

거푸집 종류에 따른 콘크리트 표면 특성

Surface Characteristics of Concrete According to Types of Formworks

박세연¹ · 최정일² · 이봉기³ · 이방연^{4*}

Se-Eon Park¹ · Jeong-Il Choi² · Bong-Kee Lee³ · Bang Yeon Lee^{4*}

(Received October 19, 2021 / Revised October 25, 2021 / Accepted October 28, 2021)

The purpose of this study is to investigate experimentally the physical/chemical properties of concrete surface according to types of formworks. Plywood formwork and coated plywood formwork were prepared. In addition, plywood formwork with sand paper was prepared to simulate deterioration of concrete or rough surface of concrete. Normal concrete was used in this study. The properties of concrete surface were investigated by visual inspection, scanning electron microscopy and energy-dispersive X-ray spectroscopy techniques, elemental mapping, 2D and 3D surface profile measurement, and zeta potential measurement. Test results showed that concrete in a coated formwork had smooth surface and concrete in the formwork with sand paper had rough surface. It was observed that properties of concrete surface depended on types of formworks. Furthermore, differences in surface roughness were significantly higher than those in chemical compositions and zeta potential.

키워드 : 콘크리트, 거푸집, 표면

Keywords : Concrete, Formwork, Surface

1. 서론

공항, 교량, 학교, 댐 등 17개 사회기반시설에 대한 미국토목학회(ASCE)의 2021 Report card에 따르면 미국의 사회기반시설 등급은 평균 C-로 조사를 시작한 1998년 D에 비하여 높아지고 있으나 여러 시설물은 여전히 D 등급에 머무르고 있다. 이러한 평가에서 가장 중요한 것 중의 하나는 시설물의 정확한 조사(Investigation)와 합리적 평가(Evaluation 또는 Assessment)이다. 시설물의 진단과 평가를 위한 다양한 센서, 평가 및 진단 시스템, 평가 절차에 대한 연구가 국내외적으로 활발히 연구되고 있다. 콘크리트 시설물 조사에서 측정 장비나 센서는 콘크리트 표면에 영구적으로 부착되거나 비접촉 방식이다. 콘크리트에 장비나 센서가 부착되는 경우 부착력은 부착에 사용되는 물질과 콘크리트 표면 특성에 따라 달라진다.

콘크리트용 부착 물질은 주로 균열 보수 방법으로 널리 이용되

고 있는 에폭시 수지와 같이 유기계 기반 물질이 사용되고 있다. 최근 다양한 조건 및 환경에서의 콘크리트 표면 부착 특성을 평가하고 새로운 부착 물질을 개발하기 위한 연구가 진행되고 있다.

Horgnies et al.(2011)은 콘크리트와 폴리우레아 기반의 보호막 사이의 결합력을 측정하기 위해 peel test를 진행하였으며, 비파괴적 FT-IR을 수행하여 분석하였다. 실험결과, 습윤 환경과 장기 재령이 부착력을 크게 감소시켰으며, 이는 표면부의 큰 포틀랜드이트 입자, 백화 증가, 탄산화 등이 이유인 것으로 나타났다. 또한 몰드의 종류(폴리염화비닐 또는 폴리옥시메틸렌)도 표면 거칠기에 영향을 주는 것으로 나타났다. Krzywiński and Sadowski (2019)는 4가지 콘크리트 표면 가공 방법(격자로 누르기(groove), 패턴 각인(imprint), 흠파기(patch grab), 솔질(brush))으로 총 17가지 콘크리트 표면의 거칠기 및 패턴을 만들고 합성 부착 물질의 박리력(pull-off strength)을 측정하였다. 실험결과 패턴 각인으로

* Corresponding author E-mail: bylee@jnu.ac.kr

¹전남대학교 건축토목공학과 박사과정 (Department of Architecture and Civil Engineering, Chonnam National University, Gwangju 61186, Korea)

²전남대학교 바이오하우징연구소 박사후 연구원 (Biohousing Research Center, Chonnam National University, Gwangju 61186, Korea)

³전남대학교 기계공학부 교수 (School of Mechanical Engineering, Chonnam National University, Gwangju 61186, Republic of Korea)

⁴전남대학교 건축학부 교수 (School of Architecture, Chonnam National University, Gwangju 61186, Republic of Korea)

Copyright © 2021 by Korean Recycled Construction Resources Institute

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited

표면 패턴을 만든 경우 부착력이 높은 것으로 나타났다. Ye et al.(2021)은 지오폐리머와 목재 복합재료의 계면 부착력을 조사하였다. 실험결과 계면 부착 강도는 페이스트 내로 합판(venier)의 매입 깊이가 25mm까지 증가함에 따라 증가하였으며, 계면에서 강한 기계적 맞물림 결합보다 60그리트 사포로 샌딩을 통해 목재 표면 거칠기를 높이는 것이 결합력이 높은 것으로 나타났다. 또한 습윤 조건에서 경화하는 경우 건조 조건에 비하여 접합 강도가 높은 것으로 나타났다. 이와 같이 콘크리트와 타 물질의 부착은 콘크리트 표면 특성(표면 거칠기, 레이턴스, 미세균열, 청결정도), 표면처리와 덧씌움 방법(미리 물 축임, 부착 물질 종류, 덧씌움 재료 특징, 타설, 다짐 방법), 환경조건(재령, 초기 하중, 피로, 양생 조건) 등의 요인들에 영향을 받는 것으로 알려져 있다. 특히 콘크리트 보수에서 표면 미세균열, 레이턴스 층, 표면 청결도, 다짐과 양생 방법이 부착력에 큰 영향을 미치는 것으로 나타났다. 콘크리트 표면 등 건설용으로 사용되는 부착 물질 혹은 부착 기술은 현재 대부분 접착제 형태로 높은 부착 강도를 가지는 영구적인 부착을 주목적으로 하고 있다.

최근 드론과 같은 이동이 상대적으로 자유로운 장비가 개발되고 있으며, 이러한 진단 장비가 콘크리트 시설물 표면에 자가 탈부착(점착)이 가능하다면 외관 조사 뿐만 아니라 추가적인 점검이 가능하여 그 활용성이 매우 다양할 수 있을 것으로 예상된다. 자가 탈부착은 자연계에서 발견할 수 있는 수직형 구조물 벽면에 부착하여 움직이는 동/식물들에서 발견되며 대표적인 예는 산양, 청개구리, 게코 도마뱀, 갯강구, 딱따구리, 우렁 씨앗 등이 있다. 게코 도마뱀의 발바닥에는 수많은 강모가 있으며, 각각의 강모는 다시 수많은 섬모로 나누어지며, 이와 같은 마이크로/나노 구조를 가지는 강모 수백만 개가 모여서 강한 점착력을 보인다고 알려져 있다. 딱따구리의 경우 발가락(claw)의 끝의 날카로운 후크 형태의 고리를 이용한 기계적 체결을 통해 충격과 중력으로부터 몸을 지지하는 것으로 알려져 있다. 우렁 씨앗은 갈고리 형태의 가시 끝부분을 이용하여 점착이 이루어지는 것으로 알려져 있다. 이와 같은 점착력은 대상 물질의 표면 특성에 따라 달라지게 된다. 따라서 대상 물질에 적합한 점착 기술을 개발하기 위해서는 대상 물질의 표면의 물리/화학적 특성을 조사할 필요가 있다.

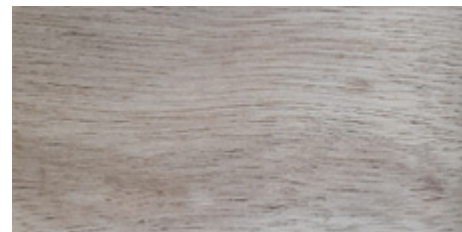
이 연구에서는 콘크리트 시설물 표면에 자가 탈부착이 가능한

점착 기술 개발을 위한 기초 연구로서 거꾸집 종류에 따른 보통 콘크리트의 표면 특성을 조사하고자 한다.

2. 실험 재료 및 방법

2.1 실험 재료 및 제조 방법

콘크리트를 제조하기 위해 사용된 재료는 결합재로 1종 포틀랜드 시멘트가 사용되었고, 수돗물이 사용되었다. 잔골재로는 주문진 표준사가 사용되었으며, 최대치수 13mm의 굵은 골재가 사용되었다. 액상형 폴리카르보산계 고성능 감수제가 사용되었으며, 비실리콘계 소포제가 사용되었다. 이 연구에서 사용한 콘크리트는 국내 건설 현장에서 사용된 배합에서 물-시멘트비, 잔골재 등 콘크리트의 기본 성질을 결정하는 주요 인자들의 값과 동일하게 제조되었으며, 각 재료의 배합 비율은 Table 1과 같다. 각 재료를 혼합한 후 굳기 전 콘크리트를 직경 100mm의 원주형 몰드와 200mm x 200mm x 40mm의 몰드에 넣어 실험체를 제작하고, 양생 온도 23°C ± 3°C에서 2일 동안 기중 양생을 한 후 실험체를 탈형



(a) NF



(b) CF



(c) SF

Fig. 1. Types of formworks

Table 1. Mixture proportion of concrete

Cement	Water	Fine aggregate	Coarse aggregate	Superplasticizer	Antifoamer
1	0.41	2.06	2.42	0.007	0.001

하였다. 탈형 후 동일 조건에서 재령 28일까지 기중 양생을 실시하였다. 3개 공시체의 콘크리트의 압축강도는 46.3MPa로 나타났다.

2.2 실험 변수

이 연구에서는 3가지 종류의 거푸집을 사용하였으며, 거푸집 표면 사진은 Fig. 1과 같다. NF와 CF는 각각 일반 합판 거푸집과 표면이 코팅된 합판 거푸집을 나타내며, 두 거푸집 모두 일반 건설현장에서 주로 사용되는 것들이다. SF는 콘크리트 표면의 열화나 인위적으로 표면을 거칠게 만든 경우를 모사하기 위해 일반 합판 거푸집에 사포를 부착한 거푸집을 나타낸다. SF에 사용한 사포는 산화 알루미늄을 입자로 사용하고, 평균 입자 크기 162 μ m을 갖는 P1000이다.

2.3 실험 방법

거푸집 종류별 콘크리트 표면 특성을 평가하기 위하여 제조한 콘크리트 패널 표면을 육안으로 관찰하고 디지털 카메라로 촬영하였다.

미세한 표면 관찰과 화학 성분 분석을 위해 2차 전자 이미지 모드의 주사전자현미경(scanning electron microscope, SEM)과 에너지분산 분광분석기(energy dispersive X-ray spectroscopy, EDS)를 사용하였다. 이를 위하여 시료는 표면부에서 약 1 x 1 x 1cm³ 크기로 절단하였고, 각 시료를 3일간 진공시킨 후 백금(Pt)으로 코팅하였다.

표면 거칠기를 정량적 측정하기 위하여 가시광선을 표면에 조사하고 반사되어 나오는 빛의 간섭을 측정하여 표면의 형상을 측정하는 백색광 주사 간섭계(white-light scanning interferometry, WSI)를 이용하였다. 가시광선의 표면 반사를 위해 각 배합별 콘크리트 시편 표면을 금(Ag)으로 코팅하였다. 측정 후 소프트웨어를 통해 표면을 2차원과 3차원 이미지로 나타내었으며, 3가지 계수로 표면 거칠기를 정량적으로 나타내었다. R_q 는 산술 평균 거칠기를 나타내는 계수로서 식 (1)과 같고, 의미는 측정 영역의 평균 높이와 각 위치의 높이 차이의 절대값의 합이다. 이 값이 크면 평균적으로 표면이 거칠다는 의미이고, 작으면 매끄럽다는 것을 의미한다.

$$R_q = \frac{1}{A} \int_0^A |r(x,y)| dA \quad (1)$$

여기서 $r(x,y)$ 는 측정 영역의 평균 높이와 x 와 y 위치에서의 높이차이며, A 는 영역의 면적이다.

R_q 는 제곱근 평균 거칠기를 나타내는 계수로서 식 (2)와 같고,

의미는 R_q 와 유사하지만 계수의 계산 방식에 차이가 있다.

$$R_q = \sqrt{\frac{1}{A} \int_0^A r^2(x,y) dA} \quad (2)$$

R_q 는 측정 높이(깊이)의 최댓값과 최솟값의 차이를 나타내는 값으로, 이 값은 평균적인 거칠기를 나타내는 것은 아니지만 표면 거칠기를 나타낼 수 있는 계수 중의 하나이다.

콘크리트 표면의 전기적 특성을 파악하기 위하여 제타 전위(zeta potential)를 측정하였다. 시료는 각 거푸집에 의하여 제작된 콘크리트의 표면에서 다이아몬드 연마기를 이용하여 분말형태로 채취하였다. 이후, 0사에서 제작한 측정범위 0.1nm ~ 10 μ m, 제타전위 -200mV ~ 200mV를 갖는 제타 전위 분석기를 이용하여 전기영동 광 산란법으로 제타 전위를 측정하였다. 이때, 제타 전위를 측정하기 위하여 사용한 수용액은 종류 수이며, 거푸집별로 각각 6개의 시료를 측정하였다. 시료의 제타 전위는 Helmholtz-Smolukhowski 식을 사용하여 계산하였으며, 일정한 전기장에서 측정된 콘크리트 미세 입자의 속도를 측정하여 계산하였다(Smoluchowski 1921). 식 (3)은 Helmholtz-Smolukhowski의 식을 나타낸다.

$$\zeta = \eta U_o \epsilon^{-1} \epsilon_o^{-1} \quad (3)$$

여기서, ζ 는 제타 전위, η 는 수용액의 점성, U_o 는 콘크리트 입자의 전기영동 이동도, ϵ 및 ϵ_o 는 각각 수용액 및 진공에서의 유전 상수를 의미한다.

3. 실험 결과 및 분석

3.1 콘크리트 표면 관찰

Fig. 2는 거푸집 종류별 콘크리트 표면을 디지털 카메라로 촬영한 이미지를 나타낸다. 소포제를 사용하였음에도 불구하고 모든 실험체에서 표면에 눈에 띄는 공극이 발생하였다. NF 실험체의 경우 합판 표면의 무늬가 나타나 3개의 실험체 중에서 가장 거칠게 보였다. NF에 비하여 CF와 SF는 상대적으로 표면이 매끄럽게 보였으나, SF는 근접해서 관찰하거나 촉각적으로 거칠기가 크게 나타났다.

3.2 미시구조 및 화학 성분 분석

Fig. 3은 각 실험체별 주사전자현미경 이미지를 나타낸다. NF



(a) NF



(b) CF



(c) SF

Fig. 2. Visual inspection of concrete surface

실험체는 육안관찰때와 유사하게 거푸집의 무늬가 있었다. 300배 고배율로 확대한 경우 거푸집 표면의 물결무늬 요철이 있었으나 그 이외 영역에서는 미세 공극이 없이 매끄러운 표면이 관찰되었다. CF 실험체의 경우 육안관찰과 달리 30배율로 확대한 이미지에서 매우 매끄러운 표면이 나타났으며, 300배율로 확대한 이미지의 경우도

미세한 공극이 없이 평평하고 매끄러운 표면이 관찰되었다. SF 실험체의 경우 육안관찰에서는 3개의 실험체 중에서 표면에 공극도 가장 작고 매끄러운 것처럼 보였으나 30배와 300배 확대한 이미지에서는 촬영 전체 영역에서 가장 큰 요철이 나타났다. 시멘트 주요 생성물인 C-S-H 겔의 Ca와 Si 성분 분포를 보면 CF 실험체에서는 전반적으로 관찰한 면에 균일하게 측정이 된 반면 표면에 요철과 거친면이 있는 NF와 SF에서는 요철 부분에 측정이 되지 않은 것을 알 수 있다. 이를 통해 간접적으로 표면의 균질 정도도 알 수 있다.

Table 2는 3개 실험체의 표면 화학성분을 나타낸다. 실험체별로 특별한 경향이 나타나지는 않았으며, 주 수화생성물인 C-S-H 겔의 성분인 Ca와 Si 성분이 많이 검출되었다.

3.3 표면 거칠기 분석

Fig. 4는 각 실험체별 표면 형상을 2차원과 3차원으로 나타낸 이미지이다. 그림에 나타난 바와 같이 2차원과 3차원 이미지 모두에서 CF 실험체는 NF 실험체에 비해 전체적인 표면의 높낮이 차이가 작으며 미세 구멍의 개수도 적게 측정되었다. 반면 SF 실험체는 NF 실험체에 비해 전체적인 표면의 높낮이 차이가 크게 나타난 것을 알 수 있다.

Table 3은 표면 거칠기를 정량적으로 나타낼 수 있는 계수값들을 나타낸다. CF 실험체의 R_a 값이 가장 작고 SF 실험체의 값이 가장 크게 나타났으며, R_q 와 R_z 도 실험체 별로 동일한 경향을 나타내었다. 즉, Fig. 4의 이미지에서도 확인하였듯이 코팅된 거푸집면과 접한 콘크리트 표면의 거칠기가 가장 낮고, 인위적으로 거칠기를 높인 거푸집을 사용한 콘크리트의 표면 거칠기가 가장 크다는 것이 정량적으로 확인되었다.

3.4 콘크리트 표면 전기적 특성

Table 4는 거푸집 종류별 콘크리트 표면의 전기적 특성인 제타 전위 값을 나타내며, Fig. 5는 대표적인 제타 전위 분포를 나타낸다. Popov et al.(2007)는 보다 다양한 수용액과 조건에서 콘크리트 제타 전위를 측정하였는데 값이 +17mV에서 -22mV를 나타내었다. 거푸집 종류별 콘크리트 표면의 제타 전위 값은 전체적으로 평균 -9.39mV이며, 기존 연구에서 보고한 콘크리트 제타 전위 값의 범위에 포함되는 것으로 나타났다. 일반적으로 제타 전위가 0에 가까워지면 고체 표면에서 전기력이 0에 가까워져 입자들의 응집이 발생한다는 것을 의미하고, 반대로 절대값이 크다는 것은 전기력이 높아 수용액 내에서 입자들의 분산이 안정화된다는 것을 의미한다. Nägele(1985)은 시멘트 입자의 표면에 존재하는 SiO^- 는 본래 음전하를 가지고 있으나 수중에 분산되면 Ca^{2+} 이온이 흡착되

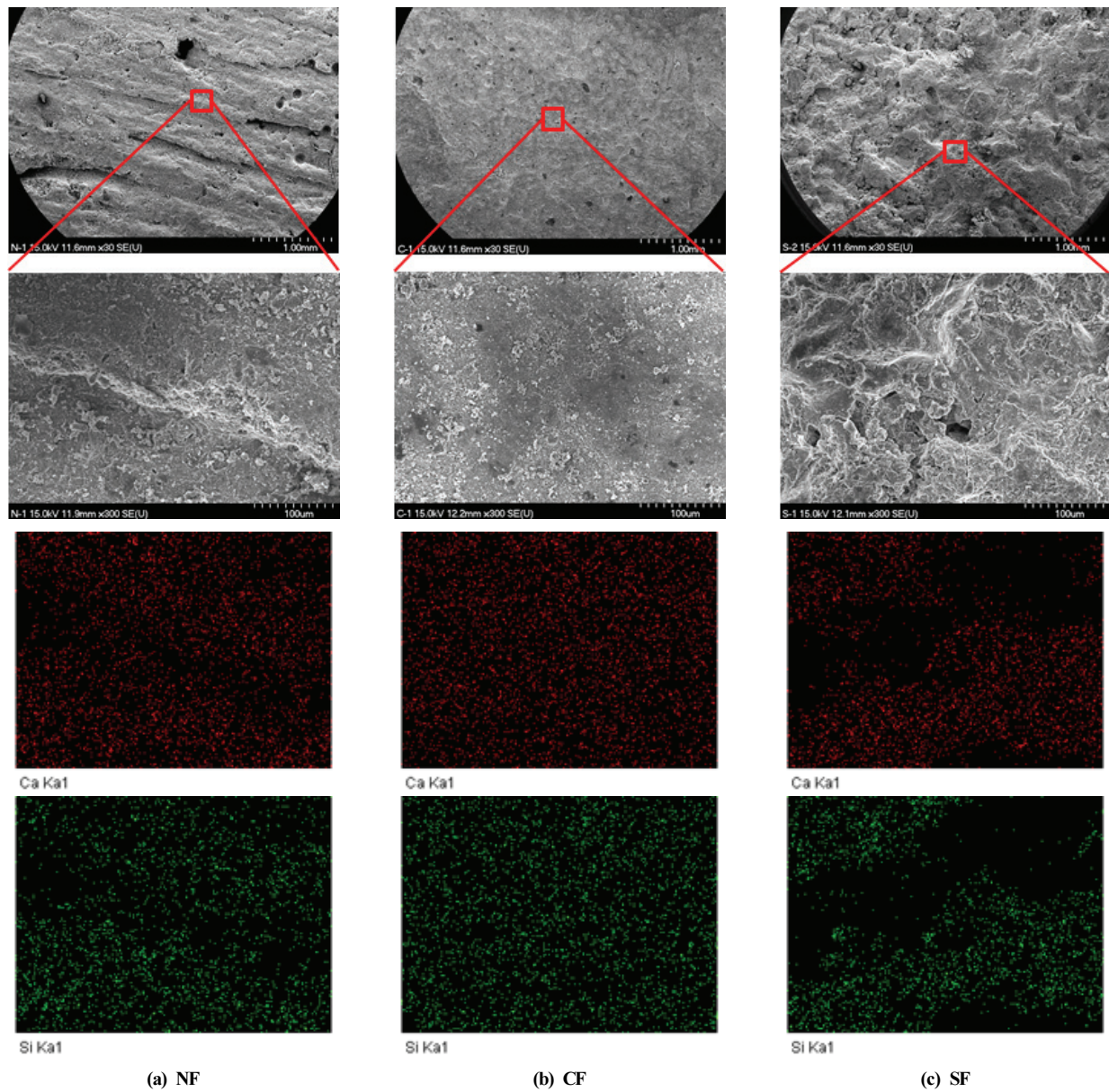


Fig. 3. SEM observation and image mapping of concrete surface

Table 2. Chemical compositions

Specimen	Ratio	Ca	Si	O	C	Na	Mg	Al	S
NF	Atomic(%)	20.50	7.83	60.92	5.26	0.42	1.25	2.09	1.75
CF		19.35	5.89	66.91	3.98	1.82	-	1.50	0.56
SF		16.76	6.96	66.83	3.85	0.55	1.31	1.98	1.77

고, 이러한 과정에서 시멘트 입자가 양전하를 나타낸다고 보고하였다. 또한, Lee et al.(2021)은 경화된 콘크리트의 경우 제타 전위에 따라 해리(解離)된 이온의 종류 및 양이 다르기 때문에 화학적 성질이 달라지며, 그에 따라 수화생성물에 영향을 미친다고 보고

하였다. 거푸집 종류별 콘크리트 표면의 제타 전위 값은 NF가 -8.27mV로 가장 높게 나타났고, CF가 -10.76으로 가장 낮게 나타났다. 실험체별로 제타 전위 값에 약간의 차이가 있었으나 그 차이는 크지 않았고 모두 음의 값을 나타내었다. 따라서 거푸집의 종류가

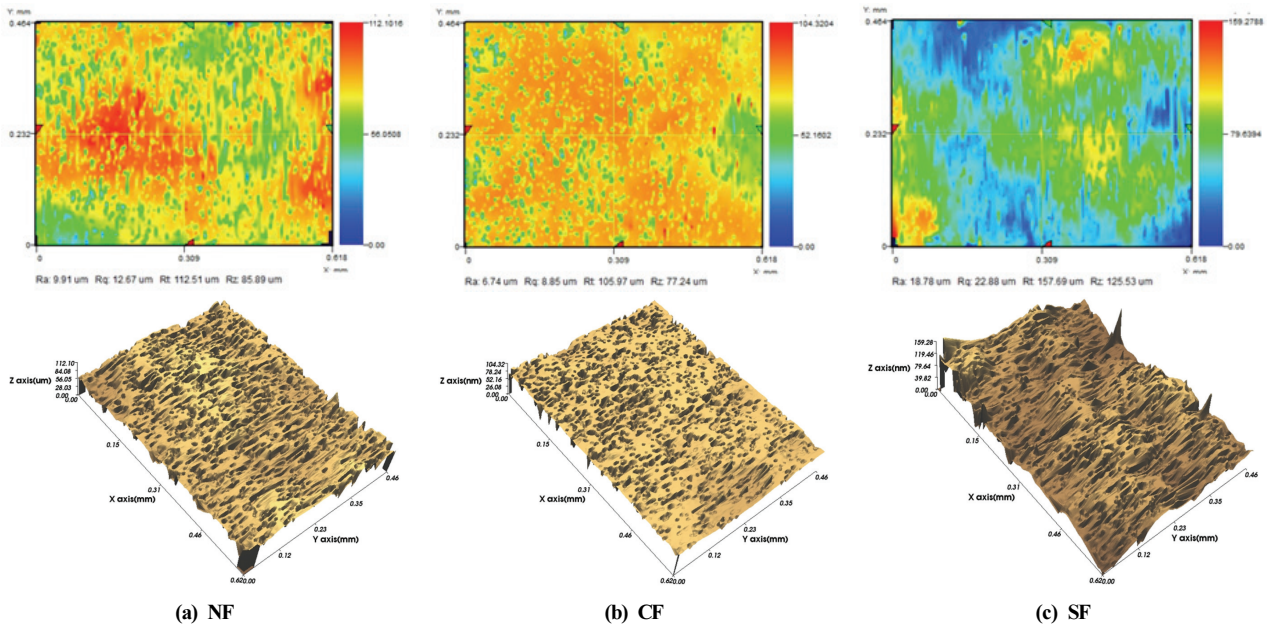


Fig. 4. 2D and 3D profile of concrete surface

Table 3. Surface profile parameters(unit: μm)

Specimen	R_a	R_q	R_t
NF	9.91	12.65	112.51
CF	6.75	8.85	105.97
SF	18.78	22.88	157.69

Table 4. Zeta potential(unit: mV)

Specimen	1	2	3	4	5	6	Avg.
NF	-7.29	-7.24	-11.12	-10.20	-6.23	-7.52	-8.27
CF	-10.50	-10.38	-10.88	-10.75	-11.04	-11.02	-10.76
SF	-8.02	-7.60	-9.71	-8.29	-10.06	-11.11	-9.13

달라지더라도 콘크리트 표면의 정전기적 특성에는 크게 영향을 주지 않으며, 따라서 수화생성물에도 크게 영향을 미치지 않을 것으로 판단된다. 이는 시멘트의 주 수화생성물인 C-S-H 겔 성분이 주로 검출되고 실험체별로 특별한 경향은 나타내지 않았다는 화학 성분 분석 결과를 통하여 확인할 수 있다. 이러한 콘크리트 표면입자들의 전기적 특성을 콘크리트 표면의 점착 기술에 활용할 수 있을 것으로 판단된다.

4. 결론

이 연구에서는 거푸집 종류별 콘크리트 표면에 대한 물리/화학적

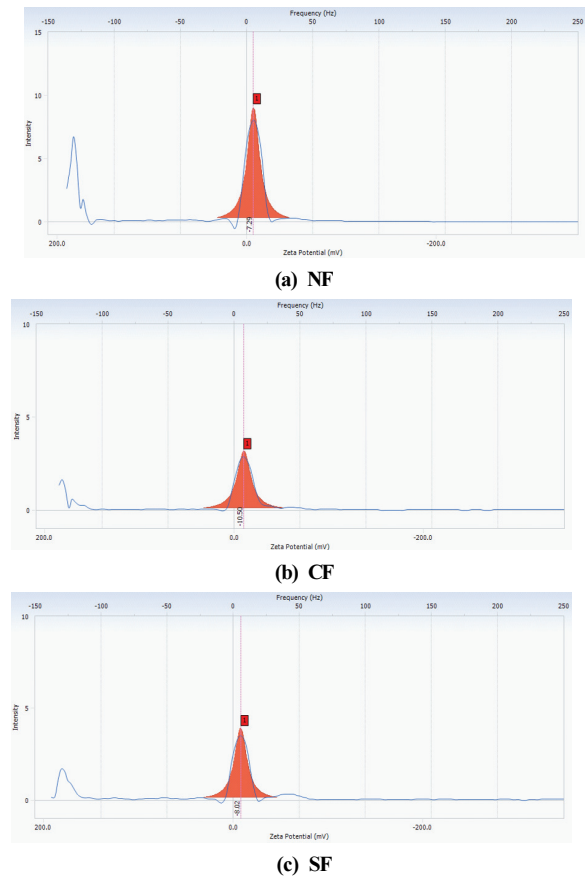


Fig. 5. Zeta potential distribution

특성을 실험적으로 조사하였다. 실험을 통해 얻은 결론은 다음과 같다.

1. 표면이 코팅된 거푸집과 사포를 부착한 거푸집의 경우 일반 합판 거푸집에 비하여 콘크리트 표면이 매끄럽게 보였다. 30배와 300배의 전자현미경 관찰을 통해 합판 거푸집과 사포를 부착한 거푸집에서 코팅된 거푸집에 비해 콘크리트 표면의 요철이 명확히 나타났다. Ca와 Si의 이미지 맵핑을 통해서도 콘크리트 표면의 거칠기를 간접적으로 관찰할 수 있음을 확인하였다.
2. 표면 형상에 대한 2차원과 3차원 분석을 통해 거푸집 종류에 따른 표면 거칠기를 정량적으로 나타낼 수 있음을 확인하였다. 표면 프로파일과 거칠기를 나타내는 3가지 계수값은 전자현미경을 통해 관찰한 콘크리트 표면 거칠기와 동일한 결과를 나타내었으며, 코팅된 거푸집과 접한 콘크리트 표면이 가장 매끄럽고, 사포를 부착한 거푸집과 접한 콘크리트 표면이 가장 거친 것으로 나타났다.
3. 콘크리트 표면 입자들은 평균적으로 -9.39mV의 제타 전위 값을 나타내었다. 코팅된 표면과 접한 콘크리트 표면 입자의 전위 값이 가장 작았으며, 합판 거푸집과 접한 콘크리트 표면 입자의 전위 값이 가장 큰 것으로 나타났다.

Conflicts of interest

None.

감사의 글

본 연구는 국토교통부/국토교통과학기술진흥원의 지원으로 수행되었음(과제번호 21CTAP-C163851-01).

References

ASCE. (2021). 2021 Report Card for America's Infrastructure, American Society of Civil Engineers.

Courard, L., Piotrowski, T., Garbacz, A. (2014). Near-to-surface properties affecting bond strength in concrete repair, *Cement and Concrete Composites*, **46**, 73–80.

Horgnies, M., Willieme, P., Gabet, O. (2011). Influence of the surface properties of concrete on the adhesion of coating: characterization of the interface by peel test and FT-IR spectroscopy, *Progress in Organic Coatings*, **72(3)**, 360–379.

Krzywiński, K., Sadowski, Ł. (2019). The effect of texturing of the surface of concrete substrate on the pull-off strength of epoxy resin coating, *Coatings*, **9(2)**, 143.

Lee, B.N., Lee, J.S. (2021). The relationship between the physical properties of mortar mixed with various boron compounds and zeta potential, *Journal of the Korea Concrete Institute*, **33**, 109–115 [in Korean].

Nägele, E. (1985). The zeta-potential of cement, *Cement and Concrete Research*, **15(3)**, 453–462.

Popov, K., Glazkova, I., Myagkov, S., Petrov, A., Sedykh, E., Bannykh, L., Yachmenev, V. (2007). Zeta-potential of concrete in presence of chelating agents, *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, **299(1–3)**, 198–202.

Smoluchowski, M.V. (1921). *Handbuch der elektrizität und des magnetismus*, Band II, Barth-Verlag, Leipzig, 366–427.

Ye, H., Asante, B., Schmidt, G., Krause, A., Zhang, Y., Yu, Z. (2021). Interfacial bonding properties of the eco-friendly geopolymers-wood composites: influences of embedded wood depth, wood surface roughness, and moisture conditions, *Journal of Materials Science*, **56(12)**, 7420–7433.

거푸집 종류에 따른 콘크리트 표면 특성

이 연구의 목적은 거푸집 종류별로 콘크리트 표면의 물리/화학적 특성을 실험적으로 조사하는 것이다. 이를 위하여 건설공사에 일반적으로 사용되는 합판 거푸집과 코팅된 합판 거푸집을 준비하였고, 추가로 콘크리트 표면 열화나 거친 표면을 모사하기 위해 사포를 부착한 합판 거푸집을 준비하였다. 콘크리트는 일반 콘크리트를 사용하였다. 콘크리트 표면 특성은 육안관찰, 주사전자현미경 관찰, 성분 이미지 맵핑, 화학성분 분석, 2차원과 3차원 표면 형상 분석, 그리고 제타 전위 측정을 통해 조사하였다. 실험결과 코팅된 거푸집과 접한 콘크리트 표면이 가장 매끄럽고, 사포를 부착한 거푸집과 접한 콘크리트 표면이 가장 거친 것으로 나타났다. 이외에도 거푸집 종류별로 표면 특성에 뚜렷한 차이가 나타났다. 다만 표면 거칠기가 화학 성분이나 제타 전위에 비하여 차이가 크게 나타났다.