

II-454 汚泥消化の最小消化日数に関する研究

早稲田大学理工学部 ○ 学会員 倉持 哲 弥
 早稲田大学理工学部 正会員 遠 藤 郁 夫
 群馬工業高等専門学校 正会員 大 森 忠

1. 緒論

汚泥消化の消化日数に関しては、消化温度、或は、ガス発生量、pH、揮発性有機酸および有機物分解率等の諸点から、多くの議論がなされて来た。特に、汚泥消化の高率化を計るために、投入汚泥濃度を高め、連続投入或は半連続投入、連続攪拌等をして、消化槽内を均一な混合液状態として、消化を促進させ、著しく消化日数を短縮しようとする、いわゆる“高率汚泥消化”がある。また、最近では、分相型汚泥消化の研究なども行なわれている。しかしながら、汚泥消化における最小消化日数についての研究は甚だ少なく、実際の汚泥消化槽の設計に当っては、安全率を経験的な範囲で考えているのが現状である。本研究は、汚泥消化に関して、動力学的解析を行ない、最小消化日数を算定し、合理的に安全率を求め、汚泥消化槽の設計に際し、消化日数の意義を、一層明らかにしようとするものである。

2. 最小消化日数の算定

汚泥消化に関する動力学的解析に際して、特徴の一つは、他の生物学的処理法、例えば、活性汚泥法に比較して、滞留時間が非常に大きいことから、動力学的に諸関係を検討するに当っては、比死滅速度 K^d の影響を無視することかできないことである。我々の研究によれば、消化日数15~40日の範囲では、比増殖速度 K と K^d との比 K^d/k は18~40%と非常に大きいことが認められた。従って、正味の比増殖速度 K は、 $K = K - K^d \approx k$ として、しばしば動力学的諸関係を簡単に求めるために使用されるが、汚泥消化の解析に当っては、極めて慎重に配慮すべきであろう。そこで、本研究では、最小消化日数をより一層正確に算定するため、 K^d を考慮して、次の様に求めた。すなわち、完全混合型汚泥消化槽内の基質の物質収支は、

$$V \frac{dX_1^s}{d\theta} = F X_0^s - \frac{K X_1^s}{Y} V - F X_1^s \quad (1) \quad \theta = \frac{V}{F} \quad (2) \quad \frac{dX_1^s}{d\theta} = \frac{1}{\theta} X_0^s - \frac{K X_1^s}{Y} - \frac{1}{\theta} X_1^s \quad (3)$$

V ; 消化槽容積, X_0^s ; 流入水基質濃度, X_1^s ; 消化槽内基質濃度, X_1^i ; 消化槽内菌体濃度, θ ; 時間, K ; 比増殖速度, θ^i ; 滞留時間, F ; 流入水(流入速度), Y ; 菌体収率(単位基質当りの菌体量)

となる。汚泥消化槽内が定常状態では、 $dX_1^s/d\theta = 0$ であるから、(3)式より、 $K X_1^s = Y (X_0^s - X_1^s)/\theta^i$ (4) となる。また、微生物の物質収支は、

$$\frac{dX_1^i}{d\theta} = (K - K^d - \frac{1}{\theta^i}) X_1^i \quad (5) \quad K^d; \text{比死滅速度}$$

となる。(5)式において、汚泥消化槽内が動的平衡状態である場合、つまり定常状態では、 $dX_1^i/d\theta = 0$ であるから(5)式は、 $K - K^d = 1/\theta^i$ (6) となる。希釈率を D とすると、(7)式を得ることができる。

$$K - K^d = 1/\theta^i = D \quad (7) \quad 1/\theta^i = D; \text{希釈率 } \text{day}^{-1} \text{ となる。}$$

一方、比増殖速度 K は、Monodによれば次式で表わすことができる。 $K = k^m X_1^s / (K^s + X_1^s)$ (8) k^m ; 最大比増殖速度、 K^s ; 最大比増殖速度の $1/2$ を示すときの基質濃度 従って(7)式は(8)式より、

$$D = K - K^d = \frac{k^m X_1^s}{K^s + X_1^s} - K^d \quad X_1^s = \frac{K^s (D + K^d)}{k^m - (D + K^d)} \quad (9)$$

となる。従って、 X_1^s は(9)式で表わすことができる。また、(4)式に(7)式および(9)式を代入すると、(10)式となる。この式は、汚泥消化槽内の微生物の増殖速度を示している。微生物増殖速度が最大となる D の値は(10)式から、

$$X_0^s(D+K^d) = DY_0^s \left\{ X_0^s - \frac{K^s(D+K^d)}{K^m - (D+K^d)} \right\} \quad \text{---(10)}$$

$$\frac{d\{X_0^s(D+K^d)\}}{dD} = 0 \quad \text{---(11)}$$

として求めることができる。

$$\frac{d\{X_0^s(D+K^d)\}}{dD} = Y_0^s \left\{ X_0^s - \frac{K^s(D+K^d)}{K^m - (D+K^d)} \right\} - Y_0^s D \frac{\{K^m - (D+K^d)\}K^s + K^s(D+K^d)}{\{K^m - (D+K^d)\}^2}$$

$$= \frac{Y_0^s}{\{K^m - (D+K^d)\}^2} \left\{ (X_0^s + K^s)D^2 + 2(X_0^s + K^s)(K^d - K^m)D - (K^d - K^m)(X_0^s K^m - X_0^s K^d - K^s K^d) \right\} = 0$$

となる。従ってDについて解くと

$$D = \frac{-(X_0^s + K^s)(K^d - K^m) \pm \sqrt{\{(X_0^s + K^s)(K^d - K^m)\}^2 + (X_0^s + K^s)(K^d - K^m)(X_0^s K^m - X_0^s K^d - K^s K^d)}}{X_0^s + K^s}$$

$$= K^m - K^d \pm \sqrt{\frac{K^s K^m (K^m - K^d)}{X_0^s + K^s}} \quad \text{---(12)}$$

となる。この場合、(12)式において $K = K^m$ とすれば、

$$K^m - K^d = D'$$

となる。従って、Dは常に $D < D'$ であるから、(12)式は、

$$D = D_m = K^m - K^d - \sqrt{\frac{K^s K^m (K^m - K^d)}{X_0^s + K^s}} \quad \text{---(13)}$$

となる。一般の運転条件では、図1に示してあるように $K^s \ll X_0^s$ であるから、 $D_m \ll K^m$ となることが認められる(ただし、生活污水BOD濃度 $X_0^s = 18560 \text{ mg/l}$)。 (13)式に表1のモデル定数および生活污水BOD濃度 $X_0^s = 18560 \text{ mg/l}$ をそれぞれ代入すると、

$$D = D_m = 0.395 - 0.01 - \sqrt{\frac{8998 \times 0.395 (0.395 - 0.01)}{18560 + 8998}}$$

$$= 0.162 \text{ day}^{-1}$$

$$D = D_m = \frac{1}{\theta_m^*} = 0.162 \text{ day}^{-1}, \quad \theta_m^* = 6.2 \approx 7 \text{ day}$$

となる。従って、生活污水のBODが 18560 mg/l の場合、微生物の増殖速度が最大となる消化日数は7日となる。すなわち、中温消化における最小消化日数は7日消化と考えることができる。このことは、MorganおよびRoy等の研究による、7.2或は6日消化と全く良く適合している。また、遠藤らは、7日消化 $\times 1.5 = 10.5$ 日消化、Torpeyは11日消化、Morganは12日消化およびSchmidtは10日消化で、それぞれ極めて良好な消化状態が得られたとしている。この場合、消化が円滑に進行して動的平衡状態となり、完全に定常状態が維持できるための条件については、遠藤、市川らの研究で明らかにしている。

結局、以上のことから、汚泥消化槽の安全率を算定する最小消化日数は7日消化と考えられるから、実際の中温汚泥消化槽(30日消化)の安全率 $F = 30/7 \approx 4$ となる。現在、シカゴ市で運転されている高率汚泥消化槽(37℃)は14日消化であるから、安全率 $F = 14/2 = 7$ 、従って、実際の中温汚泥消化槽では、汚泥管理が十分行なわれていれば、 $F = 2$ 、普通の場合は $F = 4$ と見ることができる。従って、安全率 $F = 2 \sim 4$ の範囲と考えることができる。

表-1 動力学 Modelの定数

対数増殖期 (day)	Y_0 (mgVS/mgBOD)	K_d (day ⁻¹)	K_m (day ⁻¹)	K_s (day)	係数算定条件
15 ~ 40	0.618	0.01	0.395	8998	BOD, VS

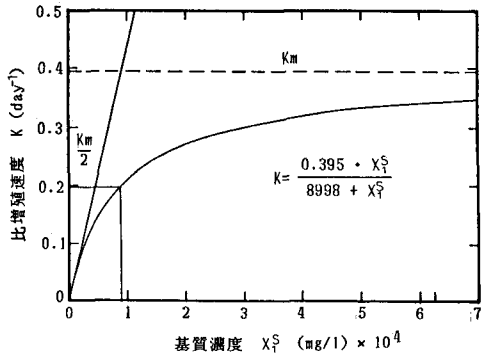


図-1 基質濃度に対する比増殖速度