

# 시멘트풀 속에서의 순환굵은골재 부착모르타르의 성상변화에 관한 연구

## Properties of Mortar Adhered to the Recycled Coarse Aggregate in Cement Paste

(Received March 15, 2011 / Revised March 30, 2011 / Accepted March 31, 2011)

문대중<sup>1)</sup> 최재진<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup>주)이제이텍 기술연구소, <sup>2)</sup>공주대학교 공과대학 건설환경공학부

Dae-Joong Moon<sup>1)</sup> Jae-Jin Choi<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup>EJtech Co. Ltd, Seongnam, 463-800, Korea

<sup>2)</sup>Dept. of Civil & Environmental Engineering, Kongju National University, Cheonan, 330-717, Korea

### Abstract

Vicker's hardness and pore size distribution of mortar adhered to the recycled coarse aggregate were tested according to the strength level of original concrete of recycled coarse aggregate to find the change of mortar adhered to the recycled coarse aggregate in cement paste. The strength levels of original concrete of recycled coarse aggregate were 25.5MPa, 41.7MPa and 60.1MPa and the aggregates were used at the state of saturated surface dry condition and oven dry condition. The results of this experimentation indicated that the mean value of Vicker's hardness was increased according to age and strength of original concrete of recycled aggregate. Porosity of 100nm~10 $\mu$ m size was reduced and porosity of 6nm~100nm size was increased in cement paste.

**키워드** : 순환굵은골재, 부착모르타르, 비삭경도, 공극분포

**Keywords** : Recycled Coarse Aggregate, Adhered Mortar, Vicker's hardness, Pore Size Distribution

## 1. 서론

환경부의 2009년 전국 폐기물 발생 및 처리현황 보고서(환경부, 2010)를 보면 2009년도의 총 폐기물 발생량은 지정폐기물을 제외할 때 일일 약 36만 톤이며, 폐기물 구성비를 보면 대략 생활폐기물 14%, 사업장 배출 시설계 폐기물 35%, 건설폐기물 51%이었다. 이와 같이 우리나라에서 많은 양이 발생되는 건설폐기물은 과거 단순히 폐기물로 인식되었으나 근래에 와서 다양한 재활용 기술과 정책의 개발·보급으로 인해 부족한 천연자원을 대체할 중요한 자원으로 인식되고 있다.(배수호 등, 2006; 심중성 등, 2006, 최복희 등, 2009; Oikonomou, 2005) 또한 해마다 증가하고 있는 건설폐기물을 재활용하는 것은 자연환경에서 채취할 자원의 양을 최대한 줄임으로써 천연자원의 절약과 환경과 괴를 최소화시킬 수 있는 최선의 방법이며, 이는 개발과

보존이라는 이질적 개념이 서로 선순환구조를 이루어 지속 가능한 사회발전을 이룩할 수 있다는 의미를 갖는다.

정부에서는 2003년 건설폐기물의 재활용 촉진에 관한 법률을 제정하여 건설폐기물의 이용을 위한 법적 근거를 마련한 바 있으며 폐콘크리트, 폐아스콘, 폐목재 등과 더불어 각종 산업부산물의 이용을 활성화하기 위한 후속 조치를 마련해 왔다. 예로서 폐콘크리트를 부가가치가 높은 골재로 활용하기 위해 국토해양부가 2005년 순환골재 품질기준(국토해양부, 2005)을 마련하였는가 하면 콘크리트용 골재로 활용할 수 있도록 2006년 KS F 2573(콘크리트용 순환골재)의 제정과 KS F 4009(레디믹스트 콘크리트)에서 순환골재의 사용을 가능하도록 개정하였다.

그러나 아직까지 건설폐기물 중 50% 정도를 차지하고 있는 폐콘크리트는 국내의 경우 단순히 성토나 매립용 재료로 사용되고 있을 뿐, 콘크리트용 골재 등과 같은 부가가치가 높은 자원으로서는 거의 활용되지 못하고 있는 실정인데, 그 이유는 순환골재에 모르타르가 부착되어 있어

\* Corresponding author

E-mail: moondaejoong@empal.com

Table 1. Physical properties of recycled coarse aggregate

Recycled aggregate	Density of SSD(g/cm <sup>3</sup> )	Density of Oven Dry(g/cm <sup>3</sup> )	Absorption (%)	Bonded Mortar (%)	Stability (%)	Comp. Strength of Original oncrete(MPa)
A	2.42	2.31	4.48	52.3	29.7	60.1
B	2.41	2.28	5.58	55.0	48.3	41.7
C	2.37	2.23	6.27	52.3	49.1	25.5

그의 부착정도에 따라 순환골재의 품질이 달라지는 경향이 있기 때문이다. 따라서 순환골재의 평가를 위해서는 순환골재의 부착모르타르가 콘크리트의 물성에 미치는 영향을 명확히 규명할 필요가 있으며 또한 부착모르타르의 물성 개선을 위한 연구도 필요할 것으로 생각된다. 본 연구에서는 순환골재에 있어서 부착모르타르에 대한 기초자료를 얻기 위하여 콘크리트 속에서 시멘트 이온이 순환골재에 부착된 모르타르의 내부성상에 미치는 영향을 실험을 통해 검토하였다. 실험은 재령 및 순환골재의 함수상태에 따라 부착모르타르의 미소경도를 측정함으로써 시멘트 이온의 침투깊이를 분석하였으며, 또한 부착모르타르의 공극 분포를 측정하고 공극의 크기별 공극량의 변화에 대하여 검토하였다.

## 2. 실험개요

### 2.1 사용재료

본 실험에 사용한 시멘트는 백색포틀랜드시멘트이며, 순환굵은골재는 AE제를 사용하여 제조한 압축강도 3수준의 모래콘크리트 블록을 제작하여 28일 경과한 후, 조크리셔로 1차 파쇄한 것을 이용하였다. 순환굵은골재의 물리적 성질은 Table 1에 나타내었다.

### 2.2 공시체 제조방법 및 배합

시멘트풀을 믹서로 혼합한 후, 각 순환굵은골재 1개씩을 20×30×55mm 크기의 몰드에 넣고 시멘트풀을 채워넣어 공시체를 제조하였다. 이때 시멘트풀의 물-시멘트비는 55%로 하고, 새로 친 시멘트풀과 구모르타르의 계면을 구별하기 위하여 혼합시에 적색분말을 시멘트 질량에 대하여 2% 사용하였다. 또한 순환굵은골재는 표면건조포화상태(표건상태, SSD)와 절대건조상태(절건상태, AOD) 2가지의 조건으로 하고 공시체는 타설 후 24시간에 탈형하여 소정의 재령(3일 및 28일)까지 표준양생을 실시하였다.

### 2.3 시험방법

#### 2.3.1 비삭경도

시험체는 각 재령의 공시체를 절단하여 아세톤에 침지하여 수화진행을 억제시킨 후, 다시 에폭시 수지에 침지시켰다. 수지가 경화된 후, 공시체를 커터로 절단하여 연마지 #80~#2400를 이용하여 테이블 위에서 연마한 후, 순환굵은골재에 부착된 모르타르의 비삭경도를 아카시 사의 미소경도시험기(MVK-H0)를 사용하여 측정하였다. 비삭경도의 측정은 미소경도 시험기를 사용하여 새로운 시멘트풀과의 계면에서 200 μm까지는 20 μm 간격으로, 200 μm에서 500 μm 사이는 50 μm 간격으로 계면과 직교하는 선상에서 측정하였다. 측정방향은 절단면의 상면과 하면에서부터 실시하였다. 시험하중은 10gf로 하였다.(Fig. 1)

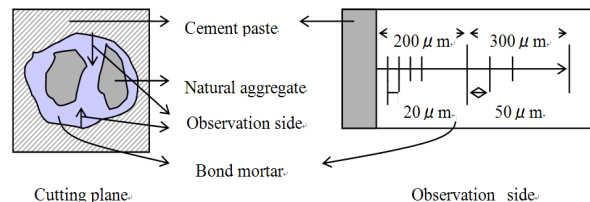


Fig. 1 Vicker's hardness measurement

#### 2.3.2 공극분포 측정시험

순환굵은골재 부착모르타르를 동일 배합의 시멘트풀에 재령 3, 7 및 28일 동안 넣어둔 후, 각 재령에서 2~2.5g 정도 추출하고 아세톤에 침지하여 시멘트 수화를 정지시킨 다음 105℃로 건조기에서 건조시켰다. 공극 측정은 수은 압입법으로 실시하였다.

## 3. 실험결과 및 고찰

### 3.1 부착모르타르의 비삭경도

순환굵은골재를 표건상태로 하여 새로운 시멘트풀과의

Table 2. Results of Vicker's hardness measurement (SSD condition)

Items	Observation side	Aggregate A			Aggregate B			Aggregate C		
		3days	7days	28days	3days	7days	28days	3days	7days	28days
Mean of Vickers hardness (MPa)	Upper	40.4	52.6	61.0	28.8	49.2	59.4	19.5	33.6	40.5
	Lower	32.8	48.1	60.1	31.0	48.3	57.8	32.7	42.4	52.9
	Mean	36.6	50.3	60.5	29.9	48.7	58.6	26.1	38.0	46.7
Depth of infiltration ( $\mu\text{m}$ )	Upper	107.0	116.5	166.4	113.6	162.4	186.0	109.4	156.8	191.6
	Lower	62.7	118.2	140.0	88.9	120.0	157.7	127.9	173.1	176.0
	Mean	84.9	117.3	153.2	101.3	141.2	171.7	118.6	164.9	183.8

계면에서 부착모르타르 부분의 비삭경도를 측정하여 정리한 것이 Table 2 및 Fig. 2이다. 재령이 증가할수록 계면 부분의 비삭경도가 증가하는 경향이 나타났다. 계면으로부터의 거리에 따른 부착모르타르의 비삭경도를 나타낸 Fig. 2를 보면 계면에서 대체로 300 $\mu\text{m}$  정도의 범위에서는 비삭경도가 작아지는 부분이 존재하며, 그 후는 비삭 경도가 균일해지는 것을 알 수 있다. 또한 비삭경도는 순환굵은골재를 제조한 모재콘크리트의 강도가 클수록 크게 나타나는 경향이 있으며, 측정위치 상부, 하부에 따른 차이는 크지 않은 것으로 나타났다. 계면으로부터의 거리에 따른 부착모르타르의 경도를 나타낸 Fig. 2를 보면 모재콘크리트의 압축강도가 가장 높은 순환굵은골재 A의 경우 시멘트 이온이 부착 모르타르에 침투하는 부분은 재령 3일에서 계면으로부터 평균 84.9 $\mu\text{m}$  정도 떨어진 위치이며, 재령 28일에서는 153.2 $\mu\text{m}$ 로 재령이 커질수록 시멘트 이온이 침투에 의한 부착모르타르의 강도가 증가되었다고 판단된다. 모재콘크리트의 압축강도가 상대적으로 낮은 순환골재 B 및 C를 사용한 경우에는 시멘트 이온의 침투깊이가 증가하는 경향을 보이고 있으며, 재령 28일에서 순환골재 C는 시멘트 이온의 침투깊이가 평균 183.38 $\mu\text{m}$  정도까지 증가하였다. 이와 같이 순환굵은골재 종류에 따라 골재 계

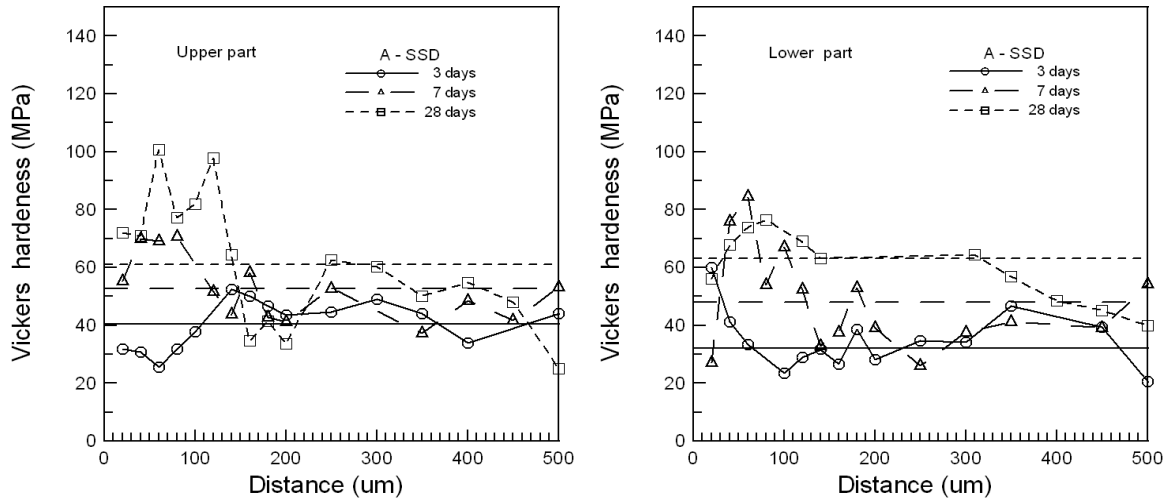
면에서 깊이에 따라 비삭경도의 차가 나타나는 것은 모재 콘크리트 강도에 의한 영향과 함께 포화시멘트 이온이 부착모르타르의 모세관공극에 침투하여 공극이 충전되었기 때문이며, 재령이 증가할수록 포화시멘트 이온의 침투깊이가 증가된 것으로 판단된다.

절대건조상태의 순환굵은골재를 시멘트풀 속에 넣고 재령에 따라 부착모르타르의 비삭경도를 측정하여 정리한 것이 Table 3 및 Fig. 3이다. 또한 각 순환굵은골재에 부착된 모르타르의 비삭경도 평균값을 Fig.4에 나타내었다. 비삭경도의 평균값은 절건상태 순환굵은골재 A의 경우 재령 3일, 7일 및 28일에서 각각 35.0, 56.4, 58.5MPa로서 재령이 증가할수록 커지며, 침투깊이는 표건상태로 제조한 부착모르타르와 같은 경향으로 순환골재 A, B, C 순으로 크게 나타났다.

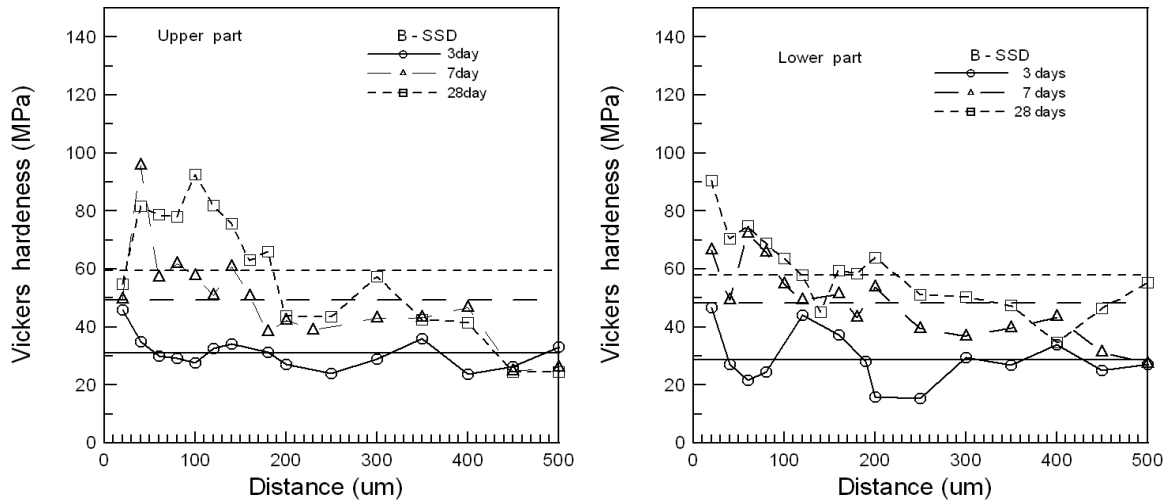
또한 순환굵은골재를 절건상태로 제조하여 만든 부착모르타르에서 침투깊이가 표건상태로 제조하여 만든 부착모르타르 보다 침투깊이가 약간 크게 나타나고 있으며, 이는 절건상태의 경우가 포화시멘트의 이온 이동이 크기 때문으로 판단된다.

Table 3. Results of Vicker's hardness measurement (AOD condition)

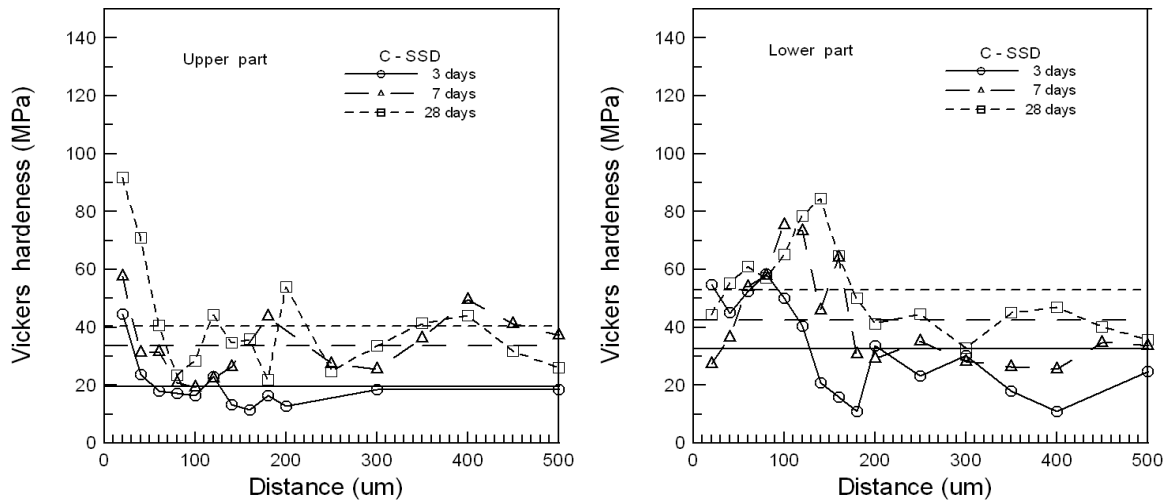
Items	Observation side	Aggregate A			Aggregate B			Aggregate C		
		3days	7days	28days	3days	7days	28days	3days	7days	28days
Mean of Vicker's Hardness (MPa)	Upper	33.6	62.9	55.9	33.0	42.9	55.7	36.4	46.2	52.5
	Lower	36.3	49.9	61.1	34.4	35.7	50.0	29.6	49.3	48.9
	Mean	35.0	56.4	58.5	33.7	39.3	52.8	33.0	47.8	50.7
Depth of infiltration ( $\mu\text{m}$ )	Upper	122.6	157.8	173.5	84.4	169.5	254.0	178.0	165.5	197.2
	Lower	114.8	171.9	171.8	167.6	166.5	136.4	118.3	185.5	200.4
	Mean	116.2	164.5	172.7	126.0	168.0	195.2	148.2	175.5	198.8



(a) Aggregate A



(b) Aggregate B



(c) Aggregate C

Fig. 2 Vicker's hardness of recycled aggregate in SSD

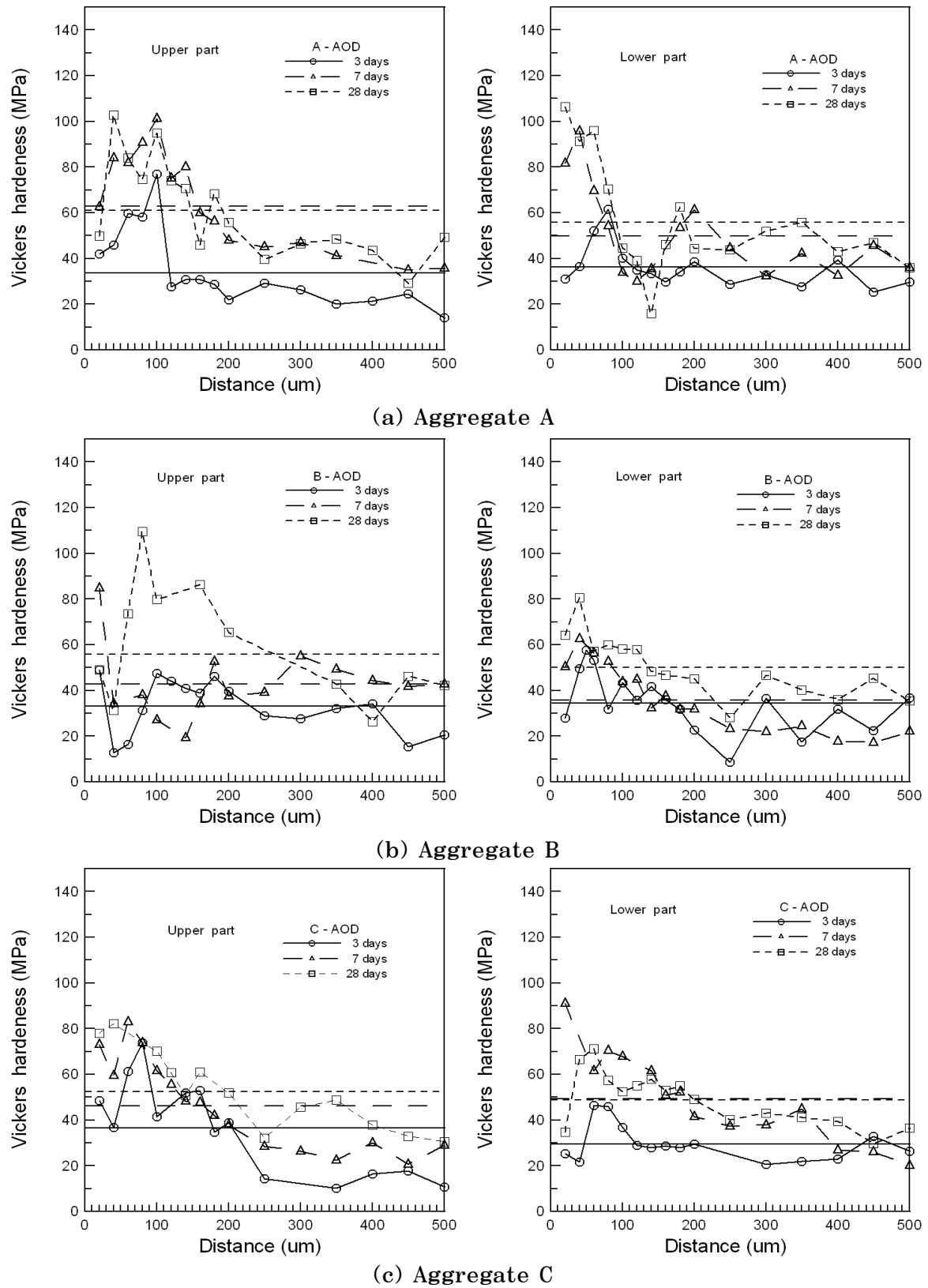


Fig. 3 Vicker's hardness of recycled aggregate in oven dry condition

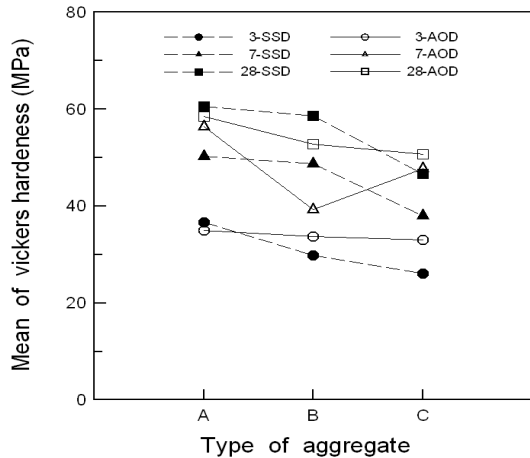


Fig. 4 Mean of Vicker's hardness of recycled aggregate

시멘트 이온의 침투깊이는 시멘트풀 계면으로부터 비스킷 정도의 변화가 일정하게 되는 부분과 비스킷 정도의 평균값까지의 거리로 산정하여 Fig. 5에 나타내었다. 재령이 증가할수록 시멘트 이온의 침투깊이는 깊어지며 모재콘크리트의 강도가 가장 작은 순환골재 C의 경우가 모재콘크리트의 압축강도가 가장 큰 순환골재 A의 경우보다 그 침투깊이가 깊어지는 경향을 나타냈다. 또한, 절건상태의 순환골재의 경우가 표건상태의 순환골재의 경우보다 시멘트 이온의 침투깊이가 깊어지는 것으로 나타났다.

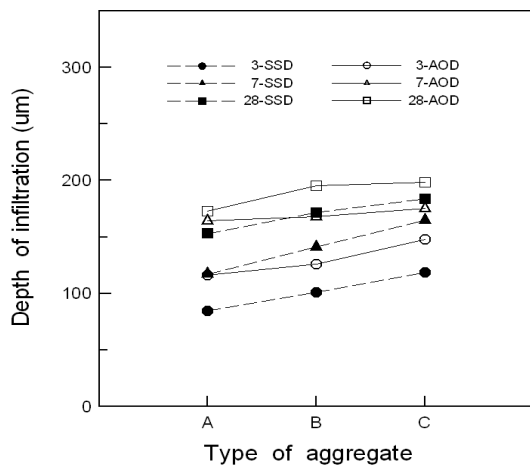


Fig. 5 Depth of infiltration of cement ion in recycled aggregate

### 3.2 부착모르타르의 공극분포

순환골재 3종류에 대해서 부착모르타르의 공극분포

를 재령 7일과 28일에 측정하여 정리한 것이 Fig. 6이다. 시멘트풀에 혼합하지 않은 순환골재 A와 순환골재 B에 부착된 모르타르의 공극량의 피크는 100nm 근처에서 나타났으며, 순환골재 C에 부착된 모르타르의 공극량 분포의 피크는 2개소에서 나타나고 있다. 시멘트풀에 혼합한 경우 순환골재 A 및 표건상태의 순환골재 B의 공극량 분포의 피크는 재령이 증가할수록 작아지며, 시멘트풀과 혼합하지 않은 골재와 비교하여 공극량의 피크 위치가 이동하는 것으로 나타났다. 절건상태의 순환골재 B 및 C에 부착된 모르타르의 공극량 분포의 피크도 시멘트풀과 혼합하지 않은 경우에 비하여 공극의 크기가 작은 쪽으로 이동하고 있으며, 2개소에서 피크가 나타났다. 또한, 절건상태의 순환골재 B 및 C에 부착된 모르타르의 경우 재령 7일에서 10 $\mu$ m 정도의 공극이 많아지고 있다.

Fig. 6의 공극분포를 6nm~50nm, 50nm~100nm, 100nm~1 $\mu$ m, 1 $\mu$ m~10 $\mu$ m, 10 $\mu$ m 이상의 공극으로 나누어 누적한 각 순환골재의 부착모르타르 공극분포를 시멘트풀과 혼합하지 않은 골재의 부착모르타르 공극분포를 기준으로 하여 백분율로 정리한 것이 Fig. 7이다.

공극직경 10 $\mu$ m 이상의 경우 재령 7일 절건상태 순환골재 A 및 표건, 절건상태의 순환골재 C의 공극은 시멘트풀에 혼합하지 않은 골재보다 감소하였으며, 다른 골재의 공극은 감소하지 않았다. 1 $\mu$ m~10 $\mu$ m 사이의 공극은 재령 7일 표건상태 순환골재 A 및 절건상태의 순환골재 A를 제외하고 공극이 감소하였으며, 재령 28일 순환골재 B 및 순환골재 C의 공극은 시멘트풀과 혼합하지 않은 골재보다 약 50% 정도 감소하였다. 100nm~1 $\mu$ m 사이의 공극도 재령 7일 표건상태의 순환골재 B를 제외하고 다른 골재의 공극은 시멘트풀과 혼합하지 않은 골재에 비하여 감소하였으며, 절건상태 골재의 공극감소량은 표건상태의 골재보다 크게 나타났다. 또한, 재령 28일의 절건상태의 순환골재 C는 약 40% 정도 공극이 감소하였다. 50nm~100nm 사이의 공극의 경우 재령 28일 표건상태의 순환골재 B는 공극이 감소하였으며, 다른 골재는 공극이 증가하였지만, 절건상태의 골재는 재령 7일 순환골재 A만 공극이 증가하였으며, 다른 골재는 공극이 감소하였다. 6nm~50nm 사이 공극의 경우, 순환골재 C의 공극은 감소하였고 순환골재 A와 순환골재 B는 공극량이 증가하였다.

즉, 전체적인 경향으로서 시멘트풀과 혼합하지 않은 순환골재가 시멘트풀에 혼합한 순환골재에 비하여 100nm~10 $\mu$ m의 공극이 감소하였으며, 6nm~100nm의 공극이 증

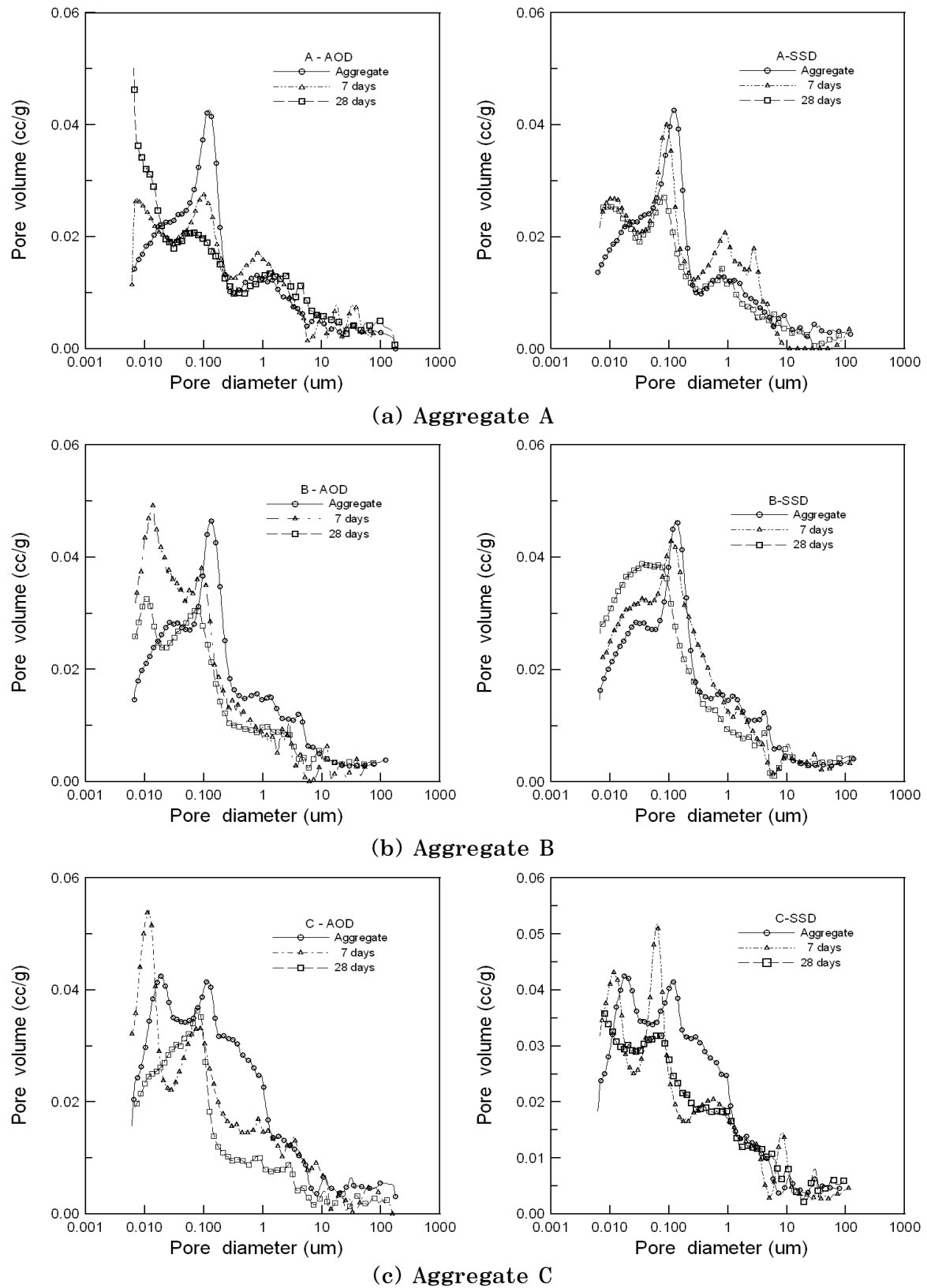


Fig. 6 Pore volume according to curing time

가하는 경향은 포화시멘트 이온이 부착모르타르의 모세관 공극에 침투하여 수화물을 생성시키기 때문에 의한 것으로 생각된다. 이러한 영향은 순환골재를 이용한 콘크리트의 압축강도 증가율이 천연골재를 이용한 콘크리트에 비하여 크게 나타나는 한 가지 원인이 될 수 있다고 생각되며, 순환골재 부착모르타르 중에 미수화시멘트에 의한 영향도 있을 것으로 생각된다.(Moon et al., 2002; 小林孝一 외, 1996)

#### 4. 결론

본 연구의 범위에서 얻은 결과를 요약하면 다음과 같다.

1) 순환골재 부착모르타르의 비жат경도를 측정된 결과, 모재콘크리트의 압축강도가 높을수록 커지는 경향이 있으며, 시멘트풀 이온의 침투에 의해 계면에서 300 $\mu$ m 이내에서는 비жат경도가 크게 변화하며, 그 이상에서는 거의 균일하였다. 또한, 재령이 증가할수록 비жат경도가 일정하게 되는 측점은 계면에서 깊어짐으로써 시멘트 이온의 영향이 미치는 범위가 커지는 것으로 나타났다.

2) 시멘트풀과 혼합한 경우 순환골재의 공극의 크기는 재령이 증가할수록 작아지며, 시멘트풀과 혼합하지 않은 골재에 비하여 100nm~10 $\mu$ m의 공극이 감소하고, 6nm~100nm의 공극이 증가하는 경향을 나타냈다.

3) 시멘트풀과 혼합한 순환골재가 시멘트풀과 혼합하지 않은 골재에 비하여 공극량의 분포가 미세공극 쪽으로 이동하는 것은 포화시멘트 이온이 부착모르타르의 모세관 공극에 침투하여 수화물을 생성시켰기 때문인 것으로 생각되나, 이에 대해서는 추가적인 연구에 의한 검토가 필요

할 것으로 판단된다.

#### 참고문헌

1. 건설교통부, 순환골재 품질기준, 2005
2. 배수호, 이광명, 김지상, 정상화, 콘크리트 염소이온 확산특성에 미치는 물-시멘트비 및 양생조건의 영향, 대한토목학회 논문집, 제29권, 제4호, pp.753-759, 2006.
3. 심중성, 박철우, 박성재, 김용재, 순환골재 치환율에 따른 순환골재 콘크리트의 압축강도 및 탄성계수 특성, 대한토목학회 논문집, 제26권, 제1호, pp.213-218, 2006.
4. 최희복, 신윤석, 안성훈, 정현수, 강경인, 순환골재 콘크리트의 공학적 특성 및 내구성, 대한건축학회 논문집 제23권, 제9호, pp.125-132, 2009.
5. 환경부, 한국환경공단, 2009 전국 폐기물 발생 및 처리 현황, 2010
6. D. J. Moon, H. Y. Moon, Effect of Pore Size Distribution on the Qualities of Recycled Aggregate Concrete, KSCE Journal of Civil Engineering, Vol.6, No.3, pp.289-295. 2002.
7. Nik. D. Oikonomou, Recycled Concrete Aggregates, Cement and Concrete Composites, Vol. 27, Issue 2, pp. 315-318, 2005.
8. 小林孝一, 服部篤史, 宮川豊章, 藤井学, 微分末混和材を用いたセメントペーストと骨材の界面性状, 材料, Vol.45, No.9, pp.1001~1007, 1996.

#### 시멘트풀 속에서의 순환골재 부착모르타르의 성상변화에 관한 연구

순환골재 콘크리트에서 혼합전의 순환골재에 부착되어 있었던 모르타르의 성상변화를 조사하기 위한 방법으로, 시멘트풀 속에 순환골재를 투입하여 경화시킨 다음 순환골재에 부착된 모르타르의 비жат경도와 공극분포를 검토하였다. 이때 순환골재는 모재콘크리트의 압축강도를 3수준(25.5MPa, 41.7MPa, 60.1MPa)으로 변화시켜 제조한 것을 파쇄시킨 다음 표면건조포화상태 및 절대건조상태에서 사용되었다. 실험결과 순환골재에 부착된 모르타르의 비жат경도는 순환골재의 모재콘크리트의 강도가 클수록 크며, 재령이 증가할수록 크게 되는 것으로 나타났다. 또한, 시멘트풀 속에서 부착모르타르의 공극분포는 100nm~10 $\mu$ m 크기의 공극이 감소되며, 6nm~100nm 크기의 작은 공극이 증가하는 것으로 나타났다.