

현탁 수용액에서 공극도 및 CST에 대하여

김 영 태
화 학 과
(1981.12.30 접수)

〈요 약〉

현탁수용액에서 침강분리시 침강속도를 종래에는 현탁크형물의 농도에만 의존한다고 했으나 이외는 달리 현탁물의 공극도, 고형물사이의 압축압력에 의한 영향도 크므로 이에 대한 기초 연구를 하고자 한다.

공극도가 시간에 따라 변화하는것을 측정하고서 전기전도도 방법을 사용하였으며 CST을 측정하여 여러 가지 현탁물에 대하여 기초실험을 실시하였다.

The CST and voidage of flocculated suspensions

Kim, Young Tae
chemistry department
(Received December 30, 1981)

〈Abstract〉

As an initial step in developing a more complete sedimentation phenomena, a study is presented of the slurry porosity, the compressive pressure, solid concentration relationship when the slurry is settling.

The conductive method for the porosity is performed with the solid sample and obtained the values of them.

I. 서 론

Sedimentation에서 flocculated slurry가 갖는 여러가지 현상중 porosity, compressive pressure, solid concentration의 변화가 settling velocity에 미치는 영향을 알기 위하여 이현상에 대한 정확한 측정방법을 알고자 한다. 종래의 논문은 주로 sedimentation velocity을 Kynch이론에 의하여 solid concentration에만 의존한다고 주장해 왔으나 그외 다른 인자를 규명하고자 한다.

이는 thickener 같은 continous settler 설계의

근거가 되며 thickener설계에 있어서 sludge을 이루는 물길에 성질에 무관하다는 종래에 주장과는 반대로 sludge의 structure strength에 의함을 표시하고자 한다. 그러므로 자연히 compressive pressure에 대한 연구와 porosity에 대한 정극한 관계를 알 필요성이 있다.

Kos는 thickener의 steady-state 멧게월에 걸치는 연속실험을 통해서 겨우 성공하여 porosity와 structure strength의 원인으로 compressive pressure에 대해서 Raadi이 논문을 써서 설명하고자 했다.

그는 시료로서 activated sludge을 사용했고 consolidation 현상이 sludge에 나타냄을 Staandon

pressure meter 측정 실험했다.

Kos 는 porosity 측정에 시료를 여러지점에서 pipette 로기 채취해서 건조시킨후 습량을 계산했다고 하나 이것은 sludge 같은 순간 순간 porosity 가 변하는 경우는 문제가 있는 것 같다.

Electrolyte conductivity 을 써서 porosity 을 측정하는 경우 Lamb 는 sample 의 concentration 이 fluctuation 하는 경우 point electrode 와 wire electrode 을 써서 이 현상을 감소시키려고 했다.

또한 Khang 은 Lamb 의 방법을 개선해서 여러개의 electrode 을 일련으로 사용할때 일어나는 cross-talking 현상을 감소시키기 위하여 double-measuring circuit 을 써서 측정했고 Wheatstone bridge 의 non-linearity 의 새로운 circuit 을 고안했다. 본 실험에서는 상기방법과 auto-balance 을 겸용으로 사용 했다.

Chakravarti 는 여러가지 flocculant 의 경우 solid weight 을 정량적으로 분석했다. 그리고 이것은 compressive pressure 로서 해석하지 않고 실험치만 발표 하였다.

Dick 는 Kynch 의 이론을 발전시켜서 settling 시 settling velocity 는 solid concentration 에 의할 뿐만 아니라 slurry compaction force 에 달려 있다고 강조 했다.

그후 Dick 는 Shin 과 더불어 이것을 정량적으로 계산했다.

본 연구에서는 slurry 을 conductivity 로서 voidage 을 측정하는 경우의 문제등과 CST 측정을 써서 slurry 의 정성적 성질을 여러 flocculant 로기 조사 연구했다.

II. 실험장치 개요

전도도 측정에는 Wayneker 회사의 autobalance bridge 을 사용했다.

이거기는 capacitance 와 conductance 을 동시에 측정할수 있는 기기로서 conductance 의 경우 10 μΩ ~ 100GΩ 까지 측정가능 하다.

CST 실험장치는 Cussons 사 제품으로 Autotimar 와 conductance 을 liquid diffusion 에 따라 감지 할수 있는 cell 로서 되어있다.

Liquid diffusion paper 는 slurry 측정용 을 사용했다.

Settling column 에는 10개의 electro-cell 은 부착시켰으며 이것은 platinum black 으로 도금한 platinum foil 로서 platinum wire 을 cold welding 하였다. Foil 은 1cm² 로 되어있다. 그리고 표준전도도 측정에는 point-electro-cell 로서 되어있다.

Slurry 의 mixing 을 하기위하여 column 밑에서 compressed air 를 주입하면서 위에 부착된 stirrer 을 사용하면서 homogenous state 된 다음 실험을 실시한다.

III. Capillary Suction Time

Flocculated slurry 의 특성을 결정하기 위하여 Specific Resistance Filtration(SRF)을 응용하고자 한다. 이는 slurry 의 일정량을 정지시켜서 이를 여러가지 상태에서 비교하고자 한다.

Carmen 에 의한 전개된 이론식이 응용되었으며 그는 구조도 같은 비압축성 고체분체를 가지고 여러가지 농도에서 여과시 일어나는 압력 및 유량관계를 연구하였다. 그후 flocculated solid 같은 극히 compressive solid 에도 응용 하고져 하였다.

Flocculated slurry 의 specific resistance 는 slurry 을 이루는 물질종류에 따라 혹은 flocculant 의 양에 따라 voidage, compressive pressure, solid strength 에 영향을 미친다.

이때 slurry 을 통과시 흐르는 물의 속도는 수정된 Poiseville equation 을 사용할수 있다.

$$\frac{dV}{dt} = \frac{P \cdot A}{\mu} \frac{1}{R} \dots \dots \dots (1)$$

여기서 여과에서 사용되는 filter medium 은 없는 것으로 간주하여 medium resistane 는 무시했다.

Flocculated slurry 을 통과시 흐르는 유량은 V 로 하고 P 는 slurry 에 적용 전압력을 나타내고 μ 는 유체의 점도이고 R 는 slurry 만이 갖는 저항이다.

단약 slurry 의 resistance 가 slurry solid 의 중량에 비례한다면,

$$R = r \cdot W \dots \dots \dots (2)$$

W 는 건조된 slurry solid의 단위면적당 중량이고 r 는 specific resistance이다.

위에서 양식을 대입하면

$$\frac{dV}{dT} = \frac{PA}{\mu \cdot r \cdot W} \dots\dots\dots(3)$$

CST 측정시 일정량의 충전된 slurry 층을 통해서 흐르는 유량은 다음과 같다.

$$WA = C \cdot V \dots\dots\dots(4)$$

여기서 C 는 여액의 단위체적당 건조고체의 중량이다.

위의 두식 (3)과 (4)를 정리하면

$$\frac{T}{V} = \frac{\mu \cdot r \cdot C \cdot V}{2A^2 P} \dots\dots\dots(5)$$

Slurry의 specific resistance을 결정하기 위하여 slope로서 b 를 놓으면 T 와 V 의 관계에서 직선이 되어야한다.

$$V = \frac{2A^2 P}{\mu C} \cdot b \dots\dots\dots(6)$$

그러므로 r 는 slurry의 특성에 의하여 결정된다.

CST는 일정량의 slurry을 test tube에 넣고 slurry를 통해서 흐르는 시간을 전기전도도 장치로서 가능하다.

이때에 여액이 흐르는 원동력은 capillary suction force이다.

이 압력은 slurry의 hydrostatic head보다 크다.

여기서 CST와 compressible slurry의 specific resistance을 알기위하여 flow rate을 구하여 보면 다음과 같다.

Test paper에서의 액체만의 확산속도는 일정하다고 가정할수 있다.

$$T = \frac{\mu \cdot r \cdot C}{2A^2 \cdot P} V^2 + \frac{\mu V}{AP} \dots\dots\dots(7)$$

CST 측정하는 동안 만약 slurry 층 내부의 압력강하가 일정하다고 가정한다면

$$CST = \frac{\mu \cdot r \cdot C}{2A^2 P} (V_2^2 - V_1^2) + \frac{\mu}{AP} (V_2 - V_1) \dots\dots(8)$$

이 된다.

CST 실험중 순용매만 실험하는 경우 C 는 무시할 수 있으므로

$$CST_v = \frac{\mu}{AP} (V_2 - V_1) \dots\dots\dots(9)$$

여기서 (8)식과 (9)식에서 slurry CST와 liquid CST 차이를 CST_D 로하면

$$CST_D = \frac{\mu \cdot r \cdot C}{2A^2 P} (V_2^2 - V_1^2) \dots\dots\dots(10)$$

이 된다.

IV. 실험결과

시료로서 $CaCO_3$ 을 사용했으며 flocculant로서는 CFA 50을 사용했다.

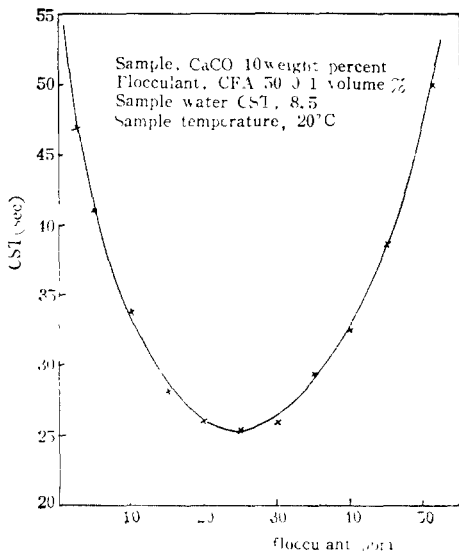


Fig. 1

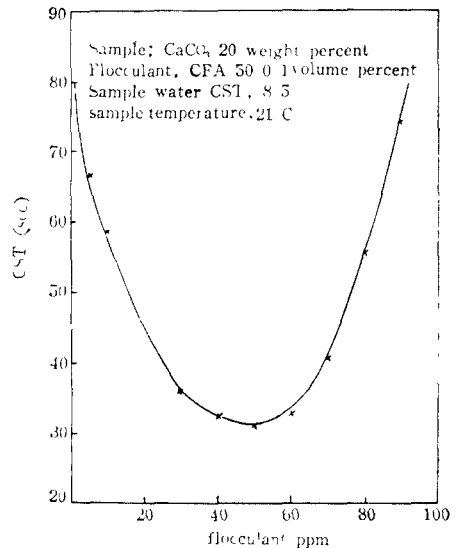


Fig. 2

Table 1 The measurement of specific conductance of distilled water (20.4°C) based on 25°C

Cell No.	Conductivity (mmho)	Temperature correction (mmho)	Cell Constant (cm/sq cm)	Specific conductivity (mmho/cm)
1	1.603×10^{-3}	1.7553×10^{-3}	1.494	2.624×10^{-3}
2	1.594×10^{-3}	1.7456×10^{-3}	1.625	2.620×10^{-3}
3	1.552×10^{-3}	1.7003×10^{-3}	1.535	2.610×10^{-3}
4	1.001×10^{-3}	1.7332×10^{-3}	1.495	2.621×10^{-3}
5	1.582×10^{-3}	1.7334×10^{-3}	1.508	2.614×10^{-3}
6	1.081×10^{-3}	1.8410×10^{-3}	1.428	2.629×10^{-3}
7	1.622×10^{-3}	1.7768×10^{-3}	1.474	2.619×10^{-3}
8	1.607×10^{-3}	1.7645×10^{-3}	1.495	2.632×10^{-3}
9	1.643×10^{-3}	1.7993×10^{-3}	1.460	2.620×10^{-3}

*Temperature correction factor is 1.0954

Table. 2 The solid concentration and specific conductance of 10 weight percent slurry.

1. Testing temperature is 20.2°C
2. dissolved in the distilled water
3. Test was done after mixing the solid
4. Based on 20°C

cell no.	*water conduct. (mmho)	*slurry conduct. (mmho)	cell constant (cm/sq cm)	water sp. conduct. (mmho/cm)	slurry sp. conduct. (mmho/cm)	ratio sp. conduct. (%)	sp. conduct. difference (mho/cm)
1	0.6565	0.6010	1.494	1.0428	0.98596	94.55	56.84
2	0.6229	0.5888	1.525	1.0431	0.98601	94.53	56.59
3	0.6193	0.5858	1.535	1.0458	0.98742	94.60	56.36
4	0.6347	0.6003	1.495	1.0420	0.98550	94.58	56.50
5	0.6296	0.5955	1.508	1.0425	0.98618	94.60	56.32
6	0.6653	0.6292	1.428	1.0433	0.98660	94.57	56.70
7	0.6453	0.6104	1.474	1.0445	0.98793	94.58	56.57
8	0.6369	0.6026	1.495	1.0456	0.98928	94.61	56.32
9	0.6510	0.6156	1.460	1.0437	0.98693	94.56	56.77

*Temperature correction factor is 1.0981

*Specific conductance is based on standard temperature (25°C)

Fig. 1에서 보는 바와 같이 CaCO_3 10% slurry 경우 CST는 54ppm 근처에서 시작했으며 tap water 만의 CST는 8.5이다.

이 Fig. 1에서 보는 바와같이 flocculant의 양에 따라 CST의 빈도가 크므로 solid floc을 이루는 strength force는 CST가 작을때 가장 큰것으로 생각된다.

Fig. 2는 CaCO_3 의 농도를 20%로서 늘인 것으로 flocculant의 양이 증가하였고 CST치도 증가함을 나타낸다.

Fig. 3는 CaCO_3 20% 일때 여러가지 CST에서

interface 변화를 시간에 따라 그려 보았다.

예상했던 대로 CST가 커지므로 interface height가 시간에 따라 빨리 변함을 알수 있었다.

특히 constant rate region에서 세선은 거의 일정한 간격을 가지면서 시간에 따라 interface height가 변화가 없음을 알수있다. 전기전도도로 porosity를 측정하기전에 cell constant을 각지점에서 측정할 필요가 있었다. 그러나 전기전도도는 온도에 대해서 대단히 민감함으로 온도보정이 절대로 필요하게 되었다.

Fig. 4는 KCl로서 실험해본 온도에 대한 resis-

Table. 3 The solid concentration and specific conductance of 20 weight percent slurry

1. Testing temperature is 19.8°C
2. Dissolved in the distilled water
3. Test was done after mixing the solid
4. Based on 25°C

cell no.	*water conduct. (mmho)	*slurry conduct. (mmho)	cell constant (cm/sq cm)	water sp. conduct. (mmho/cm)	slurry sp. conduct. (mmho/cm)	ratio sp. conduct. (%)	sp. conduct. difference (mmho/cm)
1	0.6418	0.5728	1.094	1.0567	0.94302	89.24	113.68
2	0.6289	0.5614	1.525	1.0569	0.94345	89.27	113.45
3	0.6244	0.5572	1.535	1.0561	0.94251	86.24	113.59
4	0.6411	0.5722	1.495	1.0562	0.94270	89.25	113.50
5	0.6356	0.5674	1.508	1.0562	0.94288	89.27	113.32
6	0.6709	0.5988	1.428	1.0558	0.94224	89.24	113.56
7	0.6507	0.5805	1.474	1.0569	0.94301	89.22	113.89
8	0.6412	0.5723	1.495	1.0563	0.94282	89.26	113.48
9	0.6563	0.5855	1.460	1.0560	0.94209	89.21	113.91

*Temperature correction factor is 1.102

*Specific conductance is based on standard temperature (25°C)

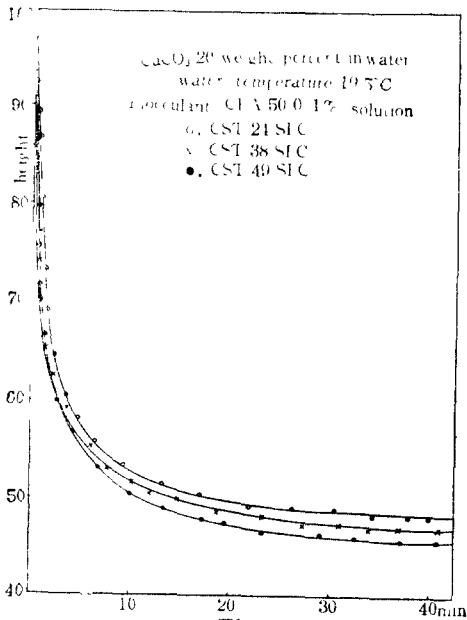


Fig. 3

tance 변화를 나타낸다.

이 실험에서는 point-electro-cell을 사용했으며 거의 직선이 됨을 알았다.

보기는 potassium chloride을 가지고 각지점에서 cell constant를 나타낸다.

거의 같은 크기의 cell을 사용했으나 실제 cell constant 값이 모두 틀린것은 cell plate의 위치가 서

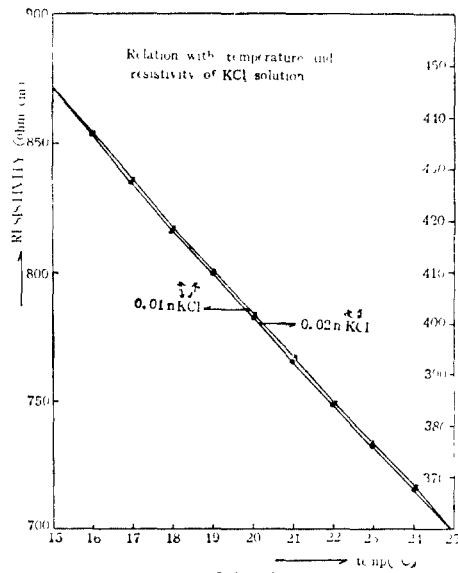


Fig. 4

로 틀리고 geometry가 다르게 있기 때문에 나타난 것으로 알 수 있다.

Table 2에서는 10% CaCO₃의 용액에서 각 cell에서 계산해 보았다.

여기서 Table에서 보는 바와같이 먼저 각 cell에서 water만의 conductance을 재고 slurry conductance을 다시 측정 한후 cell constant을 각

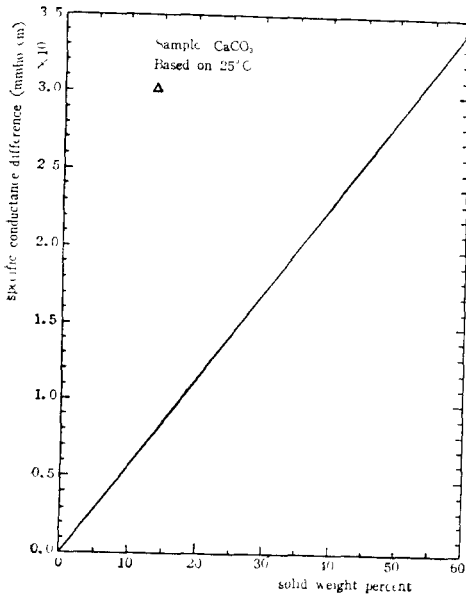


Fig. 5

cell에서 사용해서 water 및 slurry의 specific conductance로서 바꾸어 준후 specific conductance 차이를 계산해야 했다. Table 3은 CaCO₃ 20%의 slurry의 경우를 나타낸다.

CaCO₃가 물에 slurry로서 있을때 약간의 solid가 이온화가 되어 conductance에 영향을 미치므로 이를 방지하기 위하여 specific conductance difference를 써서 온도 보정래 가면서 각 cell에서 실험 했다.

특히 CaCO₃를 장기간 방치후 specific conductance를 동일조건에서 실험했으나 별로 열리한 정

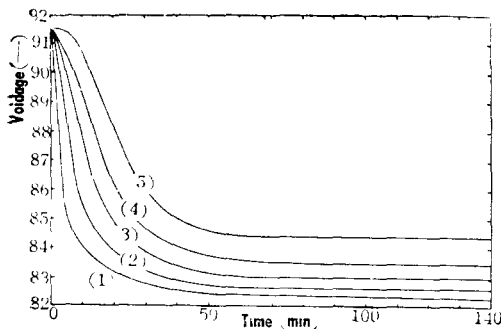


Fig. 6

도의 차이는 나지 않았다. 그러나 slurry의 conductance을 그냥 사용하면 오차가 많음을 인수가 있었다.

이상의 Table 외에 여기에 게재하지 않은 다른 Table과 자료를 써서 Fig.5을 얻었으며 solid weight percent와 specific conductance difference는 직선적으로 변환으로 voidage나 porosity를 conductance로서 측정할수 있었다.

Fig.6는 시간에 따라 변화는 voidage을 나타낸 것이다.

여기서 보는 바는 같이 각 solid height에서 voidage는 대강 40min 후에는 일정한 값을 인수가 있다.

V. 결 론

conductive로서 slurry의 voidage을 측정하는데는 여러가지 제약조건이 있으나 정확한 온도 보정 및 cell constant을 정하여 주면 specific conductance로서 측정할수 알수있다. 물론 기기의 간도가 좋고 측정의 linearity만 극복하면 될것 같다.

그리고 flocculated slurry에 의하여 발생하는 미소 전압도 특수 장치로 정확히 측정할수 있다.

CST는 flocculated suspension의 공극율 및 floc의 성질을 간접으로 결정하는데 좋은 방법이 된다.

참 고 문 헌

Adorjan, L. A., "Theory of Sediment Compression," Proc. X Int. Min. Proc. Congr., Cagliari, Paper 11 (1975).
 Dick, R.I., and B.B Ewing, "Evaluation of Activated Sludge Thickening Theories," ASCE J. San. Eng. Div., 93 (SA4), 9(1967)
 Comings, E. W. "Thickening Calcium Carbonate Slurries." Ind. Chem. 32: 663-667. (1940)
 Fitch, E.B. Sedimentation Process Fundamentals. Trans. Am. Inst. Min. Eng. 223: 129-137. (1957)
 Kos, P. and D.D. Adrian. "Gravity Thickening of Water Treatment Plant Sludges," Paper presented at AWWA National Meeting, Boston, (June, 1974).
 Kynch, G.J. "A Theory of Sedimentation."

- Trans. Faraday Soc. 48 : 166—176. (1952)
- Michaels, A.S., and Bolger, J.C. "Particle Interactions in Aqueous Kaolinite Dispersions," Ind. Eng. Fundamentals. 3 : 14—20. (1964)
- Roberts, E.J. "Colloidal Chemistry of Pulp Thickening." Trans, Am. Inst. Mining Met. Eng. 112 : 178—188. (1934)
- Shannon, P.T., Stroupe, P.E., and Tory, E.M. "Continuous Thickening." Ind. Eng. Chem. Fundamentals. 2 : 203—211. (1963)
- Richardson, J.F., and W.N. Zaki, "Sedimentation and Fluidization," Trans, Inst. Chem. Eng., 32,35(1954).
- Shannon, P.T., E. Stroupe, and E.M. Tory. "Batch and Continuous Thickening" I & E.C. Fundem., 2, 203(1963).
- Shin, B.S., and R.I. Dick, "Effect of Permeability and Compressibility of Flocculent Suspensions on Thickening." Proc. 7th Internat. Conf. Water Pollution Research, Pergamon Press, Ltd. (1974).