

단면증대공법을 적용하기 위한 콘크리트 면처리

Surface Preparation of Concrete for Adopting RC Jacket Method



고동우 (Dong-woo Ko) | 이사 | 제주대학교 건축학부 교수 | dongwko@jejunu.ac.kr

1. 개요

지난 30여년간 우리나라의 국토개발의 방향은 신규 택지개발 또는 기존 도시 구역에 대한 재개발이 주를 이루어 오다가, 최근 들어 기존 건물의 흔적은 그대로 두고 편의성과 내구연한을 증가시키는 리모델링에 대한 논의가 활발하게 이루어지고 있다. 이와 같은 리모델링의 결과 건축기술의 발전과 더불어 종전의 설비 또는 마감재의 리모델링과 같은 소극적 리모델링에서 벗어나, 층수의 증가 또는 기존 구조시스템의 변동까지 아우르는 적극적인 리모델링 사례가 속속 나타나고 있다. 이와 같이 구조적으로 큰 변화를 주는 건물의 리모델링에서는 주된 수직부재의 위치가 변하기 때문에 기둥이나 벽체에 작용하는 압축력에 큰 변화를 초래할 수밖에 없으며, 증가된 축력에 효율적으로 저항하기 위해서는 단면증대공법을 적용하는 것이 불가피하다.

이와 같이 단면증대된 구조물의 성능에 영향을 미치는 파괴양상은 기존콘크리트부재로부터 보강재료가 떨어져 나가거나 보강재료에서 균열이 발생하여 보강된 부재로서 본연의 성능을 발휘하지 못하여 파괴되는 것이다. 기존부재와 보강된 부재가 서로 하나의 부재처럼 일체화거동을 하느냐 하는 것이 단면증대에 의한 콘크리트 구조물의 성능을 향상시키는 주요 지표이고, 일체

화거동을 하기 위한 필요조건은 기존콘크리트부재와 보강된 부재사이에 지속적으로 부착력이 유지되어야 한다.

기존 콘크리트와 보강된 콘크리트 사이의 부착과 관련한 특성과 메카니즘을 파악하기 위한 연구가 과거부터 광범위하게 이루어져 왔으나, 관련 지침이나 시방에서 그와 관련된 연구결과는 거의 반영되어 있지 않다. 기존콘크리트의 표면처리에 대한 연구 또한 이론적 또는 해석적 연구는 상대적으로 많이 이루어져 왔으나, 장기간의 부착력을 확보하기 위한 실무차원에서 필요로 하는 내용은 거의 제시되지 않았다.

본 기사에서는 단면증대보강법을 수행함에 있어 중요한 두 부재사이의 부착력에 영향을 미치는 요인과 기존 콘크리트 표면의 거칠기를 평가하기 위한 거칠기이력을 측정된 결과를 소개하고자 한다.

2. 부착강도에 영향을 미치는 요인

기존부재의 표면을 청소하고 사전조치를 취하는 것은 콘크리트 보강과정에서 가장 중요한 단계이다. 만약 표면에 사전조치를 제대로 취하지 않았을 경우, 아무리 우수한 보강재를 사용한다 하더라도 취약한 부분이 발생하게 된다. 일반적으로 깨끗하게 한다는 것은 표면에 남아있는

각종 이물질 제거하는 것을 의미하지만, 여기서는 더 나아가 기존콘크리트 구조물에 취하는 사전조치는 손상되거나 기능이 저하된 부분을 제거하는 것 뿐만 아니라 기존콘크리트 구조물에 코팅 등의 조치를 취하는 것도 포함한다. 각종 파편, 먼지, 기름, 그리고 표면에 포함된 각종 이물질 등이 기존부재의 보강된 재료사이의 부착을 저해시킬 수 있기 때문에 콘크리트를 보강함에 있어 표면을 깨끗이 하는 것은 매우 중요하고, 공사과정에서 보강재를 투입할 때까지 기존콘크리트의 표면을 깨끗하게 유지하기 위해서는 신속하게 작업할 수 있는 노무자의 능력도 필요하다. 이와 같은 기존 부재에 대한 사전조치가 미비하면, 기존부재와 보강재 사이의 부착력 내구성에 대한 기존 연구에서 제시하는 각종 지침 등은 크게 의미가 없다. 기존부재와 보강재 사이의 부착성능을 좌우하는 요소는 많지만, 본 기사에서는 대표적인 기존부재의 표면거칠기 방법과 질감, 습윤상태, 그리고 보강재의 점성에 대해 기술하였다.

2.1 기존부재의 표면거칠기 방법

일반적으로 표면처리를 하는 방법은 물리적인 방법으로 거칠게 만들거나 연마재나 고압의 물 또는 기타 혼화재료를 강하게 불어넣는 블라스팅 방법 등을 이용하여 표면을 거칠게 하는 방법 등이 있다. 잭햄머, 드릴 등과 같은 강한 기계적인 방법을 사용할 경우 기존콘크리트의 표면에 미세한 균열을 발생시켜 부착강도에 악영향을 끼칠 수 있다. 그러나, 이와 같은 기계적인 방법으로 거칠기를 수행한 후 고압모래분사법을 적용하면 손상된 콘크리트를 제거하여 기존부재와 보강되는 부재 사이의 접합면의 상태를 더욱 좋게 만들 수 있다. 또한 고압의 물로 표면을 처리하는 고압물분사법 또한 압력이 충분하다면 고압모래분사에 의한 표면과 동일한 성능을 제공할 수 있다. 특히, 고압물분사법은 콘크리트 표면의 손상된 부분을 제거할 뿐만 아니라 콘크리트표면의 세척하는 효과도 있기 때문에, 다른 표면거칠기 방법보다 뛰어난 효과를 줄 수 있다는 연구결과가

발표되기도 하였다. 이들 거칠기방법에 의한 콘크리트 표면의 거칠기 효과는 아래의 표 1과 같다.

표 1. 표면거칠기법에 따른 물리적 특성 [1]

거칠기방법	거칠기정도* (mm)	직접인장강도 (MPa)	전단부착강도 (MPa)
고압모래분사	0.65	2.23	1.50
고압물분사	1.5 ~ 2.1	2.2	1.63
숫블라스트	0.7	2.15	1.55
치핑햄머	2.25 ~ 3.0	1.35	1.00

* Half-amplitude roughness

2.2 계면의 질감

계면의 질감은 거시적인 질감, 미시적인 질감, 극미시적질감으로 나눌 수 있는데, 계면의 질감은 일반적으로 거칠기로 나타낼 수 있다. 표면거칠기는 기존부재의 표면 사전작업을 어떻게 하느냐에 따라 크게 달라진다. 통상 기계적인 방법에 의해 콘크리트를 제거하면, 일반적으로 고압으로 불어내는 블라스팅공법보다 표면이 더 거칠게 된다. Silfwerbrand[2]는 표면거칠기를 수행한 방법과 거칠기의 정도에 따른 계면의 강도를 비교한 연구에서 인장부착강도는 어느 적절한 값을 넘으면 표면거칠기가 증가하더라도 인장부착강도는 크게 증가하지 않음을 실험적으로 검증하였다.

두 부재 사이의 부착강도를 평가함에 있어 계면 거칠기의 정량화 뿐만 아니라, 재료의 강도, 유효부착면적 등과 같은 다른 요소들도 계면의 부착강도에 영향을 미친다.

2.3 기존부재의 습윤상태

기존부재의 표면이 지나치게 건조하면, 기존 부재가 새롭게 타설된 재료로부터 물을 빨아들이게 된다. 만약 기존부재로 빨려들어가는 물의 양이 지나치게 많게 되면, 새롭게 타설되는 보강재에서 수화반응이 일어나지 않아 보강된 부분과 기존부재 사이에 취약한 부분이 발

생하여 부착강도를 저하시키게 된다. 그와 반대로 기존 부재가 지나치게 습윤상태가 되면, 계면에서 물/시멘트 비가 지나치게 증가하면서 보강재료를 뭉게 만들게 되는데, 이로 인해 수축을 증가시키면서 재료의 강도와 부착강도를 떨어뜨리게 된다. 또한 기존부재의 공간을 차지하고 있는 물이 새롭게 타설되는 부재의 시멘트 입자를 밀어내는 효과로 인해 그 부분에서 맞물림효과를 저하시키고, 해당부분의 부착력이 저하될 수 있다.

2.4 보강재료의 점성

기존 구조면과 보강재료 사이에 밀실하게 채워져야 유효접촉면적이 넓어지기 때문에 보강재료의 점성은 단면중대 부재의 성능을 극대화하는데 중요한 요소이다. 이를 위한 다짐과 청소상태는 보강재료와 기존부재 사이의 유효접촉면에 직접적으로 영향을 미치는 기존 부재 표면에 있는 흠과 각종 공간을 채우는데 큰 영향을 미친다. 상대적으로 묽은 배합에서는 기존부재에서 모세관현상에 의한 흡수가 더 크게 발생하여 기본부재의 표면의 공간과 흠에서 물리적 접촉을 더 증진시킨다. 교량상판이나 도로 등과 같이 수평적으로 보강되어 기존부재 위로 덧씌워져서 넓은 면적을 보강하는 경우에는 묽기가 높아야 한다.

그러나, 보강면이 크지 않을 때는 일반적으로 미리 배합되어 상대적으로 된 몰탈을 미장용 흡손을 이용하여 보강한다. 이 경우, 기존부재와 새로운 재료 사이의 접촉면적이 줄어들 뿐만 아니라, 보강재의 흐름도가 높을 때와 비교할 때 기존부재에서 모세관현상에 의한 흡수 또한 줄어들어 물리적으로나 화학적으로 낮은 부착강도를 초래한다.

3. 표면거칠기의 측정

3.1 표면거칠기의 정량화

거칠기의 정도를 나타내는 가장 일반적인 방법은 표

면을 측정물과 직각 평면으로 절단한 후, 그 단면에 나타나는 여러 개의 파형으로 이루어진 일련의 곡선으로부터 파악하는 것이 일반적이다. 파형곡선의 가장 낮은 골에서 가장 높은 산까지의 거리를 최고값 거칠기로 표현하는 것이 일반적으로 통용되는 거칠기의 표현방법이다. 그러나, 이 방법은 지나치게 불확실하기 때문에 KS B 0601[3]에서는 공업제품의 표면거칠기를 나타내는 방법에 대해 규정하였다. 그리고, 콘크리트의 표면 거칠기와 관련해서는 몇 명의 연구자는 도로 표면 또는 마감재의 성능을 평가하기 위해 콘크리트의 표면거칠기를 정량화하고, 몇 명의 연구자들은 신, 구 콘크리트 구조체 사이의 부착력에 영향을 미치는 콘크리트의 표면거칠기를 정량화하기 위한 방안을 제시한바 있다.

기계분야의 표면거칠기의 측정법은 아날로그식 측정법이 주로 사용되던 1999년 이전에는 산술평균거칠기 (R_a), 최대높이 (R_{max}), 10점평균거칠기(R_z) 등 3종류가 사용되다가, 디지털방식의 측정법이 널리 사용된 1999년 이후에는 요철평균간격(S_m), 국부산봉우리평균간격(s), 부하길이비율(t_p)의 세 가지 방법이 추가되었다.

산술평균거칠기(R_a)는 거칠기 곡선에서 평균선 방향에 기준길이만큼 뽑아내어, 그 표본부분의 평균선 방향에 X축을, 세로배율 방향에 Y축을 잡고, 거칠기 곡선을 $y=f(x)$ 로 나타내었을 때, 다음 식에 따라 구해지는 값을 나타낸 값으로 다음과 같은 식을 통해 도출한다.

$$R_a = \frac{1}{L} \int_0^L |f(x)| dx$$

최대높이(R_y)는 거칠기 곡선에서 산봉우리선과 골바닥선의 간격을 거칠기 곡선의 세로배율의 방향으로 측정한다.

10점평균 거칠기(R_z)는 평균선에서 세로 방향으로 측정한 가장 높은 산봉우리로부터 5번째 산봉우리까지의 표고(Y_p)의 절대값의 평균값과 가장 낮은 골바닥에서 5번째까지의 골바닥표고(Y_v)의 절대값의 평균값과의 합을 구하기 때문에 최대높이보다 파형의 특성을 더욱

정밀하게 나타낼 수 있는 장점이 있다.

요철의 평균간격(S_m)은 하나의 산 및 그것에 이웃한 하나의 골에 대응한 평균선 길이의 합(요철간격)을 구하여 다수의 요철간격의 평균간격의 산술평균값을 나타낸 것으로 다음과 같은 식을 통해 산출하며, 이때, S_{mi} 는 요철의 간격, n 은 기준길이 내에서의 요철 간격의 개수이다.

$$S_m = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n S_{mi}$$

국부산봉우리의 평균간격(S)은 이웃한 국부산봉우리 사이에 대응하는 평균선의 길이(국부산봉우리의 간격)를 구하여 이 다수의 국부산봉우리의 간격의 산술의 평균값으로서 다음과 같은 식을 통해 산출한다.

$$S = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n S_i$$

부하길이율(t_p)은 거칠기곡선을 산봉우리 선에 평행한 절단레벨로 절단하였을 때에 얻어지는 절단길이의 합(부하길이 η_p)의 기준 길이에 대한 비를 백분율로 나타낸 것으로, 아래의 식과 같이 나타낼 수 있으며, 이때 절단길이의 합 η_p 는 $\eta_p = b_1 + b_2 + \dots + b_n$ 와 같으며, 부하길이율(t_p)은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$t_p = \frac{\eta_p}{l} \times 100$$

건축과 토목분야에서 표면거칠기에 대해 관심을 가진 첫 번째 단계는 도로에서 자동차의 미끄러짐에 대한 표

면의 저항성을 평가하기 위한 방법을 도출하는 과정에서 시작되었다. Abu-Tair[4]는 콘크리트의 부착실험을 통해 기존의 정량화방법을 개선한 다음과 같은 거칠기 각도(R.G)정량화지표를 제시하였다(그림 1).

$$D_a = \frac{[(A-B) + (C-D)]}{2}$$

$$R.G. = D_a / W$$

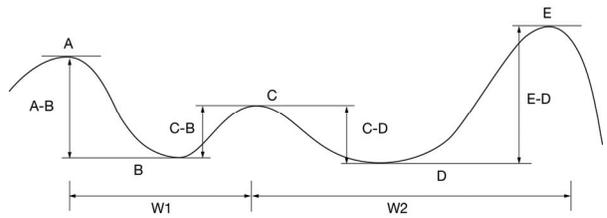


그림 1. 표면거칠기 측정 방법

3.2 표면거칠기에 따른 저항메커니즘

단면증대된 단면의 부착성능에 대한 특성은 서로 다른 부착메커니즘을 반영한 두가지 재료의 결합상태와 두 재료를 분리시키는데 필요한 에너지 또는 응력으로 표시되는 정량적인 부착특성으로 나타낼 수 있다. 따라서, 일반적으로 기존부재로부터 새롭게 증대된 부분을 분리시키는데 필요한 응력으로 보강된 부재의 부착력을 정량화 한다. “부착”이라는 말은 일반적인 면을 갖는 두 재료의 접합면 사이의 경계면의 상태를 의미한다.

특히 새로운 부재와 기존부재 사이에 작용하는 응력의 상황에 따라 물리적인 부착메커니즘은 크게 다를 수

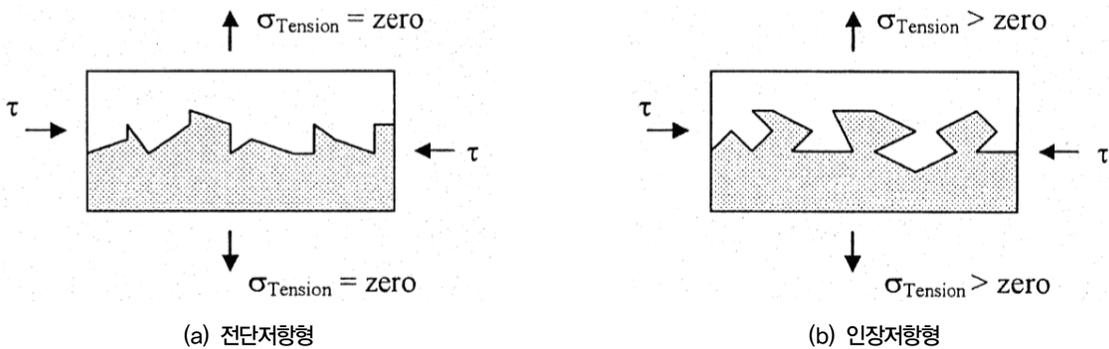


그림 2. 단면증대부재 계면에서 저항메커니즘

있다. 표면거칠기의 높이차이가 크면, 전단저항성능이 클 수 있으나, 인장부착강도는 기본적으로 계면의 작은 골과 산 사이의 높이 차이보다는 작은 홈에서의 수직부착이 더 중요하다(그림 2).

3.3 표면거칠기 측정기 제작

표면거칠기 측정장치를 설계함에 있어 측정자들이 측정내용을 직관적으로 이해할 수 있도록 하며, 이동의

편의성과 다양한 계측장치의 적용가능성을 주목적으로 설계하였다. 4개의 기둥으로 이루어진 알루미늄 프레임과 장변 방향의 수평부재 위에 선형베어링이 이동하면서 각 위치에 따른 콘크리트 표면의 변화를 측정할 수 있도록 하였다(그림 3). 그리고, 두 개의 선형베어링 사이에 걸쳐지는 수평부재에 측정기로부터 콘크리트표면까지 수직방향거리의 변화를 측정하기 위한 변위측정기를 설치하였으며, 선형베어링과 프레임 사이에

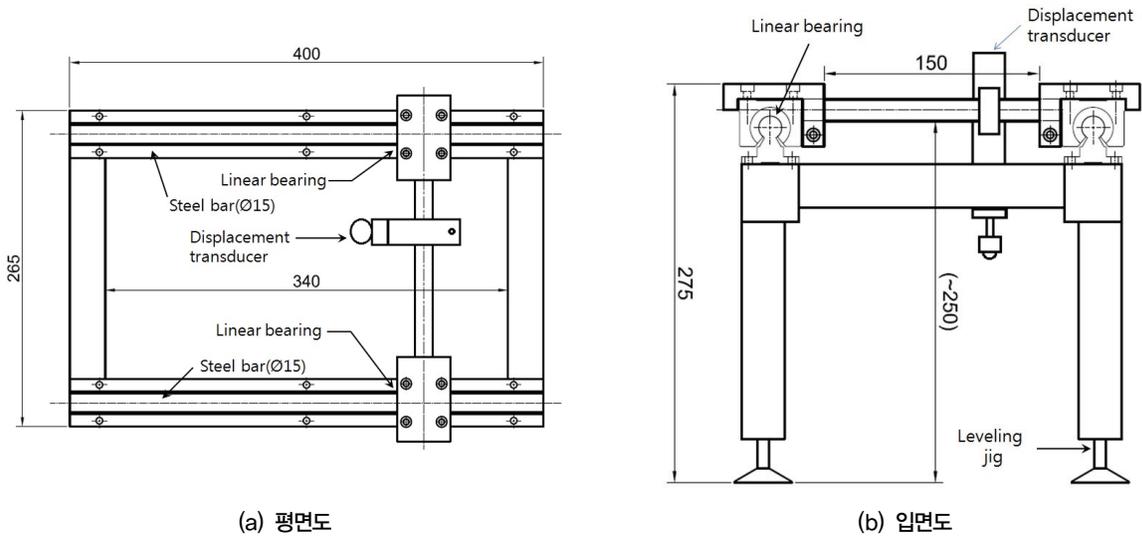


그림 3. 표면거칠기 측정 장치 도면

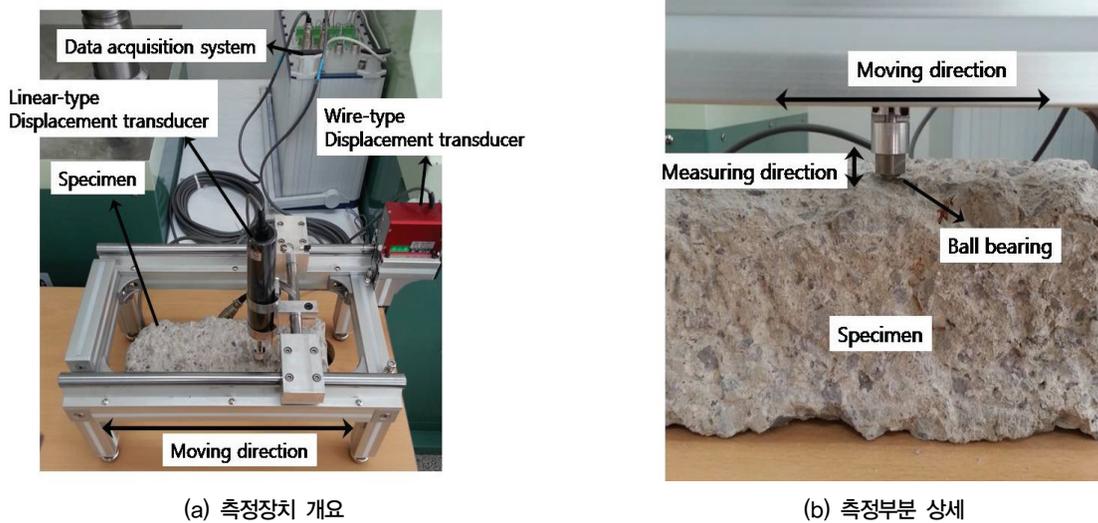


그림 4. 표면거칠기 측정 방법

wire-type 변위측정기를 설치하여 측정지점의 위치를 파악하였다(그림 4(a)). 이들 계측장비들은 현재 대부분의 건축 또는 토목분야의 실험실에서 보편적으로 사용하고 있는 장비로서, 기존 타 연구에서 적용하는 3D 스캐너나 또는 레이저를 이용한 장비와 비교할 때 사용상 편의성과 계측결과에 대한 신뢰성도 함께 확보할 수 있다는 장점이 있다. 변위측정기를 그대로 사용하면 콘크리트의 거친면을 정확히 측정할 수 없을 뿐만 아니라 변위측정기에 손상을 줄 수 있기 때문에, 그림 4(b)에서 보듯이 변위측정기 하부에 볼베어링이 달린 도구를 부착함으로써 명확한 측정값을 얻으면서 변위측정기의 손상도 방지할 수 있도록 하였다.

3.4 표면거칠기 측정

표면거칠기 측정장치를 사용하여 핸드치핑과 전동햄머를 사용한 시험체의 표면거칠기 이력을 측정하였다. 핸드치핑한 시험체와 전동햄머를 이용하여 치핑한 시험체의 수는 각각 7개와 6개이다.

시험체의 크기는 보강전 기존부재로서 가로×세로×높이는 100×100×300과 80×80×320의 크기이며, 각 면에 대한 길이 방향으로 250mm의 길이에 걸쳐 거칠기 이력을 측정하고, 그 중 200mm의 길이에 대한 이력데이터를 분석에 반영하였다. 또한 거칠기 이력 간격은 10mm로써 최대한 촘촘히 측정하고자 하였으며, 각 면당 5군데의 거칠기 이력을 측정하였다.

결과적으로 각 시험체당 20개의 거칠기 이력데이터를 취득하여, 총 260개의 거칠기 이력에 대해 분석하였다.

그림 5는 표면거칠기 측정기를 사용하여 측정한 표면거칠기 이력의 대표적인 유형을 그래프로 나타낸 것이다. 거칠기를 측정한 이력거리는 200mm 를 표본으로 하였는데, 200mm 사이의 표면거칠기 이력의 유형을 분석해보면, 크게 4가지로 구분할 수 있다. 다른 부분은 진폭이 1~2mm이내이면서 한군데만 5mm이상의 급격한 진폭의 변화를 보이는 유형(유형A, 그림 5(a)), 전체적으로 4mm내외의 고른 진폭을 나타내는 유형(유형B, 그림 5(b)), 미세한 진폭의 변화는 있으나 전체적으로 100mm내외의 주기성을 띠는 이력주기를 나타내는 유형(유형C, 그림 5(c)), 전체적으로 2mm내외의 고른 진폭을 나타내는 유형(유형D, 그림 5(d))로 구분할 수 있었다.

표 2는 각 유형별 대표적인 거칠기 이력들을 정량화 지표에 따라 측정하여 비교한 표이다. 이 표에서 사용한 거칠기 지표는 산술평균거칠기, 최대높이, 상대높이, 평균이력 주기, 이력길이이다. 산술평균거칠기 및 최대높이와 상대높이는 유형 A(그림 5(a))와 유형 B(그림 5(b)), 유형 C(그림 5(c))에서 전반적으로 크며, 평균이력주기는 유형 B(그림 5(b))와 유형 C(그림 5(c))에서 큰 것으로 나타났다. 이력길이는 유형 A(그림 5(a))와 유형 D(그림 5(d))에서 크게 측정되었다. 이는 대표적인 유형으로부터 도출한 내용으로, 모든 거칠기 이력에 반영할 수는 없지만, 거칠기의 높이를 기반으로 하는 산술평균거칠기, 최대높이, 상대높이는 어느정도 상관성을 갖는 것을 확인할 수 있다. 핸드치핑과 전동햄머를 이용하여 치핑을 한 두가지 시험체 군에 대한 거칠

표 2. 거칠기이력을 정량화지표에 따라 측정하여 비교한 표

Roughness index	(a)	(b)	(c)	(d)
산술평균거칠기 (mm)	1.006	1.342	1.190	0.460
최 대 높 이 (mm)	6.728	6.490	6.160	2.583
상 대 높 이 (mm)	6.021	6.145	5.933	1.608
평균 이력 주기 (mm)	28.62	50.57	68.88	31.62
이 력 길 이 (mm)	207.82	205.43	205.25	208.99

표 3. 표면거칠기 측정결과표 (단위:mm)

모델명	산술평균거칠기	최대높이	상대높이	파형길이	평균이력주기
전동햄머치핑	0.85	4.42	3.45	207.1	36.51
핸드치핑	0.77	4.06	3.12	207.2	33.69

기 지표의 평균값을 표 3에서 비교하였다. 핸드치핑보다 전동햄머치핑을 했을 때, 대부분의 거칠기 지표가 큰 것으로 나타났다.

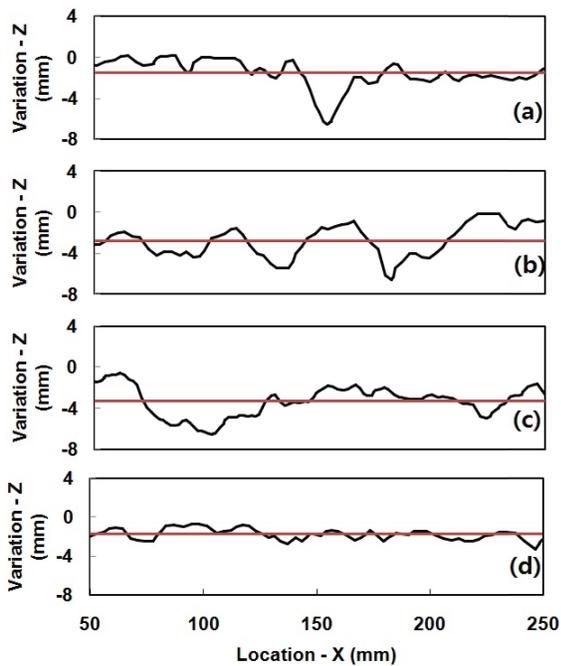


그림 5. 표면거칠기 유형 분석

4. 맺음말

이상 단면중대 콘크리트 부재의 강도와 내구성을 좌우하는 기존 콘크리트표면의 면처리방법과 우리나라에서 가장 많이 사용되는 치핑에 의한 면처리 시 표면의 거칠기 이력에 대해 소개하였다.

- 1) 콘크리트 단면중대 부재에서 보강된 부재의 내구성과 강도를 지배하는 요소는 기존부재와 새롭게 보강된 부재가 접하는 계면의 접착강도이며, 이

접착강도는 기존부재의 표면거칠기 방법, 계면의 질감, 기존부재의 습윤상태, 보강재료의 점성의 영향을 받는다.

- 2) 표면거칠기를 정량화하기 위해 표면거칠기 측정기를 제작하여 실제 표면거칠기 이력을 조사한 결과, 치핑의 도구(핸드치핑과 전동햄머치)에 따라 거칠기 값은 다른 값을 보여주었으며, 거칠기의 정량화 방법에 있어서도 거칠기 높이를 기준으로 한 값과, 주기 또는 길이를 도구로 삼은 정량화 값은 다른 경향을 보여주었다.

참고문헌

1. Bissonnette, B., Vaysburd, A.M., Von Fay, K.F., "Best practices for preparing concrete surfaces prior to repairs and overlays," U.S. Department of the interior bureau of reclamation technical service center, 2012.
2. Silfwerbrand, J., "Improving concrete bond in repaired bridge decks," Concrete International, No.9, 1990.
3. 한국표준협회, "KS B 0161 - 표면거칠기 정의 및 표시", 1999
4. Tair. A. I., Lavery. D., Nadjal. A., Rinden. S. R., Ahmed. T.M.A., "A newmethod for evaluating the surface roughness of concrete cut for repair of strengthening," Construction and Building Materials, 14, 2000.