Discharge Limits	\$1,800.00	\$7,750.00	\$2,425.00	\$600.00
	Irwin Creek Discharge Limits	\$1,450.00	\$5,850.00	\$1,750.00	\$425.00
	Irwin Creek Reuse Limits	\$3,325.00	\$18,650.00	\$4,875.00	\$1,000.00
Total Net Present Worth Construction & O&M Cost	Sugar Creek Discharge Limits	\$1,237,536.57	\$1,534,891.98	\$1,220,068.97	\$2,235,723.82
	Irwin Creek Discharge Limits	\$1,196,169.93	\$1,440,579.58	\$1,130,879.85	\$2,051,335.04
	Irwin Creek Reuse Limits	\$2,349,068.58	\$2,969,579.27	\$2,373,533.41	\$3,662,359.64

(1) Values shown have been adjusted to account for non-responsive bid values.

(2) Includes 15% Contractor overhead and profit.

c) 総コスト削減を目的とした競争入札の実施

次に CMUD 社は、総事業コストの削減のために、システムの最終設計の決定以前に資材調達過程の実施を通し、発注者とエンジニアがいかに UV 市場において競争を行うことができるかを検討した。加えて、この決定に至る第一の評価と決定要因について議論した。この事業では、CMUD 社と CDM 社は共同でそれぞれ予備認可した UV システムの 40%設計図面を作成した。開水路・低圧・高密度システムと閉水槽・中圧・高密度システムの両方の最終技術仕様を作成し、資材調達に含めた。

興味をもった UV メーカーは、全ての資材、材料、導入に関する監督、訓練業務、導入試験の全てを含んだ業務範囲において競争入札を行った。入札においては各々のメーカーに対し、ランプ、バラスト、水晶スリーブ、ワイパーシール組立品について、保証した構成成品目の設置及び交換価格を提供するよう要求した。

UV 消毒システムの使用期間において電力費と維持管理費は重要な費用であるため、UV メーカーの業務範囲に対する報酬は、UV システム本体の資本費だけではなく、20 年間の運転・管理に対する現在価値に換算した費用と、UV システム装置及び関連する建築物の建設により影響される資本費を基にした。現在価値化した総建設事業費と運転・管理費を最小にした資材入札者が落札した。落札者は施設の最終設計を完成させた。

d) 結論

7 つの UV 製品の評価結果は、シュガークリークとアーウィンクリーク下水処理場の設計フローと下水水質によって特徴的であった。他の下水処理場において同様の分析を行えば個々のシステムの価格競争性において全く異なった結果が得られる可能性がある。

しかしながら、UV 消毒技術の改良と増大する類似性により UV 消毒法は排水消毒において競争力のある、信頼でき、費用面で効率的な選択肢となるであろう。機器・資材等の調達過程を追跡調査することにより、CMUD 社は総事業費を引き下げ、それぞれのプラントのニーズに即し、最も価値のある UV システムの最終設計を得ることができた。この目的は現在価値競争による入札過程を通して成し遂げられており、従来の設計と入札過程を通しては不可能であった。

4. フロー

本研究の流れを次のフローにて示した。

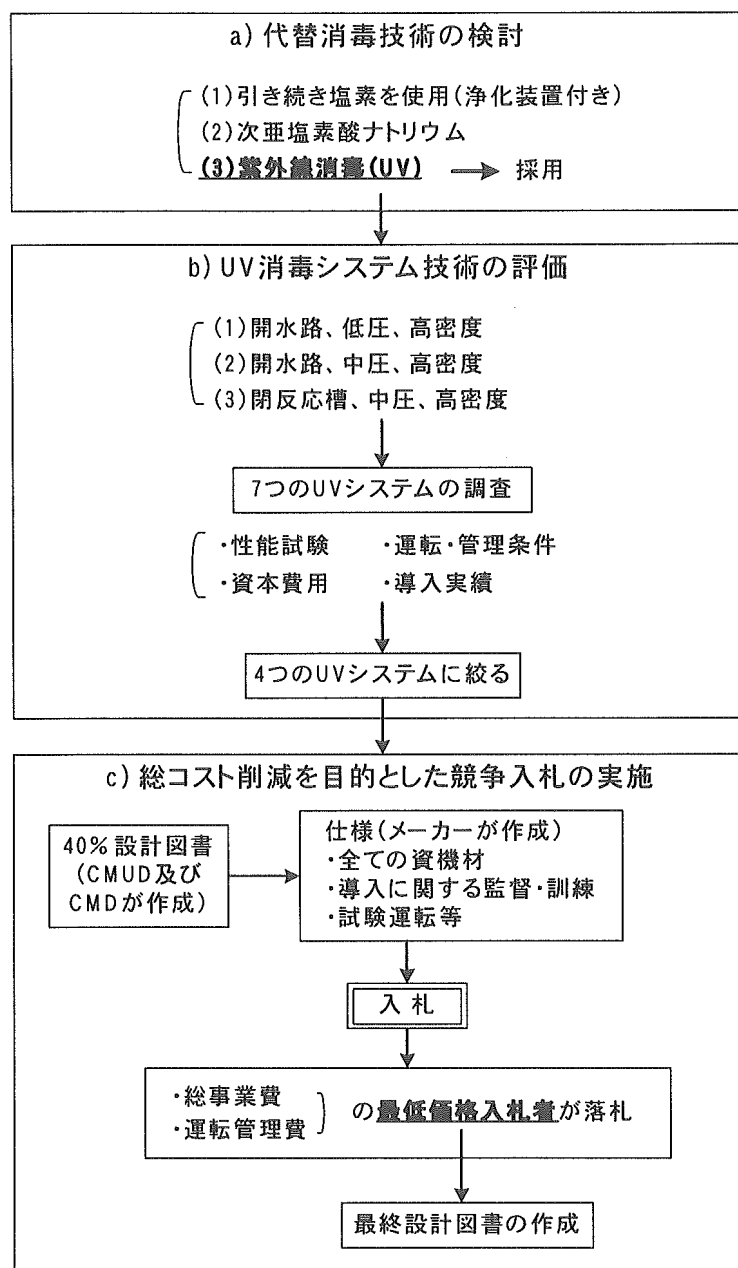


図 本研究のフロー

環境中の嫌気性芽胞の紫外線耐性の増加

Increased resistance of environmental anaerobic spores to inactivation by UV

W,A,M Hijnen ら

概要

Water Company Europoort は、オランダにおける水質基準を満たすために中圧ランプのパイロットプラント実験を開始した。その結果、Sulphite-reducing clostridia(SSRC)の嫌気性芽胞が、非常に紫外線耐性が強いことが確認された。180m³/h の流量にて、環境中のSSRCと試験室培養の *C.perfringens*、MS2 バクテリオファージ、*Bacillus subtilis* の紫外線耐性を比較したところ、SSRCは *C.perfringen* の約 1.6 倍の紫外線耐性を有していることが分かり、飲料水基準に関連したどの微生物より紫外線耐性が強いことが示された。そのため、SSRCは、オンサイトにおける紫外線耐性の有効性を確認できる指標の一つとなる可能性がある。今後は、SSRCの紫外線耐性の妥当性の検証及び、環境中における微生物の紫外線耐性の増加に関する研究を実施していく必要がある、

はじめに

Water Company Europoor(WBE)では、オランダの飲料水基準(VROM,2001)を満たすための紫外線照射量及び、照射時間を決定するためにプラント実験を行っている。SSRCの芽胞には、*C.perfringen*、も含まれており、1984年以降は、飲料水基準となっている。本研究においては、SSRCは、他の病原性を含む微生物より紫外線耐性が強いことを示す。

方法

実験設備と紫外線ランプの設置

紫外線装置(Berson ,In-line 1000)への流入水としては、Meuse 川を impoundment reservoirs、マクロストレーナ、凝集、フロック除去、重力活性炭ろ過を行ったものを使用した。紫外線装置は2つの連続した反応塔から成り、流量は40~180m³/hで運転した。

Figure.1 に示すパイロット実験では、片方みの装置を 180m³/h で運転を行った。

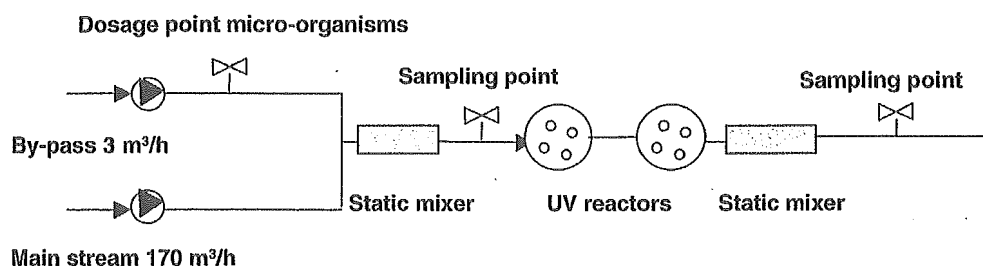


Figure 1 The UV pilot plant installation of WBE

反応塔は、4つのチューブを傾け設置し、中圧ランプ(B20200)を使用した。紫外線照射量は、770,990,1150J/m²にて運転を行った。流量、紫外線透過率及び紫外線出力は、チューブより1cmのところ設置した、紫外線センサー等を用いて測定した。反応塔1,2の紫外線ランプの照射期間は34~304日程度である。

通常運転時の不活化性能

紫外線消毒装置の不活化性能は、原水中のSSRC濃度より計算した。流入水および流出水のSSRC濃度は特別なオンサイト膜ろ過装置(Hijnen et al.,2000)を用いた大容量サンプリングにより測定した。

実験

実験室培養のSSRCの不活化率を測定するために、*Clostridium perfringens* (D10)を用いた試験を行った。同時に、UV253.7nmでの紫外線耐性が既知である*Bacillus subtilis* ATCC 6633を用いて、殺菌照射量の算出を行った。また、紫外線によるウイルスの不活化サロゲート物質として、F-Specific RNA バクテリオファージ、を併せて添加した。

投入した微生物の攪拌を確実にを行うため、微生物はBy-passラインに添加した後、スタティックミキサーにより攪拌を行った。また、同様の理由で、紫外線装置の後段にもスタティックミキサーを設置した。200Lのステンレス容器内に100LのGAC処理水と微生物を加え、スターラーにて攪拌しながら、30L/hの流量でバイパスラインに注入した。クロスコネクションを避けるため、流入水と流出水は別々の人間により採水し、芽胞は2回測定を行った。

微生物分析手法

流入水と流出水のSSRCは、*Perfringens* 寒天培地(PAB.Oxoid CM5878)を用いて分析した。サンプルを100mL採水し、70±1℃で30分間殺菌した後、ろ過を行った。1L以上の水を通水した膜にてサンプル水を通水後、液化培地上にて0±1℃で30分間殺菌し、SSRC法に基づき、計数した。

Bacillus subtilis ATCC 6633(10¹¹/g)をフリーズドライした芽胞をVienna大学より入手し、30-50mgを10mlの滅菌水に添加し懸濁させ37±1℃で24時間標準寒天培地(Difco 247040)で培養した後、計数した。

C.perfringens と *B.Subtilis* の懸濁液は培養前に前処理を行った。10mlの懸濁液をホモジナイザー(Branson Digital Sonifer)を30秒間用いた後、8mmの滅菌済みのフィルターを用い、夾雑物を除去した。

MS2大腸菌ファージにおいては、ISO10905に基づき分析した。MS2は、0.22mmのフィルターを用いて、夾雑物を除去した。

紫外線照射量、殺菌照射量と不活化性能

紫外線照射量は、Berson model BUV3D を用いて計算した。紫外線透過率を用い、紫外線分布は、点光源積み上げ法を用い計算した、平均紫外線照射量は、これらのデータ及び、平均照射時間、流量より計算した。紫外線照射量は、紫外線出力(3段階)及び流量により規定され、ランプ稼働時間、ランプのファウリング、水質により補正される。なお、ワイパーにより、ランプは1時間毎に洗浄が行われる。

殺菌照射量即ち Reduction Equivalent Fluence(REF)は、生物線量計として、*B.subtilis* を用いることにより算出した。なお、使用した *B.subtilis* は下式で表される。

$$REF=145.149*\log(C_{out}/C_{in})+100.623$$

ここで、 C_{in} 、 C_{out} は流入水、流出水の芽胞濃度であり、REF は 253.7nm での計測紫外線量を表す。

不活化性能即ち、Decimal elimination capacity(DEC)は、下式で洗わせられる。

$$DEC=\log C_{in} - \log C_{out}$$

結果

環境中の SSRC の紫外線による不活化

流入水および流出水の平均 SSRC 濃度は、5.0/L(SD=6.0)及び 0.28/L(SD=0.48)であり (n=32)、DEC は 1.3log であった。実際の不活化率は 0.20~2.92log(平均 1.50log)であり、Figure2 に示すように、照射線量と線形関係にある。一次不活化反応と仮定すると、不活化速度定数は 0.0132mJ.cm² である。

100mJ/cm² の紫外線量で、試験室培養の *Clostridium perfringens* が 2.8log 不活化したとの報告があるが、これは、Figure 2 に示す SSRC の不活化効率の 2 倍の値である。この差異は、装置若しくは、環境中と試験室培養との差にあると思われる。そこで、試験室培養の微生物と環境中の SSRC を同時に WBE UV システムを用いて実験を行った。

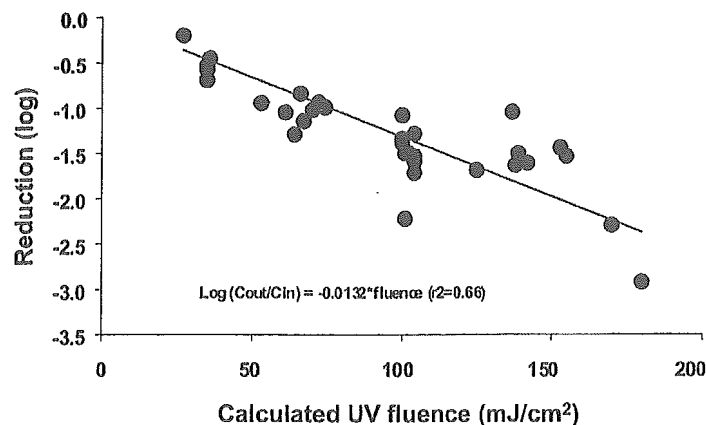


Figure 2 The relation between the inactivation of environmental SSRC in the WBE water and the calculated UV fluence