

# 잉여 페이스트 이론과 레올로지 정수를 이용한 표면 개질골재의 피막두께 평가에 관한 연구

최희섭<sup>1</sup>, 최형길<sup>2\*</sup>

## A Study on the Coating Thickness of Surface Modified Aggregate by Using the Excess Paste Theory and Rheology Value

Hee-Sup Choi<sup>1</sup>, Hyeong-Gil Choi<sup>2\*</sup>

**Abstract:** This study applies to the surface modification technique by coating the surface of aggregates using the modified paste such as cementitious materials in order to develop completely recycling technology of coarse aggregate. In this case, coating thickness of modified aggregate can be considered that the decision is dependent on the viscosity and tenacity of modified paste. In this study identify the flow properties of the fresh modified paste, and examined for the coating thickness of modified aggregate. As a result, it was possible to design a quantitative coating thickness of modified paste assuming that a modified paste to a Bingham Fluid and consider by excess paste theory and rheology constant (yield value). Accordingly, it is considered that the quantitative mix design of concrete using by surface modified aggregates will be possible.

**Keywords:** Coating thickness of modified aggregate, Excess paste theory, Modification paste, Rheology, Yield value

### 1. 서 론

최근, 각 산업분야로 3R (Reduce, Reuse, Recycle)의 관점으로 부터 해체성을 고려한 재료설계가 중요시되고 있다. 이러한 설계는 해체 후의 리사이클 뿐만 아니고, 다른 부품의 유지관리와 업그레이드의 용이성을 위해 이미 많은 산업분야에 도입되어, 특히 건설산업 분야에 있어서 해체에 관한 개념은 중요한 설계 요소의 하나로서 고려되고 있다. 한편, 토목이나 건축 구조물에 이용되는 콘크리트는 전 세계에 걸쳐 대량으로 소비되어 지금까지 상당량이 축적되어 오고 있다<sup>1)</sup>. 최근 환경문제에 관해 관심이 높아짐에 따라, 이러한 건설산업 분야에 있어서의 콘크리트 분야가 담당하는 역할이 크고, 특히 콘크리트 체적의 대부분 (약 70%)을 차지하는 골재의 리사이클 기술은 매우 중요하다고 생각할 수 있다<sup>1,2)</sup>. 이러한 문제에 대해서 국내·외에서는 다양한 관점으로부터 연구되어, 국내에서도 순환골재의 규격이 제정되고 있지만, 고품질의 순환골재를 제조하기 위해서는 방대한 에너지가 필요하며, 파쇄시에 미분말이 대량으로 발생하는 문제가 있다<sup>1,2)</sup>. 한편, 저품

질 순환골재의 경우는 콘크리트의 성능이 저하되는 문제점들이 산재해 있어, 순환골재의 이용촉진을 방해하고 있다<sup>1)</sup>. 새롭게 이용할 수 있는 골재자원은 한정되어 있으며, 이러한 문제를 해결하기 위해, 폐 콘크리트로부터 골재를 회수·재이용하여 순환형 리사이클을 실현할 수 있는 골재의 완전 리사이클 기술개발이 요구되고 있다.

이러한 배경 하에 필자 등은 골재의 완전 리사이클화를 달성하기 위해 원골재의 표면개질 처리에 의한 콘크리트의 강도향상<sup>3)</sup>과 해체성을 고려한 재료설계에 따른 골재회수 성능을 향상시킬수 있는 기술개발에 관해 연구하고 있다<sup>4)</sup>. 본 기술은 Fig. 1과 같이 원골재표면의 코팅층에 골재와 시멘트 매트릭스간의 기계적 마찰력 및 화학적 결합력의 향상이 가능한 개질재료 (포조란 재료 등)를 이용하여 콘크리트의 취약부로 여겨지는 천이대를 개선하여 콘크리트의 역학적 특성 (강도특성)을 향상하는 것이다. 더불어, 미리 골재의 표면에 고유전율을 가지는 산화철 (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)<sup>4)</sup>을 개질 페이스트의 결합재에 첨가하여 콘크리트 구조물의 해체 후, 골재와 골재사이의 개질 페이스트 부분을 마이크로파에 의해 선택적으로 가열·취약화하는 것으로 저에너지로 고품질 순환골재의 완전 리사이클이 가능한 기술이다<sup>4,5,6)</sup>.

따라서, 본 연구에서는 이러한 기술개발의 일환으로서 산화철이 혼입된 표면개질 골재를 이용한 콘크리트의 정량적인 배합설계의 일환으로서, 우선, 잉여 페이스트 이론에 근거하

<sup>1</sup>정회원, 김태미공업대학 공학부 사회환경인프라 공학코스, 부교수

<sup>2</sup>정회원, 경북대학교 건축학부, 조교수

\*Corresponding author: hgchoi@knu.ac.kr

School of Architecture, Kyungpook National University, Daegu, 41566, Korea.

•본 논문에 대한 토의를 2019년 10월 1일까지 학회로 보내주시면 2019년 11월호에 토론결과를 게재하겠습니다.

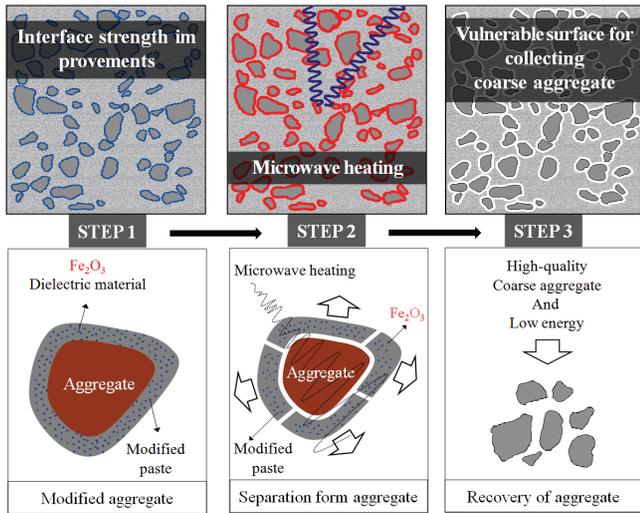


Fig. 1 Recovery technology of the surface modified aggregates by microwave heating<sup>4,5,6)</sup>

여 개질 페이스트의 유동학 정수 및 골재와 페이스트의 부착 성능을 이용해 굳지 않은 개질 페이스트의 유동특성을 파악하고, 개질골재의 피막두께에 관해 검토를 통해, 개질페이스트의 정량적인 배합설계를 목적으로 한다.

## 2. 개질 페이스트의 피막두께 모델화

### 2.1 개요

본 연구에서 원골재의 표면개질 처리재로서 사용되는 개질 페이스트는 고유동·고강도의 개념에 근거하여 낮은 물시멘트비를 사용하여 가능한 한 얇고 견고하게 코팅하여, 천이대 개선을 통한 골재간의 계면강도 증진과 더불어, 프레쉬상태에서 양호한 유동성 확보를 본 연구의 전제조건으로 한다. 이때, 유동성 확보를 위해, 개질 페이스트는 골재 표면에 코팅될 때, 원골재의 표면상태 및 굳지 않은 개질 페이스트의 점착력과 점도에 의존되어 피막두께가 결정된다고 생각할 수 있다. 즉, Fig. 2와 같이 기존의 보통 콘크리트 배합보다 높은 점성 및 유동성이 요구되어 이러한 피막두께의 정량적인 평가를 위해서는 굳지 않은 상태의 개질 페이스트의 유동특성이 매우 중요하다고 생각할 수 있다. 여기에서는 Fig. 3과 같이 굳지 않은 상태의 콘크리트를 연속체로 가정하여, 이것을 빙엄유체 (Bingham Fluid)로 모델화하여 해석·고찰하는 고유동 콘크리트의 유동학적 해석<sup>7)</sup>을 적용하기로 한다. 이후, 골재표면에서의 빙엄유체인 개질 페이스트의 피막두께 모델화를 통해, 개질 페이스트의 피막두께 결정 메커니즘을 명확히 한다.

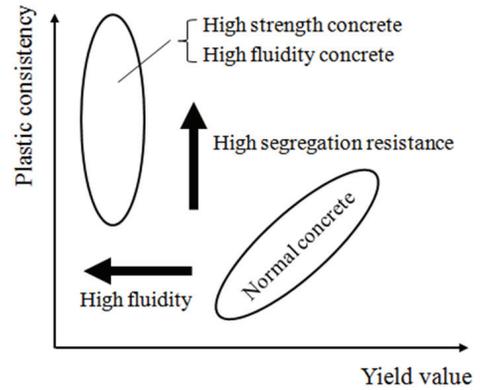


Fig. 2 Fluidity of concrete

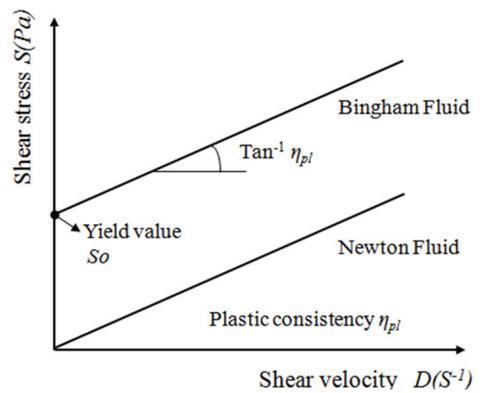


Fig. 3 Bingham model

### 2.2 잉여 페이스트 이론에 근거한 개질 페이스트의 피막두께 모델

Miyake 등은 Fig. 4와 같이 1940년의 C.T, Kennedy의 잉여 페이스트의 피막두께 이론<sup>8)</sup>과 골재의 평균입경을 이용하여 굳지 않은 콘크리트 중의 액상을 페이스트, 고상을 골재로 구분하는 경우, 콘크리트의 변형성을 평가하기 위한 지표는 ‘평균 잉여 페이스트 피막두께 / 골재입자의 비표면적 평균 입경’으로 정의하고 있다<sup>9)</sup>. 이 때, 평균 잉여 페이스트의 피막두께가 일정하며, 실제 잉여 페이스트의 평균 피막두께는 동일한 것으로 가정했다. 한편, 잉여 페이스트 피막두께는 골재 입자간의 유효효과에 기여하는 유효 페이스트의 피막두께와 골재 표면에 부착하여 골재 입자와 함께 거동하는 부착 페이스트의 피막두께의 2종류로 정의하고 있다<sup>8,9)</sup>.

본 연구에서는 개질 페이스트에 의해서 원골재 표면을 코팅 하는 것으로 Miyake 등이 제안한 평균 잉여 페이스트의 피막두께 이론과 골재의 평균 입경을 이용하기로 한다. 이 때 C.T, Kennedy의 페이스트 피막이론에 근거하여 모든 입경의 원골재 및 개질 페이스트 입형을 구체로 가정<sup>8)</sup>하고, 개질 페

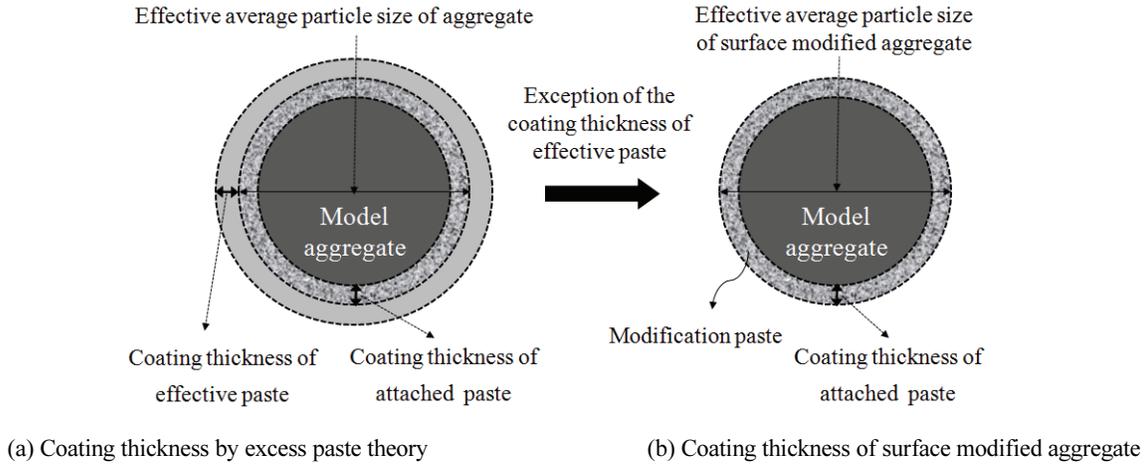


Fig. 4. Conceptual diagram of coating thickness of surface modified aggregate

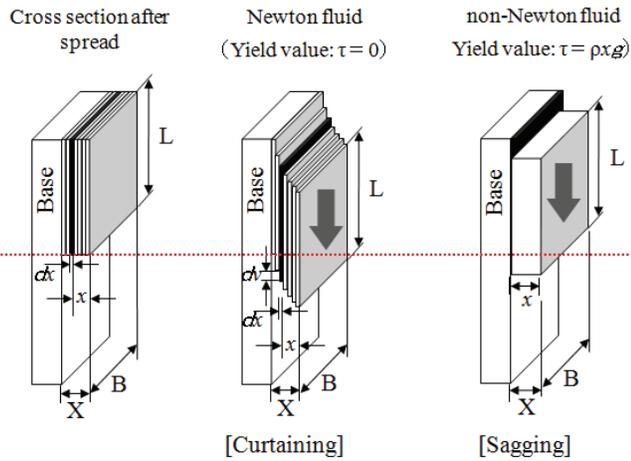


Fig. 5. Behavior of Newton and non-Newton fluid

이스트의 피막두께는 Fig. 4(b)와 같이 유효 페이스트의 피막 두께를 제외한 부착 페이스트의 피막두께만을 원골재로에 피복되는 개질 페이스트 피막두께로 정의한다.

한편, 원골재 표면에 피복되는 개질 페이스트의 피막두께는 유체역학과 도료의 유동학의 개념에 근거한 개질 페이스트 거동 및 피막두께 형성에 의해 변동된다고 생각할 수 있다<sup>10)</sup>. 특히, 도료의 유동학에 있어서, 유체의 항복치에 따라 뉴턴유체의 특성을 가지는 흐름현상(도료가 선형으로 흘러내리는 현상, 이하 Curtaining 현상)과 비뉴턴 유체의 특성을 가지는 흐름현상(도료가 파형으로 흘러내리는 현상, 이하 Sagging 현상)으로 구분할 수 있다<sup>6)</sup>. 여기서, 개질 페이스트의 정량적인 피막두께를 계산하기 위해서 본문에 제시하고 있는 식 (1)에서 식 (4)와 같이 TEMPLE C.PATTON의 도료의 유동과 안료분산 (1971)의 ‘Curtaining 현상’과 ‘Sagging 현상’의 관계를 적용한다<sup>10)</sup>. 따라서, 본 연구에서는 개질 페이스트의 피막두께를 계산하기

위해서, 먼저 뉴턴 유체의 유동으로 발생하는 ‘Curtaining 현상’에 대해 고찰한 후, 비뉴턴 유체인 개질 페이스트의 유동 특성을 파악하여 개질 페이스트의 피막두께를 산정하기로 한다.

‘Curtaining 현상’의 유동학에서 균일한 두께  $X$ 의 습윤 피막두께는  $dx$ 의 박막으로 구성되어  $dx$ 의 박막층이 수직면상에 다량으로 겹쳐 있다고 생각할 수 있다. 따라서, Fig. 5와 같이 표면에 있는 1장의  $dx$ 의 박막층은 외측에 겹쳐 있는 다량의 박막층에 의해 하부로 흘러 내리려는 성질을 가지고 있다. 이 힘은 외측에 겹쳐있는 박막층의 총중량과 동일하게 되고, 그 때에 뉴턴 유체에서는 용제의 증발이 없고 온도의 변화도 없는 이상 조건이 적용된다. 여기서, 박막층의 길이를  $L$ , 폭을  $B$ 로 하면,  $x$ 보다 외측부분의 체적  $V$ 는 식(1)에서 나타낼 수 있다.

$$V = L \cdot B \cdot x \quad (1)$$

이때, 유체의 밀도를  $\rho$ 라고 하면 이 위치로부터 하부로 움직이려고 하는 힘  $F$ 는 식(2)로부터 요구할 수 있다.

$$F = L \cdot B \cdot x \cdot \rho \cdot g \quad (2)$$

이 힘에 저항하는 힘이 유체의 점성이며, 그것이 ‘Curtaining 현상’을 일으키게 된다. 한편, 점도에 관한 기본식으로부터 이 저항력  $F'$ 은 식(3)에서 주어진다.

$$F' = L \cdot B \cdot \eta \cdot \frac{-dv}{dx} \quad (3)$$

또한, ‘Curtaining 현상’을 크게 지배하고 있는 또 다른 중요한 원인은 유체의 비뉴턴 성질이다. 일반적으로 대부분의 비

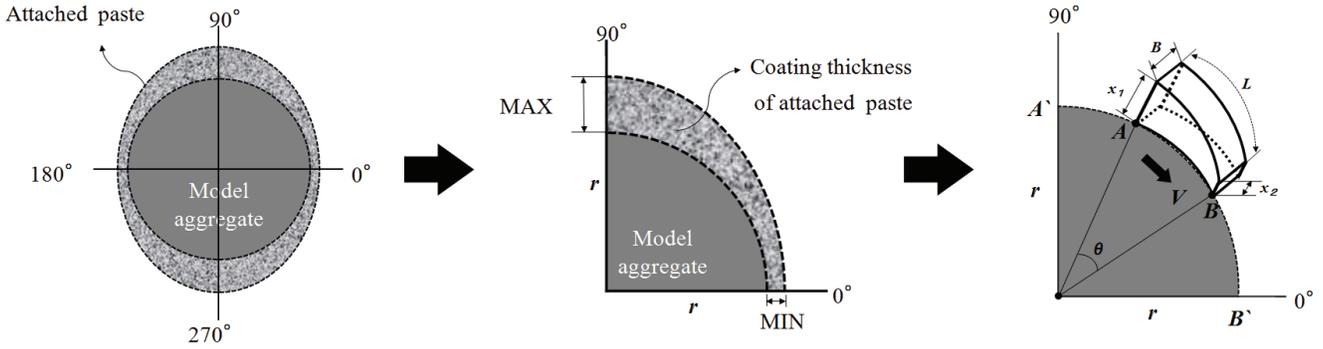


Fig. 6. Changes of the coating thickness of modified paste on surface modified aggregate

뉴턴 유체는 항복치가 있으며, 중력에 의한 전단응력이 그 유체의 항복치를 넘지 않는 한 문제가 되는 ‘Curtaining 현상’은 발생하지 않는다.

그러나, 본 연구에서의 개질 페이스트는 시멘트계 재료의 페이스트를 이용하는 것으로 비교적 항복치가 큰 유체로 분류할 수 있으며, 비뉴턴의 점성유체(빙엄유체)로 생각하면, 원골재의 수직평면에 비교적 두껍게 피복 했을 경우, ‘Sagging 현상’이 발생하게 된다. 즉, 어느 정도의 항복치를 가지고 있는 비뉴턴 유체에서는 박막층  $x$ 의 위치에서 ‘Sagging 현상’이 발생한다. 이 때, 발생하는 ‘Sagging 현상’은 식 (4)과 같이 나타낼 수 있다. 여기서, 만약 항복치가 충분히 큰 개질 페이스트일 경우는 식 (4)에서의  $x$  값은  $X$ 값과 동일하게 되고, 그때는 개질 페이스트의 하부로의 이동은 완전히 구속되게 된다.

$$x = \frac{\tau}{\rho g} \quad (4)$$

따라서, 개질 페이스트의 피막두께는 Fig. 6과 같이 개질 페이스트가 골재의 상부 90° 지점으로부터 연속적으로 흐르는 경우, 도료의 유동학과 유체역학에 의한 수직항력의 관계를 통해서 계산할 수 있다. 즉, 각도  $\theta$ 가 A점으로부터 B점의 거리까지 유동할 때, 피막두께는  $x_1$ 로부터  $x_2$ 로 변화하게 된다. 여기서, 개질 페이스트의 항복치에 의한 부착 페이스트의 피막두께는 유체역학에 있어 중력에 의한 수직항력이 발생하여, 이 때 각도  $\theta$ 의 변화에 의해서 피막두께도 변화하게 되어, 식 (4)는 식 (5)와 같이 나타낼 수 있다. 즉, 개질 페이스트의 피막두께는 각도  $\theta$ 가 90°인 지점에서 최대 피막두께를 가지고, 각도  $\theta$ 가 0°인 지점에서 최소 피막두께를 가지게 된다.

$$x = \frac{\tau}{\rho g} (1 + \cos\theta) \quad (5)$$

한편, 본 연구에 있어서, 개질골재의 제작은 원골재를 강제적으로 회전시키면서 골재의 표면을 개질 페이스트로 피복하는 방법을 채택하고 있다. 따라서 개질골재의 피막두께는 원골재의 수직면(90°)에 대한 피막두께만이 작용되어, 구형으로 가정하고 있는 개질골재 전면의 피막두께는 원골재의 수직면에 작용되는 개질 페이스트의 항복치와의 관계로부터 표현할 수 있다.

따라서, 원골재의 전면에 코팅되는 개질 페이스트의 피막두께는 Fig. 6의 MIN (최소 피막두께) 만을 이용하여 Fig. 7의 (a) 및 (b)와 같이 나타낼 수 있다. 이 때의 개질골재의 피막두께 계산은 식 (5)에서  $\cos\theta$ 가 수직인 면(90°)에 대해서만 작용되기 때문에 식 (6)과 같이 나타낼 수 있다.

$$x = \frac{\tau}{\rho g} (1 + \cos 90) \quad (6)$$

여기서, 중력에 의한 영향은 무시할 수 있으며, 항복치만에 의해 피막두께가 결정되기 때문에 모델골재와 원골재의 표면상태가 동일하다고 가정하여, 회전방식에 의한 개질 골재를 제작할 경우, 개질 페이스트는 모델골재와 원골재의 표면에 모두 균일하게 피복되며, 이 때의 모델골재 및 원골재의 피막두께는 동일해진다고 생각할 수 있다.

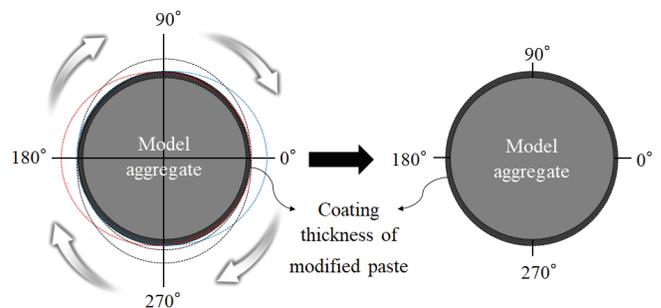


Fig. 7 Coating thickness of surface modified aggregate produced by rotating

### 2.3 개질 페이스트의 유동학 실험

이상의 논의를 기본으로, 본 연구에서 사용하고 있는 개질 페이스트의 유동학 실험을 실시했다. 실험은 회전 점도계를 이용하여 회전속도의 상승과정에 대한 전단응력을 측정했다. 여기서, 시멘트만의 개질 페이스트의 항복치는 4.05Pa, 최대 부착하중은 0.33N인 것을 확인했다.

따라서, 유동학 정수의 항복치를 식 (6)에 대입하면 구형으로 가정한 골재표면에 피복되는 개질 페이스트의  $x$  값을 요구할 수 있으며, 그 피막두께는 0.14mm가 된다. 즉, 본 연구에서 이용되는 개질골재는 피막두께가 0.14mm로 일정한 개질 페이스트가 원골재 표면전체에 코팅되어 있는 것으로 생각할 수 있다.

### 3. 원골재 형상에 따른 피막두께의 계산

#### 3.1 개요

전술한 모델에 의해 요구할 수 있는 개질 페이스트의 피막 두께 계산은 구형으로 가정한 원골재 표면에 균일하게 부착하는 잉여 페이스트 이론의 부착 페이스트량을 의미한다. 하지만, 실제의 원골재는 기하학적 형상을 가지고 있어, 일반적으로 구형으로 가정할 경우에 비해, 비표면적은 크게 된다. 따라서, 각각의 골재의 체적이 동일한 경우에도 실제의 원골재에 개질되는 개질 페이스트의 양은 차이가 생기게 된다. 여기서, 구형의 원골재와 기하학적인 형상을 가진 골재의 개질 페이스트의 피막두께가 동일하다고 가정하여, 실제 다양한 골재형상을 가진 원골재의 비표면적의 변화에 따른 개질 페이스트의 증가량과 그 때의 피막두께에 대해 추가적으로 검증한다. 본 연구에서 사용한 개질페이스트의 배합비를 Table 1에 나타낸다.

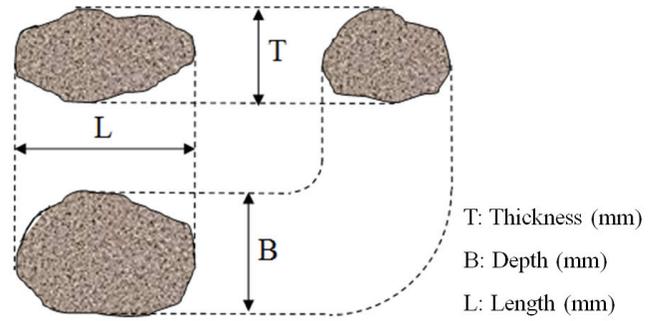
**Table 1** Mix proportion of modification paste (based on 1kg of original coarse aggregate)

W/C (%)	Water (g)	Cement (g)	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (g)	Superplasticizer (%)	Flow (mm)
30	21	70	70	C×1.9	300

#### 3.2 원골재의 비표면적의 계산

개질골재에 있어서의 원골재의 비표면적은 Heywood의 연구<sup>11)</sup>를 참고하여 요구했다. Fig. 8과 같이 불규칙한 형상을 가진 원골재에 대해 두께(T), 폭(B), 길이(L)의 3개의 변수로서 나타내어, 더욱이, 형상 변수로서 편평도(m)와 장단도( $\eta$ )를 식 (7) 및 식 (8)과 같이 정의하여 투영 면적지름( $D_p$ )과 치

수( $D_o$ )와의 관계에 의해 식(9)를 얻을 수 있다<sup>11)</sup>.



**Fig. 8.** Quantification of aggregate shape

$$m = \frac{B}{T} \quad (7)$$

$$\eta = \frac{L}{B} \quad (8)$$

$$\frac{D_p}{D_o} = \left( \frac{2nm^2}{m^2 + 1} \right)^{0.5} \quad (9)$$

상기의 투영 면적지름을 이용하는 것으로 일반적으로 골재의 체적( $v$ )과 표면적( $s$ )은 식 (10) 및 식 (11)로부터 구할 수 있으며, 골재의 비표면적( $S$ )은 식 (12)로부터 구할 수 있다. 여기서, 체적 형상계수( $k$ ) 및 면적 형상계수( $f$ )는 골재의 형상에 의한 정수이며, 구형의 경우에는  $k = \pi$ ,  $f = \pi/6$ 이 되며, 이에 따라  $f/k = 6$ 으로 정의할 수 있다. 한편, 골재(천연 골재)의 경우, 실험값에 의해  $f/k$ 의 값은 6.5정도, 쇄석골재의 경우 7.5 정도로 보고되고 있다<sup>2)</sup>.

$$v = k \cdot D_p^3 \quad (10)$$

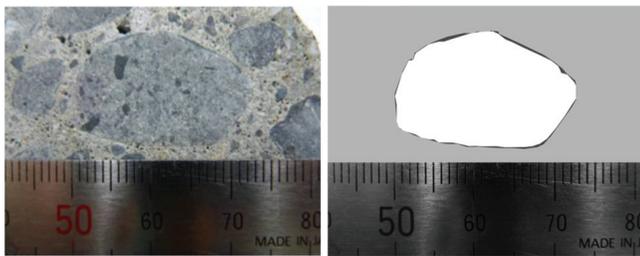
$$s = f \cdot D_p^2 \quad (11)$$

$$S = \frac{s}{v} = \frac{f}{k \cdot D_p} = \frac{7.5}{D_p} \quad (12)$$

여기서, 구형으로 가정한 원골재의 개질 페이스트 피막두께( $x_o$ )는 모델화에 의해서 구할 수 있으며, 구형의 경우, 골재의 형상 계수비( $f/k$ )가 6일 때, 개질 페이스트의 피막두께( $x_o$ )는 모델화에 의해 요구한 피막두께가 된다. 한편, 본 연구에서 적용하고 있는 쇄석골재의 비표면적은 구형의 경우보다 커지게 되어, 그 때의 형상 계수비( $f/k$ )는 구형의 경우보다

**Table 2** Comparison of the coating thickness of surface modified aggregate and model aggregate

Specimen	Surface of model aggregate		Surface of modified aggregate		Average coating thickness of surface modified aggregate (mm)
	Circumference (mm)	Area (mm <sup>2</sup> )	Circumference (mm)	Area (mm <sup>2</sup> )	
Case1	72.19	319.51	73.87	329.73	0.14
Case2	75.23	339.47	78.11	350.00	0.13
Case3	69.66	308.85	71.23	319.17	0.15
Case4	71.48	318.90	73.51	329.38	0.14
Case5	70.79	317.01	72.96	326.92	0.13



(a) Shape of cutting section (b) Extracted image of cutting section

**Fig. 9** Coating thickness of surface modified aggregate by image analysis (Case 1)

1.5가 큰 7.5가 된다. 이에 따라 구형의 경우의 형상계수와 그때의 개질 페이스트 피막두께의 관계에 의해 쇄석골재의 비표면적의 증가에 따른 개질 페이스트 양의 증가분의 계산이 가능하다. 이러한 개질 페이스트의 증가분은 비표면적의 증가에 의한 영향이며 개질되는 페이스트의 두께는 구형의 경우와 동일해진다.

### 3.3 표면개질 골재의 피막두께에 관한 검증실험

쇄석골재를 대상으로 개질 페이스트의 균일한 피막두께의 형성을 검토하기 위해서 표면 개질 골재를 사용한 콘크리트의 원주 시험체 (Ø100×200mm)를 제작하여, 랜덤 간격으로 절단한 후 검토를 실시했다. 시료는 원골재와 시멘트 매트릭스 사이의 개질 페이스트의 육안 식별이 가장 용이한 개질골재 (20-15mm)의 5개의 시료를 컷팅하여 평가했다. 또한, 모든 시험체에 대해 개질골재 단면의 지름(L)이 최대치가 되도록 절단면을 연마한 후, 고해상 디지털 카메라 및 화상해석 프로그램을 이용하여 화상해석을 실시했다. 화상해석은 원골재와 개질 페이스트의 부분이 명확하게 식별되도록 명도 및 색도를 조정하여, 원골재와 개질 페이스트의 면적 및 피막두께를

측정했다.

Table 2에 화상해석 결과 및 Fig. 9에 일례로서 Case 1 시험체의 개질골재 절단면 형상과 표면추출 화상을 나타낸다. 화상해석의 결과로부터 모든 개질골재의 실제 피막두께는 모델골재의 피막두께인 0.14mm과 비교해, 약 ±0.01mm 정도의 오차를 나타냈다. 여기서, 근소한 오차의 발생은 시험체 연마에 따른 개질 페이스트와 시멘트 매트릭스의 경계가 다소 불분명하게 된 것이 원인으로 생각할 수 있지만, 실제 개질 페이스트의 피막두께는 모델골재와 상당한 근사범위에서 일치하는 것을 확인할 수 있었다.

## 4. 결론

본 연구에서는 잉여 페이스트 이론과 유동학 정수를 이용하여 표면 개질골재의 피막두께에 대해 검토한 결과 이하의 결론을 얻을 수 있었다.

- (1) 개질 페이스트는 항복치가 높은 원골재 표면전체를 피복하는 재료로서 잉여 페이스트 이론과 빙엄유체로 모델링하는 것으로 정량적인 피막두께의 계산이 가능하다.
- (2) 원골재를 회전시키면서 골재의 표면을 개질하는 경우, 중력에 의한 영향은 관계하지 않고, 원골재 수직면에 대한 피막두께만을 고려하여, 구형으로 가정한 개질골재의 피막두께는 개질 페이스트의 항복치와의 관계로 구할 수 있다.
- (3) 쇄석골재의 비표면적은 구형의 경우보다 커지게 되어, 골재의 형상에 따른 형상 계수비를 고려하여 피막두께를 계산할 수 있다. 형상 계수를 7.5로 하여 비표면적에 의한 개질 페이스트의 증가분을 계산한 결과, 원골재 표면을 피복하는 개질 페이스트의 두께는 구형의 경우와 상당한 근사 범위에서 일치하는 것을 확인할 수 있었다.

## 감사의 글

This work was supported by the National Research Foundation of Korea (NRF) grant funded by the Korea government(MSIT) (No. NRF-2018R1A5A1025137).

## References

1. Noguchi, T. and Tamura M. (2001), Concrete design toward

- complete recycling, *Structural Concrete*, 2(3), 155-167
2. Noguchi, T. (2008), Resource recycling in concrete (Present and future), *Stock Management for Sustainable Urban Regeneration, Springer*
  3. Ei-ichi, T., Tetsuro, K. (1990), Mechanism and Effects of Double Mixing on Properties of Cement Paste, *The journal of Materials of JAPAN*, 39(442), 175-181.
  4. Choi, H.S., Kitagaki, R., Noguchi, T. (2012), A Study on the Completely Recovery of Surface Modification Aggregate using Microwave, *Proceedings of the japan concrete institute*, 34(1), 1582-1587.
  5. Choi, H.S., Kitagaki, R., Noguchi, T. (2014), Effective Recycling of Surface Modification Aggregate using Microwave Heating, *Journal of Advanced Concrete Technology*, 12(1), 34-45.
  6. Tsujino, M., Noguchi, T., Tamura, M., Kanematsu, M., Maruyama, I. (2007), Application of Conventionally Recycled Coarse Aggregate to Concrete Structure by Surface Modification Treatment, *Journal of Advanced Concrete Technology*, 5(1), 13-25.
  7. Oh, S.G. (1999), Rheology evaluation and flow design of high flowing concrete, Ph.D Dissertation, The University of Tokyo, Tokyo, Japan.
  8. Kennedy, C.T. (1940), The design of concrete mixes, *Proceedings of the American Concrete Institute*, 36(2), 373-400.
  9. Miyake, J., Matsushita, H. (2008), Estimation of the sand percentage for the largest deformability of fresh concrete at any water cement ratio, *Journal of Japan Society of Civil Engineers*, 64(2), 361-370.
  10. TEMPLE C.PATTON. (1971), *Paint Flow and Pigment Dispersion* (Japanese), 84-119.
  11. Beddow, J.K. (1980), *Particulate Science and Technology*, Chemical Publishing Company, New York.
  12. Katoh, J.K. (1965), The relationship and related problems in the concrete mix design and workability, *The annual report of Cement and Concrete Engineering*, 333-337.

Received : 12/05/2018

Revised : 01/03/2019

Accepted : 01/08/2019

---

**요 지 :** 본 연구는 굵은골재의 완전 리사이클 기술개발을 위해서 시멘트계 재료를 이용한 개질 페이스트를 이용하여 원골재의 표면을 코팅하는 표면개질 기술을 적용하고 있다. 이 때에 원골재와 개질 페이스트의 계면은 개질 페이스트의 점착력과 점도에 의존되어 개질골재의 피막 두께가 결정된다고 생각할 수 있다. 본 연구에서는 굳지 않은 상태에서의 개질 페이스트의 유동특성을 파악하고 표면 개질골재의 피막 두께에 대해 검토한 결과, 개질 페이스트를 빙엄유체로서 가정하여, 잉여 페이스트 이론과 유동학 정수 (항복치)를 고려하는 것으로 개질 페이스트의 정량적인 피막 두께의 설계가 가능하며, 표면개질 골재를 이용한 콘크리트의 정량적인 배합설계가 가능할 것으로 판단된다.

**핵심용어 :** 개질골재의 피막두께, 잉여페이스트 이론, 개질 페이스트, 레올로지, 항복치

---