

현탁액과 전해질의 농도가 제타전위에 미치는 영향

정상진[†] · 이승인 · 임형미*

요업기술원 세라믹·건재부

*요업기술원 신기능재료연구부

(2003년 3월 4일 접수; 2003년 3월 20일 승인)

Effect of the Concentration of Suspension and Electrolyte on Zeta Potential

Sang-Jin Jung,[†] Seung-In Lee, and Hyung-Mi Lim*

Ceramic Building Materials Department, Korea Institute of Ceramic Engineering and Technology, Seoul 153-801, Korea

*New Functional Materials Research Department, Korea Institute of Ceramic Engineering and Technology, Seoul 153-801, Korea

(Received March 4, 2003; Accepted March 20, 2003)

초 록

알루미나 분말과 전해질의 농도가 제타전위 및 등전점에 미치는 영향에 대하여 고찰하였다. 0.1~1 μm 의 입도 범위를 지닌 알루미나 분말시료와 NH_4NO_3 를 사용하여 실험을 수행하였으며, 전기영동법을 이용하여 제타전위를 측정하였다. 현탁액 내의 시료량이 증가할수록 제타전위와 등전점은 큰 값을 나타내었으며, 현탁액의 농도가 0.01 wt%일 때 제타전위 측정에 가장 적합한 것으로 나타났다. 또한 전해질 농도가 증가할 경우, 제타전위의 값은 다소 증가하는 경향을 보였으나 큰 변화는 없었고, 등전점 값은 오히려 조금 감소하였다. 제타전위 측정에 가장 적합한 전해질 농도는 10 mM인 것으로 나타났으며, 전해질의 종류에 따라서 제타전위와 등전점의 값이 조금 변하는 경향이 있으나 큰 차이를 발생시키지는 않는 것으로 확인되었다.

ABSTRACT

It was investigated that effect of suspension and electrolyte concentrations on zeta potential of alumina suspension and Iso-Electric Point(I.E.P.). The alumina powders in 0.1~1 μm particle size distribution, and the electrolyte NH_4NO_3 were used for preparing the suspension and electrophoresis method was used for measuring zeta potential in this work. As the concentration of suspension was increased, zeta potential and the I.E.P. were increased, respectively. On the other hand, as the electrolyte concentration was increased, the I.E.P. was decreased. As a result of this work, the best condition for measuring zeta potential was the 0.01 wt% and 10 mM of the suspension and the electrolyte concentration, respectively.

Key words : Zeta potential, Iso-electric point, Electrophoresis, Suspension, Electrolyte

1. 서 론

분체의 특성은 파인 세라믹스 제품의 품질에 직접적인 영향을 미치는 가장 큰 요인중의 하나이다.^{1,2)} 그러므로, 신뢰성이 높은 세라믹 제품을 제조하기 위해서는 분체 원료에 대한 객관적인 평가가 매우 중요하다. 특히, 세라믹 분말을 이용하여 각종 성형제품을 제조하는 경우, 고농도의 분산 슬러리를 조제하는 기술이 성형체의 품질을 결정짓는 요인이 되며, 슬러리의 분산 안정성 평가는 세라믹 성형제품의 제조공정에서 반드시 필요하다.^{3,4)}

분체의 특성 중 하나인 제타전위는 용매 내에 현탁되

어 있는 입자의 표면 전하량을 나타내는 값으로, 액 중에서 전기적 척력에 의한 입자의 분산성을 평가하는 지표로서 사용된다. 그러나, 제타전위는 동일한 시료라 하더라도 현탁액의 농도와 첨가된 전해질의 양 등에 의해서 다소 차이를 나타낸다.^{5,6)} 과거에 수행된, 또는 현재 수행되고 있는 많은 분산성 연구에서 제타전위는 연구자에 따라서 다양한 공정에 의해 측정되고 있으며, 이러한 측정 값들의 정확한 비교는 어려운 실정이다.

국내·외의 규격을 살펴보면, KS와 ASTM 그리고 ISO에는 아직 관련 규격이 제정되어 있지 않고, 일본에서는 JIS R 1638(1999)에 'Test method of iso-electric point of fine ceramic powders'라는 제목으로 제타전위를 측정할 수 있는 다양한 방법에 대한 설명과 전기영동법으로 등전점(Iso-Electric Point, I.E.P.)을 측정하는 공정에 대한 규격이 제정되어 있다. 현재 일본에서는 이 규격에 준하여 국제 규격을 제정하기 위한 연구가 진행 중이다.⁷⁾

[†]Corresponding author : Sang-Jin Jung

E-mail : sjjung@kicet.re.kr

Tel : +82-2-3282-2447 Fax : +82-2-3282-2430

본 연구에서는 전기영동법에 의한 제타전위 측정이 가능한 범위 내에서 현탁액과 전해질의 농도를 변화시키면서 제타전위 및 등전점을 측정하였으며, 이로부터 제타전위 측정에 가장 적합하다고 판단되는 현탁액의 제조조건을 제시하였다.

2. 이 론

2.1. 전기이중층 (electric double layer)

입자는 액 중에 현탁되었을 때, 불완전한 입자 표면의 원자배열, 점토광물의 양이온 교환과 같은 현상에 의해서 표면전하를 띠게 된다. 이 표면전하로 인해 액 중의 이온들 중 반대하전을 갖는 이온은 입자표면으로 끌리고 동일하전을 갖는 이온은 반발하는데, 이때 입자와 액체 사이의 경계면에서 전기이중층이 발생한다. 전기이중층은 반대이온(counter ion)이 입자표면에 밀착한 고정층 또는 흡착층(stern layer)과 액 중에 확산된 확산층(diffuse layer)으로 구성되어 있다. 이중층의 개념은 Helmholtz, Gouy, Stern등에 의하여 이론으로 정립되었다.⁵⁾ Fig. 1은 액 중에 현탁된 콜로이드 입자 주위의 이온분포 및 전기 이중층의 구조를 나타낸다.^{5,13)}

입자 표면으로부터 거리(x)에서의 반대하전 이온의 전위분포로 인한, 전기 이중층의 전위(ψ)는 프아송법칙에 의해서 지수함수적으로 감소한다. 이것을 식으로 나타내면 다음 식(1)과 같다.

$$\psi = \psi_0 \exp\left[-\frac{x}{k^{-1}}\right] \tag{1}$$

여기서, ψ_0 는 입자표면에서의 전위이고, x는 입자표면으로부터의 거리 그리고 k^{-1} 은 전기 이중층의 두께를 나타낸다. 전기 이중층의 두께(k^{-1})는 다음 식 (2)로 구할 수 있다.

$$k^{-1} = \left(\frac{\epsilon_r \epsilon_0 k_B T}{F^2 \sum N_i Z_i^2}\right)^{1/2} \tag{2}$$

여기서, ϵ_0 과 ϵ_r 는 각각 공기와 물의 유전상수이고, N은 이온농도, Z는 이온가, T는 절대온도, F는 페러데이 상수 그리고 k_B 는 볼츠만 상수를 나타낸다.

액 중에 있는 입자주위에 배열된 이온들의 이중층은 입자와 함께 움직이는 부분과 그렇지 못한 부분으로 나뉘는데, 이 경계면을 shear plane이라고 하고, 이 shear plane에서의 전위가 zeta(ξ)-potential이다. Zeta-potential은 다음 식(3)에 의해 구할 수 있다.^{8,10,13,14)}

$$\xi = \frac{f_H \eta v_e}{\epsilon_r \epsilon_0 E} \tag{3}$$

여기서, ξ 는 입자의 제타전위이고, v_e 는 입자의 전기 영동속도, E는 전기장, η 는 점성도 그리고 f_H 는 헨리상수(Henry constant, =1.0~1.5)를 나타낸다. 따라서, 일반적으로 정전기적 특성에 의한 입자의 분산성을 알아보기 위해 제타전위 값을 측정하여 비교하지만, 이것이 입자 표면의 실제적인 전위값을 의미하는 것은 아니다.

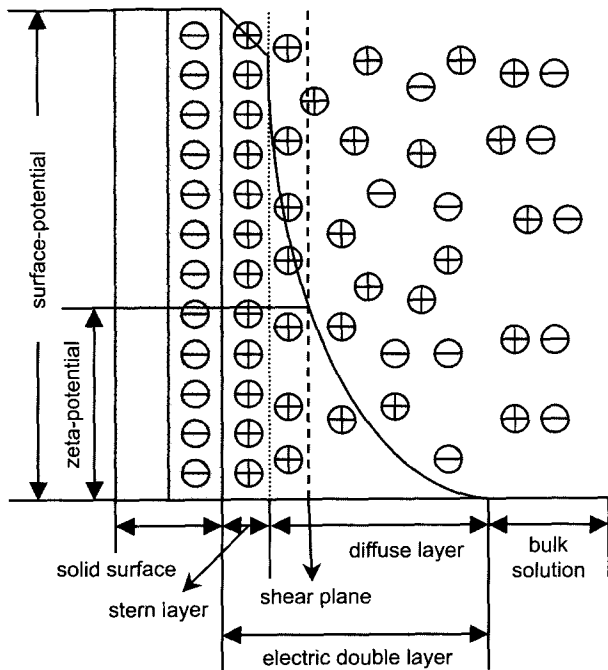


Fig. 1. Schematic representation of electric double layer and zeta-potential.^{5,13)}

2.2. 영전하점(point of zero charge)과 등전점(iso-electric point)

영전하점(P.Z.C.)은 콜로이드 입자표면의 전하량이 0이 되는 pH를 나타내는 말로써, 실제로 이 점을 확인한다는 것은 쉽지 않다. P.Z.C.를 찾기 위해서는 일반적으로 농도가 다른 전해질용액을 이용하여, pH 변화에 따른 콜로이드 입자의 표면전하량 변화를 관찰하는 방법을 사용하는데, 이 방법은 '전해질의 농도에 관계없이 입자의 표면전하가 0이 되는 현탁액의 pH는 일정하다'라는 성질을 이용한 것이다. Fig. 2는 P.Z.C.를 결정하는 방법을 나타낸 그림이다. 농도가 다른 전해질에 대해 Fig. 2(a)의 그래프가 그려질 수 있을 것이며, 세 곡선이 지나는 하나의 점이 P.Z.C.가 된다. Fig. 2(a)의 P.Z.C.를 표면전하량이 0이 되는 점으로 나타내기 위해, Fig. 2(b)로 그릴 수 있다.⁵⁾

등전점(I.E.P.)은 콜로이드 입자의 제타전위를 pH에 대한 함수로 나타내었을 때, 제타전위가 0이 되는 점을 말한다. 등전점은 전해질의 농도에 대해 독립적인 함수이며, 일반적으로 등전점은 영전하점과 일치한다. 등전점은 pH에 대한 제타전위 측정 곡선으로 측정할 수 있으며, 현탁액 계에서 제타전위가 0이 되는 점, 즉 등전점에서 계

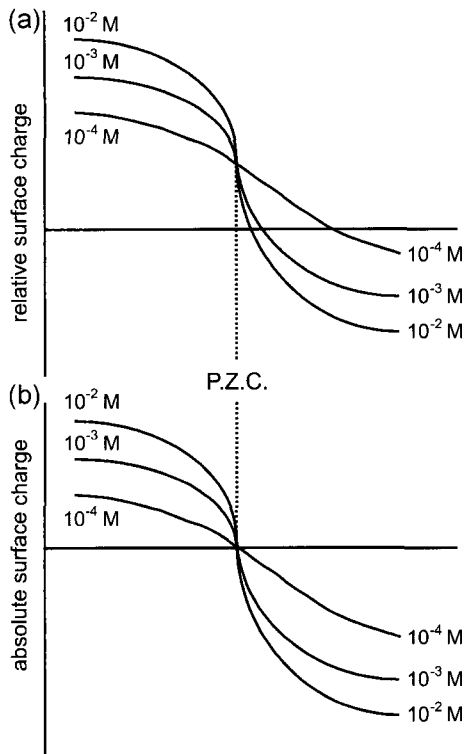


Fig. 2. Identification of P.Z.C. with (a) relative surface charge and (b) absolute surface charge.

의 분산 안정성이 가장 낮다.^{5,9)}

등전점과 영전하점이 일치하지 않을 때, 그 원인은 명확하지 않다. 그러나, 일반적으로 현탁액에 첨가되는 전해질이나 용매에 의해 야기되는 불순물로 인해 자주 값의 차이가 발생하므로, 제타전위 측정 시에는 이런 점을 유의하여야 한다.

2.3. 현탁액 농도와 제타전위

제타전위 측정용 셀 내에서 입자의 전기영동을 위해서는 현탁액의 불투명성이 낮아야 한다. 전기영동법으로는 고농도 현탁액에 대한 직접적인 제타전위 측정이 어려우므로, 저농도 현탁액에 대한 상대적인 측정값을 비교·연구함으로써 이를 대신하고 있다.

정확한 제타전위 값을 측정하기 위해, 액상과 이온이 결합된 콜로이드는 근본적으로 변하지 않는 상태로 유지되어야 한다. 다시 말해서 고농도의 현탁액에 대한 제타전위를 측정하기 위해, 단순히 현탁액을 희석하여 측정하는 것은 적합하지 않다. 왜냐하면, 그것은 액상의 조건을 바꾸고, 근본적으로 제타전위를 변화시킬 수 있기 때문이다. 따라서, 고농도 현탁액에서 입자와 액상을 따로 회수하여 이를 저농도의 현탁액으로 콜로이드를 재구성하는 작업이 필요하며, 이를 위해서 현탁액의 기계적인 분리작업이 요구된다.⁶⁾

일반적으로, 고농도 현탁액의 제타전위를 측정하기 위해, 원심분리를 통해 상등액과 입자를 따로 회수한 후, 이를 이용하여 희석 현탁액을 제조하는 방법이 사용된다.⁶⁾ 그러나, 분산제 첨가에 의한 분산성 평가를 위해 제타전위를 측정할 경우에는 고농도와 저농도 현탁액의 물성비교를 통한 상대적인 평가방법도 이용할 수 있다. 즉, 입자의 농도에 관계없이 단위 입자량의 최적분산에 필요한 분산제의 양이 동일하다고 가정하면, 제타전위 측정이 가능한 저농도 현탁액의 농도와 분산제 첨가량을 이용하여 고농도 현탁액의 최적분산에 필요한 분산제의 양을 예측할 수 있다.⁶⁾

제타전위 측정이 가능한 범위 내에서도 현탁액의 농도에 따라 측정값은 다소 차이가 있다. 앞의 식 (1)에서 나타난 것처럼, 입자표면으로부터의 거리(x)와 전기이중층의 전위(ψ)는 반비례하는 관계를 갖는다. 즉, 전기영동 시 입자와 함께 이동하는 shear plane이 입자표면에 가까울수록 제타전위값은 크게 측정된다. 현탁액의 농도가 높으면 입자간의 거리가 가까워지며, 따라서 입자와 함께 이동하는 shear plane도 저농도 현탁액에 비해 상대적으로 입자표면에 가까워진다. 즉, 현탁액의 제타전위가 크게 측정된다.^{5,6)}

2.4. 전해질 농도와 제타전위

첨가된 전해질은 현탁액 내의 이온수를 증가시켜, 보다 정확한 제타전위 측정이 가능하도록 한다. 현탁액 내의 이온량이 적을 경우 입자의 표면에 충분히 흡착하지 못하며, 반대로 이온량이 너무 많으면 전기이중층의 두께(thickness of the double layer)를 변화시켜 제타전위 값을 변화시킨다.

전기이중층의 두께는 앞의 식 (2)로부터 제타전위와 비례하는 관계를 갖는다. 즉, 현탁액 내에서 입자 주위에 형성된 전기이중층의 두께가 클수록 제타전위의 값은 크게 측정된다. 전해질의 첨가로 현탁액 내의 이온농도가 증가하면, 다음 식 (4)에 의해 이온강도(I)가 증가한다.

$$I = \frac{1}{2} \sum N_i Z_i^2 \tag{4}$$

이온강도가 증가하면 입자표면에 흡착한 이온의 전하량이 커져서 입자로부터의 거리에 대해 전위값이 더욱 빠르게 낮아지는 현상이 발생하며, 이를 이중층의 압축(compression of the double layer)이라고 한다. 일반적으로 이중층의 압축이 발생하면 식 (1)에 의해 제타전위는 작아질 것으로 예상된다. 그러나, 이중층의 압축은 단지 두께의 감소뿐만 아니라, 전기이중층 내의 전하량을 증가시키게 된다. 즉, 입자표면에서의 전하량 ψ_0 을 증가시키는 역할도 하게 된다. 그러므로, 경우에 따라서 전하량의 증가에 의한 이중층의 압축은 제타전위를 증가시킬 수도 있다.^{5,6,11)}

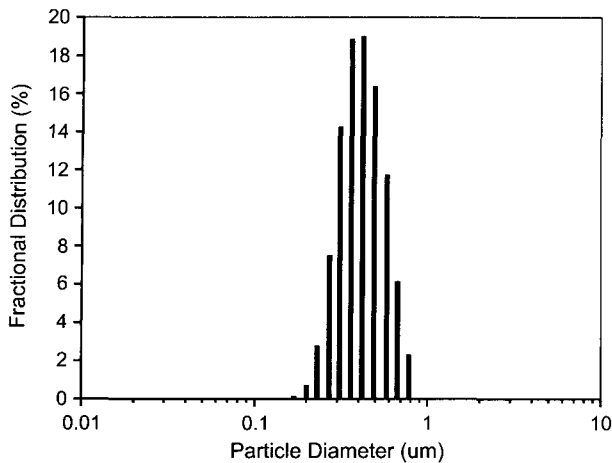


Fig. 3. Particle size distribution of AKP 30.

3. 실험방법

3.1. 시료

제타전위 측정용 시료로는 일본에서 생산된 AKP 30 (Sumitomo Chemical Co., Japan) 알루미나 분말을 이용하였다. AKP 30 분말시료의 입도분포를 알아보기 위해 레이저 광회절 원리를 이용한 MALVERN사(영국)의 master-sizer를 이용하였으며, 이 기기의 측정 가능한 입도분석 범위는 0.01~1000 μm이다. 입도분석에 사용되는 용매로는 증류수를 이용하였으며, 초음파 분산기를 사용하여 현탁액 중에서 AKP 30 입자의 분산성을 향상시켰다. Fig. 3은 AKP 30 시료의 입도분포를 보여주는 그래프이다. 평균입도는 0.38 μm이며, 0.1 μm ≤ d ≤ 1.0 μm의 범위내에 모든 입자가 존재함을 알 수 있다.

또한, AKP 30 입자의 미세구조와 형상 및 입자크기 분포를 확인하기 위해 주사전자현미경(SEM)을 이용하여 관찰하였다. 제타전위는 전기적인 힘에 의해 이동하는 입자의 영동속도를 측정하여, 이 값과 용매 및 입자의 기본물성을 이용하여 계산된다. 따라서, 시료 입자의 크기뿐만 아니라, 형상도 매우 중요한 요인이 된다. SEM 관찰을 위해 Topcon사의 ABT-32 모델을 이용하였으며, 확대배율은 10,000배로 관찰하였다. Fig. 4는 AKP 30 시료의 SEM 사진이다. 입자의 크기와 형상이 균일함을 알 수 있다.

3.2. 현탁액의 제조

제타전위를 측정하기 위해 AKP 30 시료의 현탁액을 제조하였다. 현탁액의 농도는 0.002 wt%, 0.01 wt% 그리고 0.05 wt%로 조절하였으며, 1.0 wt%의 현탁액을 먼저 제조한 후, 이를 이용하여 제타전위 측정용 저농도 현탁액을 제조하였다. 고농도 현탁액의 희석 시에는 입자와 상등액을 따로 희석하는 공정이 필요하지만,⁶⁾ 본 연구에서 사용한 저농도 현탁액의 희석은 액상조건을 크게 바꾸지 않

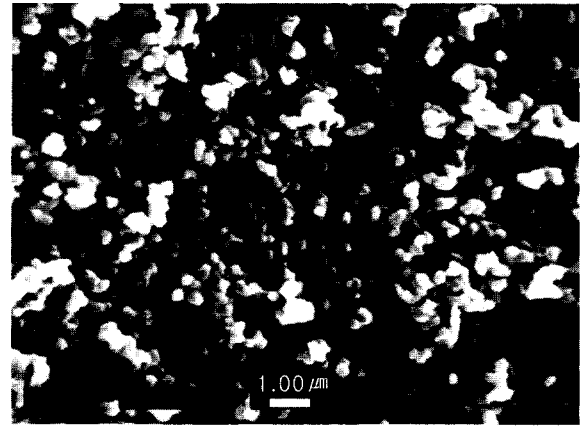


Fig. 4. SEM micrograph of AKP 30 (× 10,000).

을 것으로 생각되어 이러한 공정을 사용하지 않았다. 단, 희석용 용매는 1.0 wt% 현탁액의 제조 시 사용한 것과 같은 농도의 전해질 용액을 사용하였다.

현탁액의 분산을 위해 화신테크사에서 제작한 Power sonic 420 기기 및 magnetic stirrer를 이용하였으며, 현탁액 저장용기는 알칼리 용액의 유리질 용해에 의한 오염을 방지하기 위해 폴리에틸렌 용기를 사용하였다.⁵⁾

3.3. 제타전위 측정

현탁액의 제타전위를 측정하기 위해 동적 광산란 원리를 이용한 Photal사의 ELS 8000 기기를 이용하였으며, 입자크기 1.0 nm~5.0 μm의 입자에 대해 측정이 가능하다.¹²⁾

한 가지의 조건에 의해 제조한 현탁액에 대해 3회 측정을 실시하여, 그 평균을 측정치로 하였으며, 실험의 재현성을 확인하기 위해 3회 반복실험을 실시하였다. Fig. 5는 제타전위 측정공정을 보여주는 그림이다.

pH를 조절하여 제타전위를 측정할 때, pH 조절제로 사용하는 산이나 염기는 전해질과 반응하지 않아야 한다. 본 연구에서는 전해질로 NH₄NO₃를 사용하였으며, 이에 따른 pH 조절제로 암모니아수를 사용하였다. 전해질의 농도는 1 mM, 10 mM, 20 mM 그리고 100 mM에 대해 실험을 실시하였으며, 전해질의 종류에 따른 제타전위 측정값의 차이를 알아보기 위해 NaCl과 NaOH 수용액을 사용하여 실험을 실시하였다.

4. 결과 및 고찰

4.1. 현탁액 농도의 영향

현탁액의 농도에 따른 제타전위 곡선을 나타내는 그래프를 Fig. 6에서 보여주며, 이 때 전해질의 농도는 10 mM이다. 현탁액의 농도가 커질수록 제타전위의 값이 커지는 것을 알 수 있으며, 이는 현탁액 내에 다량의 입자가 존재할 때 입자간의 간격이 좁아지기 때문이라고 생각된다.

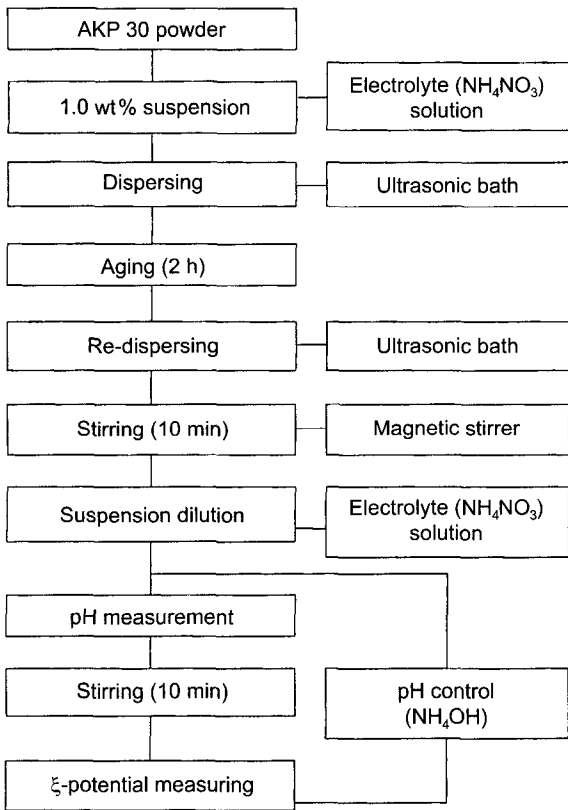


Fig. 5. Schematic diagram for ξ -potential measurement.

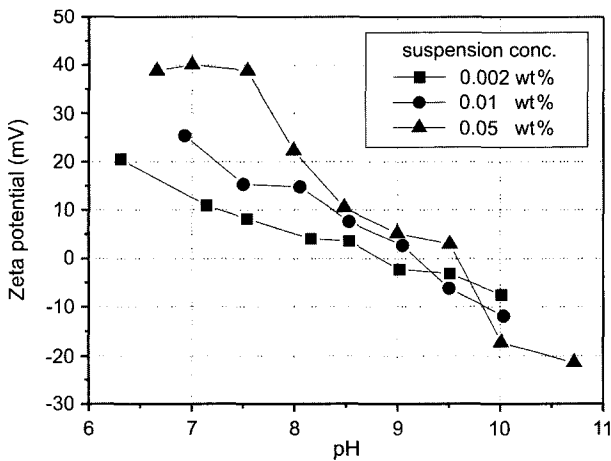


Fig. 6. ξ -potential as a function of pH for suspensions of different concentration with NH_4OH .

즉, 현탁액 내에 입자의 개수가 많다면, 입자 사이의 거리가 줄어들게 된다. 따라서, 전기영동 시 입자와 함께 움직이게 되는 shear plane도 저농도의 현탁액에 비해 상대적으로 입자표면에 가깝게 형성되며, 제타전위는 크게 평가되는 것으로 사료된다.

또한, 현탁액의 농도가 증가함에 따라 등전점(I.E.P.)도 각각 8.32, 9.17 그리고 9.80으로 증가하는 경향을 나타내

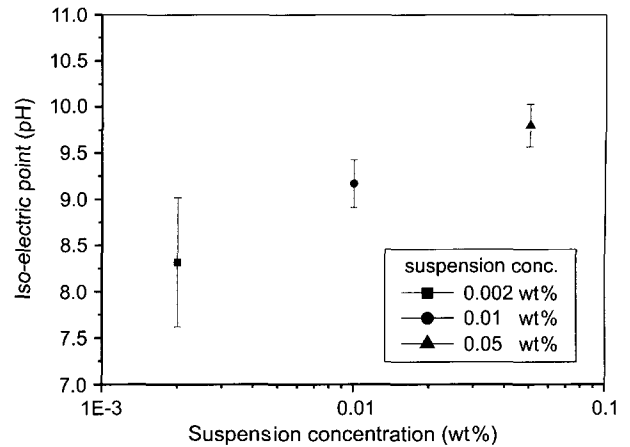


Fig. 7. Iso-electric point with suspensions of different concentration.

었다. 이것은 현탁액 중의 입자량 증가에 따른 입자표면적 증가에 기인한 것이라 생각된다. 현탁액 내 입자의 개수가 증가하면, 입자표면에 흡착하는 이온의 양도 많아야 한다. 즉 입자가 양전하를 갖는 경우, 액 중의 음이온이 표면에 흡착하게 되며, 따라서 상대적으로 많은 양의 OH^- 음이온이 존재하는 높은 pH 범위에서 등전점을 나타내는 것으로 사료된다.

Fig. 7은 현탁액의 농도에 따른 등전점의 안정성을 보여주는 그래프이다. 세 번의 반복실험에 의해 등전점을 측정하였으며, 현탁액의 농도가 증가할수록 등전점의 오차가 작아짐을 알 수 있다. 현탁액의 농도가 낮을 경우에는 측정기가 입자를 감지하는 정확성이 떨어지므로, 측정값이 불안정하게 나타나는 것으로 사료된다. 그러나, 반대로 현탁액의 농도가 너무 높을 경우, 전기영동 중에 발생하는 입자간의 간섭현상에 의해 정확한 측정이 어려울 수도 있다.

APK 30 시료에 대해 현재 일본에서 연구 중인 제타전위 측정자료를 살펴보면, 등전점은 9.0~9.2 정도의 범위에 속하는 것으로 알려져 있다. 따라서 APK 30 시료는 0.01 wt%로 현탁액을 제조하여 제타전위를 측정하는 것이 가장 바람직하다고 판단된다.

4.2. 전해질 농도의 영향

전해질의 농도에 따른 제타전위 곡선을 Fig. 8에서 보여준다. 이때, 현탁액의 농도는 0.01 wt%이다. 10 mM과 20 mM의 그래프에서는 전해질의 농도가 증가했을 때, 이중층의 압축현상에 의해 제타전위값이 다소 증가하는 경향을 보인다. 1 mM 농도의 시료는 제타전위 측정값이 다소 불안정한 경향을 보이며, 100 mM 시료는 앞의 결과와는 전혀 다른 경향을 나타낸다. 특히, Fig. 8에는 충분히 나타나지 않지만, 1 mM 시료에 대한 raw data에서는 각 pH에서의 제타전위 값이 매우 불안정한 것으로 나타났

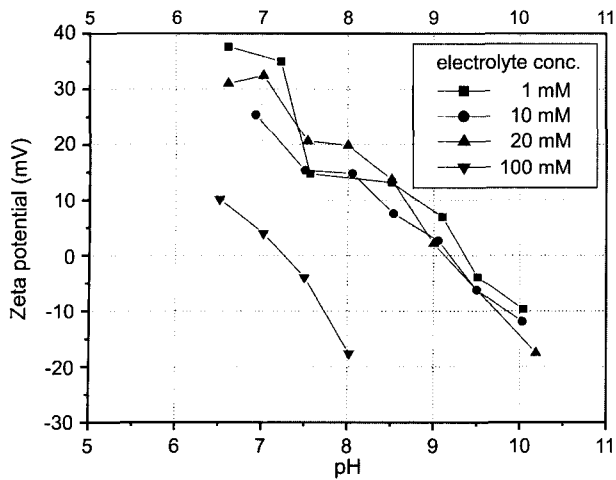


Fig. 8. ξ -potential as a function of pH for NH_4NO_3 electrolytes of different concentration with NH_4OH .

다. 전해질의 농도가 낮으면, 입자표면에 충분한 양의 이온이 흡착할 수 없게 된다. 따라서, 현탁액이 불안정해지기 쉽고, 제타전위 측정도 신뢰할만한 결과를 얻기 힘들다. 반대로 전해질의 농도가 너무 높은 경우, 과도하게 첨가된 전해질로 인해 현탁액의 비전도성이 증가하는 현상이 발생한다.⁵⁾ 따라서, 이전과는 전혀 다른 예측 불가능한 결과를 나타내게 된다. 본 연구의 실험결과로부터 1 mM과 100 mM의 전해질 농도는 제타전위 측정에 적합하지 않다고 판단된다.

등전점의 값은 전해질 농도에 따라 9.25, 9.17, 8.95 그리고 7.23으로 점차 감소하는 경향을 보인다. 이것은 많은 양의 전해질이 첨가되었을 때, pH 조절에 의해 이온수를 증가하지 않아도 현탁액 내에 충분한 양의 이온이 존재하기 때문인 것으로 사료된다.

Fig. 9는 전해질의 농도에 따른 등전점의 안정성을 보여주는 그래프이다. 농도가 작을수록 등전점의 오차도 줄

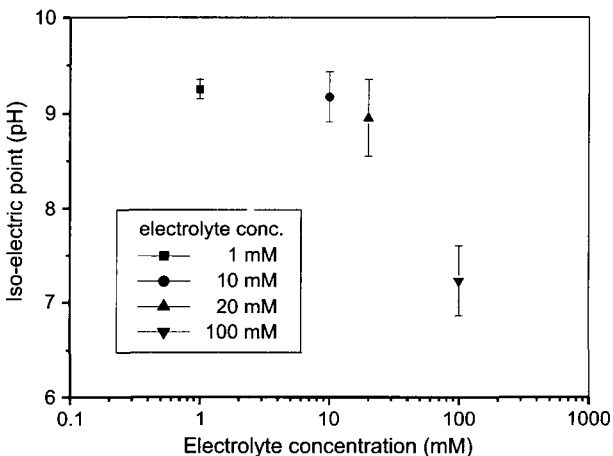


Fig. 9. Iso-electric point with electrolytes of different concentration.

어드는 경향을 보인다. 그러나, 1 mM의 전해질 농도에 대한 결과를 제외하면, 전해질 농도에 따른 등전점의 안정성은 큰 차이가 없는 것으로 판단된다. 제타전위와 등전점 측정결과를 고려할 때, 10 mM의 전해질 농도가 제타전위 측정에 가장 적합하다고 사료된다.

4.3. 전해질 종류의 영향

전해질의 종류에 따른 제타전위 측정값의 차이를 알아보기 위해 NaCl을 전해질로 사용한 현탁액의 제타전위 값을 측정하였으며, 이때 pH 조절제로는 NaOH 수용액을 사용하였다. 현탁액과 전해질의 농도는 각각 0.01 wt%와 10 mM로 조절하였다.

Figs. 10과 11은 NH_4NO_3 와 NaCl을 이용하여 측정된 제타전위 곡선과 등전점을 비교하여 보여준다. NaCl과 NaOH를 이용한 제타전위 곡선이 다소 불안정한 경향을 보이고 등전점도 조금 높게 측정되기는 하였으나, 실험오차를 감안한다면 전해질과 pH 조절제의 종류는 제타전위 측정

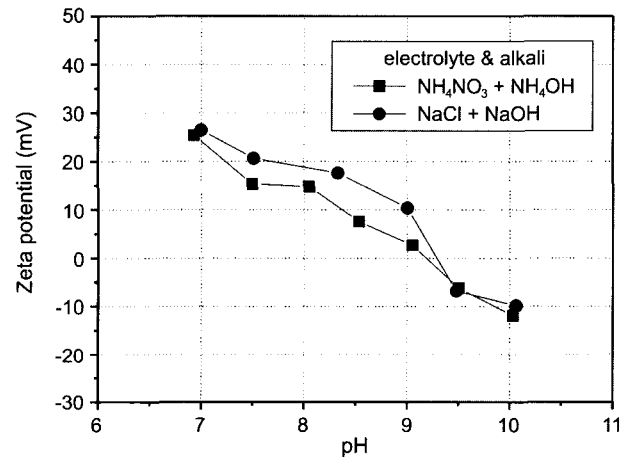


Fig. 10. ξ -potential as a function of pH in solutions of electrolyte and alkali.

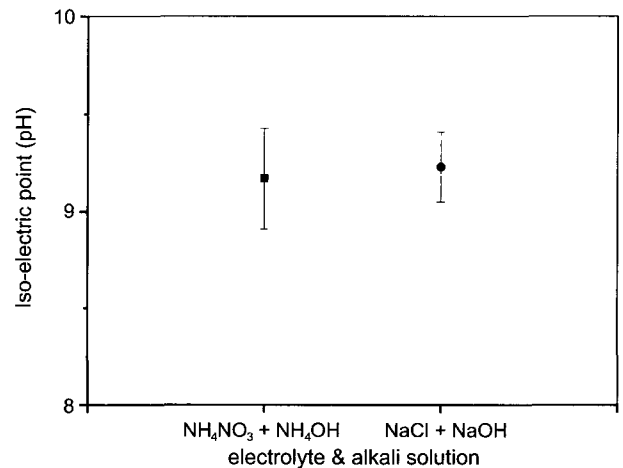


Fig. 11. Iso-electric point with solutions of electrolyte and alkali.

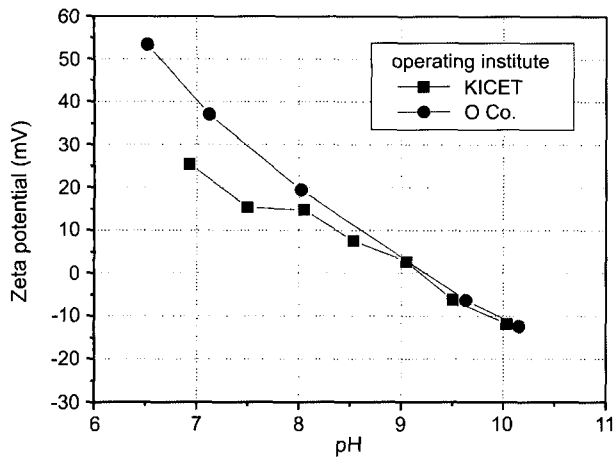


Fig. 12. ξ -potential as a function of pH for different operating institutes.

에 큰 영향을 주지 않는 것으로 판단된다. 단, 첨가되는 전해질과 pH 조절제 그리고 분말시료는 상호간에 반응성이 없어야 하며, 전해질의 이온가가 커진다면 적정농도는 상대적으로 낮아질 것이다.

4.4. 참고실험

본 연구에서 사용한 제타전위 측정공정에 대한 적합성을 확인하기 위하여, 국내의 O사에 동일한 공정에 따른 참고실험을 의뢰하였다. O사에서는 Photal사의 제타전위 측정기기 등을 수입하여 국내에 판매하고 있는 업체로써, 제타전위 측정의뢰 업무를 통해 국내 여러 기관의 시료에 대한 제타전위 측정을 수행하고 있다.

Fig. 12는 O사에서는 본 연구와 동일한 방법으로 실시한 제타전위 측정결과를 보여준다. 본 연구에서 측정된 결과와 그래프가 잘 일치하는 것을 알 수 있으며, 등전점은 9.2 정도로 측정되었다. 실험초기에 pH가 낮고 측정값이 다소 큰 것은 실험오차라고 여겨지며, 현탁액 제조 후 안정화에 필요한 시간이 부족했던 것으로 사료된다.

5. 결 론

AKP 30 알루미늄 분말과 NH₄NO₃ 전해질 그리고 암모니아수를 이용하여 제타전위 측정 실험을 실시하였다. 현탁액과 전해질의 농도를 변화시켰을 경우에 발생하는 제타전위 및 등전점의 변화를 관찰하였으며, 연구결과를 통해 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 전기영동법을 이용하여 현탁액의 농도변화에 따른 제타전위 및 등전점을 측정된 결과, 현탁액의 농도가 높아지면 제타전위는 크게 측정됨을 알 수 있었다. 기존의 실험결과와 비교해 보았을 때 제타전위 측정에 가장 적합한 AKP 30 현탁액의 농도는 약 0.01 wt%인 것으로 나

타났다.

2. 현탁액에 첨가하는 전해질의 농도를 변화시켜 실험한 결과, 전해질의 농도가 증가하면 제타전위값도 크게 측정됨을 알 수 있었다. 전해질의 농도가 너무 낮으면 제타전위는 불안정한 경향을 보였으며, 반대로 너무 클 경우 제타전위와 등전점은 예측할 수 없는 값을 나타내었다. 기존의 실험결과와 비교하였을 때, 제타전위 측정에 가장 적합한 전해질의 농도는 약 10 mM인 것으로 나타났다.

3. 전해질의 종류에 따른 제타전위의 차이를 확인하기 위해 NaCl과 NaOH를 이용하여 비교실험을 실시하였다. 실험오차를 감안한다면 전해질과 pH 조절제의 종류는 제타전위에 큰 영향을 미치지 않는 것으로 나타났다. 단, 전해질의 이온가가 크다면 적정 첨가농도는 작아질 것이며, 분말시료와 전해질 그리고 pH 조절제는 현탁액 내에서 특이반응을 일으키지 않아야 한다.

4. 본 연구에서 사용한 제타전위 측정방법에 대한 적합성 여부를 알아보기 위해 ELS 8000 기기의 국내 판매사에 동일시료에 대한 분석을 의뢰하였다. 그 결과, 본 연구와 잘 일치하는 결과를 확인할 수 있었으며, 이로써 본 연구에서 사용한 제타전위 측정방법은 측정자에 관계없이 재현성을 보이는 적합한 공정이라고 말할 수 있다.

감사의 글

본 연구는 기술표준원의 학술연구용역사업에 의하여 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

REFERENCES

1. J. A. Lee and J. J. Kim, "Sintering Behavior of Bimodal Size-distributed Alumina Powder Mixtures," *J. Kor. Ceram. Soc.*, **36** [7] 718-24 (1999).
2. Y. I. Cho, S. G. Chung, S. Y. Cho, and S. J. Kim, "Effect of Starting Materials for MgO on the Mechanical Properties of Alumina Ceramics," *J. Kor. Ceram. Soc.*, **39** [1] 51-6 (2002).
3. B. P. Singh, S. Bhattacharjee, and L. Besra, "Influence of Surface Charge on Maximizing Solid Loading in Colloidal Processing of Alumina," *Mater. Lett.*, **56** 475-80 (2002).
4. T. W. Lee, U. Baik, S. C. Choi, S. H. Lee, H. S. Lim, and C. J. Kim, "Surface Potential Behavior of Nano CeO₂ Particles in Aqueous Media," *J. Kor. Ceram. Soc.*, **37** [7] 721-25 (2000).
5. R. J. Hunter, "Zeta Potential in Colloid Science - Principles and Applications -," Academic Press, London, 1981.
6. T. M. Riddick, "Control of Colloid Stability through Zeta Potential," Zeta-meter Inc., U.S.A. 1968.
7. JIS R 1638, Test Methods of Iso-electric Point of Fine Ceramic Powders, 420 (1999).
8. H. C. Kim, "A Study on Dispersion Property of TiO₂ Fine

- Particle,” A Thesis for a Doctorate, Chonbuk National University, 1995.
9. G. Sposito, *Environmental Science & Technology*, **32** [19] 2815 (1998).
 10. V. M. Gun'ko, V. I. Zarko, R. Lebeda, and E. Chibowski, *Advanced in Colloid and Interface Science*, **91** 1 (2001).
 11. M. Chorom and P. Rengasamy, *European Journal of Soil Science*, **46** 657 (1995).
 12. Technical Report, “Analysis for Polymer and Fine Particle,” Photal Co., 2000.
 13. Y. Arai, “Powder Materials Engineering for Ceramic(*in Kor.*)” Pierson Education Korea, Korea, 1994.
 14. Educational Committee of Korea Ceramic Society, Experiments for Ceramics(*in Kor.*), Bando Press, Korea, 1998.