

순환골재를 재활용한 폴리머 복합재료의 물성

황의환[†] · 전종기

공주대학교 화학공학부
(2008년 10월 29일 접수, 2008년 11월 13일 채택)

Physical Properties of Polymer Composite Recycling Recycled Aggregate

Eui-Hwan Hwang[†] and Jong-Ki Jeon

Department of Chemical Engineering, Kongju National University, Chungnam-do 330-717, Korea
(Received October 29, 2008; accepted November 13, 2008)

오늘날 대규모 건설사업에 따른 골재의 고갈과 환경보호 측면에서 폐콘크리트 순환골재의 재활용이 절실히 요구되고 있다. 폐콘크리트 순환골재를 재활용한 폴리머 복합재료를 개발하기 위하여 순환골재의 치환율을 5단계로 변화시키고(0, 25, 50, 75, 100%) 또 폴리머-시멘트비도 5단계로 변화시켜(0, 5, 10, 15, 20%) 총 25종류의 공시체를 제조하였다. 공시체의 제 성능을 조사하기 위하여 공시체의 압축 및 휨강도, 흡수시험, 내열수성시험, 총체공량 및 공극률에 대하여 조사하였다. 시험결과, 폴리머 복합재료의 물성은 폴리머 시멘트비의 증가에 따라 현저히 증가되었으나 폐콘크리트 순환골재의 치환율 증가에 따라서는 크게 저하되었다.

Nowadays, recycling of recycled aggregates from the waste concrete is seriously demanded for the protection of environment and the shortage of aggregates owing to the large scale construction project. In this study, for the development of polymer composite recycling recycled aggregates from the waste concrete, twenty five specimens of the polymer composite were prepared with the five levels of replacement ratios of recycled aggregates (0, 25, 50, 75, 100%) and polymer-cement ratios (0, 5, 10, 15, 20%), respectively. For the evaluation of the performance of polymer composite specimens, various physical properties such as compressive and flexural strengths, water absorption, hot water resistance, total pore volume and porosity were investigated. As a result, physical properties of polymer composite were remarkably improved with an increase of polymer cement ratios, but greatly decreased with the replacement ratios of recycled aggregates.

Keywords: polymer composite, polymer modifier, recycling, recycled aggregate

1. 서 론

대단위 건설산업의 급격한 성장으로 시멘트 콘크리트에 사용되는 골재의 사용량이 급격히 증가되고 있다. 최근에는 강모래, 강자같은 물론 해사마저 고갈되어 값에 따라 쇠석 및 쇠석사를 얻기 위한 골재채취 사업으로 국토환경이 파괴되어 가고 있다[1,2]. 골재의 수요량은 날로 증가되고 있는데 공급량이 절대 부족하기 때문에 수요공급을 맞추기 위해서 폐콘크리트를 분쇄하여 얻은 순환골재의 사용이 불가피하게 되었다[3-5]. 우리나라에서 발생하는 폐콘크리트는 2005년도 기준 약 2700만톤 정도로 추산되는데[6], 현재 건설 폐기물의 매립지 용량이 한계에 달하였고, 새로운 매립지의 확보도 어려운 실정이므로 폐콘크리트의 재활용은 골재의 원활한 수급과 환경보호 측면에서 매우 시급한 과제로 대두되고 있다[7]. 우리나라에서 폐콘크리트의 재활용률은 해마다 증가하고 있으나 그 용도는 도로노반재나 건설공사의 성토용으로 사용될 뿐 콘크리트 골재로는 거의 재활용되지 못하고 있는 실정이다[8,9]. 이렇게 폐콘크리트 순환골재가 재활용되지 못하는 가장 큰 이유는 순환골

재의 흡수성이 높고 작업성이 떨어지며, 순환골재를 사용한 콘크리트의 강도를 비롯한 제물성이 크게 감소되기 때문이다[10-12]. 이와 같은 단점을 개선하기 위하여 선진국에서는 폴리머 혼화제를 첨가하여 폴리머 복합재료를 개발하는 연구가 활발히 진행되고 있다[13,14].

폴리머 복합재료는 고강도, 수밀성, 내구성, 내약품성, 내마모성 및 내충격성 등이 매우 우수하여[15-23] 바닥재, 포장재, 방수재, 보수재, 방식재, 접착제 및 프리캐스트 제품에 이르기까지 모든 산업 분야에 널리 활용되고 있으나[24-27] 폴리머를 사용함으로써 내열성이나 내화성에 약한 단점을 가지고 있다[1,28].

현재 상업적으로 사용되고 있는 폴리머 혼화제의 종류는 수십종에 이르고 있으나 성능과 경제성면에서 styrene-butadiene rubber (SBR) 라텍스, ethylene vinyl acetate (EVA) 및 polyacrylic ester (PAE) 에멀전 등이 우수한 것으로 알려져 있다[22,23].

본 연구에서는 아크릴계 폴리머 혼화제를 사용하여 폴리머 시멘트비와 순환골재의 치환율을 각각 5단계로 변화시켜 총 25종류의 배합에 대하여 공시체를 제조하고 압축강도, 휨강도, 흡수율을 측정하였다. 또 복합재료의 내열성 및 내구성을 조사하기 위하여 내

[†] 교신저자 (e-mail: ehhwang@cnc.ac.kr)

Table 1. Design Mixing Proportions of Polymer Composite

P/C (%)	W/C (%)	Replace-ment ratio (%)	Water (kg/m ³)	Unit volume (l/m ³)					Unit weight (kg/m ³)				
				Cement	River sand	Recycled fine aggregate	Crush coarse aggregate	Recycled coarse aggregate	Cement	River sand	Recycled fine aggregate	Crush coarse aggregate	Recycled coarse aggregate
0	30	0	103	109	736	0	52	0	343	1642	0	139	0
		25	103	109	552	184	39	13	343	1232	370	104	30
		50	103	109	368	368	26	26	343	821	740	70	59
		75	103	109	184	552	13	39	343	411	1110	35	89
		100	103	109	0	736	0	52	343	0	1480	0	118
5	30	0	103	109	736	0	52	0	343	1642	0	139	0
		25	103	109	552	184	39	13	343	1232	370	104	30
		50	103	109	368	368	26	26	343	821	740	70	59
		75	103	109	184	552	13	39	343	411	1110	35	89
		100	103	109	0	736	0	52	343	0	1480	0	118
10	30	0	103	109	736	0	52	0	343	1642	0	139	0
		25	103	109	552	184	39	13	343	1232	370	104	30
		50	103	109	368	368	26	26	343	821	740	70	59
		75	103	109	184	552	13	39	343	411	1110	35	89
		100	103	109	0	736	0	52	343	0	1480	0	118
15	30	0	103	109	736	0	52	0	343	1642	0	139	0
		25	103	109	552	184	39	13	343	1232	370	104	30
		50	103	109	368	368	26	26	343	821	740	70	59
		75	103	109	184	552	13	39	343	411	1110	35	89
		100	103	109	0	736	0	52	343	0	1480	0	118
20	30	0	103	109	736	0	52	0	343	1642	0	139	0
		25	103	109	552	184	39	13	343	1232	370	104	30
		50	103	109	368	368	26	26	343	821	740	70	59
		75	103	109	184	552	13	39	343	411	1110	35	89
		100	103	109	0	736	0	52	343	0	1480	0	118

Table 2. Physical Properties of Fine and Coarse Aggregates

Item	River sand	Recycled fine aggregate	Crushed coarse aggregate	Recycled coarse aggregate
Fineness modulus	2.52	3.42	6.91	6.88
Specific gravity	2.23	2.01	2.65	2.25
Absorption rate	0.81	12.2	0.97	12.5
Unit weight (kg/m ³)	1,545	1,452	1,528	1,338

Table 3. Physical Properties of Polymer Modifier

Type	Specific gravity (20 °C)	Viscosity (20 °C, cP)	pH (20 °C)	Solid content (wt%)
Styrene-acrylate copolymer	1.031	200 이하	7.0~9.0	47

열수성시험 전후의 강도, 세공량, 공극률, 밀도 및 세공의 평균직경 등에 대하여 조사하였고 그 결과를 보고하고자 한다.

2. 실험

2.1. 공시체 제조

Table 1에 본 실험에 사용한 공시체의 배합표를 나타내었다. Table 1에서 보는 바와 같이 순환골재의 치환율에 따른 폴리머 복합재료의 물성을 알아보기 위하여 순환골재의 치환율을 0, 25, 50,

75, 100 wt% 5단계로 배합설계 하였고, 순환골재의 치환율이 증가 될수록 물성은 저하되므로 이를 보완하기 위하여 폴리머 혼화제를 폴리머 시멘트비 0, 5, 10, 15, 20 wt% 5단계로 점차 증가시켜 공시체를 제조하였다.

2.2. 사용재료

시멘트는 국내 H사의 보통 포틀랜드 시멘트, 잔골재는 강모래와 순환잔골재, 굵은 골재는 부순자갈과 순환굵은골재를 사용하였으며, 사용골재의 물리적 성질은 Table 2와 같다. 폴리머-혼화제는 스티렌-아크릴계 공중합체 에멀전을 사용하였으며 물리적 성질은 Table 3과 같다.

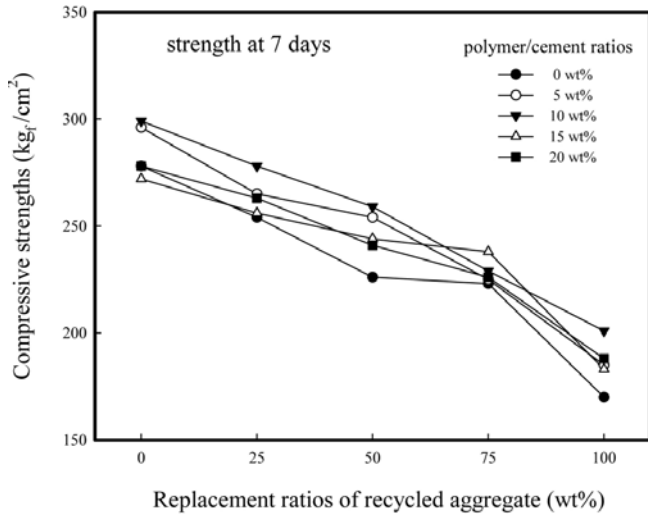


Figure 1. Compressive strengths of 7 days curing specimen vs. replacement ratios of recycled aggregate.

2.3. 시험방법

2.3.1. 양생방법

공시체의 표준양생은 몰드에 성형한 후 항온항습장치를 이용하여 2일간 습윤양생(20 °C, 80% R.H.), 5일간 수중양생(20 °C), 21일간 기중양생(50% R.H.)하였으며, 가열양생은 표준양생시킨 공시체를 80 °C 건조기 속에서 48 h 가열양생을 행하였다[29,30].

2.3.2. 강도시험

폴리머 복합재료의 압축강도와 휨강도는 KS F 2405와 2408에 따라 만능재료시험기를 이용하여 측정하였다.

2.3.3. 흡수율 측정시험

28일 양생한 시험체를 80 ± 2 °C에서 항량이 될 때까지 건조한 후 중량을 측정하였고, 20 ± 2 °C에서 48 h 침수시킨 다음 다시 중량을 측정하여 흡수율을 다음 식에 의하여 구하였다[31].

$$\text{흡수율(\%)} = \frac{W_1 - W_0}{W_0} \times 100$$

여기서, W_0 = 침수 전의 공시체 중량

W_1 = 침수 후의 공시체 중량

2.3.4. 내열수성시험

28일 간 양생시킨 공시체를 90 °C의 열수 속에 28일 간 내열수시험을 행한 후 압축 및 휨강도를 측정하여 시험 전의 강도와 비교·검토하였다[31].

2.3.5. 세공분포 측정

입경 2.5~5 mm 범위의 시료를 채취하여 아세톤으로 세정하고 48 h 건조시켜 수은 압입법으로 세공량 및 공극률을 측정하였다.

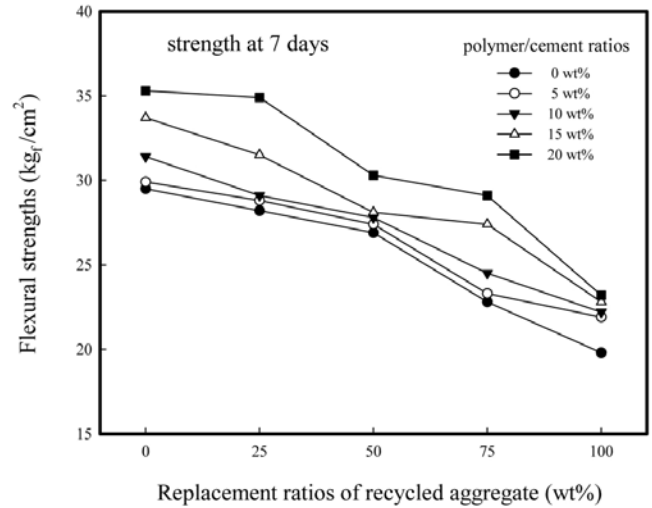


Figure 2. Flexural strengths of 7 days curing specimen vs. replacement ratios of recycled aggregate.

3. 결과 및 고찰

3.1. 표준양생 공시체의 압축 및 휨강도 특성

Figures 1과 2에 7일 동안 양생시킨 후 측정된 압축강도와 휨강도의 변화를 각각 나타내었다. 그림에서 보는 바와 같이 순환골재의 치환율이 증가될수록 압축강도는 감소되는 것을 알 수 있다. 순환골재의 치환율이 증가될수록 압축강도가 감소되는 원인은 강모래나 부순자갈에 비하여 순환골재에는 강도가 약한 시멘트 페이스트나 시멘트 모르타르가 다량 부착되어 있고 또 이것들에 의한 흡수율이 상당히 높기 때문에 나타나는 현상으로 생각된다. 일반적으로 폴리머 시멘트비가 증가될수록 압축강도는 약간 상승되는 것으로 알려져 있는데 7일 양생 후 측정된 압축강도에서는 폴리머 시멘트비 10%에서 대체적으로 최대값을 나타내었고 폴리머 시멘트비 15%, 20%에서 측정된 값은 폴리머 시멘트비 10%에서 측정된 값보다 약간 감소되는 것으로 나타났다. 이러한 현상은 7일 양생(2일간 습윤양생, 5일간 수중양생)으로는 폴리머 혼화제가 골재의 계면에 충분히 용착될 수 있는 조건이 주어지지 못하였기 때문에 나타나는 결과로 생각된다. 폴리머 시멘트비 15%와 20%의 공시체 강도는 대체적으로 비슷한 값을 나타내었다. Figure 2의 휨강도 측정결과에서는 압축강도에서 나타난 결과와 다른 양상을 보여주고 있다. 즉 폴리머 시멘트비가 증가될수록 휨강도가 순환골재의 치환율에 관계없이 높게 나타나고 있다. 이와 같이 7일 양생 후에 측정된 휨강도 값이 폴리머 시멘트비에 비례하여 증가되는 이유는 폴리머의 첨가량이 압축강도에 미치는 영향보다 휨강도에 미치는 영향이 훨씬 크기 때문에 나타나는 결과로 생각된다.

Figures 3과 4에 14일간 양생시켜 제조한 공시체의 압축 및 휨강도의 변화를 각각 나타내었다. 그림에서 보는바와 같이 7일 양생시킨 후 측정된 압축 및 휨강도와는 상당히 달라진 모양을 볼 수 있다. Figure 3에서 폴리머 시멘트비 15%를 첨가한 공시체의 압축강도는 순환골재의 치환율에 관계없이 가장 높은 강도를 나타내고 있다. 폴리머 시멘트비 15% 첨가한 공시체의 압축강도가 20% 첨가한 공시체의 압축강도보다 높게 나타나는 이유는 공시체를 제조하는 과정에서 폴리머에 의한 공기량이 과다하게 연행되었기 때문

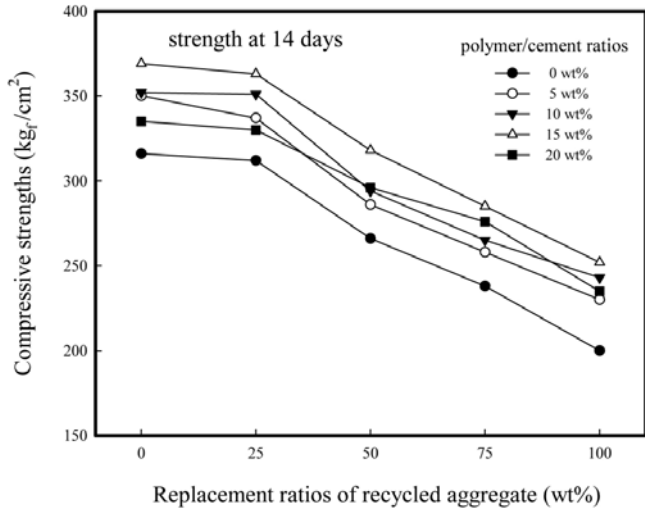


Figure 3. Compressive strengths of 14 days curing specimen vs. replacement ratios of recycled aggregate.

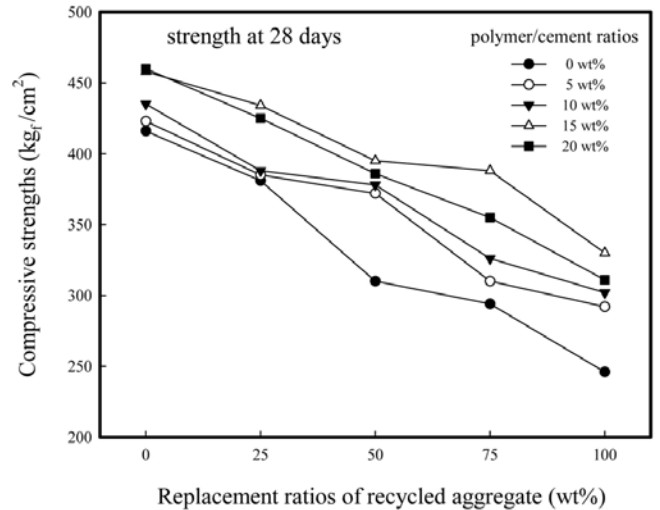


Figure 5. Compressive strengths of 28 days curing specimen vs. replacement ratios of recycled aggregate.

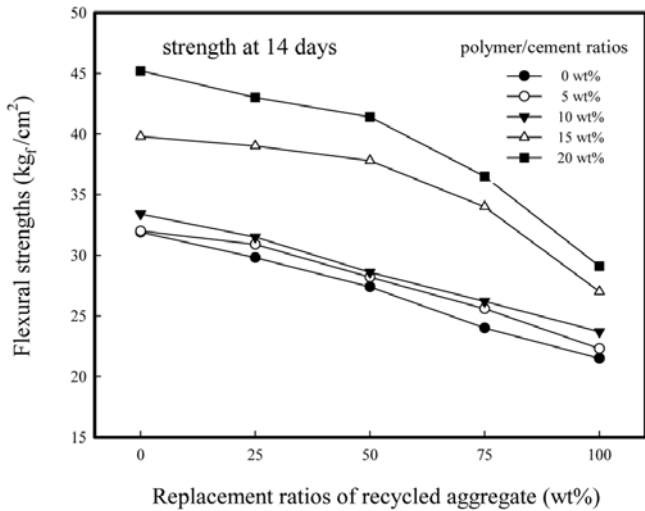


Figure 4. Flexural strengths of 14 days curing specimen vs. replacement ratios of recycled aggregate.

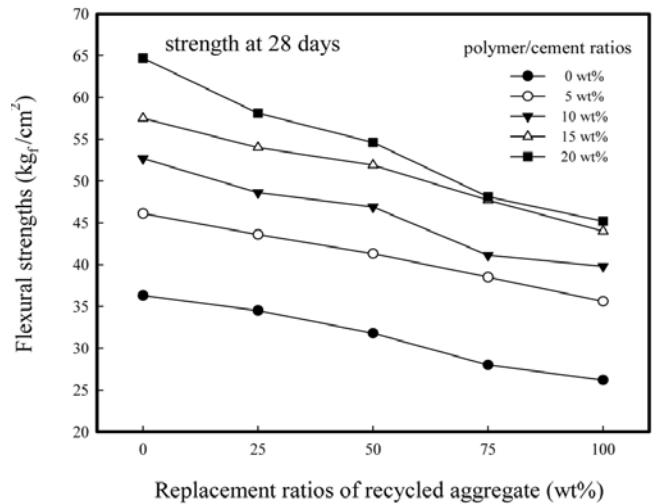


Figure 6. Flexural strengths of 28 days curing specimen vs. replacement ratios of recycled aggregate.

에 나타나는 결과로 생각된다. 대체적으로 폴리머를 첨가하지 않은 공시체의 압축강도에 비하여 폴리머 시멘트비 15% 첨가한 공시체의 압축강도가 20% 정도 향상되는 것으로 나타나고 있다. 14일 양생 후에 측정된 압축강도 역시 순환골재의 치환율이 증가될수록 현저히 저하되는 것을 알 수 있다. 폴리머 시멘트비 15%를 첨가한 공시체의 경우, 순환골재를 사용하지 않은 공시체에 비하여 순환골재 25%, 50%, 75%, 100% 대체한 공시체의 강도 감소율은 각각 2%, 14%, 23%, 32%로 나타나고 있어 순환골재의 치환율에 따른 용도를 신중히 고려해야 되는 것으로 생각된다. Figure 4에서 휨강도 변화는 압축강도 경우와는 다른 양상을 보여주고 있다. 폴리머 시멘트비 10%까지는 큰 변화가 나타나지 않았으나 15%의 경우 폴리머를 첨가하지 않은 공시체의 휨강도에 비하여 순환골재의 치환율에 따라 각각 25%, 31%, 38%, 42%, 26%씩 증가되고 있어 대체적으로 30% 내외의 강도 증진효과를 얻을 수 있었고, 폴리머 시멘트비 20%의 경우는 42%, 44%, 51%, 52%, 22%씩 증가되고

있어 폴리머 시멘트비 15%의 경우보다 10% 이상 증진되는 결과를 보여주고 있다. 순환골재 치환율이 증가될수록 폴리머 혼화제 첨가에 의한 휨강도의 증진효과가 점차 크게 나타나지만 100% 치환율에서는 급격히 증가율이 둔화되는 것을 볼 수 있다.

Figures 5와 6에 28일간 양생시켜 제조한 공시체의 압축 및 휨강도의 변화를 각각 나타내었다. 그림에서 보는바와 같이 7일, 14일 양생시킨 후 측정된 압축 및 휨강도에 비하여 현저히 강도가 향상된 것을 볼 수 있다.

양생기간에 따른 압축강도의 증진효과를 비교하여 보면 폴리머를 첨가하지 않은 공시체의 경우 14일 양생한 후 측정된 압축강도는 7일 양생한 후 측정된 압축강도에 비하여 약 15% 정도 향상되었고, 28일 양생한 후 측정된 압축강도는 14일 양생한 후 측정된 강도에 비하여 20%정도 향상되는 것으로 나타났다. 그러나 폴리머 시멘트비 15%를 첨가한 공시체의 압축강도는 14일에서 30% 정도 향상되었고, 28일에서 25% 정도 향상되는 것으로 나타나 폴리머를

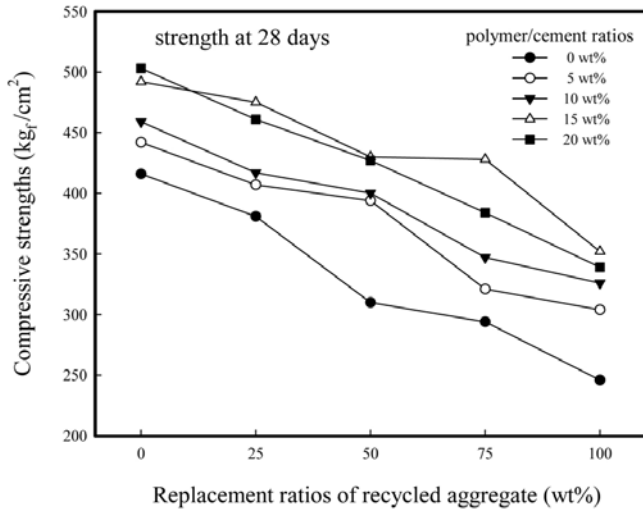


Figure 7. Compressive strengths of heat curing specimen vs. replacement ratios of recycled aggregate.

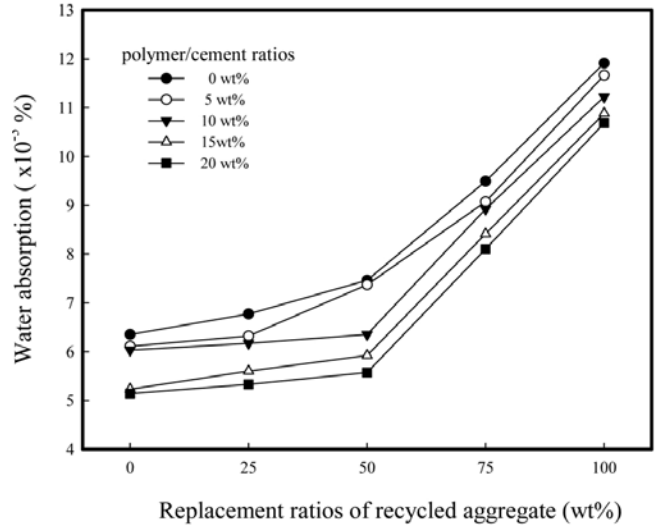


Figure 9. Water absorption of polymer composite specimen vs. replacement ratios of recycled aggregate.

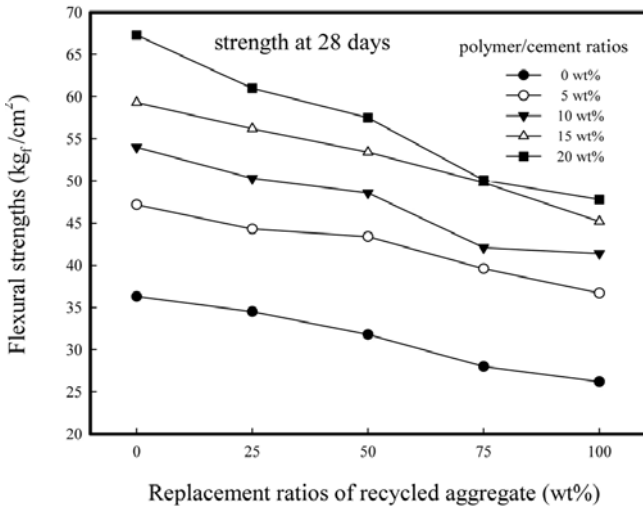


Figure 8. Flexural strengths of heat curing specimen vs. replacement ratios of recycled aggregate.

첨가하지 않은 공시체의 압축강도보다 폴리머를 첨가함으로써 압축강도 증진효과가 훨씬 크게 나타나는 것을 알 수 있다. 한편 양생기간에 따른 휨강도 증진효과를 살펴보면 폴리머를 첨가하지 않은 공시체의 경우 14일에서 7% 정도 향상되었고, 28일에서 16% 정도 향상되었으나 폴리머 시멘트비 15% 첨가한 공시체에서는 14일에서 25%, 28일에서 40% 정도 향상되는 것으로 나타나 폴리머를 첨가함으로써 휨강도 증가율이 훨씬 더 크다는 것을 알 수 있다. 28일 양생 후 측정된 휨강도의 경우 폴리머를 첨가하지 않은 공시체의 휨강도에 비하여 폴리머를 15% 첨가한 공시체의 휨강도가 60~70% 정도 향상되는 것으로 나타나 폴리머를 첨가함으로써 압축강도보다 휨강도에 더 큰 영향을 미치는 것으로 고찰되었다.

3.2. 가열양생 공시체의 강도특성

28일간 표준양생 시킨 후 미반응의 폴리머 결합체가 골재의 계면에서 완전하게 용착될 수 있도록 2차로 가열양생시켜 측정된 공

시체의 압축 및 휨강도 측정결과를 Figures 7과 8에 각각 나타내었다. Figure 7에서 보는 바와 같이 2차로 가열양생을 행하면 표준양생한 후 측정된 강도에 비하여 폴리머 시멘트비가 증가될수록 증가되는 것으로 나타났다. 즉 폴리머 시멘트비가 5%, 10%, 15%, 20%로 증가됨에 따라 대체적으로 압축강도는 4.7%, 6.6%, 8.5%, 9.1%로 증가 되었다. Figure 8의 휨강도 측정결과에서도 폴리머 시멘트비의 증가와 더불어 3.0%, 3.2%, 3.4%, 5.0%로 증가 되었다. 가열양생에 의하여 휨강도보다 압축강도에서 더 큰 증가율을 나타내었다.

3.3. 흡수율

Figure 9에 폴리머 시멘트비 증가에 따른 공시체의 흡수율 측정값을 나타내었다. 그림에서 보는 바와 같이 폴리머 시멘트비 증가에 따라 흡수율은 감소되었으나 순환골재의 치환율 증가에 따라 큰 폭으로 증가되는 것을 알 수 있다. 폴리머 시멘트비가 증가될수록 수밀성이 우수한 고분자 필름이 골재의 계면에 용착되기 때문에 흡수율은 감소되는 것으로 판단되며, 순환골재의 치환율이 증가될수록 흡수율이 증가되는 이유는 강모래나 부순자갈에 비하여 재생골재는 흡수율이 현저히 높을 뿐만 아니라 골재자체도 견실하지 못하기 때문에 나타나는 현상으로 판단된다.

3.4. 세공분포 특성

Figures 10 및 11에 순환골재의 치환율에 따른 전 세공량의 변화와 폴리머 시멘트비의 변화에 따른 전 세공량의 변화를 각각 나타내었다. Figures 10에서 순환골재의 치환율이 증가됨에 따라 내열수시험 전후의 전 세공량이 점차 증가되고 있음을 알 수 있다. 이러한 현상은 순환골재가 강모래에 비하여 견실하지 못하고 혼합과정에서 미세한 공기가 연행되는 특성이 강하기 때문에 나타나는 현상으로 생각된다. 또한 내열수성시험 후에 측정된 전 세공량이 시험 전에 측정된 세공량에 비하여 순환골재의 치환율에 관계없이 높게 나타나고 있는데 이러한 결과는 폴리머 혼화제가 열수 속에서 분해되거나 열화되기 때문에 나타나는 현상으로 판단된다. Figure 11에서 폴리머 시멘트비가 증가됨에 따라 폴리머 혼화제를

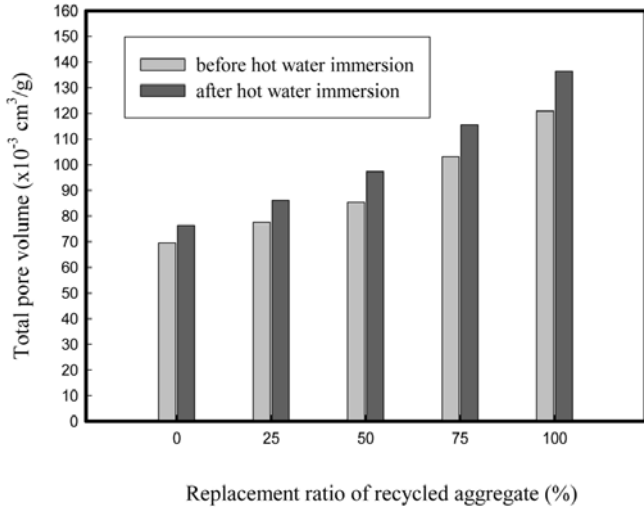


Figure 10. Total pore volume vs. replacement ratios of recycled aggregate (polymer cement ratio : 15%).

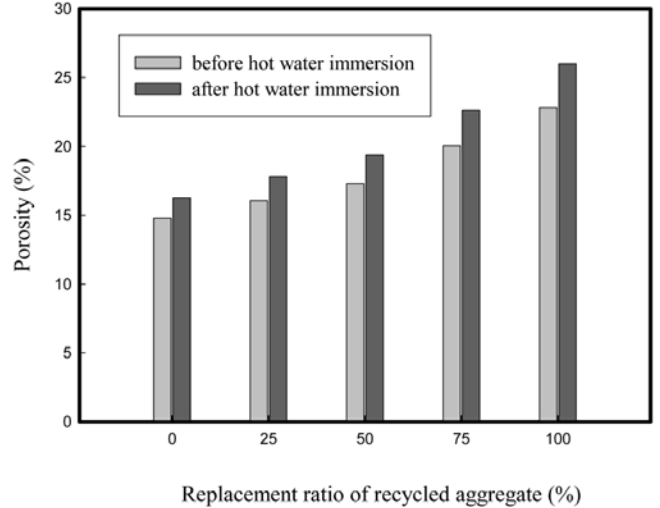


Figure 12. Porosity vs. replacement ratios of recycled aggregate (polymer cement ratio : 15%).

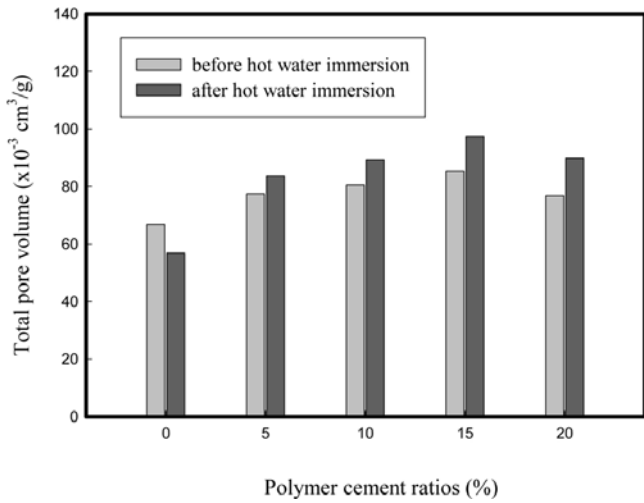


Figure 11. Total pore volume vs. polymer cement ratios (replacement ratio of recycled aggregate : 50%).

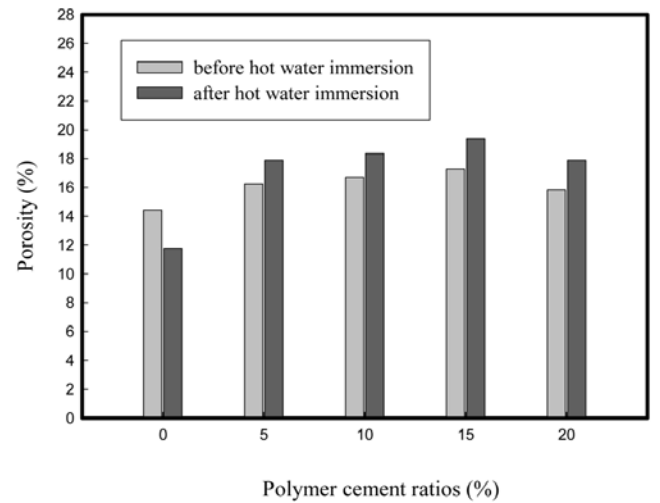


Figure 13. Porosity vs. polymer cement ratios (replacement ratio of recycled aggregate : 50%).

침가하지 않은 공시체의 전 세공량에 비하여 폴리머 시멘트비가 커질수록 전 세공량이 높게 나타나는 것을 볼 수 있으나 폴리머 시멘트비 20 wt%에서는 오히려 약간 감소되었다. 이러한 현상은 일반적으로 폴리머 혼화제를 첨가하면 폴리머를 유화시킬 때 사용하는 계면활성제의 영향으로 미세한 기포가 연행되기 때문에 나타나는 결과로 생각된다. 폴리머 혼화제를 첨가한 공시체의 경우 내열수성시험 전에 측정된 전 세공량에 비하여 시험 후에 측정된 전 세공량이 높게 나타나고 있으나 폴리머 혼화제를 첨가하지 않은 공시체에서는 그 반대의 결과가 나타나고 있음을 알 수 있다. 이러한 결과는 열수 속에서 시멘트 페이스트가 수화반응이 촉진되어 견고한 조직을 형성하게 되기 때문에 나타나는 현상으로 판단된다.

Figures 12 및 13에 순환골재의 치환율에 따른 공극률의 변화와 폴리머 시멘트비의 변화에 따른 공극률의 변화를 각각 나타내었다. 순환골재의 치환율 변화와 폴리머 시멘트비의 변화에 따른 공극률의 변화특성도 위에서 검토한 전 세공량의 변화특성과 유사한

결과를 나타내고 있다. 즉 순환골재의 치환율이 증가될수록 공극률이 증가되고 내열수성시험 전에 측정된 공극률에 비하여 시험 후에 측정된 공극률이 높게 나타나는 것을 알 수 있다.

Figures 14 및 15에 순환골재의 치환율에 따른 세공의 평균직경 변화와 폴리머 시멘트비의 변화에 따른 세공의 평균직경 변화를 각각 나타내었다. 순환골재를 사용한 공시체의 세공 평균직경이 순환골재를 사용하지 않은 공시체의 세공 평균직경에 비하여 작은 것으로 나타나고 있다. 이것은 순환골재의 영향으로 전 세공량과 공극률은 증가되나 세공의 평균크기는 약간 작아지기 때문에 나타나는 결과로 생각된다. 또한 내열수성시험에 의하여 시멘트 페이스트의 수화반응 촉진으로 내열수성시험 전에 측정된 세공의 평균직경보다 내열수성시험 후에 측정된 세공의 평균직경이 작아진다는 사실을 알 수 있다. Figure 15에서 폴리머 혼화제를 첨가하면 폴리머 혼화제를 첨가하지 않은 공시체 세공 평균직경보다 약간 작아지는 경향을 볼 수 있다. 이러한 현상은 폴리머 혼화제 속에 포함

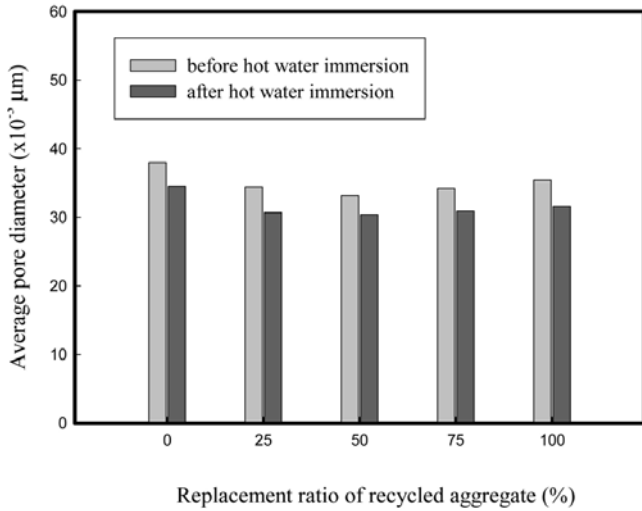


Figure 14. Average pore diameter vs. replacement ratio of recycled aggregate (polymer cement ratio : 15%).

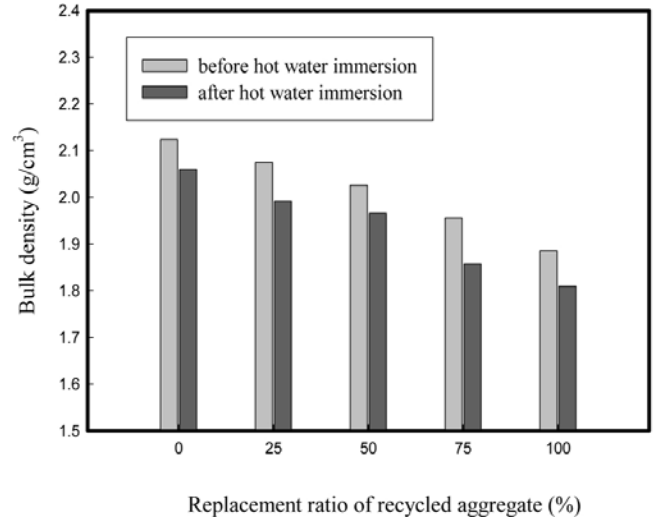


Figure 16. Bulk density vs. replacement ratio of recycled aggregate (polymer cement ratio : 15%).

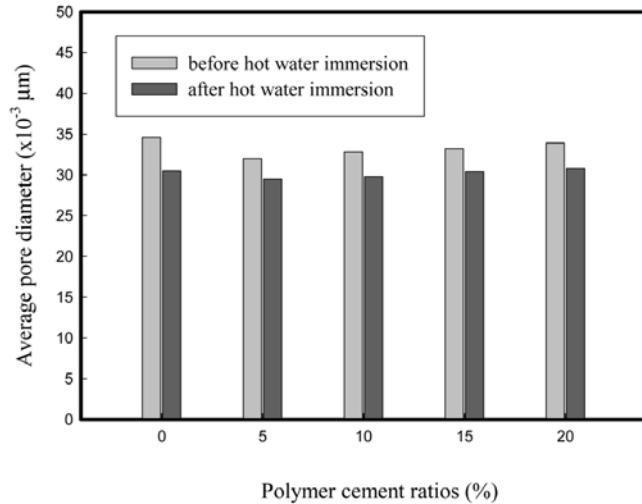


Figure 15. Average pore diameter vs. polymer cement ratios (replacement ratio of recycled aggregate : 50%).

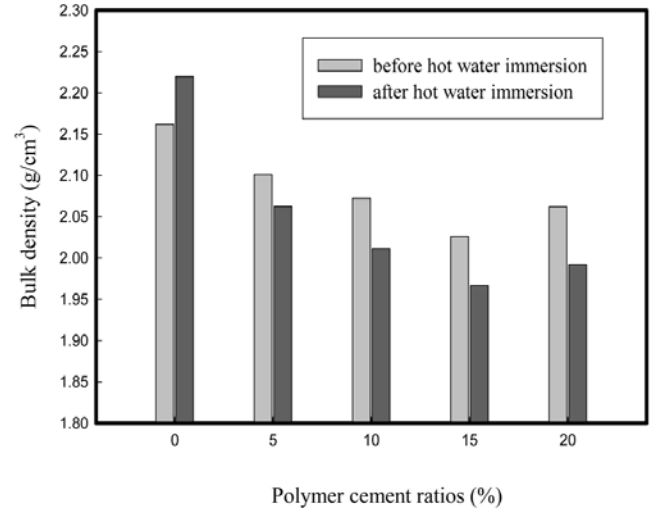


Figure 17. Bulk density vs. polymer cement ratios (replacement ratio of recycled aggregate : 50%).

되어 있는 계면활성제가 미세한 기포를 연행시키기 때문에 나타나는 결과로 생각된다. 폴리머 혼화제의 첨가량에 따른 영향은 크지 않은 것으로 분석된다.

Figures 16 및 17에 순환골재의 치환율에 따른 시편의 밀도변화와 폴리머 시멘트비의 변화에 따른 시편의 밀도변화를 각각 나타내었다. Figures 10 및 11에 나타난 전 세공량의 결과와 반대의 값을 나타내고 있음을 알 수 있다. 순환골재의 밀도가 강모래의 밀도보다 작고, 순환골재의 치환율이 증가됨에 따라 전 세공량이 증가되기 때문에 시편의 밀도가 감소되는 것으로 생각된다. Figure 17에서 폴리머 혼화제의 첨가량이 증가될수록 전 세공량이 증가되어 밀도는 감소되며, 내열수성시험 후에 측정된 밀도가 시험 전에 측정된 밀도에 비하여 감소되는 것은 열수 속에서 폴리머 혼화제가 분해되거나 열화되기 때문에 나타나는 결과로 생각된다. 폴리머 혼화제를 첨가하지 않은 시편의 경우 내열수성시험 후에 측정된 밀도가 시험 전에 측정된 밀도에 비하여 높게 나타나는 것은 시편

트 페이스트가 열수 속에서 수화반응이 촉진되어 치밀한 조직이 형성되기 때문에 나타나는 결과로 생각된다.

4. 결 론

폐콘크리트 순환골재의 치환율을 5단계로 변화시키고, 순환골재를 사용하였을 때 저하되는 물성을 보완하기 위하여 폴리머 혼화제를 폴리머 시멘트비 0, 5, 10, 15, 20%로 증가시켜 제조한 폴리머 복합재료에 대하여 실험한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 순환골재의 치환율이 증가될수록 압축 및 휨강도 모두 감소되었으나 폴리머 혼화제의 첨가에 의하여 강도는 크게 향상되었다.
- 2) 표준양생 후 가열양생을 행하면 압축강도에서 약 7%, 휨강도에서 약 3.5% 정도 강도가 향상되었다.
- 3) 폴리머 시멘트비가 증가될수록 폴리머 복합재료의 흡수율은 감소되었으나 순환골재의 치환율 증가에 따라서는 큰 폭으로 증가

되었다.

4) 폴리머 혼화제의 첨가에 의하여 압축강도는 20%, 휨강도는 63%까지 향상되었다.

5) 총세공량과 공극률은 순환골재의 치환율이 증가될수록 증가되었고 세공의 평균직경은 내열수성시험에 의하여 감소되었다.

감 사

본 연구는 2007년도 공주대학교 자체학술연구비 지원에 의하여 수행되었으며 이에 감사드립니다.

참 고 문 헌

- E. H. Hwang and T. S. Hwang, *J. Ind. Eng. Chem.*, **13**, 585 (2007).
- J. M. Kim, S. H. Cho, K. J. Kwon, and M. H. Kim, *J. Archi. Institute of Korea*, **21**, 121 (2005).
- H. W. Song, K. J. Byun, and J. H. Ha, *J. Korean Concrete Institute*, **12**, 3 (2000).
- M. H. Kim, *J. Korean Concrete Institute*, **10**, 52 (1998).
- B. H. Lee, K. W. Kim, J. S. Park, and J. Y. Kim, *J. Korean Concrete Institute*, **7**, 136 (1995).
- M. H. Kim and S. P. Kang, *J. Korean Concrete Institute*, **15**, 21 (2003).
- F. Tomosawa and T. Noguchi, *Integrated Design and Environmental Issues in Concrete Technology*, 263 (1996).
- G. Y. Kim, *J. Korean Concrete Institute*, **15**, 36 (2003).
- S. W. Shin, *J. Korean Concrete Institute*, **15**, 52 (2003).
- E. H. Hwang, D. S. Kil, J. Y. Shin, T. S. Hwang, and S. H. Yang, *Proc. 5th Asian Symp. Polymers in Concrete*, N. Laksmanan, C. V. Vaidyanathan, Y. Ohama, and M. Neelamegam Eds. pp. 323-331, Chennai, India (2006).
- E. H. Hwang and T. S. Hwang, *J. Ind. Eng. Chem.*, **13**, 585 (2007).
- E. H. Hwang, Y. S. Ko, and J.-K. Jeon, *J. Ind. Eng. Chem.*, **14**, 265 (2008).
- Y. Ohama, *Proc. 5th Asian Symp. Polymers in Concrete*, N. Laksmanan, C. V. Vaidyanathan, Y. Ohama, and M. Neelamegam Eds. 3, Chennai, India (2006).
- D. W. Fowler and G. W. Depuy, *Proc. 8th Intern. Symp. Polymers in Concrete*, D. Van Gemert and K. U. Leuven Eds. 67, Oostende, Belgium (1995).
- E. H. Hwang, D. S. Kil, and T. S. Hwang, *J. Korean Ind. Eng. Chem.*, **11**, 792 (2000).
- E. H. Hwang, T. S. Hwang, and D. S. Kil, *J. Korean Ind. Eng. Chem.*, **10**, 1066 (1999).
- E. H. Hwang, D. S. Kil, and I. S. Oh, *J. Korean Ind. Eng. Chem.*, **8**, 979 (1997).
- K. S. Yeon, *Proc. 5th Asian symp. Polymers in Concrete*, N. Laksmanan, C. V. Vaidyanathan, Y. Ohama, and M. Neelamegam Eds. Chennai, India, **13**, (2006).
- Y. Ohama and K. Shiroishida, *Proc. American Concrete Institute* J. T. Dikeou and D.W. Fowlder Eds. Detroit, US, **313**, (1985).
- Y. Ohama, *Proc. 9th Intern. symp. Polymers in Concrete*, F. Sandrolini Ed. 1, Bologna, Italy (1998).
- R. N. Swamy, *Proc. 8th Intern. Symp. Polymers in Concrete*, D. Van Gemert and K. U. Leuven Eds. 21, Oostende, Belgium (1995).
- E. H. Hwang, T. S. Hwang, and Y. Ohama, *J. Korean Ind. Eng. Chem.*, **5**, 786 (1994).
- E. H. Hwang, T. S. Hwang, and E. Kamada, *J. Korean Ceramic Society*, **31**, 949 (1994).
- D. W. Fowler, *Proc. 8th Intern. symp. Polymers in Concrete*, D. Van Gemert and K. U. Leuven Eds., 13, Oostende, Belgium (1995).
- V. V. Paturoev and V. P. Trambovetsky, *Proc. 8th Intern. Symp. Polymers in Concrete*, D. Van Gemert and K. U. Leuven Eds., 451, Oostende, Belgium (1995).
- Y. Ohama, M. Demura, and M. Komiyama, *J. Society of Materials Science*, **29**, 266 (1980).
- P. Mani, A. K. Gupta, and S. Krishnamoorthy, *Int. J. Adhesion Adhesives*, **7**, 157 (1987).
- E. H. Hwang, J. J. Choi, and T. S. Hwang, *J. Korean Ind. Eng. Chem.*, **16**, 317 (2005).
- Y. Ohama, *Concrete Admixtures Handbook*, Noyes Publication, New Jersey, 1984.
- M. K. Joo, Y. S. Lee, K. S. Yeon, and Y. Ohama, *Proc. 11th Intern. Symp. Polymers in Concrete*, M. Maultzsch Ed. 99, Berlin, Germany (2004).
- T. Satoh, Y. Ohama, and K. Demura, *Summary of Technical Papers of Architectural Institute of Japan*, 137 (1994).