

# 건축 타일용 Effect(Sinking, Matt, Glossy) 세라믹 잉크의 제조 및 특성 연구

조성진<sup>1</sup>, 하진욱<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>순천향대학교 신소재공학과, <sup>2</sup>순천향대학교 에너지환경공학과

## A Study on the Preparation and Properties of Effect(Sinking, Matt, Glossy) Ceramic Ink for Architectural Tiles

Sung-Jin Cho<sup>1</sup>, Jin-Wook Ha<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>Division of New Materials Engineering, Soonchunhyang University

<sup>2</sup>Division of Energy & Environmental Engineering, Soonchunhyang University

**요약** 최근 소비자의 감성 소비 증가로부터 고선명도 이미지 구현과 함께 입체적 표현까지도 가능한 Effect 세라믹 잉크의 개발이 시도됨에 따라 본 연구에서는 국내 세라믹 안료 제조업체(HANIL Corp.)에서 개발된  $V_2O_5$ - $Bi_2O_3$ (Sinking),  $SiO_2$ - $Al_2O_3$ (Matt),  $SiO_2$ - $ZnO$ - $Bi_2O_3$ (Glossy) 조성의 Effect 세라믹 안료를 이용하여 질감 및 광택 구현이 가능한 건축 타일용 세라믹 잉크를 제조하였다. 제조된 잉크는 잉크젯 프린팅 공정에 적용하기 위하여 공정에서 필수적으로 요구되는 잉크의 물성, 토출성 및 타일 적용 특성을 검토하였다. 그 결과, Effect 세라믹 잉크의 물성은 입도( $d_{50}$ ) 300 nm 이하, 점도( $\eta_{50^\circ C}$ ) 14.3~14.6 cps, 점도안정성( $\Delta$ )  $\pm 3$  % 이내, 표면장력( $\sigma$ ) 28.12~28.35 mN/m로 측정되었다. 토출성의 평가는 drop 형성 거리 495~524  $\mu m$ , Volume uniformity 5 % 미만, 헤드 노즐의 크기가 55, 30  $\mu m$  일 때, Ohnesorge number(Oh)의 역수(Z)는 각각 2.85~3.22, 2.13~2.38로 토출성 기준에 만족하였다. 또한, Effect 잉크의 특성을 타일에 적용하였을 때, Glossy 타일의 광택도( $60^\circ$ ) 90.5 GU, Matt 타일의 광택도( $60^\circ$ ) 5.8 GU, Sinking 타일의 평균 표면침투깊이 67.5  $\mu m$ 로 측정되었다.

**Abstract** The development of an effect ceramic ink that materializes High-Definition (HD) images and a Three-Dimensional (3D) expression was attempted due to a recent increase in consumers' emotional consumption. This study utilized the ceramic pigments of  $V_2O_5$ - $Bi_2O_3$  (Sinking),  $SiO_2$ - $Al_2O_3$  (Matt), and  $SiO_2$ - $ZnO$ - $Bi_2O_3$  (Glossy) compositions developed by a domestic ceramic pigment manufacturer (HANIL Corp.). The ceramic pigments were later used to manufacture the effect ceramic ink for architectural tiles that can materialize texture and gloss effects. The manufactured ink's essential physical and jetting properties and tile application characteristics have been examined to use it further in the inkjet printing processes. Thus, the Effect ceramic ink has been measured to have the following attributes: particle size ( $d_{50}$ ) less than 300 nm, viscosity ( $\eta_{50^\circ C}$ ) between 14.3 and 14.6 cps, viscosity stability ( $\Delta$  %) within  $\pm 3$  %, and surface tension ( $\sigma$ ) between 28.12 and 28.35 mN/m. In the jetting property evaluation, the drop formation distance was 495 to 524  $\mu m$ . The volume uniformity was less than 5 %; when the head nozzle size was 55 and 30  $\mu m$ , and the reciprocal number (Z) of the Ohnesorge number (Oh) was from 2.85 to 3.22 and from 2.13 to 2.38, respectively, which satisfied the characteristic criteria. Additionally, when each of the effect ink's characteristics was applied to the tiles, gloss ( $60^\circ$ ) of the glossy tile of 90.5 GU, gloss ( $60^\circ$ ) of the matt tile of 5.8 GU, and average surface penetration depth of the sinking tile of 67.5  $\mu m$  were measured.

**Keywords** : Ceramic Pigment, Glossy, Ink-Jet Printing Process, Matt, Sinking

본 논문은 2019학년도 순천향대학교 교수 연구년제에 의한 연구수행의 결과물임을 밝힙니다.

\*Corresponding Author : Jin-Wook Ha(Soonchunhyang Univ.)

email: chejwh@sch.ac.kr

Received October 20, 2021

Revised November 30, 2021

Accepted February 4, 2022

Published February 28, 2022

## 1. 서론

건축용 프린팅 소재는 반영구적인 내구성을 확보하기 위하여 세라믹 소재의 잉크를 사용하는 것이 일반적이며, 1,000 °C 이상의 소성(열처리) 과정을 견딜 수 있어야 하고 프린팅 설비와의 호환성 확보가 필수적이다.

현재까지 세라믹 잉크는 고선명도 이미지를 구현하기 위하여 기존의 프린팅 공정에 사용되는 3원색(Red, Green, Blue)의 잉크와는 달리 인쇄용 4원색(Cyan, Magenta, Yellow, Black)의 잉크가 주로 사용되었으나, 최근 소비자의 감성 소비 증가에 따라 고선명도 이미지 구현은 물론, 입체적 질감 표현까지도 가능한 기능성 세라믹 잉크의 개발이 시도되고 있다[1-3].

이러한 기능성 세라믹 잉크는 질감(Sinking) 및 광택도(Glossy, Matt)를 이용하여 고부가가치의 디자인 제품을 구현한다는 의미로 관련 업계에서는 Effect(Sinking, Matt, Glossy) 세라믹 잉크라 명칭 되고 있다.

본 연구에서는 국내 세라믹 안료 제조 업체(HANIL Corp.)에서 개발된 Effect(Sinking, Matt, Glossy) 세라믹 안료를 이용하여 입체적 질감 및 광택도 구현을 목적으로 건축 타일에 적용 가능한 세라믹 잉크를 제조하였으며, 제조된 잉크를 잉크젯 프린팅 공정에 적용하고자 하였다.

## 2. 실험방법

### 2.1 세라믹 잉크의 제조 방법

본 연구에서 사용된 Effect(Sinking, Matt, Glossy) 세라믹 안료는 국내 세라믹 안료 제조업체(HANIL Corp.)에서 개발된 조성을 사용하였으며, 각각의 Effect 특성에 대한 안료의 조성은 아래 Table 1에 나타내었다.

세라믹 잉크의 제조는 안료, 용제(Propylene glycol monomethyl ether) 및 분산제(BYK)를 각각 40 : 30 : 5의 비율로 혼합한 후, Nano Mill(Minicer, Netsch)을 이용하여 4,000 rpm으로 4시간 동안 분산하였으며, 남은 용제를 활용하여 잉크젯 프린팅 공정에 적합한 점도가 되도록 마감하여 제조하였다.

Table 1. Composition of Effect(Sinking, Matt, Glossy) ceramic pigment

Sinking	Matt	Glossy
V <sub>2</sub> O <sub>5</sub> -Bi <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub> -Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub> -ZnO-Bi <sub>2</sub> O <sub>3</sub>

### 2.2 세라믹 잉크의 물성(점도, 점도안정성, 표면장력) 측정 방법

제조된 세라믹 잉크의 점도( $\eta_{50\text{c}}$ )는 50 °C에서 rheometer(Hakke mars III, Thermo scientific)를 이용하여 측정하였으며, 각각의 세라믹 잉크를 항온·항습기에서 50 °C로 하여 7일간 방치 후, 변화된 점도의 차이( $\Delta\%$ )를 이용하여 점도안정성을 평가하였다. 표면장력( $\sigma$ )은 tensiometer(DST60, Susface Electrro Optics Co., Ltd)를 이용하여 측정하였다.

### 2.3 세라믹 잉크의 토출 특성 평가

#### 2.3.1 drop 형성 거리의 측정 방법

drop 형성 거리는 dropwatcher(dropwatcher, STI Corp.) 이용하여 세라믹 잉크의 drop 모양이 완전한 구형을 형성할 때, 노즐과 세라믹 잉크 사이의 평균 거리( $\mu\text{m}$ )를 측정하였다.

#### 2.3.2 Volume uniformity의 측정 방법

세라믹 잉크의 drop 모양이 완전한 구형을 형성할 때의 volume(pl)을 측정 후, 아래 Eq. (1)을 이용하여 계산하였다.

$$Volume\ uniformity = \frac{Stdev.}{V_{avg}} \times 100 \quad (1)$$

Where,  $V_{avg}$  denotes average volume(pl)

#### 2.3.3 세라믹 잉크의 pattern printing 평가 방법

Sinking, Matt 잉크는 Opaque Base 타일, Glossy 세라믹 잉크는 Matt Base 타일에 일정한 패턴으로 프린트한 후, 소성하여 프린트된 패턴의 변질을 확인하였다. 각각의 잉크에 대한 소성 조건은 Table 2와 같다.

Table 2. Sintering condition of Effect(Sinking, Matt, Glossy) ceramic ink

Condition	Temperature(°C)	time(min)
Sinking	700	45
Matt	1200	45
Glossy	650	60

#### 2.3.4 Ohnesorge number(Oh) 계산

세라믹 잉크의 Ohnesorge number(Oh)의 계산은 아래 Eq. (2)를 이용 하였으며, 헤드 노즐의 크기 조건은 55  $\mu\text{m}$ , 30  $\mu\text{m}$ 로 하였다.

$$Oh = \frac{\eta}{\sqrt{\rho\sigma D^{1/2}}} \quad (2)$$

Where,  $\eta$  denotes viscosity,  $\rho$  denotes density,  $\sigma$  denotes surface tension, D denotes nozzle diameter

## 2.4 세라믹 잉크의 타일 적용 평가

### 2.4.1 Glossy, Matt 세라믹 잉크의 타일 적용

Glossy 세라믹 잉크는 Matt Base 타일, Matt 세라믹 잉크는 Opaque Base 타일에 각각 2, 4회 젯팅(Jetting) 한 후, Table 2에 나타난 소성 조건으로 소성하여 제작하였다. 제작된 타일의 광택도(GU)는 표면 광택 측정방법(ASTM D 5247)에 따라 Gloss meter(Novo-Gloss Trio, kipaE&T CO., Ltd)를 이용하여 측정하였다.

### 2.4.2 Sinking 세라믹 잉크의 타일 적용

Sinking 세라믹 잉크를 Opaque Base 타일에 3회 젯팅(Jetting) 한 후, 700 °C에서 45분 동안 소성하여 제작하였다. 제작된 타일의 표면침투깊이( $\mu\text{m}$ )는 광학현미경(GX51M, OLYMPUS Corp.)을 이용하여 측정하였다.

## 3. 결과 및 고찰

### 3.1 세라믹 잉크의 물성 측정 결과

잉크젯 프린팅 공정에서 원활한 토출성 확보를 위하여 세라믹 잉크의 물성은 300 nm 이하의 입도 분포, 11~16 cps 정도의 점도, 26~33 mN/m의 표면장력( $\sigma$ )을 요구한다[4].

Table 3. Measurement values of physical properties of Effect(Sinking, Matt, Glossy) ceramic ink

Item	Sinking	Matt	Glossy
Particle Size ( $d_{50}$ , nm)	158	237	180
Viscosity (50°C, cps)	14.3	14.5	14.6
Viscosity Stability ( $\Delta\%$ )	1.20	0.80	0.62
Surface Tension (mN/m)	28.35	28.12	28.26
Density ( $\text{g}/\text{cm}^3$ )	1.34	1.25	1.15

Table 3은 제조된 Effect(Sinking, Matt, Glossy) 세라믹 잉크에 대한 물성 측정 결과를 요약한 것으로 평균 입도( $d_{50}$ )는 300 nm 이하, 점도( $\eta_{50^\circ\text{C}}$ )는 14.3~14.6 cps, 점도안정성( $\Delta\%$ )은  $\pm 3\%$  이내, 표면장력( $\sigma$ )은 28.12~28.35 mN/m로 측정되었다.

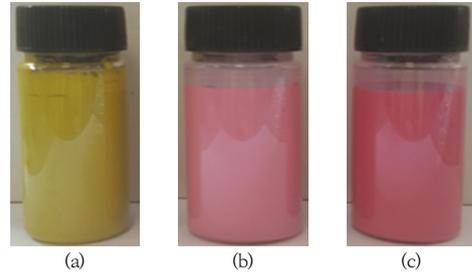


Fig. 1. Images of Effect ceramic ink (a) Sinking, (b) Matt, (c) Glossy

또한, 제조된 세라믹 잉크는 2주 후까지 침전이 크게 발생하지 않고 안정적으로 용제 내에 분산되어 있는 것을 확인하였다.

### 3.2 drop 형성 거리 측정 결과

Effect(Sinking, Matt, Glossy) 세라믹 잉크의 drop 형성 거리는 세라믹 잉크의 drop 모양이 완전한 구형을 형성할 때, 노즐로부터 495~524  $\mu\text{m}$ 로 나타났다.

Table 4. Measurement values of drop formation distance of Effect(Sinking, Matt, Glossy) ceramic ink

Item	Sinking	Matt	Glossy
Avg. distance( $\mu\text{m}$ )	524	508	495

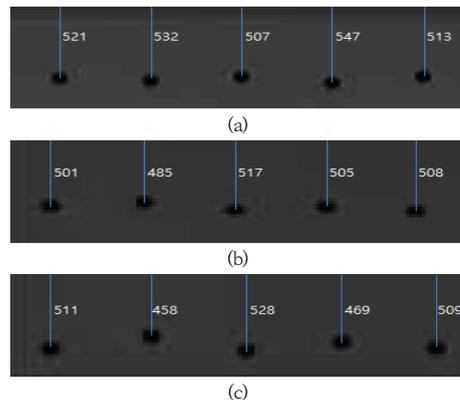


Fig. 2. Optical micrograph of drop formation (a) Sinking ink, (b) Matt ink, (c) Glossy ink

### 3.3 Volume uniformity의 측정 결과

세라믹 잉크의 volume(pl)을 측정 후, Eq. (1)을 이용하여 계산된 결과를 Table 5에 요약하였다. Effect(Sinking, Matt, Glossy) 세라믹 잉크의 Volume uniformity는 모두 5 % 미만을 보였다.

Table 5. Measurement values of the volume uniformity of Effect(Sinking, Matt, Glossy) ceramic ink

Item	Sinking	Matt	Glossy
$V_{avg}(pl)$	55.7	53.6	52.8
Stdev.	1.84	2.06	1.85
Volume uniformity (1 sigma)	3.30%	3.84%	3.50%

### 3.4 세라믹 잉크의 pattern printing 결과

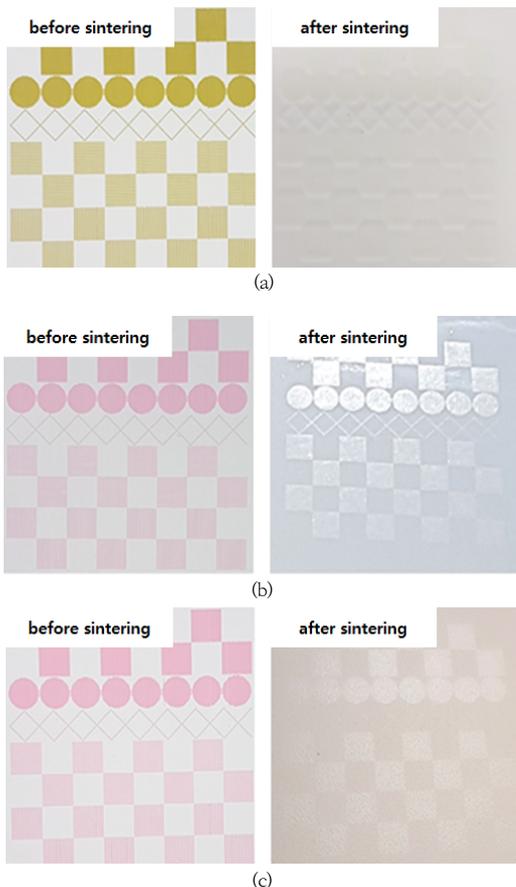


Fig. 3. Compare of sintering effect of pattern printing using the Effect ceramic ink (a) Sinking, (b) Matt, (c) Glossy

Effect(Sinking, Matt, Glossy) 세라믹 잉크를 건축용 타일에 일정한 패턴으로 프린트하여 소성 전, 후의 패턴 형상을 Fig. 3에 나타내었다. 소성 후 프린트된 패턴은 모든 잉크에서 유지되는 것을 확인하였으며, 각각의 잉크에 대하여 Effect(Sinking, Matt, Glossy) 특성이 유지됨을 확인하였다.

### 3.5 세라믹 잉크의 Ohnesorge number(Oh)계산

잉크젯 프린팅 공정에서 세라믹 잉크의 Ohnesorge number(Oh)는 점도( $\eta$ )와 표면장력( $\sigma$ )의 상대적인 중요성 및 영향 정도를 표현하는 지표로 사용되며, 일반적으로 drop on demand 방식의 잉크젯 프린팅에서는 Ohnesorge number의 역수(Z)가 1~10 사이의 값을 나타낼 때, 토출성이 확보된 것으로 판단한다[5-7].

헤드 노즐의 크기 조건이 55  $\mu$ m, 30  $\mu$ m일 때, 잉크에 대한 Ohnesorge number와 그 역수(Z)를 Table 6, 7에 나타내었다. 헤드 노즐의 크기가 55  $\mu$ m 조건에서 Z의 값은 2.85~3.22, 헤드 노즐의 크기가 30  $\mu$ m 조건에서 Z의 값은 2.13~2.38로 계산되었으며, 모든 잉크에서 토출성이 확보됨을 보였다.

Table 6. Calculation of ohnesorge number(Oh) and inverse of ohnesorge number(Z) of Effect(Sinking, Matt, Glossy) ceramic ink at head nozzle of 55  $\mu$ m size

Item	Ohnesorge number(Oh)	Inverse of Ohnesorge number(Z)
Sinking	0.31	3.22
Matt	0.33	3.03
Glossy	0.35	2.85

Table 7. Calculation of ohnesorge number(Oh) and inverse of ohnesorge number(Z) of Effect(Sinking, Matt, Glossy) ceramic ink at head nozzle of 30  $\mu$ m size

Item	Ohnesorge number(Oh)	Inverse of Ohnesorge number(Z)
Sinking	0.42	2.38
Matt	0.45	2.22
Glossy	0.47	2.13

### 3.6 Glossy, Matt 세라믹 잉크의 타일 적용 결과

Glossy, Matt 세라믹 잉크를 건축용 타일에 적용하기 위하여 Glossy 세라믹 잉크는 Matt Base 타일, Matt 세

라믹 잉크는 Opaque Base 타일에 각각 2, 4회 젯팅(Jetting) 한 후, 소성하여 제작하였다. 제작된 타일에 대한 광택도 측정 결과는 Fig. 4, Table 8에 나타내었다.

Glossy 세라믹 잉크로 제작된 타일의 광택도는 표준 측정 각도(60°)에서 90.5 GU로 측정되었으며, 일반적으로 광택 타일에서 요구하는 광택도 수치(40 GU 이상)에 만족하는 결과를 보였다.

Matt 세라믹 잉크로 제작된 타일의 광택도는 표준 측정 각도(60°)에서 5.8 GU로 측정되었으며, 일반적으로 무광택 타일에서 요구하는 광택도 수치(15 GU 이하)에 만족하는 결과를 보였다.

Table 8. Measurement value of gloss(GU) of glossy tile

Angle(°)	20	60	85
Glossy Tile	80.5	90.5	98.4
Matt Tile	1.4	5.8	11.6

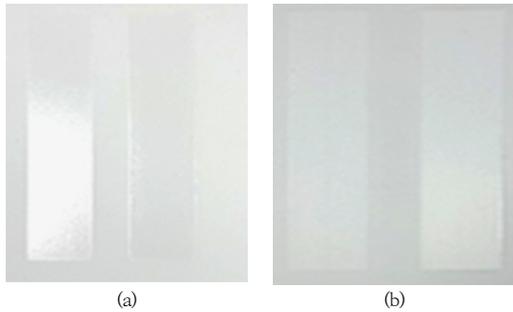


Fig. 4. Image of tiles made by Glossy and Matt ceramic ink  
(a) Glossy tile, (b) Matt tile

### 3.7 Sinking 세라믹 잉크의 타일 적용 결과

Sinking 세라믹 잉크를 건축용 타일에 적용하기 위하여 Opaque Base 타일에 3회 젯팅(Jetting) 한 후, 소성하여 제작하였다.

Table 9. Measurement value of surface penetration depth of sinking tile

Area	(a)	(b)
depth of Surface Penetration(μm)	68	67

제작된 타일의 표면침투깊이(μm)는 기존 타일과 침투 후 타일의 두께 차이(Δ μm)로 정의하였다. Fig. 5에 표시된 (a), (b) 부분에서 타일의 표면침투깊이(μm)는 각각 68, 67 μm로 확인하였다.

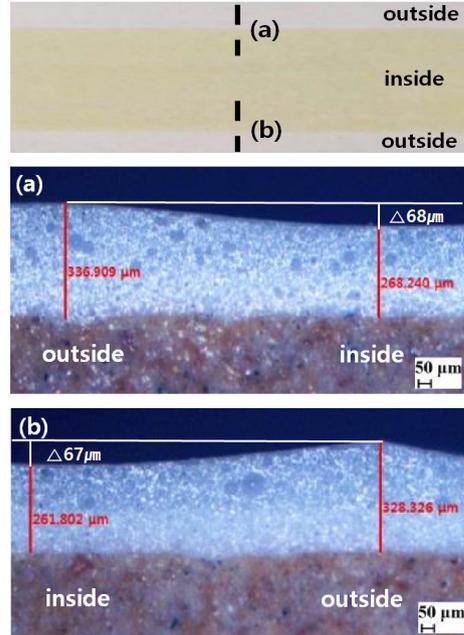


Fig. 5. Image of tile and surface penetration depth made by sinking ceramic ink

## 4. 결론

본 연구에서는 V<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-Bi<sub>2</sub>O<sub>3</sub>(Sinking), SiO<sub>2</sub>-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>(Matt), SiO<sub>2</sub>-ZnO-Bi<sub>2</sub>O<sub>3</sub>(Glossy) 조성의 Effect 세라믹 안료를 이용하여 입체적 질감 및 광택도 구현을 목적으로 건축 타일에 적용 가능한 세라믹 잉크를 제조하였으며, 잉크젯 프린팅 공정에 적용하고자 그 특성들을 평가하였다.

1. Effect(Sinking, Matt, Glossy) 세라믹 잉크의 평균 입도(d<sub>50</sub>)는 300 nm 이하, 점도(η<sub>750c</sub>)는 14.3~14.6 cps, 점도안정성(Δ%)은 ±3 % 이내, 표면장력(σ)은 28.12~28.35 mN/m로 측정되었으며, 잉크젯 프린팅 공정에서 원활한 토출 특성에 요구하는 물성 기준에 만족하였다.
2. 세라믹 잉크의 토출성 시험 결과, drop 형성 거리는 495~524 μm, Volume uniformity는 5 % 미

만, 헤드 노즐의 크기 조건이 55  $\mu\text{m}$ 와 30  $\mu\text{m}$ 에서 Ohnesorge number(Oh)의 역수(Z)는 각각 2.85~3.22, 2.13~2.38로 계산되었으며, 원활한 토출성이 확보됨을 보였다. 또한, pattern printing 평가 결과에서 각 잉크의 Effect(Sinking, Matt, Glossy) 특성이 유지되는 것을 확인하였다.

- Effect(Sinking, Matt, Glossy) 세라믹 잉크를 타일에 적용한 결과, Glossy 세라믹 잉크의 광택도(60°)는 90.5 GU, Matt 세라믹 잉크의 광택도(60°)는 5.8 GU, Sinking 세라믹 잉크의 평균 표면침투깊이( $\mu\text{m}$ )는 67.5  $\mu\text{m}$ 로 측정되었다.

## References

- J. S. Moon, "Development Technology for High-Definition Ink-Jet Printing Ceramic Tiles Tailored to Consumers", *Ceramist*, The Korean Ceramic Society, Seoul, Korea, Vol.19, No.3, pp.36-45, Nov 2016.
- M. J. Kwon, *Development of the Glazed Nano Ceramic Inks for Ink-jet Printing*, Ph.D dissertation, Soon Chun Hyang University, Asan, Korea, pp.1-42, 2019.
- W. J. Lee, H. J. Hwang, K. S. Han, W. S. Cho, J. H. Kim, "Characterization and Synthesis of Aqueous Pink-Red Ceramic Ink for Digital InkJet Printing", *Journal of the Korean Crystal Growth and Crystal Technology*, Vol.25, No.1, pp.20-26, Feb. 2015.  
DOI: <http://doi.org/10.6111/JKCGCT.2015.25.1.020>
- J. W. Kwon, J. H. Lee, K. T. Hwang, J. H. Kim, K. S. Han, "Formulation and Evaluation of Glass-Ceramic Ink for Digital Ink-jet Printing", *Korean Journal of Materials Research*, Vol.27, No.11, pp.583-589, Oct. 2017.  
DOI: <http://doi.org/10.3740/MRSK.2017.27.11.583>
- J. W. Kwon, J. H. Lee, K. T. Hwang, J. H. Kim, K. S. Han, "Rheological Behavior and Ink-jet Printing Characteristics of Aqueous Ceramic Complex Ink", *Journal of the Korean Crystal Growth and Crystal Technology*, Vol.28, No.3, pp.123-129, Jun. 2018.  
DOI: <http://doi.org/10.6111/JKCGCT.2018.28.3.123>
- Y. Guo, HS. Patanwala, B. Bognet, A. W. K. Ma, "Inkjet and Inkjet-based 3D Printing : Connecting Fluid Properties and Printing Performance", *Rapid Prototyping Journal*, Vol.23, No.3, pp.562-576, Jun. 2017.  
DOI: <http://doi.org/10.1108/RPJ-05-2016-0076>
- J. Y. Lee, J. H. Lee, J. H. Park, S. Nahm, K. T. Hwang, J. H. Kim, K. S. Han, "Formulation and Ink-jet 3D Printability of Photo Curable nano Silica Ink", *Journal of the Korean Crystal Growth and Crystal Technology*, Vol.29, No.6, pp.345-351, Dec. 2019.  
DOI: <http://doi.org/10.6111/JKCGCT.2019.29.6.345>

조 성 진(Sung-Jin Cho)

[준회원]



- 2014년 2월 : 순천향대학교 디스플레이신소재공학과 (공학사)
- 2016년 2월 : 순천향대학교 신소재공학과 (공학석사)
- 2016년 9월 ~ 현재 : 순천향대학교 신소재공학과 박사과정

<관심분야>

세라믹소재, 친환경소재, 폐기물자원화

하 진 욱(Jin-Wook Ha)

[정회원]



- 1990년 8월 : (미)일리노이주립대 화학공학과 (공학석사)
- 1993년 5월 : (미)일리노이주립대 화학공학과 (공학박사)
- 2004년 1월 ~ 2004년 8월 : 일본 주꾸바과학도시, AIST, 초빙연구원
- 2006년 3월 ~ 현재 : 순천향대학교 에너지환경공학과 정교수

<관심분야>

친환경소재, 폐기물자원화, 대기·수질 정화