

## 소화슬러지의 비저항계수(SRF)와 모세관흡입시간(CST)의 상호관계식 유도 및 비교

김지형<sup>1</sup>, 나승민<sup>1</sup>, 박지호<sup>2</sup>, 김영욱<sup>2</sup>

### Coupling Equation of Specific Resistance to Filtration(SRF) and Capillary Suction Time(CST) of Digested Sewage Sludge

Jee-Hyeong Khim<sup>1</sup>, Seung-Min Na<sup>1</sup>, Ji-Ho Park<sup>2</sup> and Young-Uk Kim<sup>2</sup>

**요 약** CST와 SRF는 슬러지 탈수효율 인자로 가장 널리 사용되고 있다. 이러한 CST와 SRF는 각각의 분석특징의 장·단점으로 인해 실험방법 및 결과 해석시, 슬러지 탈수의 최적조건을 찾아 예측하는데 어려움이 있다. 따라서 본 연구는 탈수성 지표로 이용되는 CST와 SRF의 이론식 가운데 CST와 SRF의 상호관계식을 유도하여 각각의 실측값과 예측값을 비교한 후 비교적 측정이 간편한 CST시험만으로도 탈수최적조건을 도출할 수 있는 이론식을 검토하였다.

**Abstract** Capillary Suction Time(CST) and Specific Resistance to Filtration(SRF) were commonly used to evaluate the sludge dewatering behaviors. A coupled equation was developed through the mathematical theory which represented both CST and SRF as the physical filterability of the ultrasonically treated sludge. The model for coupling CST and SRF includes both equipment variables and variables related to sludge characteristics, and verified with the results from experiments. The results of the theoretical and experimental study showed that a good correlation relationship among dewaterability indices.

**Key words** : CST, SRF, dewaterability

### 1. 서론

우리나라는 하수 처리장이 급격히 증가하는 추세이며, 하수처리장에서 발생하는 유기성 슬러지의 양 또한 급격히 증가하고 있다. 이에 따라 연간 약 280만톤 이상의 하수슬러지가 발생할 것으로 예상 된다[1],[5]. 이렇게 발생된 슬러지 처리가운데, 슬러지의 함수율은 소각 및 재활용등에 있어 처리비용을 결정하는 가장 중요한 요소가 됨으로써, 슬러지의 탈수성 개선방안에 관한 연구가 활발히 시도되고 있다.

슬러지의 탈수효율을 평가하기 위해 사용되는 인자로는 CST와 SRF(specific resistance to filtration)를 들 수 있다. 비저항계수(SRF,  $r$ )시험은 대부분 슬러지의 약품주입시 최적주입량을 결정짓기 위한 탈수지표[4],[6] 및 슬러지 탈수성을 평가하는 간접지표로 널리 이용 된다[2],[9]. CST 시험은 적은양의 시료를 가지고 짧은 시간 내에 여

과지에 발생하는 흡입압에 따라 슬러지의 여과성(filterability)를 평가하는 방법으로 실험방법이 간단하며, 특별한 기술이나 시간을 요하지 않는다[3],[11]. 하지만 CST 결과는 분석자에 따라 재현성이 떨어지고 실험기간 동안 표면장력이 계속 증가하므로 물리적인 해석이 간단하지 않은 문제점이 있다[7]. 반면에 SRF 시험은 CST 보다 정확하게 측정되며, 탈수의 최적조건을 찾고서 개량방법에 따른 효과를 예측하는데 있어서 매우 유용한 인자로 널리 이용되지만 SRF 시험 역시 일정한 압력상태가 요구되며 많은 시간과 기술을 필요로 한다[3],[13]. 이러한 각각의 장·단점 때문에 CST와 SRF는 어느 한 실험만을 가지고 다른 값을 예측하거나 설명하는데 어려움이 있다. 현재는 단지 CST와 SRF 실험을 통해 구한 1차 경험식으로부터 두 탈수지표 변수의 이용 가능성 및 상관계수( $R^2$ ) [4],[13]만을 평가 한 것이 대부분이라 할 수 있다.

따라서 본 연구는 앞에서 설명한 연구들의 단점에 대한 보완점을 도출하고자 CST와 SRF의 이론식을 이용하여 CST와 SRF의 상호연관 관계식을 유도하여 보았다. 즉, 둘 중 하나만의 지표로도 연관성 깊은 다른 지표를

이 논문은 경기중소기업청 지원에 의해 연구되었음

<sup>1</sup>고려대학교 사회환경시스템공학과

<sup>2</sup>명지대학교 토목환경공학과

교신저자: 김영욱(yukim@mju.ac.kr)

도출 할 수 있는 식을 이론에 의해 구하였다. 도출된 관계식을 이용하여 예측값을 실측값과 비교하였으며 비교적 측정이 간편한 CST시험만으로 SRF를 도출하고 이를 이용한 탈수최적조건을 구할 수 있는지를 검토하였다.

### 2. 실험방법 및 조건

채취한 슬러지는 혼합슬러지로, 이것은 소화 후 약품을 통과하기 직전의 배관에서 직접 채취하여 냉장보관 후 모든 실험에 15일 이내에 사용되었다. G 하수슬러지의 함수율은 90~95 % 으로 각 성분분석 결과는 [표1]에 정리하였다.

표 1. 소화슬러지 초기특성

Components	TCOD	SCOD	T-P	TKN	TSS	VSS
mg/L	9400±100	460±40	25±2	640±20	14200	10400

초음파 반응기는 일반 연구실에서 가장 널리 이용되는 Clean Bath형으로 반응기의 밑단에 초음파 전단인자를 설치하여 시료에 균일하게 에너지가 전달되도록 하였다. 초음파 반응기는 36×36×36 cm규격의 스틸재질의 판으로 제작되었으며, 실험의 운전조건은 [표2]와 같이 실시하였다.

표 2. 초음파 운전조건

변수	실험조건
주파수	28kHz
공정	회분식 실험
샘플용량(ml)	200/300
초음파 파워(W)	100, 300, 600
초음파 강도(W/cm2)	0.17, 0.52, 1.05
온도(℃)	Not control (15~60℃)
운전시간(min)	0(control), 10, 30, 60, 90,120

### 3. CST와 SRF 이론식

Gale와 Baskerville[12]은 모세관을 통해 수분이 빠져가는 현상을 응용하여, 수분이 일정구간을 통과하는데 소요되는 시간을 측정함으로써 슬러지 탈수성을 측정하고 이것을 CST라 정의 하였다. 이후에 여러 연구자들에 의해 CST의 이론 및 적용에 관한 연구들이 진행되어 왔으

며[7], 이 가운데 Vesilind[11]는 Darcy's law의 이론과 슬러지 이동속도 개념을 이용하여 슬러지 수분이 [그림 1(b)]에서 제시한 바와 같이 이동할 경우 다음과 같은 방법으로 CST에 관한 식( $t_{CST}$ ) (1)을 제안하였다.

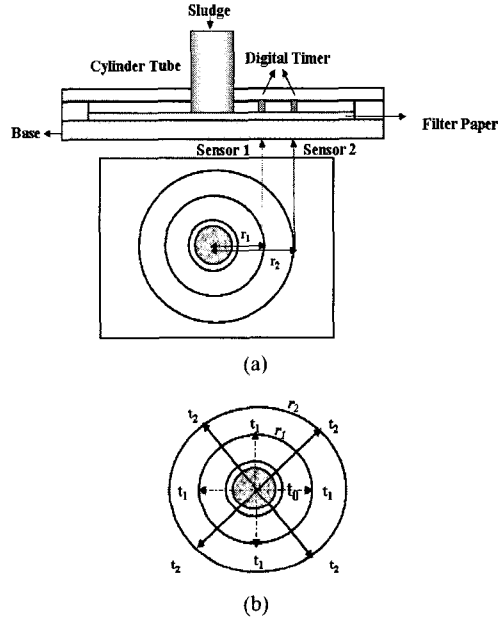


그림 1. CST 실험기 (a), CST 상부 모식도 (b)

$$t_{CST} = \left[ (D_2' - D_1') \left( \frac{\pi d}{AP} \right) \right] \times \left[ \frac{\mu C}{\chi} \right] \tag{1}$$

- 여기서,  $d$  = Filter paper depth (thickness, m)
- $A$  = Area on the bottom of collar and hence the collected sludge on the paper through which flow occurs ( $m^2$ )
- $P$  = Capillary suction, analogous to the head term in the Darcy eq. (atm,  $N/m^2$ )
- $\mu$  = Viscosity of sludge( $kg/m\cdot sec$ ,  $N\cdot sec/m^2$ )
- $C$  = Solid conc. of sludge ( $kg/m^3$ )
- $\chi$  = Constant that incorporates permeability and the conversion factor from depth  $S$  to concentration  $C$  for a given area  $A$  ( $kg^2/m^4\cdot sec^2$ ,  $kg/m^2$ )

하지만 Vesilind[11]가 제시한 식 (1)의 슬러지 수분이 이동한 실제거리는 다음과 같이 다르게 (정리하여) 나타낼 수 있다. [그림 1(a)]에 제시한 실린더 튜브(Cylinder Tube)에 슬러지를 주입하게 되면, 슬러지 내부 수분이

필터에 흡수되어 원형의 테두리를 형성하며 확장해 나간다. 이때 CST는 sensor 1, 2를 지나가는 시간 즉  $r_1$ 에서  $r_2$ 까지 슬러지 수분이 여과지표면으로 이동하는 시간 ( $t_{CST} = \Delta t = t_2 - t_1$ )을 의미하며,  $t_{CST}$ 동안 슬러지가 이동한 최종거리는 여과지 직경(D)만큼 이동하지만 중앙에서 원형형태로 퍼져나가므로  $t_{CST}$ 동안 이동한 슬러지 여과 길이는  $\Delta r_{cst}$  ( $\Delta r_{cst} = r_2 - r_1 = \frac{1}{2}(D_2 - D_1)$ ) 만큼 이라 할 수 있다. 따라서 슬러지가 여과지 흡입압에 따라 흡수되어 이동하는 표면속도(v)는 식(2)와 같이 나타낼 수 있다.

$$v = \frac{dr}{dt} = \frac{Q}{2\pi r d} \quad (2)$$

여기서, Q = Flow rates from the collar into the paper ( $m^3/sec$ )  
 r = A radius of watered area ( $m^2$ )  
 d = Diameters  $D_1$  and  $D_2$  are located at the two sensors ( $D_1=2r_1, D_2=2r_2$ )

식(2)을  $t_{CST}$ 동안  $\Delta r_{cst}$  만큼 이동한 거리 즉,  $r_1$ 에서  $r_2$ 만큼 이동한 거리를 적분할 경우, 식(3)와 같은 CST( $t_{CST}$ )식을 얻을 수 있다.

$$\int_{r_1}^{r_2} r dr = \frac{Q}{2\pi d} \int_0^t dt$$

$$\therefore t_{CST} = (r_2^2 - r_1^2) \left( \frac{\pi d}{Q} \right) \left( \approx \frac{Vol.}{Q} \right) \quad (3)$$

즉, CST( $t_{CST}$ )동안 실제 슬러지 수분이 이동한 거리는 원형의 테두리 형태로 sensor 1, 2를 지나가는 직경면적차 ( $D_2^2 - D_1^2$ )처럼 보인다. 하지만 초기 슬러지 수분이 흘러가는 지점은 중앙(원점)에서 시작하여 CST를 측정하는  $t_1(1/2D_1)$ 과  $t_2(1/2D_2)$ 의 거리는 위에서 설명한대로 반지름의 면적차 ( $r_2^2 - r_1^2$ )형태로 달리 나타날 수 있다.

[그림 1] 실린더 튜브(Cylinder Tube)에 슬러지를 주입할 경우 여과지 표면에 슬러지 고형물이 축적되고, 이 고형물 공극사이로 슬러지 내부수분이 빠져 나가는 여과공정이 일어난다. 이처럼 다공성 매질(porous medium)을 통과하는 슬러지수분 유량(Q)은 Darcy의 식을 이용하여 나타낼 수 있으나, 슬러지의 고형물 농도가 높을 경우, 시간에 따라 페이퍼 필터에 정제되는 고형물의 양은 증가하게 된다. 그러므로 침전된 케이크고형물 두께

(S=deposited cake depth)는 슬러지고형물 농도(C=solids concentration)에 비례하므로,  $S \propto C$ 로 가정할 수 있다. 따라서 슬러지수분 유량(Q)은 식(4)와 같이 나타낼 수 있다.

$$Q = \frac{Ak_2P}{\mu S} \Rightarrow Q = \frac{A\chi P}{\mu C} \quad (4)$$

$$[X = \frac{k_2}{S} C \text{ (X = filterability = permeability)}]$$

여기서,  $k_2$  = permeability( $m^3$ )  
 S = depth of solids deposited on paper surface(m)

따라서 식(1)의 경우, 슬러지 수분유량(Q)에 관한 식(4)을 식(3)에 대입하면, 다음과 같은 CST( $t_{CST}$ )이론식을 얻을 수 있다.

$$\therefore t_{CST} = \left[ (r_2^2 - r_1^2) \left( \frac{\pi d}{AP} \right) \right] \times \left[ \frac{\mu C}{\chi} \right]$$

$$= K(CST\text{기기물리적상수값}) \times \left[ \frac{\mu C}{\chi} \right] \quad (5)$$

위 식(5)의 CST( $t_{CST}$ )이론식의 경우,  $t_{CST}$ 를 결정짓는 변수는 슬러지의 고형물농도(C)와 점성계수( $\mu$ )에 따라 달라짐을 예상할 수 있다. 즉, 초기 CST시험조건에 따른 실험 장치의 물리적 상수값 "K"가 정해지면 CST실험을 통해 구한  $t_{CST}$ 는 " $\mu C / \chi$ "의 범위에 따라 얻어지는 값이다. 결국 CST값이 낮아 탈수성이 향상된 슬러지 조건은 고형물(C)의 함량과 점성계수( $\mu$ )가 낮을수록 투수계수( $\chi$ )가 높을수록 나타나는 결과임을 판단 할 수 있다.

SRF시험 역시 슬러지 부피층에 기계적인 힘을 가하여 입자와 물을 분리하는 것으로, 즉 슬러지내 입자는 여과지에 부착되고 탈수여액은 여과지를 통과하여 배출됨에 따라 고액 분리가 이루어진다. 이때 공극사이를 통과하는 유체의 흐름은 Darcy의 식을 기초로 하여 슬러지내 수분 여과를 해석할 수 있다. 자세한 유도는 이미 잘 알려져 있으므로 지면 관계상 여기서는 생략한다.

$$\frac{t}{V} = \frac{\mu r w V}{2PA^2} + \frac{\mu R_f}{PA} \quad (6)$$

여기서,  
 w = the weight of dry solids per volume of filtrate ( $kg/m^3$ )  
 $r$ (SRF) = the specific resistance of filtration ( $m/kg^3$ )

- $R_f$  = filter medium resistance
- $L$  = height(thickness) of sludge cake (m, L)
- $v$  = settled sludge cake volume per unit volume of filtrate (-)
- $V$  = total sludge volume ( $m^3, L^3$ )
- $A$  = during permeation, the total area contacting sludge cake ( $m^2, L^2$ )

식(6)의 첫 번째 항은 슬러지케이크를 통한 탈리액의 여과특성을 나타낸 것이고, 두 번째 항은 초기 여과지(filter)에서의 탈리액 흐름을 나타낸 것으로 SRF시험에서는 이 두 번째 항인 여과지를 통한 탈리액 흐름은 매우 작아 무시한다 ( $\therefore Rv = \frac{1}{k_2}v = ur$ ). 즉 이렇게 유도한 식(6)은 다시 식(7)과 같이 많이 알려져 있는 간단한 일차식 선식으로 표현 할 수 있다.

$$t/V = bV + a \tag{7}$$

여기서  $b = \mu rw / 2PA^2$ ,  $a = R_f \mu / PA \approx 0$  이다. 식(7)에서  $t/V$ 와  $V$ 는 직선선형회귀 관계를 가지며 "b"값은 이때의 기울기로 구할 수 있다. 따라서 비저항계수(r)은 식(8)과 같다[8],[10].

$$b = \frac{\mu rw}{2PA^2} \Rightarrow r = \frac{2PA^2 b}{\mu w} \tag{8}$$

식(8)의 SRF는 여과면적(A)및 여과압력차(P)등 진공탈수시 결정되는 실험인자와 슬러지 점도( $\mu$ ), 탈리액당 건조고형물 농도(w)등의 슬러지 특성에 따라 영향을 받는다. 하지만 식(8)의 SRF(r)은 위 식(6)의 실험적 결과를 통해 구한 기울기(b)값을 다시 SRF형식으로 바꾸어 계산한 것으로 결국 SRF를 결정짓는 변수는 기울기(b)이다. 즉 비저항시험에서 여과면적(A)과 압력차가 상수로 일정하고, 각 슬러지 샘플마다 온도에 따른 점도( $\mu$ )변화 및 고형물의 차가 크지 않다고 할 때, SRF를 결정짓는 변수는 기울기(b)인 것이다.

#### 4. CST와 SRF 상호관계식

이번 연구에서 CST와 SRF를 연결 시켜주는 매개변수를 투수계수로 보았다. 앞에서 설명한 이론식들의 기본 가정 자체가 Darcy의 법칙에 근거하고 있고 두개의 시료가 동일하다면 두 시험 시료(CST와 SRF를 동시에 측정

할 경우) 입자 사이를 흐르는 물의 투수계수가 같다고 가정 할 수 있다. 즉, CST 측정 시간이 매우 짧아서 실험시간동안 투수계수가 일정하다고(시료 높이의 변화도 미미하였음) 가정 할 수 있으며 SRF 실험인 경우, 역시 시료의 높이가 매우 낮고 SRF를 계산하기 위해 구한 기울기(b)값이 일정 탈리시간 동안의 평균값(time/Vol<sup>2</sup>)이므로 일정한 농도에서 일정한 투수계수를 시험 시간동안 유지한다고 할 수 있다. 하지만, 초기(t=0일 때) 각기 다른 물리적 조건(압력, 투수되는 면적)에서 실험이 시행되므로, 이러한 차이는 초기 비중량의 비( $C' \approx$ 초기슬러지 다짐비)를 이용하여 식 (9)처럼 보정하여 나타낼 수 있다.

$$k_s \gamma_s \approx k_c \gamma_c \text{ 또는 } k_c = k_s \times \frac{\gamma_s}{\gamma_c} = k_s \times C' \tag{9}$$

- 여기서,  $k_s$  = SRF 시험 시 시료의 투수계수
- $k_c$  = CST 시험 시 시료의 투수계수
- $\gamma_s$  = SRF 시험 시 시료의 농도 또는 단위중량
- $\gamma_c$  = CST 시험 시 시료의 농도 또는 단위중량
- $C'$  = 비중량의 비  $\frac{P_s/h_s}{P_c/h_c} = \frac{\gamma_s}{\gamma_c} = C'$

이러한 식(9)에 식(4)( $\chi = \frac{k_2}{S}C$ )와 앞에서 언급한 SRF식 유도한 식 가운데  $Rv = \frac{1}{k_2}v = ur$ 을 대입하여 정리하면 다음과 같이 SRF 시험에 의한 투과계수 관계식을 구할 수 있다.

$$\frac{1}{k_s} = \frac{C'}{k_c} \Rightarrow \frac{C'}{\chi S} v = ur \Rightarrow \therefore \chi = \frac{vCC'}{Su} \times \frac{1}{r} \tag{10}$$

또한 슬러지수분 투과계수( $\chi$ )은 식[5]의  $t_{CST}$ 을 통하여 식(11)처럼 나타 낼 수 있다.

$$\begin{aligned} \chi (M/L^2) &= \left[ (r_2^2 - r_1^2) \left( \frac{\pi d}{AP} \right) \right] \times \left[ \frac{\mu C}{t_{CST}} \right] \\ &= (\text{물리적 상수값}) \times (\text{슬러지특성값}) \times \frac{1}{t_{CST}} \\ &= K(\text{상수}) \times \frac{uC}{t_{CST}} \end{aligned} \tag{11}$$

SRF시험으로 유도한 투과계수( $\chi$ )-식(10)와 CST시험에서 구한 투과계수( $\chi$ )-식(11)을 이용하여 정리해보면 다

음과 같이 CST와 SRF 간의 관계식을 유도 할 수 있다.

$$\chi = K(\text{물리적상수}) \times \frac{C\mu}{t_{CST}} = \frac{C'Cb}{Sw} \times \frac{1}{r}$$

$$\therefore t_{CST} = K \times C\mu \times \frac{Sw}{C'Cb} \times r = K \times \frac{Sw\mu}{C'v} \times r \quad (12)$$

위의 식은 CST( $t_{CST}$ )와 SRF 관계를 나타내고 있으며 이는 CST 시험조건에 따른 물리적 변수값과 비저항시험(SRF)에서 구한 슬러지의 비저항계수( $r$ ) 및 슬러지의 특성( $Sw\mu/C'$ )을 알고 있다면 CST( $t'_{CST}$ )값을 예측할 수 있는 것을 보여주고 있으며 역으로 CST 시험결과를 이용하여 SRF를 예측 할 수 있음을 나타내고 있다.

소화슬러지에 초음파를 가하면 CST가 시간별로 변하게 되는데 이를 이용하여 도출된 관계식을 검증한 결과를 [표3]에 정리하였다. 즉, 같은 시료를 이용하여 시간별로 CST( $t_{CST}$ )와 SRF를 측정하고 측정된 SRF 값과 식(12)을 이용하여 계산된 CST 값과 측정된 CST 값을 비교하여보았다. 끝에 칸에는 본 연구에서 사용된 대표 변수값을 제시하고 있다.

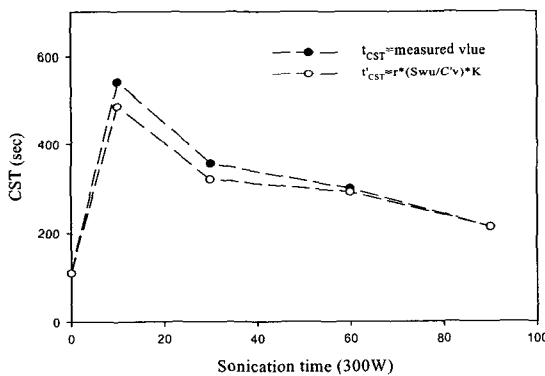


그림 2.  $t_{CST}$  와  $t'_{CST}$  비교

표 3. CST, SRF 변수들과 실험값

factor	time	CST <sub>M.V</sub>	CST <sub>E.V.</sub> 식[16]	SRF <sub>M.V</sub>	K(물리적상수)	$1.51434 \times 10^{-6}$
	0	110.00	110.00	2.44	$C'$ (비중량의비)	130
	10	540.10	485.12	5.48	$w$ (슬러지고형물)	측정값
	30	356.18	320.28	3.81	$\mu$ (점도)	$f$ (temp. -sludge)
	60	300.30	292.19	3.41		
	90	213.12	213.52	3.32	$v$	

M.V = measured value, E.V.= estimated value

[그림 2]는 [표 3]에서 제시한 변수값을 식(12)에 대입한 후 구한 CST 를 비교한 그래프이다. 그림에서 알 수 있듯이 매우 유사한 경향을 보이고 있다. 일부 예측한  $t'_{CST}$  값이 측정된  $t_{CST}$  값과 다소 차이가 나는 것으로 보이는데 이는 앞에서 제시한 비저항계수( $r$ )를 구함에 있어 기울기( $b$ =실험값)를 실험값에 의해 구하게 되는데 이를 구함에 있어 발생하는 상관계수가 [그림 2]의 정확도를 결정짓게 되는 것으로 판단한다.

## 5. 결론

본 연구는 소화슬러지의 초음파처리에 따른 최종배출량 변화 및 탈수효율을 알아보기 위해 lab test를 실시하였으며, 그 결과는 다음과 같이 정리 될 수 있다.

1. SRF( $r$ )와 CST 이론식을 정리하여 하나의 통일된 관계식을 유도 할 수 있었고, 그 결과 측정된 CST( $t_{CST}$ )와 예측한 CST( $t'_{CST}$ )는 유사한 경향을 보였다. 하지만, 이론적인 내용과 다르게 정확하지 않았던 이유는 SRF( $r$ )의 결과 중 실험방법을 통해 구한 기울기( $b$ )에 의한 오차가 결국  $t_{CST}$ 와  $t'_{CST}$ 의 오차를 결정지을 수 있음을 확인하였다.
2. 본 연구에서 도출한 식을 이용하면 이론적으로 CST와 SRF 는 서로 상호 예측할 수 있음을 확인 할 수 있었다. 이는 CST와 SRF의 각 결과만을 이용하여 일차적 실험관계식으로 나타낸 기존의 연구들과의 차이를 둘 수가 있으며, 비교적 간편하게 측정할 수 있는 CST 시험만으로도 많은 시간과 기술을 요하는 SRF 값을 예측할 수 있는 이점을 가지고 있다.

## 6. 참고문헌

- [1] 과학기술부, "하수 슬러지 탈수기술 신공정 개발", 99-J-CG-01-B-21, 1999.
- [2] 문용택, 김정현, "모세관흡입시간과 여과시간에 의한 정수장 슬러지의 탈수특성 비교연구", 상하수도학회지, 제 15권, 2호, pp. 115-122, 2001.
- [3] 임성삼, "여과평균 비저항값의 측정방법에 관한 연구", 대한환경공학회, 제10권, 3호, pp. 61-70, 1998.
- [4] 임호주, "고분자응집제를 이용한 하수처리장의 농축 및 소화슬러지의 탈수", 석사학위논문, 2001.
- [5] 환경부, "2000 전국 폐기물 발생 및 처리현황", 2001.
- [6] C. C. Wu, et al., "Determination of the optimal dose of polyelectrolyte sludge conditioner considering particle sedimentation effects", Advan. Environ. Res., 4, pp. 245-249, 2000.
- [7] H. Unno, et al., "Theoretical and experimental study of factors affecting capillary suction time(CST)", Wat. Res., 17, pp. 149-156, 1983.
- [8] J. M. Lo, et al., "Salinity effect on mechanical dewatering of sludge with and without chemical conditioning", ES&T, Vol. 35, No. 23, pp. 4691-4696, 2001.
- [9] J. R. Pan, et al., "Correlation between dewatering index and dewatering performance of three mechanical dewatering devices", Advan, Environ. Res., 7, pp. 599-602, 2003.
- [10] J. T. Novak, et al., "The blinding of sludges during filtration", JWPCF., Vol. 60, No. 2, pp. 206-214, 1988.
- [11] P. A. Vesilind "Capillary suction time as a fundamental measure of sludge dewaterability", JWPCF., Vol. 60, No. 2, pp. 215-220, 1988.
- [12] R. C. Baskerville, et al., "A simple automatic instrument for determining the filterability of sewage sludge", Wat. Pollut. Control. Vol. 67, pp. 233-238, 1968.
- [13] T. J. Hwa, et al., "Conditioning of oily sludges with municipal solid wastes incinerator fly ash", Wat. Sci. Tech., Vol. 35, No. 8, pp. 231-238, 1997.

### 김 지 형(Jee-Hyeong Khim)

[정회원]



- 1984년 2월 : 서울대학교 토목공학 학과 (공학사)
- 1986년 2월 : 서울대학교 토목공학 학과 (공학석사)
- 1994년 2월 : University of Texas, Austin 토목환경공학과 (공학박사)
- 1995년 3월 ~현재 : 고려대학교 사회환경시스템 공학부 정교수

<관심분야>

매립지 운영 및 가스 처리기술, 유해화학물질 및 난분해성 물질 처리, 고도처리 기술

### 나 승 민(Seung-Min Na)

[정회원]



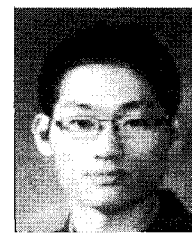
- 1999년 2월 : 우석대학교 환경공학 학과 (공학사)
- 2001년 2월 : 고려대학교 토목환경공학과 (공학석사)
- 2007년 2월 : 고려대학교 사회환경시스템 공학과 (공학박사)
- 2007년 3월 ~현재 : 고려대학교 사회환경시스템 공학부 post-doc.

<관심분야>

슬러지 처리 및 감량화, 고도처리 기술, 유해화학물질 및 난분해성 물질 처리

### 박 지 호(Ji-Ho Park)

[정회원]



- 2004년 2월 : 명지대학교 토목환경공학과 (공학사)
- 2006년 2월 : 명지대학교 토목환경공학과 (공학석사)
- 2006년 8월 ~현재 : 명지대학교 토목환경공학과 (공학박사)

<관심분야>

인공신경망, 초음파를 이용한 슬러지탈수처리, 음향방출을 이용한 파이프 누출현상 탐지, 연약지반 처리, 원심모형 실험

김 영 옥(Young-Uk Kim)

[정회원]



- 1989년 2월 : 고려대학교 토목공학과 (공학사)
- 1991년 2월 : 고려대학교 토목환경공학과 (공학석사)
- 2000년 5월 : The Pennsylvania State University 토목환경공학과 (공학박사)
- 2001년 3월 ~현재 : 명지대학교 토목환경공학과 부교수

<관심분야>

토양오염 복원, 음향방출을 이용한 파이프 누출현상 탐지, 연약지반 처리, 원심모형 실험