

การสังเคราะห์อนุภาคซิลิกาในระดับนาโนเมตรด้วยวิธีโซล-เจล Synthesis of Nanosilica by Sol-gel Method

ยศณรงค์ ศิริเมธาวงศ์¹, พรพจน์ เจียงกองโค¹, ปทุมพรรณ พรหมสินไชย²
ภาควิชาทันตกรรมบูรณะ มหาวิทยาลัยนเรศวร

โรงพยาบาลสมเด็จพระยุพราชนครไทย จังหวัดพิษณุโลก

Yosnarong Sirimethawong¹, Pornpot Jiangkongkho¹, Patumpan Promsinchai²
¹Department of Restorative Dentistry, Faculty of Dentistry, Naresuan University
²Nakornthai Crown Prince Hospital, Phitsanuloke

ชม. ทันตสาร 2563; 41(2) : 51-59
CM Dent J 2020; 41(2) : 51-59

Received: 21 December, 2018
Revised: 4 November, 2019
Accepted: 11 November, 2019

บทคัดย่อ

การศึกษานี้มีจุดประสงค์เพื่อสังเคราะห์ซิลิกาในระดับนาโนเมตร โดยใช้กระบวนการโซลเจล (sol-gel) โดยดูผลของเวลาและความเข้มข้นของแอมโมเนียต่อขนาดและระดับการกระจายตัวของซิลิกา นำเทตระแอลคิลซิลิเคต (tetra-alkyl silicate) 4 มิลลิลิตร ละลายในเอทานอล 50 มิลลิลิตร ด้วยเครื่องผสมที่กวนด้วยแม่เหล็กภายใต้อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 10 นาที จากนั้นเติมน้ำกลั่น 1 มิลลิลิตร เข้าไปในสารละลายภายใต้เครื่องผสมที่กวนด้วยแม่เหล็กเป็นเวลา 2 ชั่วโมงเพื่อให้เกิดปฏิกิริยาละลายตัวด้วยน้ำ จากนั้นเติมแอมโมเนียในสารละลาย ความเข้มข้น คือ 0.231 และ 0.458 โมลต่อลิตร โดยให้ปฏิกิริยาดำเนินต่อไป 1 4 และ 8 ชั่วโมง 1 2 3 4 5 7 9 และ 30 วัน วิเคราะห์ลักษณะการกระจายตัวของอนุภาคซิลิกาในระดับนาโนเมตรด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน เครื่องวิเคราะห์ขนาดอนุภาคและศักย์ซีต้า วิเคราะห์พื้นที่ผิวอนุภาคซิลิกาในระดับนาโนเมตรด้วย เครื่องวัดพื้นที่ผิว วิเคราะห์

Abstract

The objective of this study to synthesis of nanosilica using sol-gel method. The effect of ammonia concentration, time of reaction on size and dispersion were investigated. Tetra-alkyl silicate (TEOS) 4 mL was first dissolved in 50 mL of ethanol (ETH) under magnetic stirrer at room temperature for 10 minutes. Then, 1 mL of distilled water was dropped into the reaction media to hydrolysis of TEOS for 2 hours. After that, two different concentrations, 0.231 and 0.458 mol/L of ammonia solution, were put into the reaction mixture. The reaction was continued for 1h, 4h, 8h, 1d, 2d, 3d, 4d, 5d, 7d, 9d, and 30d. The dispersion of nanosilica was characterized for transmission electron micrograph (TEM), dynamic light scattering (DLS), zeta potential, specific surface area

Corresponding Author:

พรพจน์ เจียงกองโค

อาจารย์ ดร., ภาควิชาทันตกรรมบูรณะ มหาวิทยาลัยนเรศวร 65000

Pornpot Jiangkongkho

Lecturer, Dr., Department of Restorative, Faculty of Dentistry, Naresuan University, Phitsanulok 65000, Thailand

E-mail: jiangkongkho@hotmail.com

องค์ประกอบของอนุภาคซิลิกาในระดับนาโนเมตรด้วยเครื่องฟลูอิดเรย์ทรานส์ฟอร์ม อินฟราเรดสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ ผลของการศึกษานี้พบว่า แอมโมเนียความเข้มข้น 0.231 โมลต่อลิตร ระยะเวลาของปฏิกิริยา 9 วัน สามารถสังเคราะห์อนุภาคซิลิกาในระดับนาโนเมตรได้ขนาดเฉลี่ย 36 นาโนเมตรและมีการกระจายตัวที่ดี

คำสำคัญ: นาโนซิลิกา โซล-เจล การสังเคราะห์

and fourier transform infrared spectrophotometry (FTIR). The result of this study showed that amount of ammonia 0.231 mol/L with the time of reaction at 9 days can create the homogeneous distribution of nanosilica particles with average size of 36 nm.

Keywords: nanosilica, sol-gel, synthesis

Introduction

Nanotechnology involve the ability to understand and control small things that are less than 100 nanometers in size. Nanoparticles have very high surface area, resulting in an increase of molecular interaction between polymer and nanoparticles.⁽¹⁾ At this level, the inorganic nanoparticles are used to reinforce the polymer matrix. However, it should be pointed out that the effect of nanoparticle enhancement highly depends on the size of particles and the level of their dispersion.⁽²⁾ Inorganic nanoparticles agglomerate and poorly disperse in polymer matrix which difficult to achieve a stable complex system and the desirable properties of final products. Therefore, the dispersion of nanoparticle-reinforced materials in the medium play an important role.

Zeta potential measurements an electrical field is applied across the sample and the movement of the nanoparticles (electro-phoretic mobility) is measured by laser doppler velocimetry (LDV).⁽⁴⁾ The magnitude of the zeta potential indicates the potential stability of the colloidal system.^(3,4) If the particles in suspension have a large negative or positive zeta potential, they will repel each other and do not agglomerate. However, the particles which have low zeta potential values have no force to prevent the particles joining together and agglomeration. The criteria of stable and unstable suspensions is +30mV

and -30 mV.⁽⁴⁾ Particles with zeta potentials greater than +30 mV or lower than -30 mV are normally considered stable.⁽⁴⁾ The effect of pH is crucial factor to control zeta potentials and stability of suspensions. The more alkali is added to the suspension resulting in increased pH and particles have more negative zeta potentials. While acid is added resulting in decreased pH and particles have more positive zeta potentials.⁽⁴⁾ A good dispersion system can provide composites with various special advancements in material performances, such as strength, fracture toughness.⁽⁵⁾

Nanoparticle which is commonly used to enhance dental polymer is nanosilica. It is well-known during the last decade because of its advantage such as colorless, odorless, tasteless, biocompatibility that can improve the mechanical property of final products.⁽⁶⁾ The refractive index was equal to dental polymer (1.45) which less effect on color change of polymer matrix.⁽⁷⁾ Synthetic nanosilicas are manufactured by various methods include physical, biological, chemical.⁽⁸⁾ Physical methods apply mechanical pressure, high energy radiations, thermal energy or electrical energy that cause material abrasion, melting, evaporation or condensation to generate nanosilicas. Laser ablation, electro-spraying, inert gas condensation, physical vapour deposition, laser pyrolysis, flash spray pyrolysis are

the commonly used physical methods. Biological methods provide an environmentally benign, low-toxic, cost-effective and efficient protocol to synthesize and fabricate nanosilicas. These methods employ biological systems like bacteria, fungi, viruses, yeast, actinomycetes, plant extracts, for the synthesis of metal and metal oxide nanoparticle. Chemical reduction, sol-gel, inert condensation are the commonly used chemical methods for the nanosilicas synthesis.⁽⁸⁾ However, physical and biological methods are expensive and have special industrial applications. The Stöber method (sol-gel) was firstly introduced using ammonia catalyzed hydrolysis and condensation of tetra-alkyl silicate (TEOS) in alcohol solvent to produce uniform silica particles.⁽⁹⁾ Sol-gel method has been widely used to produce nanosilica due to several advantage such as synthesis at low temperature, the reaction kinetic controlled by varying the concentration of reaction mixture.^(10,11) However, sol-gel process is very sensitive towards the experimental conditions.⁽¹²⁾ The rate of hydrolysis and condensation reactions are controlled by concentration of starting materials (alkoxides), pH, time of reaction, aging and drying method.^(13,14) The pH is important factor to control size and level

of dispersion nanosilica suspension. In basic condition, the particles in solution grow in size and well disperse but decrease in number. On the contrary, the particle which reduces in size and agglomerates will increase in acid condition.⁽⁷⁾ However, the appropriate amount of ammonia using to control pH and create mono-dispersion of nanosilica were not clarify.

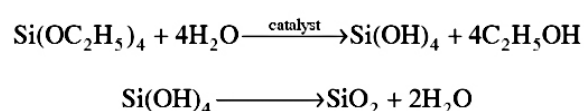
In this study, the synthesis of nanosilica using sol-gel process was performed. The effect of ammonia concentration, time of reaction on size and dispersion were investigated.

Materials and Methods

The precursor and solutions used in this study are shown in Table 1. The chemicals were used as received.

Synthesis of nanosilicas

Nanosilicas were synthesized by using a standard procedure of sol-gel method with experimental conditions.⁽¹³⁾ The sol-gel synthesis of silica was based on the hydrolysis and condensation of TEOS, according to the following equation.^(13,15)



ตารางที่ 1 สารตั้งต้นและสารละลายที่ใช้ในการศึกษานี้

Table 1 Precursor and solutions used in the present study

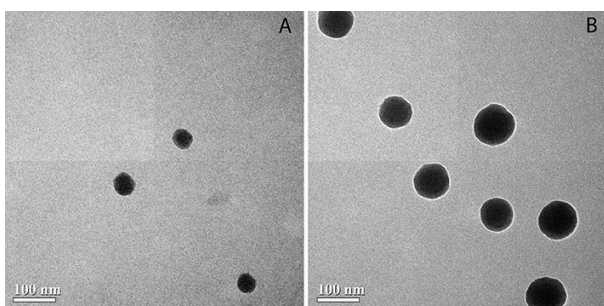
Name	Concentration	Code	Brand	Mfg.	Lot. No.
Precursor Tetraethoxysilane	98%	TEOS	SIGMA-ALDRICH®	SIGMA-ALDRICH®, Co., ST. Louis, MO 63103 USA	WXBC1471V
Solutions Ethanol	99.90%	ETH	EMSURE®	Merck KGaA, Germany Avantor Performance Materials, Inc., PA 18034, USA	K47648083610
Ammonium Hydroxide	28-30%	NH ₄ OH	J.T.Baker		101273

A quantity of 4 mL of TEOS was first dissolved in 50 mL of ethanol (ETH) under magnetic stirrer (Stuart UC152, Cole-Parmer, Staffordshire, UK) at room temperature for 10 minutes. Then, 1 mL of distilled water was dropped into the reaction media to facilitate hydrolysis of TEOS for 2 hours. After that 0.231 and 0.458 mol/L of ammonia solution was incorporated into the reaction mixture. The reaction was continued for 1h, 4h, 8h, 1d, 2d, 3d, 4d, 5d, 7d, 9d, and 30d. The dispersion of nanosilica of each group was carried out and then was characterized.

Characteristics of nanosilica

Transmission electron micrograph (TEM)

The morphology of nanosilicas was observed at 30 days under a TEM (JEM-2100, JOEL Inc., Tokyo, Japan) at an acceleration voltage of 80 kV. One drop of suspension was evaporated on a carbon-coated copper grid. The samples were kept in desiccator for 24 hours before test. The size and distribution of nanosilica are shown in Figure 1.

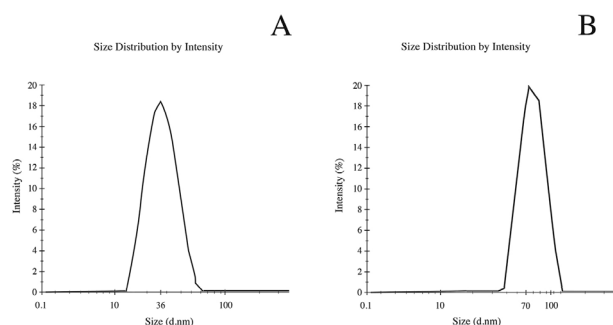


รูปที่ 1 ภาพจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่านแสดงขนาดและการกระจายตัว A: สารละลายแอมโมเนียความเข้มข้น 0.231 โมลต่อลิตร B: สารละลายแอมโมเนียความเข้มข้น 0.458 โมลต่อลิตร ที่เวลา 30 วัน

Figure 1 TEM images of nanosilica size and distribution. A: ammonia solution 0.231 mol/L, B: ammonia solution 0.458 mol/L in 30 days

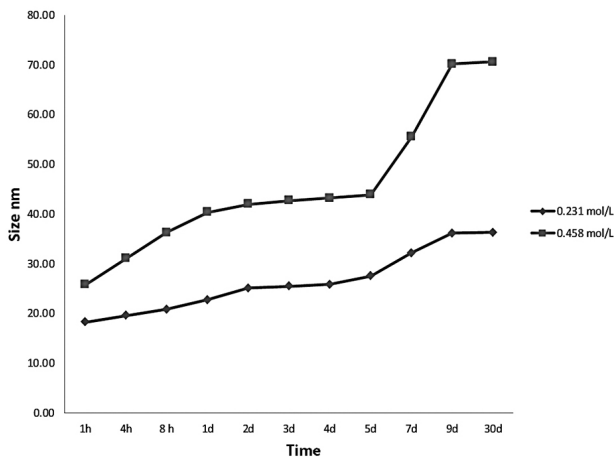
Dynamic light-scattering instrument (DLS)

The size and distribution of nanosilicas were determined at 1h, 4h, 8h, 1d, 2d, 3d, 4d, 5d, 7d, 9d, and 30d under a Zetasizer with dynamic light-scattering (Zetasizer, Malvern Instrument Ltd, Malvern, UK). The Zetasizer instruments measure the fluctuations in the intensity of the scattered light with time to generate an exponentially decaying autocorrelation function. This function was then analyzed for characteristic decay times to determine the diffusion coefficient unique to the scattering suspensions in conjunction with the Stokes-Einstein equation and the hydrodynamic radius. Some typical examples of hydrodynamic diameter distribution were demonstrated in Figure 2.



รูปที่ 2 ขนาดและการกระจายตัวของอนุภาคนาโนซิลิกาที่ทำการทดสอบด้วยเครื่องวัดการกระจายตัวของแสง A: ขนาดอนุภาคเฉลี่ย 36 นาโนเมตรเมื่อใช้สารละลายแอมโมเนียความเข้มข้น 0.231 โมลต่อลิตร B: ขนาดอนุภาคเฉลี่ย 70 นาโนเมตรเมื่อใช้สารละลายแอมโมเนียความเข้มข้น 0.458 โมลต่อลิตร

Figure 2 Nanosilica size and distribution of nanosilica determined by DLS: A: average size of ammonia solution 0.231 mol/L group is 36 nm, B: average size of ammonia solution 0.458 mol/L group is 70 nm



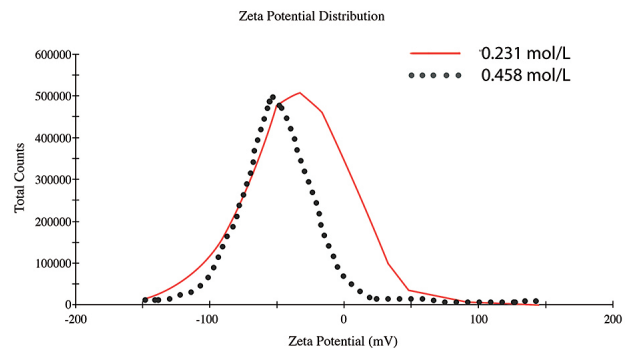
รูปที่ 3 ขนาดของอนุภาคนาโนซิลิกาเมื่อเทียบกับเวลา
Figure 3 Size of nanosilica in function of time

Zeta potential

Zeta potential values of nanosilicas suspension were measured at 30 days under a Zetasizer (Zetasizer, Malvern Instrument Ltd, Malvern, UK). The electric field was applied across an electrolyte then charged nanosilicas suspension in the electrolyte were attracted towards the electrode of opposite charge. Viscous forces acting on the particles tend to oppose this movement. When equilibrium was reached between these two opposing forces, the particles move with constant velocity. The velocity of a particle in an electric field was referred as its electrophoretic mobility. The zeta potential can obtain by application of the Henry equation, as follows.⁽⁴⁾

$$Ue = \frac{2\varepsilon z fka)}{3\eta}$$

Where, *Ue* is the electrophoretic mobility (mm² sec⁻¹ V⁻¹), ε is the dielectric constant, *z* is zeta potential (mV), *f(ka)* is the Henry function's (1.5). η is the absolute zero-shear viscosity of the medium, an average of at least three measurements for each sample was recorded in Figure 4.



รูปที่ 4 แสดงศักย์ซีตา เส้นสีแดง: เมื่อสารละลายแอมโมเนียความเข้มข้น 0.231 โมลต่อลิตร ศักย์ซีตาเท่ากับ -37 มิลลิโวลต์ เส้นประ: เมื่อสารละลายแอมโมเนียความเข้มข้น 0.458 โมลต่อลิตร ศักย์ซีตาเท่ากับ -42 มิลลิโวลต์

Figure 4 The zeta potential: red line: ammonia solution 0.231 mol/L was -37 mV, dash line: ammonia solution in 0.458 mol/L was -42mV

Specific surface area (BET method)

Surface area of samples was measured at 30 days by adsorption-desorption of nitrogen isotherm at 77 K on an automatic physisorption analyzer (Micromeritics ASAP 2000, Micromeritics Instrument Corporation, GA, USA). Precise measurement of the surface area of nanosilicas used nitrogen gas adsorption according to Brunauer, Emmett und Teller (BET method). The BET method determined of the amount of the adsorptive gas required to cover the external and the accessible internal pore surfaces of a solid with a complete monolayer of adsorbate. In order to determine the adsorption isotherm volumetrically, known amounts of adsorptive were admitted stepwise into the sample cell containing the sample previously dried and outgassed overnight under vacuum at 10°C. The amount of nitrogen gas adsorbed was the difference of nitrogen gas admitted and the amount of nitrogen gas filling the dead volume (free space in the sample cell including connections). The adsorption isotherm is the plot of the amount gas adsorbed (mmol/g) as a function of the

relative pressure. The surface area can be calculated from the adsorption isotherm by means of the BET equation, as follows.^(16,17)

$$BET = n_{mono} \cdot \sigma \cdot N_A$$

where, n_{mono} is the monolayer capacity (mmol/g), σ is nitrogen molecular cross sectional area values (0.162 nm^2)⁽¹⁷⁾, N_A is Avogadro's number (6.02×10^{23} molecules/mol).

Fourier Transform Infrared Spectrophotometry (FTIR)

The nanosilica was characterized at 30 days using FTIR measurements with a narrow bandpass mercury-cadmium-telluride (MCT) detector. The specimens were analyzed by using FTIR spectrophotometer (PerkinElmer 2000, PerkinElmer Inc., MA, USA). Each IR spectra was collected from 400-4000 cm^{-1} under the nitrogen purge. Prior to the measurement, 100 mg of sample were mixed with 1 g of KBr powder and IR spectra were taken on a PerkinElmer 2000 spectrometer (Figure 5).

Results

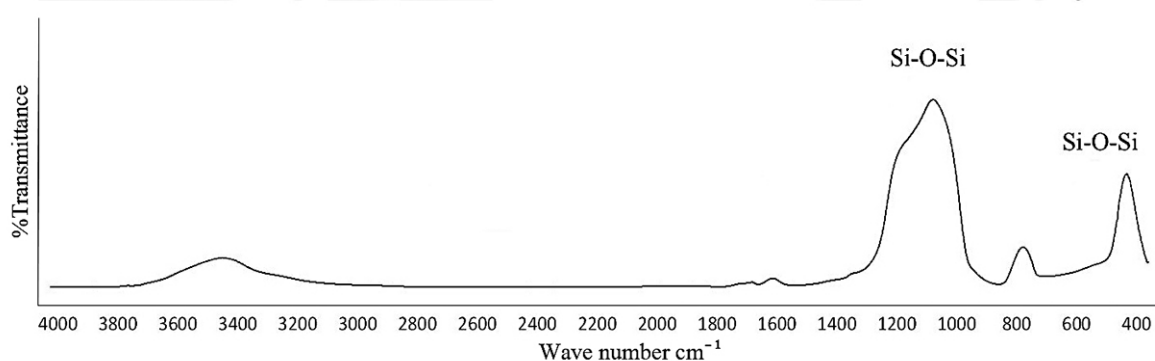
The resulted from DLS showed that the sizes of nanosilica of both ammonia solution groups (0.231 mol/L and 0.458 mol/L) were increased when increased the time of reaction and then the sizes

were constant at 9 days. At 30 days the DLS analysis demonstrated that in group of 0.231 mol/L the average size of the homogeneous distribution particles was 36 nm, while in the group of 0.458 mol/L was 70 nm (Figure 2,3). The TEM, zeta potential and specific surface area were determined at 30 days. The TEM images revealed nanosilicas of similar size that were evenly distributed in ethanol with low agglomeration (Figure 1). The zeta potential was determined by Zetasizer was -37 mV in the group of 0.231 mol/L and -42 mV in the group of 0.458 mol/L (Figure 4). The specific surface area determined by the automatic physisorption analyzer of the nanosilicas was 576 and 170 m^2/g in the group of 0.231 mol/L and 0.458 mol/L respectively. The FTIR results showed the spectra of absorption peaks of the samples were at 1091 and 462 cm^{-1} representing, Si-O-Si (symmetrical stretch) and Si-O-Si (rocking), respectively (Figure 5).

Discussion

The synthesis nanosilica using sol-gel process was performed in this study. The effect of ammonia concentration, time of reaction on size and dispersion property were investigated.

The FTIR results indicated that nanosilica synthesis using sol-gel process in this study was



รูปที่ 5 พูเรียร์ทรานส์ฟอร์มอินฟราเรดสเปกโทรสโคปีของตัวอย่างแสดงจุดสูงสุดของการดูดซึมแสงอินฟราเรดที่ 1091 ถึง 462 cm^{-1}

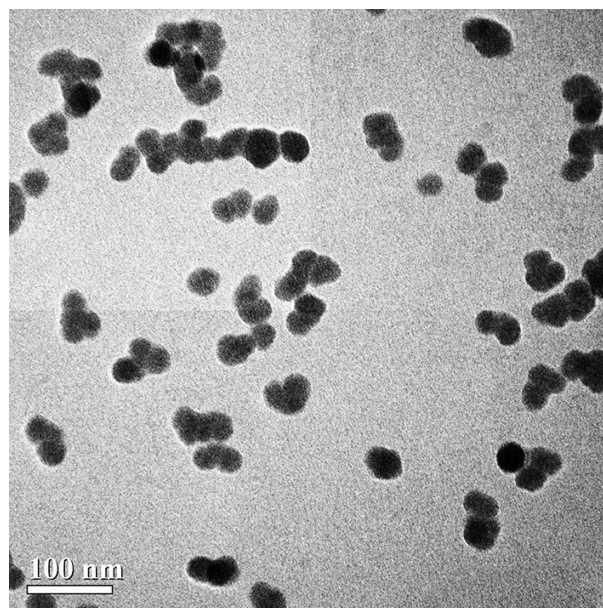
Figure 5 The FTIR spectra of the samples demonstrated absorption peaks at 1091 and 462 cm^{-1}

achieved. The FTIR spectra of the samples demonstrated absorption peaks at 1091 and 462 cm^{-1} representing, Si-O-Si (symmetrical stretch) and Si-O-Si (rocking), respectively (Figure. 5).⁽¹⁸⁾ In this study nanosilica synthesis was under basic condition because ammonia was used as catalyst in reaction. In this basic condition, the particles in solution grow in size but decrease in number.⁽⁷⁾ At the end of sol-gel reaction, size of nanosilica stop growing. The result of present study showed that the end of reaction was 9 days because size of nanosilica stop growing on that day.

The amount of ammonia is crucial factor to control size and level of their dispersion. The higher amount of ammonia created a high pH level.⁽¹⁹⁾ At the high pH of reaction particles holds the negative charge which produce a force of mutual electrostatic repulsion between adjacent particles¹⁹. When the degree of charge is high negative, the particles will separate and diffuse in suspension, as shown in Figure 1. Zeta potential was used to measure charge of nanosilica suspension which indicated the potential stability of the nanosilica suspension.^(4,19) The criteria of well dispersion and non-dispersion suspensions is +30 mV and -30 mV.⁽⁴⁾ Particles with zeta potentials more positive than +30mV or more negative than -30 mV are normally considered well dispersion.^(3,4,20) The amount of ammonia 0.231 mol/L and 0.458 mol/L created zeta potential -37 and -42 mV respectively. Nanosilica of both groups had zeta potential less than -30 mV. Thus, both groups provided well dispersion and stable in solution.

The nanosilica grows in size when pH increases and well dispersion is due to high negative zeta potential.^(7,19) The increase amount of ammonia might increase level of pH. The appropriate amount of ammonia was clarified because nano-sized and well dispersion was the main objective. The results

of DLS showed that 0.231 mol/L of ammonia created 36 nanometers, whereas, in 0.458 mol/L group created 70 nanometers of silica. Thus, the appropriate amount of ammonia in this study was 0.231 mol/L. However, the particles did not disperse well when the amount of ammonia was less than 0.231 mol/L (Figure 6).



รูปที่ 6 ภาพจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่านแสดงการจับตัวกันของอนุภาคนาโนซิลิกา เมื่อใช้สารละลายแอมโมเนียความเข้มข้นน้อยกว่า 0.231 โมลต่อลิตร

Figure 6 TEM images showed agglomeration of nanosilica when ammonia solution was less than 0.231 mol/L

Conclusion

Within the limitation of this study, it can be concluded that the appropriate amount of ammonia was 0.231 mol/L and the time of reaction was 9 days, which created homogeneous distribution silica in nano-sized range. This might be one of the effective method to synthesis the nanosilica. The further study is study about incorporated nanosilica into dental polymer to improve mechanical properties.

References

1. Ashton HC. The Incorporation of nanomaterials into polymer media. In: Gupta RK, Kennel E, Kim KJ, ed: *Polymer Nanocomposites Handbook*, 1st ed. Boca Raton: CRC press; 2009: 21-44.
2. Du M, Zheng Y. Modification of silica nanoparticles and their application in UDMA dental polymeric composites. *Polym Compos* 2007; 28(2): 198-207.
3. Kim KJ, White J. Nanoparticle dispersion and reinforcement by surface modification with additives for rubber compounds. In: Gupta RK, Kennel E, Kim KJ, ed: *Polymer Nanocomposites Handbook*, 1st ed. Boca Raton: CRC press; 2009: 46-72.
4. Clogston JD, Patri AK. Zeta potential measurement. In: McNeil SE, ed: *Characterization of Nanoparticles Intended for Drug Delivery*, Vol 697. New York: Humana Press; 2011: 63-70.
5. Rashahmadi S, Hasanzadeh R, Mosalman S. Improving the mechanical properties of poly methyl methacrylate nanocomposites for dentistry applications reinforced with different nanoparticles. *Polym Plast Technol Eng* 2017; 56(16): 1730-1740.
6. Mauger M, Dubault A, Halary JL. Synthesis and physico-chemical characterization of networks based on methacryloxypropyl-grafted nano-silica and methyl methacrylate. *Polym Int* 2004; 53(4): 378-385.
7. Kim KJ, White J. Dispersion of agglomerated nanoparticles in rubber processing. In: Gupta RK, Kennel E, Kim KJ, ed: *Polymer Nanocomposites Handbook*, 1st ed. Boca Raton: CRC press; 2009: 123-149.
8. Dhand C, Dwivedi N, Loh XJ, et al. Methods and strategies for the synthesis of diverse nanoparticles and their applications: a comprehensive overview. *RSC Adv* 2015; 5: 105003-105037.
9. Stöber W, Fink A, Bohn E. Controlled growth of monodisperse silica spheres in the micron size range. *J Colloid Interface Sci* 1968; 26(1): 62-69.
10. Singh LP, Agarwal SK, Bhattacharyya SK, Sharma U, Ahalawat S. Preparation of silica nanoparticles and its beneficial role in cementitious materials. *Nanomater Nanotechno* 2011; 1: 44-51.
11. Chen SL, Dong P, Yang GH, Yang JJ. Kinetics of formation of monodisperse colloidal silica particles through the hydrolysis and condensation of tetraethylorthosilicate. *Ind Eng Chem Res* 1996; 35(12): 4487-4493.
12. Jafarzadeh M, Rahman IA, Sipaut CS. Synthesis of silica nanoparticles by modified sol-gel process: the effect of mixing modes of the reactants and drying techniques. *J Sol-Gel Sci Technol* 2009; 50(3): 328-336.
13. Chruściel J, Ślusarski L. Synthesis of nanosilica by the sol-gel method and its activity toward Polymers. *Mater Sci* 2003; 21(4): 461-469
14. Bogush GH, Tracy MA, Zukoski IV CF. Preparation of monodisperse silica particles: Control of size and mass fraction. *J Non-Cryst Solids* 1988; 104(1): 95-106.
15. Jiangkongkho P, Arksornnukit M, Takahashi H. The synthesis, modification, and application of nanosilica in polymethyl methacrylate denture base. *Dent Mater J* 2018; 37(4): 582-591.
16. Sing KSW, Everett DH, Haul RAW, et al. Reporting physisorption data for gas/solid systems with special reference to the determination of surface area and porosity. *Pure Appl Chem* 1985; 57(4): 603-619.

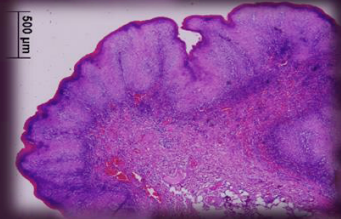
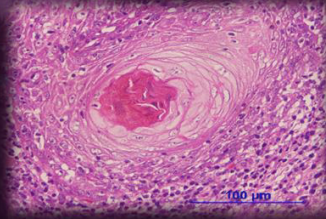
17. ISO 9277: 2010. *Determination of the specific surface area of solids by gas adsorption. BET method.* 2nd ed, International Organization for standardization, Geneva, 2010.
18. Söderholm KJM, Shang SW. Molecular orientation of silane at the surface of colloidal silica. *J Dent Res* 1993; 72(6): 1050-1054.
19. Kobayashi M, Juillerat F, Galletto P, Bowen P, Borkovec M. Aggregation and charging of colloidal silica particles: effect of particle size. *Langmuir* 2005; 21(13): 5761-5769.
20. Elimelech M, Chen WH, Waypa JJ. Measuring the zeta (electrokinetic) potential of reverse osmosis membranes by a streaming potential analyzer. *Desalination* 1994; 95(3): 269-286.



หลักสูตรบัณฑิตศึกษา

แขนงวิชา วิทยาการวินิจฉัยโรคช่องปาก

- วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต
- ประกาศนียบัตรบัณฑิต



วิทยาการวินิจฉัยโรคช่องปาก

เป็นศาสตร์ที่ครอบคลุมงานในหลายสาขาวิชา ซึ่งจะนำไปสู่การวินิจฉัยโรคในบริเวณกระดูกขากรรไกรและใบหน้า และการจัดการรักษาผู้ป่วยได้อย่างถูกต้องเหมาะสมต่อไป วิทยาการวินิจฉัยโรคช่องปาก เป็นศาสตร์ที่ประกอบไปด้วยหลายสาขาวิชาได้แก่ สาขาวิชาพยาธิวิทยาช่องปาก (ORAL PATHOLOGY) เวชศาสตร์ช่องปาก (ORAL MEDICINE) รังสีวิทยาช่องปากและแมกซิลโลเฟเชียล (ORAL AND MAXILLOFACIAL RADIOLOGY) รวมทั้งงานทางด้านระบบบดเคี้ยวและข้อต่อขากรรไกร (OCCLUSION AND TEMPOROMANDIBULAR JOINT) นอกจากนี้ยังประกอบไปด้วยสาขาวิชาชีววิทยาช่องปาก ซึ่งเป็นการนำเอาความรู้พื้นฐานด้านวิทยาศาสตร์มาอธิบายสมมติฐานการเกิดโรค ทำให้เข้าใจกลไกการเกิดโรค และนำไปสู่การพัฒนาการรักษาโรคที่ดีขึ้นต่อไป

หลักสูตร ประกาศนียบัตรบัณฑิต

ระยะเวลาศึกษา : 1 ปี

ตัวอย่างกระบวนวิชาในหลักสูตร ได้แก่

- Advanced oral diagnosis sciences, radiology, oral medicine, pathology, occlusion, and laboratory in oral pathology and etc.
- Basic sciences: biomedical sciences, oral biology, and etc.

คณะทันตแพทยศาสตร์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

มีศักยภาพ และความพร้อมอย่างสูงในการเรียนการสอนระดับบัณฑิตศึกษา มีคณาจารย์ และบุคลากรที่มีความชำนาญในทุกสาขาวิชาของวิทยาการวินิจฉัยโรคช่องปาก มีทุนสนับสนุนการทำวิจัย การทำวิทยานิพนธ์ และการค้นคว้าอิสระ รวมถึงสนับสนุนการไปประชุมวิชาการและเผยแพร่ผลงานทางด้านวิชาการ ทั้งใน และนอกประเทศ

นอกจากนี้ยังมีห้องปฏิบัติการ รวมทั้งวัสดุ อุปกรณ์ และครุภัณฑ์ที่เอื้อต่อการเรียนการสอนและการบริการผู้ป่วย พร้อมทั้งสิ่งแวดล้อม บรรยากาศที่สวยงาม เอื้อต่อการเรียนรู้อย่างมีความสุข



หลักสูตร วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

ระยะเวลาศึกษา : 2 ปี **วัตถุประสงค์ :** เพื่อให้ทันตแพทย์

- มีความรู้ ความสามารถและทักษะในการดูแลสุขภาพช่องปากให้แก่ผู้ป่วยได้อย่างถูกต้องเหมาะสมในฐานะผู้เชี่ยวชาญเฉพาะทางในสาขาวิชาวิทยาการวินิจฉัยโรคช่องปาก
- มีความสามารถในการค้นคว้าหาความรู้ ความก้าวหน้าทางวิชาการหรือเทคโนโลยี เพื่อนำไปประยุกต์ใช้อย่างเหมาะสม
- มีความสามารถในการพัฒนาความรู้ทางวิชาการให้สูงขึ้น จากประสบการณ์การทำงานวิจัยอย่างมีคุณภาพ

สอบถามข้อมูลเพิ่มเติม

รศ.ทพ.สุรวุฒน์ พงษ์ศิริเวทย์

โทร. 053-944-451

email : surawut1@yahoo.com