

급냉 제강슬래그를 재활용한 EVA-폴리머 시멘트 모르타르의 특성

황의환[†] · 김진만*

공주대학교 화학공학부, *공주대학교 건축학부
(2008년 9월 8일 접수, 2008년 9월 29일 채택)

Characteristics of EVA-Polymer Modified Mortars Recycling Rapid-chilled Steel Slag Fine Aggregate

Eui-Hwan Hwang[†] and Jin-Man Kim*

Department of Chemical Engineering, Kongju National University, Chungnam-do 330-717, Korea
*Department of Architectural Engineering, Kongju National University, Chungnam-do 330-717, Korea
(Received September 8, 2008; accepted September 29, 2008)

급냉 제강슬래그를 재활용하기 위하여 제강슬래그의 치환율을 다양하게 변화시켜 만든 EVA-폴리머 시멘트 모르타르의 기계적강도와 물성에 대하여 조사하였다. EVA-폴리머 시멘트 모르타르 공시체는 폴리머-시멘트비를 5단계(0, 5, 10, 15, 20 wt%), 급냉 제강슬래그의 치환율을 5단계(0, 25, 50, 75, 100 wt%)로 각각 변화시켜 총 25 종류의 공시체를 제작하였다. 공시체의 제 성능을 조사하기 위하여 후레쉬 모르타르의 물-시멘트비, 단위용적중량, 공기량과 경화 공시체의 압축 및 휨강도, 흡수시험, 내열수성시험, 세공분포측정 및 SEM에 의한 미세조직 관찰 등을 실시하였다. 그 결과 급냉 제강슬래그의 치환율이 증가됨에 따라 물-시멘트비는 감소되었으나 단위용적중량은 현저히 증가 되었다. 폴리머-혼화제 및 급냉 제강슬래그의 첨가량 증가에 따라 흡수율은 감소되었으나, 압축 및 휨강도는 현저히 증가되었다. 내열수성시험에 의하여 기계적강도는 현저히 감소되었으나, 세공량과 공극률은 현저히 증가되었다. 전자현미경 관찰에서 내열수시험 전의 조직은 견고하게 융착되어 있었으나 내열수시험 후의 조직에서는 폴리머-혼화제가 분해 또는 열화되어 있는 것을 관찰할 수 있었다.

For the recycling of rapid-chilled steel slag, the mechanical strengths and physical properties of EVA-polymer modified mortars with the various replacement ratios of rapid-chilled steel slag were investigated. Twenty five specimens of polymer modified mortars were prepared with the five different amounts of EVA-polymer modifier (0, 5, 10, 15, 20 wt%) and rapid-chilled steel slag (0, 25, 50, 75, 100 wt%). For the investigation of the characteristics of polymer modified mortars, the measurements such as water-cement ratio, unit volume weight, air content for fresh mortar and compressive strength, flexural strength, water absorption, hot water resistance, porosity and SEM investigation for curing specimens were conducted. As a results, with an increase in the replacement ratio of rapid-chilled steel slag, water-cement ratios decreased but unit volume weight increased remarkably. With increasing EVA-polymer modifier and the replacement ratio of rapid-chilled steel slag, percent of water absorption decreased but compressive and flexural strengths increased remarkably. By the hot water resistance test, mechanical strengths decreased but total pore volume and porosity increased remarkably. In the SEM observation, the components of specimen were shown to stick to each other in the form of co-matrix phase before hot water resistance test, but polymer modifier of co-matrix phase was decomposed or deteriorated after hot water resistance test.

Keywords: polymer modifier, polymer-modified mortar, rapid-chilled steel slag, replacement ratio

1. 서 론

건설산업의 급격한 성장으로 강모래, 강자갈은 물론 해사마저 고갈되어 감에 따라 쇄석 및 쇄석사를 얻기 위한 골재채취 사업으로 국토환경이 파괴되어 가고 있다[1,2]. 골재의 수요량은 날로 증가되고 있는데 공급량이 절대 부족하기 때문에 수요공급을 맞추기 위해서는 재생골재의 사용이 불가피하게 되었다[3]. 이러한 의미에서 철강 제조공정에서 연간 수백만 톤씩 발생되고 있는 고로슬래

그와 제강슬래그의 재활용 필요성이 대두되고 있다[2]. 현재 고로 슬래그는 시멘트의 제조 원료나 건설재료 등으로 활용되고 있으나 제강슬래그는 다량 함유되어 있는 유리 CaO에 의한 팽창 붕괴성 때문에 재활용에 제약을 받고 있다[2]. 유리 CaO가 물과 반응하여 Ca(OH)₂로 되면서 체적팽창을 일으켜 붕괴를 유발시키게 된다[2]. 제강 슬래그의 유리 CaO 함량을 감소시키기 위하여 고속의 공기로 급냉시키는 새로운 공법이 개발되어 있으나 시멘트 콘크리트에 사용하는데 여전히 문제가 되고 있다[2]. 따라서 본 실험에서는 재유화형 EVA-폴리머 혼화제를 사용한 폴리머 시멘트 모르타르에

[†] 교신저자 (e-mail: ehhwang@kongju.ac.kr)

Table 1. The Chemical Composition of Rapid-Chilled Steel Slag

Chemical composition (wt%)							f-CaO (%)
SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	K ₂ O	SO ₃	(%)
13.0	9.6	30.2	39.9	8.0	0.03	0.1	0.15

재활용하고자 하였다.

폴리머 시멘트 모르타르는 최근에 다양한 고기능성 소재로 활용되고 있는 폴리머-콘크리트 복합재료(concrete-polymer composite, CPC)중의 하나로 분류되고 있다[4,5]. 폴리머-콘크리트 복합재료는 보통 시멘트 콘크리트가 갖고 있지 못한 고강도, 수밀성, 내구성, 내약품성, 내마모성 및 내충격성 등이 매우 우수하여[6-16] 바닥재, 포장재, 방수재, 보수재, 방식재, 접착재 및 프리캐스트 제품에 이르기까지 모든 산업분야에 널리 활용되고 있으나[17-20] 폴리머를 사용함으로써 내열성이나 내화성에 약한 단점을 가지고 있다[1,5,21].

본 연구에서는 폴리머-혼화제로 재유화형 EVA 분말수지를 사용하였고, 폴리머 시멘트 모르타르의 배합설계에 따른 물리적 특성을 조사하기 위하여 폴리머-시멘트비와 표준사에 대한 제강 슬래그의 치환율을 다양하게 변화시켜 각종 공시체를 만들고, 이들 공시체의 내열수성시험 전과 후의 압축 및 휨강도 변화를 비교하였다. 또 재료의 내구성은 세공분포와 밀접한 관계가 있으므로 배합 변화에 따른 내열수성시험 전과 후의 세공량, 공극률, 밀도, 세공경에 따른 세공분포변화 및 SEM을 이용한 폴리머 복합재료의 미세조직 등에 대하여 조사하였다.

2. 실험재료 및 방법

2.1. 재료

폴리머 시멘트 모르타르 복합재료 제조에 사용한 폴리머-혼화제는 독일산 EVA 분말수지를 사용하였으며, 급냉 제강슬래그는 에코마이스터사 제품으로 그 화학적 조성을 Table 1에 나타내었다. 시멘트는 국내 H사의 보통 포틀랜드 시멘트를 사용하였다.

2.2. 공시체 제조

공시체 제조에 사용한 배합설계를 Table 2에 나타내었다. EVA-폴리머 시멘트 모르타르의 공시체는 폴리머-시멘트비를 5단계(0, 5, 10, 15, 20 wt%)로 변화시키고, 급냉 제강슬래그의 치환율을 5단계(0, 25, 50, 75, 100 wt%)로 변화시켜 총 25 종류의 공시체를 제작하였다. 모든 배합의 플로우치(flow value)는 170 ± 5 mm가 되도록 물-시멘트비를 조정하여 KS F 2476 (시험실에서 폴리머 시멘트 모르타르를 만드는 방법)에 따라 제작하였으며, 압축 및 휨강도 공시체는 40 × 40 × 160 mm 몰드를 사용하여 제작한 후 항온항습장치를 이용하여 2일간 습윤양생(20 °C, 80% R.H.), 5일간 수증양생(20 °C), 21일간 기증양생(20 °C, 50% R.H.)하여 공시체로 사용하였다.

2.3. 흡수시험

28일 양생한 공시체를 80 ± 2 °C에서 항량이 될 때까지 건조한 후 중량을 측정하였고, 20 ± 2 °C에서 48 h 침수시킨 다음 다시 중량을 측정하여 흡수율을 다음 식에 따라 구하였다[22].

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

Table 2. Mix Proportion of EVA Polymer-Modified Mortars using RCSS

Cement : Fine aggregate (by weight)	RCSS/ (RCSS + Sand) (wt%)	P/C ratio (wt%)	W/C ratio (%)	Unit weight (g/mL)	Air content (%)	Flow value
1 : 3.00	0		67.6	1.583	27.4	175
	25		63.3	1.713	27.4	169
	50	0	58.9	1.837	26.7	173
	75		55.7	2.028	23.8	170
	100		52.8	2.194	22.5	165
1 : 3.00	0		68.3	1.610	25.2	175
	25		64.0	1.666	25.1	175
	50	5	58.9	1.865	24.6	171
	75		57.5	1.975	24.5	175
	100		53.6	2.124	23.7	175
1 : 3.00	0		68.2	1.647	22.7	165
	25		65.5	1.744	22.9	174
	50	10	62.4	1.868	22.8	175
	75		57.6	1.995	22.7	175
	100		55.2	2.283	22.0	173
1 : 3.00	0		68.3	1.602	24.0	174
	25		66.0	1.726	22.7	175
	50	15	64.0	1.872	21.3	165
	75		58.5	2.008	20.9	173
	100		56.0	2.115	21.4	165
1 : 3.00	0		71.1	1.613	22.3	165
	25		67.8	1.728	22.1	165
	50	20	65.4	1.843	22.0	166
	75		62.1	1.973	21.2	170
	100		57.1	2.103	20.5	169

여기서, W₀ = 침수전의 공시체 중량

W₁ = 침수후의 공시체 중량

2.4. 내열수성 시험

90 °C의 열수에 28일간 내열수성 시험을 행한 후 압축 및 휨강도를 측정하여 시험 전의 강도와 비교~검토하였다[22].

2.5. 세공분포 측정

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

2.6. SEM 분석시험

시편을 아세톤으로 세정하고, 건조시킨 다음 주사전자현미경(scanning electron microscopy, SEM)을 이용하여 폴리머 모르타르의 미세조직을 관찰하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 후래쉬 폴리머 시멘트 모르타르의 물-시멘트비 변화 특성

Figure 1에 플로우치를 170 ± 5 mm가 되도록 물-시멘트비를 조정하여 공시체를 제조할 때 변화되는 물-시멘트비의 변화를 나타내었다. 그림에서 보는 바와 같이 급냉 제강슬래그의 치환율이 증가됨에 따라 물-시멘트비는 상당히 감소되는 것으로 나타나고 있다. 이와 같은 현상은 급냉 제강슬래그가 표준사보다 흡수율이 현저히 낮기 때문에 나타나는 결과로 생각된다. 그리고 폴리머-시멘트비가 증가됨에 따라 동일한 플로우치를 유지하기 위해서 물-시멘트비가 증가되는 것을 볼 수 있다. 폴리머-시멘트비(0, 5, 10, 15

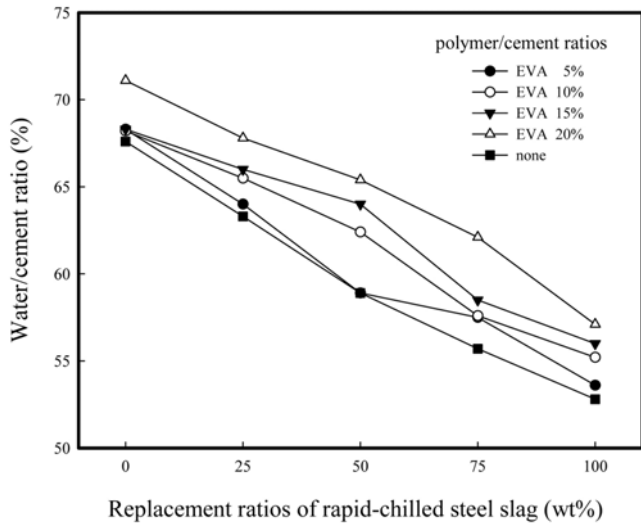


Figure 1. Variation of water-cement ratio vs. replacement ratios of RCSS (* RCSS : rapid-chilled steel slag).

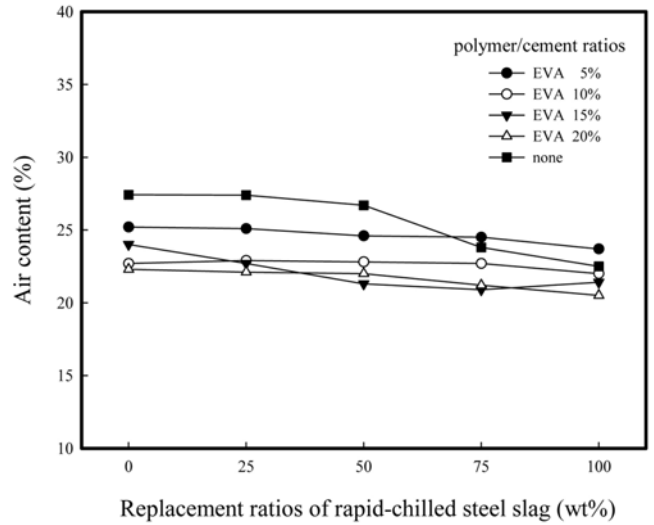


Figure 3. Variation of air content vs. replacement ratios of RCSS.

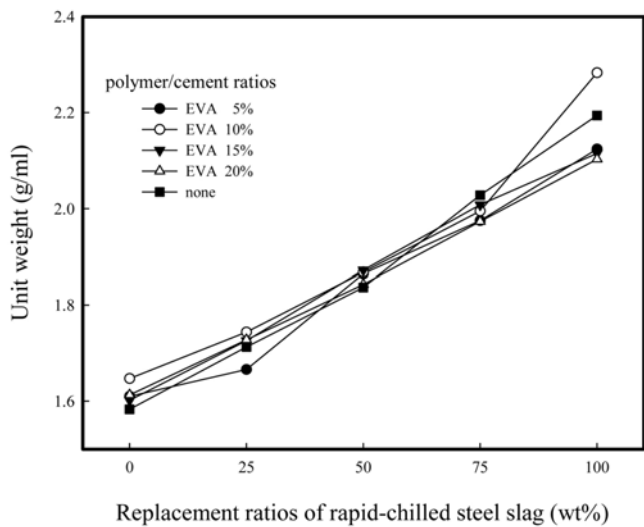


Figure 2. Variation of unit weight vs. replacement ratios of RCSS.

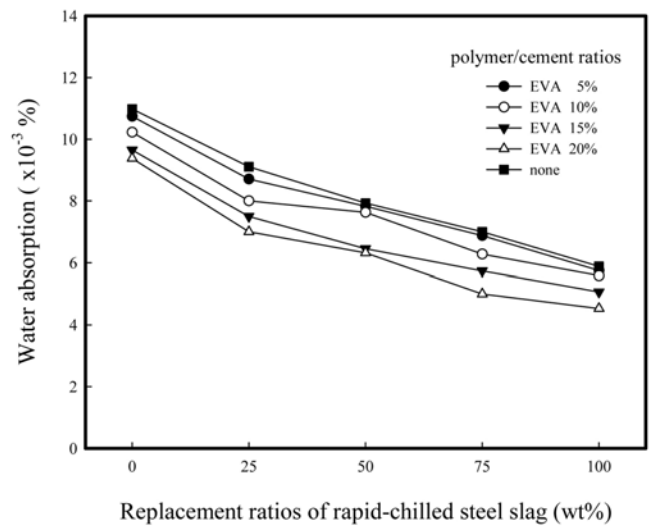


Figure 4. Variation of water absorption vs. replacement ratios of RCSS.

및 20%)에 따라 급냉 제강슬래그의 치환율 0%에 대한 치환율 50%에서의 물-시멘트비 감소율을 비교하여 보면 9, 9.4, 6.0, 4.3, 5.7%로 물-시멘트비의 감소율이 상당히 크기 때문에 급냉 제강슬래그의 치환율이 증가됨에 따라 강도가 증가되는 중요한 요인이 되고 있다. 그러나 분말상의 EVA수지 첨가량이 증가됨에 따라 수지의 유희에 상당량의 물이 소요되기 때문에 결과적으로 물-시멘트비의 상승을 가져와 강도감소의 원인이 되고 있다.

3.2. 후래쉬 폴리머 시멘트 모르타르의 단위용적중량 변화 특성

Figure 2에 공시체 제조를 위한 폴리머 시멘트 모르타르의 단위용적중량을 나타내었다. 그림에서 급냉 제강슬래그의 치환율이 증가됨에 따라 단위용적중량은 현저하게 증가되는 것을 볼 수 있는데 이것은 급냉 제강슬래그의 비중이 표준사의 비중에 비하여 훨씬 높기 때문에 나타나는 현상으로 생각된다. 한편 폴리머 시멘트

비에 따른 단위용적중량의 변화는 거의 없는 것으로 나타나고 있다. 이러한 현상은 폴리머 시멘트비가 증가됨에 따라 공기량이 감소되어 단위용적중량이 증가되는 요인이 발생하지만 다른 한편에서는 비중이 낮은 폴리머 혼화제의 양이 증가되어 단위용적중량이 감소되는 요인이 발생하므로 이 두 가지 요인이 서로 상쇄되어 단위용적중량에는 별다른 양향이 없는 것으로 나타나고 있다.

3.3. 후래쉬 폴리머 시멘트 모르타르의 연행 공기량 변화 특성

Figure 3에 굳지 않은 폴리머 시멘트 모르타르의 공기량 변화를 나타내었다. 그림에서 급냉 제강슬래그의 치환율이 증가됨에 따라 공기량은 약간씩 감소되는 것을 볼 수 있고, 대체적으로 폴리머 시멘트비가 증가됨에 따라 공기량은 감소되는 경향을 나타내고 있다. 폴리머-시멘트비에 따라 차이는 있지만 급냉 제강슬래그 치환율 0%에 대한 치환율 50% 및 100%에서 공기량 감소율은 각각 약

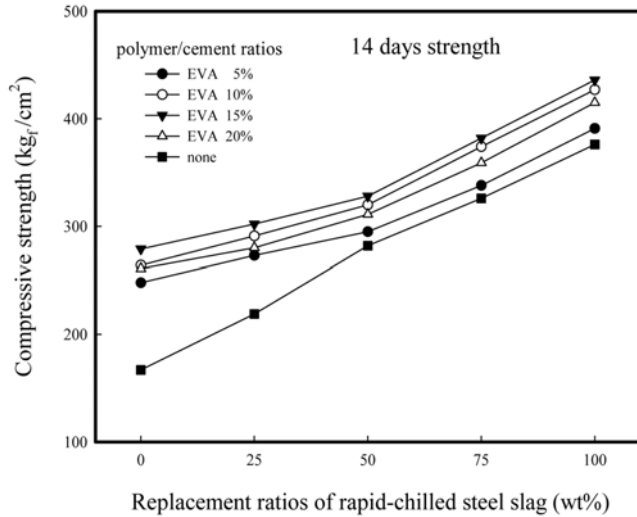


Figure 5. Compressive strengths of polymer cement mortar vs. replacement ratios of RCSS.

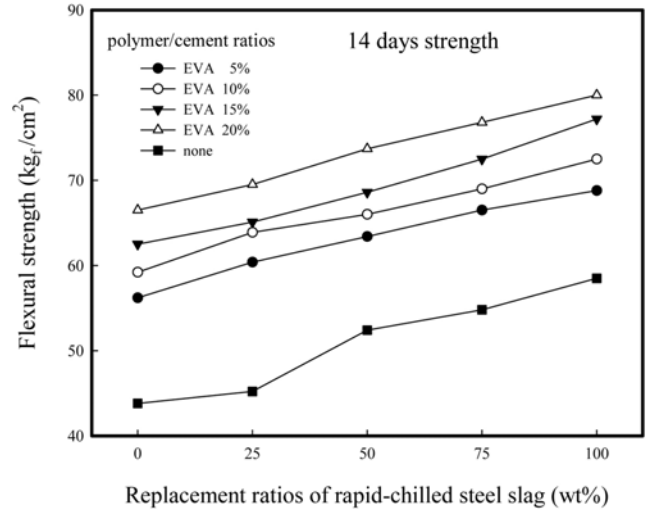


Figure 7. Flexural strengths of polymer cement mortar vs. replacement ratios of RCSS.

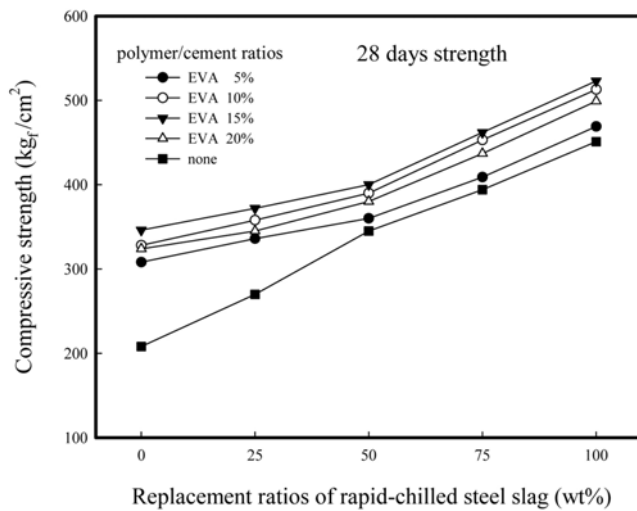


Figure 6. Compressive strengths of polymer cement mortar vs. replacement ratios of RCSS.

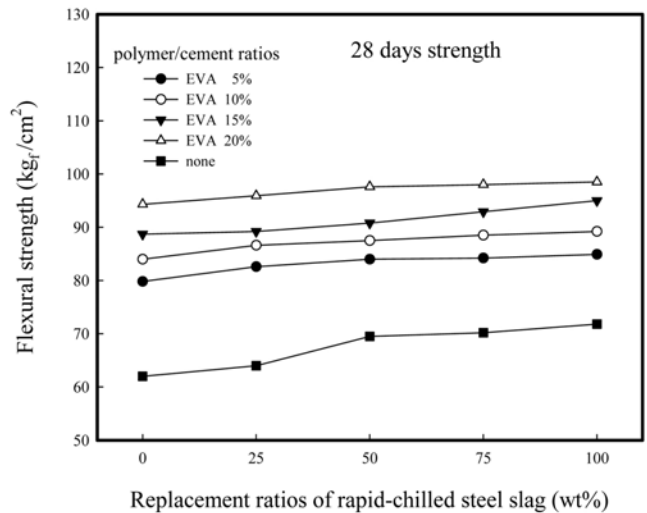


Figure 8. Flexural strengths of polymer cement mortar vs. replacement ratios of RCSS.

1% 및 2% 정도로 나타나고 있다. 공기량이 감소됨에 따라 강도가 증진되고, 흡수율이 감소되어 내구성을 비롯한 제 물성이 향상되게 된다.

3.4. 폴리머 시멘트 모르타르의 흡수성

Figure 4에 28일간 경화시킨 공시체의 흡수율을 나타내었다. 그림에서 보는 바와 같이 급냉 제강슬래그의 치환율이 증가됨에 따라 흡수율은 현저하게 감소되는 것을 볼 수 있다. 이것은 급냉 제강슬래그의 흡수율이 표준사의 흡수율에 비하여 훨씬 낮는데 기인되는 결과로 생각된다. 또 폴리머 시멘트비가 증가됨에 따라 흡수율은 감소되는 것을 볼 수 있는데 이것은 폴리머 시멘트비가 증가됨에 따라 공기량이 감소되는 요인과 아울러 폴리머 혼화제가 시멘트와 함께 매트릭스를 형성하면서 골재의 계면에 견고하게 융착됨으로써 방수막의 역할을 하기 때문에 나타나는 결과로 생각된다.

3.5. 폴리머 시멘트 모르타르의 압축 및 휨강도 특성

Figures 5, 6에 폴리머 시멘트 모르타르의 14일 및 28일 양생한 공시체의 압축 강도 변화를 나타내었다. 그림에서 급냉 제강슬래그의 치환율이 증가됨에 따라 압축강도는 현저하게 향상되는 것을 볼 수 있다. 이것은 급냉 제강슬래그의 자체강도가 표준사의 강도보다 높고, 급냉 제강슬래그의 치환율이 증가됨에 따라 물-시멘트비가 감소되기 때문에 나타나는 결과로 생각된다. 폴리머 시멘트비에 따른 강도변화를 보면 폴리머 혼화제를 첨가한 공시체의 압축강도가 폴리머 혼화제를 첨가하지 않은 공시체의 압축강도에 비하여 높게 나타나고 있으며 폴리머 혼화제를 첨가한 공시체 중에서는 폴리머 시멘트비 5, 20, 10, 15%의 순으로 강도가 높게 나타나고 있다. 폴리머 시멘트비 20% 공시체가 10, 15% 공시체보다 강도가 낮게 나타나는 이유는 과량의 폴리머 혼화제가 첨가됨으로써 공시체를 제작할 때 물-시멘트비가 지나치게 높았기 때문에 나타나는 현상으로 생각된다. Figure 6의 28일 양

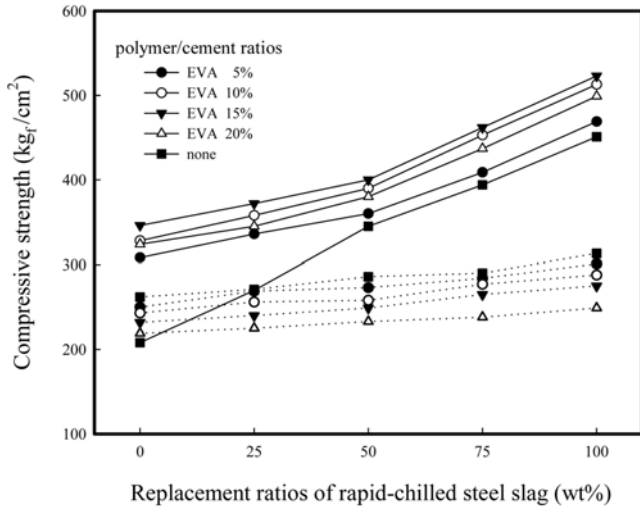


Figure 9. Compressive strengths of polymer cement mortar vs. replacement ratios of RCSS (—: before hot water resistance test,: after hot water resistance test).

생한 공시체의 압축강도에서 폴리머 혼화제를 15% 첨가함으로써 폴리머 혼화제를 첨가하지 않은 공시체의 압축강도에 비하여 16% 이상 강도증진 효과를 거둘 수 있다는 것을 알 수 있다. 일반적으로 폴리머 혼화제의 첨가량이 증가될수록 압축강도는 증가되는 것으로 보고되고 있다. Figures 7, 8에 14일 및 28일 양생한 공시체의 휨강도 변화를 나타내었다. 압축강도의 특성과 같이 휨강도 역시 급냉 제강슬래그의 치환율이 증가됨에 따라 증가되었고, 폴리머 혼화제의 첨가에 의하여 휨강도는 현저하게 증가되었다. 압축강도에서는 폴리머 시멘트비 20% 공시체가 폴리머 시멘트비 10, 15% 공시체보다 강도가 저하되었으나 휨강도에서는 폴리머 시멘트의 증가에 따라 증가되는 현상을 관찰할 수 있다. 이러한 현상은 압축강도와 휨강도의 강도발현 메커니즘이 다르기 때문에 나타나는 현상으로 판단된다. Figure 8의 28일 양생한 공시체의 휨강도 변화에서 폴리머 혼화제를 첨가함으로써 첨가하지 않은 공시체에 비하여 최소 37% 이상 강도증진 효과를 거둘 수 있다는 것을 알 수 있다. 폴리머 혼화제의 첨가에 의하여 강도가 증진되는 효과를 보면 압축강도보다 휨강도에서 더 크게 나타나는 것을 알 수 있다.

3.6. 내열수시험 후의 강도 특성

Figure 9 및 Figure 10에 28일간 내열수성 시험한 공시체의 압축강도와 휨강도측정결과를 내열수성 시험 전에 측정한 강도 값과 비교하여 각각 나타내었다. Figure 9에서 내열수성 시험한 후의 압축강도는 폴리머 시멘트비가 증가될수록 강도가 감소되는 것을 볼 수 있다. 이와 같은 현상은 골재의 계면에 융착되어 있던 폴리머 혼화제가 열수 속에 장시간 방치함으로써 폴리머가 분해되거나 열화되었기 때문에 나타나는 결과로 생각된다. 내열수성 시험에 의하여 급냉 제강슬래그의 치환율 증가에 따른 강도의 증가 정도도 내열수성 시험 전에 측정한 강도에 비하여 상당히 둔화되는 것을 알 수 있다.

Figure 10에서 내열수성 시험 후에 측정한 휨강도에서도 압축강도에서와 유사하게 폴리머 시멘트비가 증가될수록 점차 강도가 약하게 나타나는 것을 볼 수 있다. 급냉 제강슬래그의 치환율이 증가

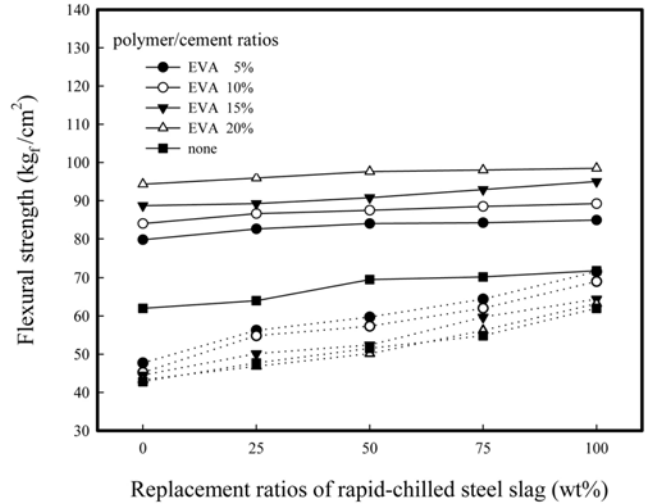


Figure 10. Flexural strengths of polymer cement mortar vs. replacement ratios of RCSS (—: before hot water resistance test,: after hot water resistance test).

될수록 내열수성 시험 후에 측정한 휨강도에서도 여전히 강도가 높게 나타나는 것을 알 수 있다.

3.7. 세공분포 특성

Figures 11~14에 내열수성 시험 전후의 시편에 대하여 폴리머 시멘트비에 따른 총세공량, 평균세공직경, 밀도 및 공극률 변화를 각각 나타내었다. Figure 11에서 총세공량은 폴리머 시멘트비 10%에서 가장 낮게 나타났으며, 내열수성시험에 의하여 폴리머 혼화제를 사용하지 않은 시편은 총세공량이 감소하였으나 폴리머 혼화제를 첨가한 시편은 총세공량이 증가하였다. 이와 같은 현상은 폴리머 혼화제를 첨가하지 않은 시편의 경우 시멘트 페이스트가 열수 속에서 경화반응이 촉진되어 치밀한 조직이 형성되었기 때문이고, 폴리머혼화제를 첨가한 경우 열수 속에서 매트릭스를 형성하고 있는 폴리머 혼화제가 분해 또는 열화되어 세공량이 증가되었기 때문으로 생각된다.

Figure 12에서 세공의 평균직경은 내열수성 시험에 의하여 작아지는 것으로 나타나고 있는데 세공의 평균직경이 작아지는 이유는 폴리머 혼화제의 분해에 의한 영향보다는 시멘트 페이스트의 경화반응이 촉진되어 치밀한 조직이 형성되는데 더 큰 영향을 받기 때문으로 생각된다. 세공의 평균직경도 폴리머 시멘트비 10%에서 가장 작게 나타나고 있다. Figure 13에서 경화 공시체 시편의 밀도는 총세공량이 가장 낮은 폴리머 시멘트비 10%에서 가장 높게 나타났으며 폴리머 혼화제를 첨가하지 않은 시편은 내열수성 시험에 의하여 밀도가 증가되었으나 폴리머 혼화제를 첨가한 시편은 감소되었다. 이러한 결과는 시멘트 페이스트 매트릭스의 경화반응 촉진현상과 폴리머 혼화제의 분해 또는 열화에 기인되어 나타나는 현상으로 생각된다.

Figure 14에서 공극률의 변화 특성도 총세공량의 변화특성과 유사한 결과를 보여주고 있다. 공극률은 폴리머 혼화제를 사용하지 않은 시편이 폴리머 혼화제를 첨가한 시편에 비하여 높게 나타나고 있는데 이것은 폴리머 혼화제가 골재의 계면에 융착되어 미세 기공을 막아주기 때문으로 생각되고, 폴리머 혼화제를 첨가한 시

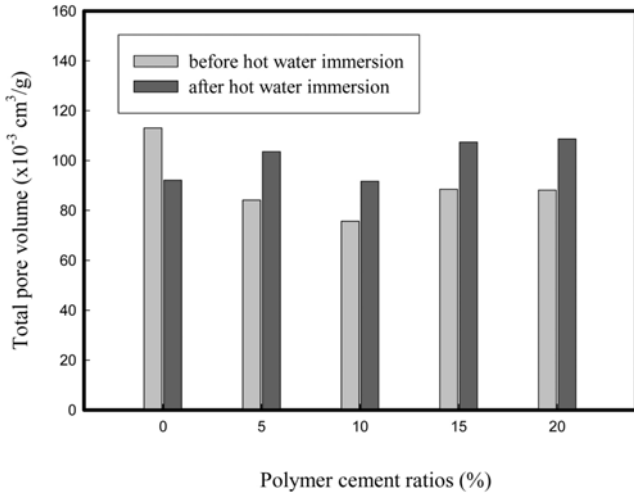


Figure 11. Total pore volume vs. polymer cement ratios (Replacement ratio of RCSS : 50%).

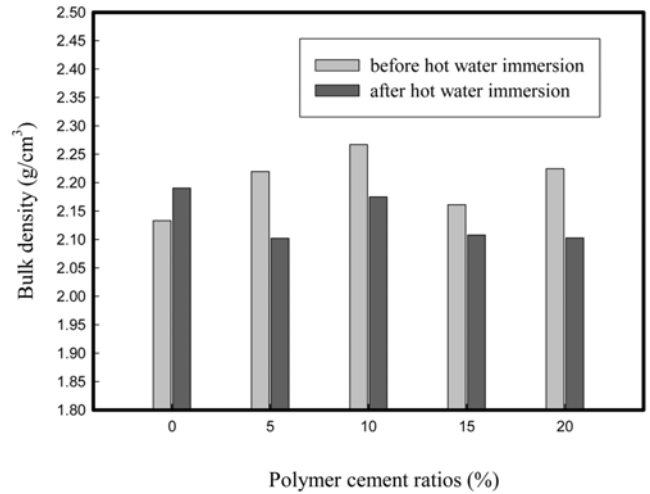


Figure 13. Bulk density vs. polymer cement ratios (Replacement ratio of RCSS : 50%).

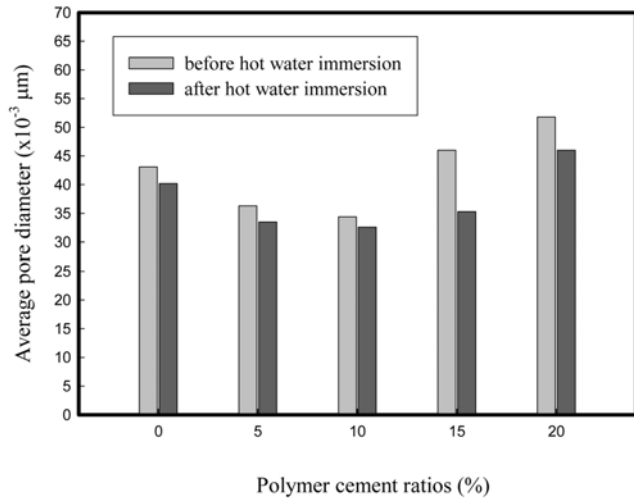


Figure 12. Average pore diameter vs. polymer cement ratios (Replacement ratio of RCSS : 50%).

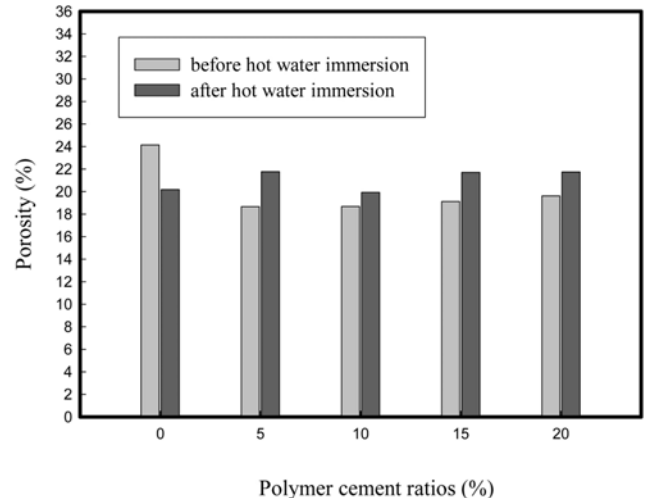


Figure 14. Porosity vs. polymer cement ratios (Replacement ratio of RCSS : 50%).

편의 경우 내열수성 시험에 의하여 공극률이 증가되는 것은 융착되어 있는 폴리머 혼화제가 열수 속에서 분해 또는 열화되었기 때문으로 생각된다.

Figures 15, 16에 급냉 제강슬래그의 치환율에 따른 내열수성 시험 전후의 총세공량과 평균세공직경의 변화를 각각 나타내었다. Figure 15에서 내열수성 시험 전후 모두 급냉 제강슬래그의 치환율이 증가됨에 따라 총세공량은 감소되었고, 내열수성 시험 후에 측정된 총세공량이 시험 전에 측정된 총세공량에 비하여 증가되었다. 급냉 제강슬래그의 치환율 증가에 따라 총세공량이 감소되는 이유는 급냉 제강슬래그의 세공량이 표준사의 세공량보다 적은데 기인되는 것으로 생각되고, 내열수성 시험에 의하여 총세공량이 증가되는 이유는 폴리머 혼화제가 분해 또는 열화됨으로써 세공량이 증가되었기 때문으로 생각된다. Figure 16에서 급냉 제강슬래그의 치환율 증가에 따라서 평균세공직경은 약간씩 감소되는 것을 볼 수 있으며 내열수성 시험에 의하여 평균세공직경은 작아지는

경향을 보여 주고 있다. 평균세공직경이 작아지는 이유는 열수 속에서 시멘트 페이스트의 수화경화반응이 촉진되어 치밀한 조직이 형성되기 때문으로 생각된다.

Figures 17, 18에 급냉 제강슬래그의 치환율이 증가됨에 따라 내열수성 시험 전후의 밀도 및 공극률 변화에 대하여 각각 나타내었다. 급냉 제강슬래그의 치환율 증가에 따라 밀도는 현저하게 증가되었으며 내열수성 시험에 의하여 밀도는 감소되는 것으로 나타나고 있다. 이러한 현상은 급냉 제강슬래그의 밀도가 표준사의 밀도보다 훨씬 크고 내열수성 시험에 의하여 폴리머 혼화제가 분해 또는 열화되기 때문에 나타나는 현상으로 생각된다. Figure 18에서 급냉 제강슬래그의 치환율이 증가됨에 따라 공극률은 점차 감소되는 것을 볼 수 있고 내열수성 시험에 의하여 공극률은 증가되는 것을 볼 수 있다. 이러한 현상은 급냉 제강슬래그가 표준사에 비하여 세공량이 적고, 내열수성 시험에 의하여 골재간의 계면에 융착되어 있던 폴리머 혼화제가 분해됨으로써 나타나는 결과로 생각된다.

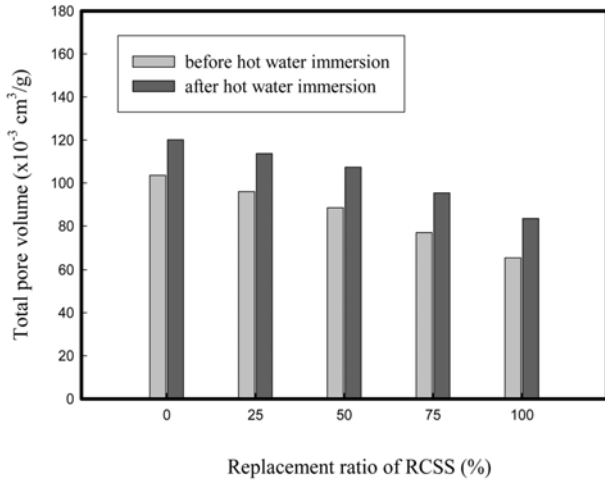


Figure 15. Total pore volume vs. replacement ratio of RCSS (Polymer cement ratio : 15%).

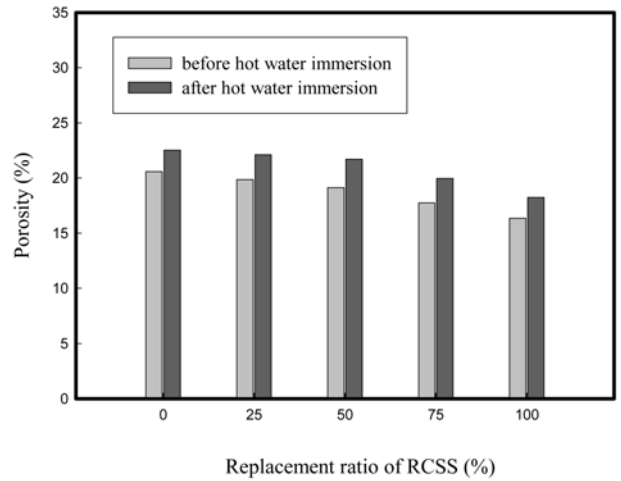


Figure 18. Porosity vs. replacement ratio of RCSS (Polymer cement ratios : 15%).

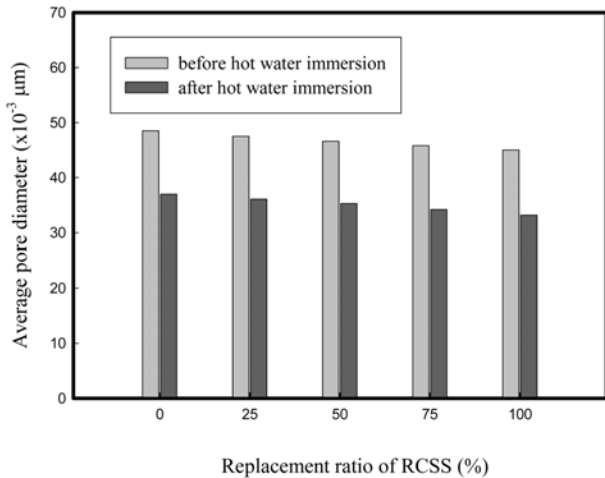


Figure 16. Average pore diameter vs. replacement ratio of RCSS (Polymer cement ratio : 15%).

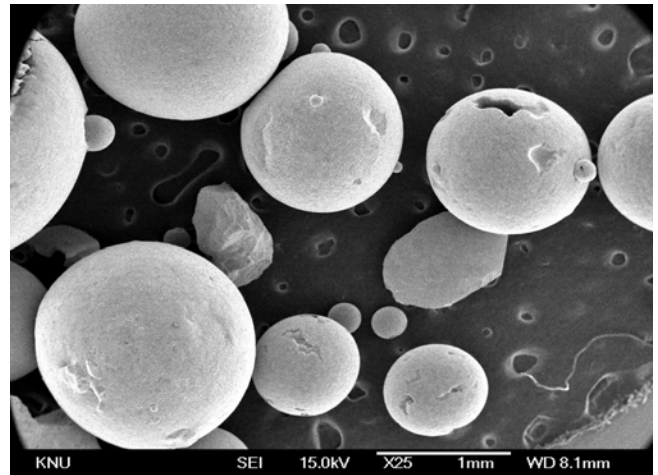


Figure 19. SEM photograph of rapid-chilled steel slag.

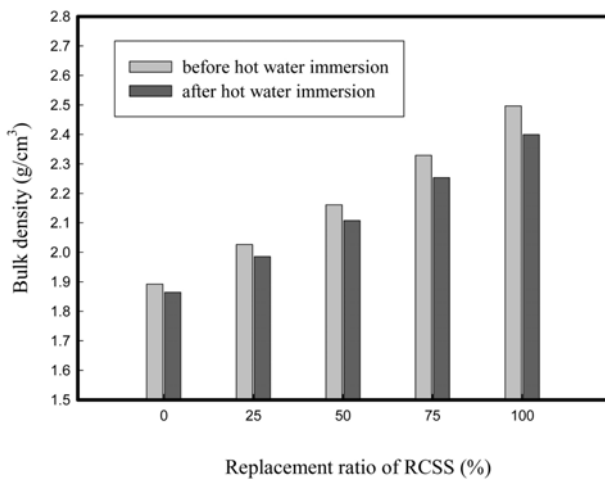


Figure 17. Bulk density vs. replacement ratio of RCSS (Polymer cement ratios : 15%).

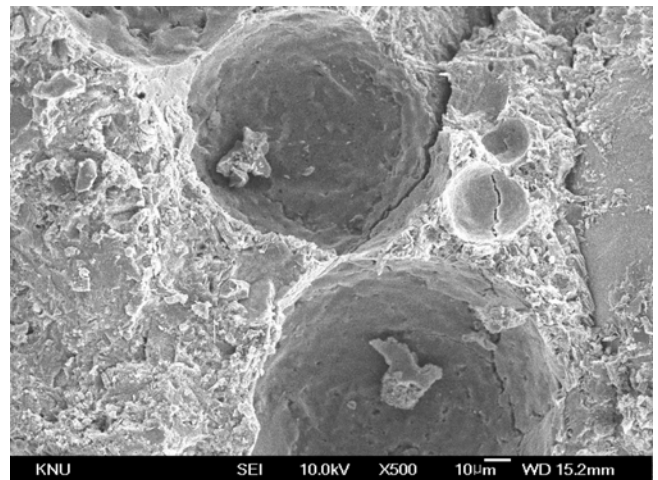


Figure 20. SEM micrographs of fracture surface of cement mortar. (W/C ratio: 0 wt%, Replacement ratio of RCSS: 50 wt%).

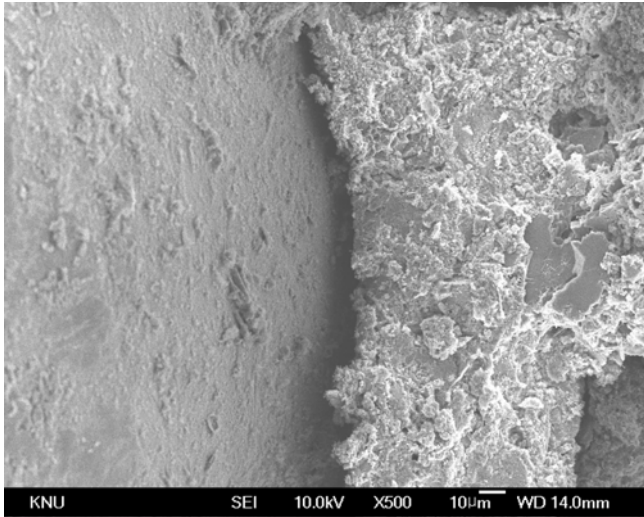


Figure 21. SEM micrograph of fracture surface of polymer modified mortar after hot water resistance test (P/C ratio: 5 wt%, Replacement ratio of RCSS: 50 wt%).

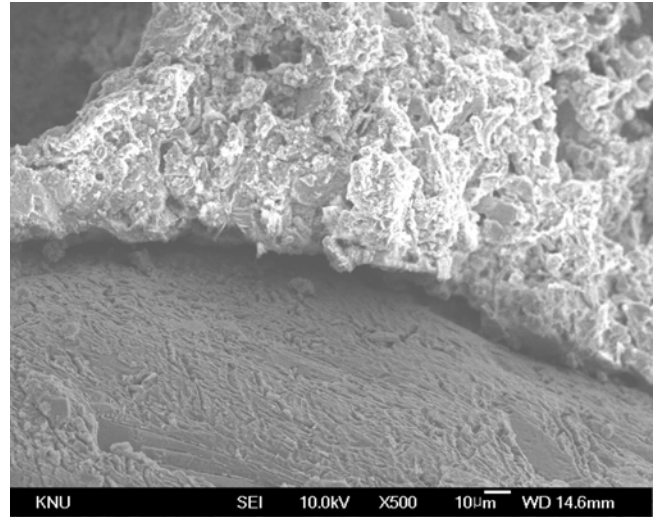


Figure 23. SEM micrograph of fracture surface of polymer modified mortar after hot water resistance test (W/C ratio: 15 wt%, Replacement ratio of RCSS: 50 wt%).

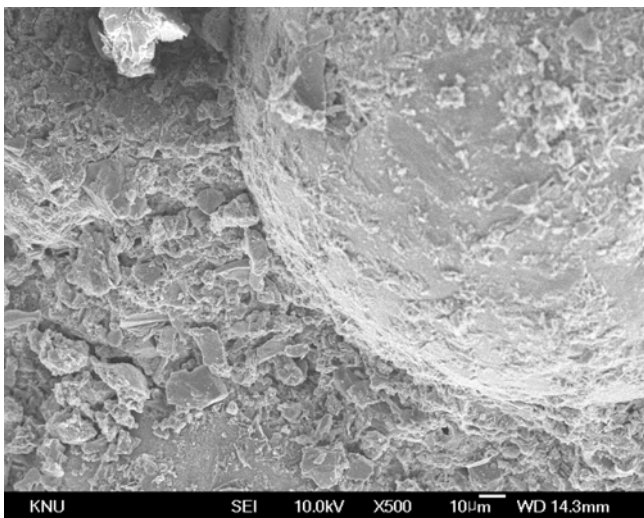


Figure 22. SEM micrograph of fracture surface of polymer modified mortar before hot water resistance test (W/C ratio: 15 wt%, Replacement ratio of RCSS: 50 wt%).

3.8. SEM에 의한 미세조직 관찰

Figure 19에 급냉 제강슬래그의 전자현미경 사진을 나타내었다. 용융된 제강 슬래그를 고속의 공기를 뿜어 주면서 급냉시키면 슬래그의 표면장력에 의하여 구형의 잔골재를 얻을 수 있다. Figure 20은 폴리머 혼화제를 첨가하지 않은 보통시멘트 모르타르의 파단면 전자현미경 사진이다. 그림에서 보는 바와 같이 슬래그 자체의 강도가 높기 때문에 슬래그가 파괴되지 않고 파단면에 존재하던 슬래그가 빠져나간 것을 볼 수 있다. Figure 21에 폴리머 시멘트 비 5 wt%, 급냉 제강슬래그 치환율 50 wt% 공시체를 내열수성 시험을 행한 후 파단면의 사진을 나타내었다. 제강슬래그와 폴리머 시멘트 매트릭스 사이가 벌어져 있는 것을 볼 수 있는데 이러한 현상은 제강슬래그와 폴리머 시멘트 매트릭스의 열전도도가 다르고

폴리머가 열수 속에서 열화 또는 분해되었기 때문에 나타나는 현상으로 생각된다. Figures 22, 23에 폴리머 시멘트비 15 wt%, 급냉 제강슬래그 치환율 50 wt% 공시체를 내열수성 시험 전과 후에 조사한 전자현미경 사진을 나타내었다. 내열수성 시험전의 사진을 관찰하여 보면 제강슬래그와 폴리머 시멘트 매트릭스가 잘 융착되어 있는 것을 관찰할 수 있으나 내열수성 시험 후의 사진에서는 폴리머가 열화 및 분해되어 있을 뿐만 아니라 제강슬래그와 매트릭스간의 공간도 폴리머 시멘트 비 5 wt% 공시체 사진에서 나타난 것 보다 훨씬 심하게 벌어져 있는 것을 관찰할 수 있다. 폴리머 시멘트 복합재료의 내열성 및 내구성을 향상시키기 위한 연구가 지속되어야 함을 시사하고 있다.

4. 결 론

급냉 제강슬래그를 폴리머 시멘트 모르타르의 제조에 재활용하기 위하여 재유화형 EVA-폴리머 혼화제를 사용하고, 잔골재 대응으로 급냉 제강슬래그의 치환율을 다양하게 변화시켜 제조한 폴리머 시멘트 모르타르의 물성에 대하여 조사한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 급냉 제강슬래그의 치환율이 증가됨에 따라 물-시멘트비는 감소되었으나 단위용적중량은 현저히 증가되었다.
- 2) 폴리머-혼화제 및 급냉 제강슬래그의 첨가량 증가에 따라 흡수율은 감소되었고, 압축 및 휨강도는 현저히 증가되었다.
- 3) 내열수시험 후의 압축 및 휨강도는 시험 전의 강도에 비하여 현저히 감소되었으며, 급냉 제강슬래그의 치환율이 높고, 폴리머 혼화제의 첨가량이 증가될수록 강도저하 현상이 크게 나타났다.
- 4) 폴리머 혼화제를 첨가하지 않은 보통 시멘트 모르타르의 세공량과 공극률은 내열수성 시험에 의하여 감소되었으나 폴리머 혼화제를 첨가한 폴리머 시멘트 모르타르의 경우는 증가되었다.
- 5) 급냉 제강슬래그의 치환율이 증가될수록 내열수성 시험에 의하여 세공량과 공극률은 증가되었다.
- 6) 내열수시험에 의하여 폴리머-혼화제가 분해 및 열화되어 기계적

강도를 비롯한 제 물성이 저하되었다.

감 사

본 연구는 지식경제부 지정 공주대학교 자원재활용신소재혁신센터 (RIC/NMR)의 지원에 의하여 이루어 졌으며 이에 감사드립니다.

참 고 문 헌

1. E. H. Hwang and T. S. Hwang, *J. of Ind. Eng. Chem.*, **13**, 585 (2007).
2. J. M. Kim, S. H. Cho, K. J. Kwon, and M. H. Kim, *J. of Archi. Institute of Korea*, **21**, 121 (2005).
3. E. H. Hwang, Y. S. Ko, and J. K. Jeon, *J. of Ind. Eng. Chem.*, **13**, 387 (2007).
4. Y. Ohama, 12th Int. Cong. on Polymers in Concrete, Kyu-Seok Yeon Ed., **12**, 37, Chuncheon, Korea (2007).
5. E. H. Hwang, D. S. Kil, and T. S. Hwang, *J. Korean Ind. Eng. Chem.*, **11**, 792 (2000).
6. D. W. Fowler and T. U. Taylor, 6th Int. Cong. on Polymers in Concrete, Huang Yiun-Yuan, Wu Keru, and Chen Zhiyuan Eds. **6**, 10 Shanghai, China (1990).
7. E. H. Hwang, T. S. Hwang, and D. S. Kil, *J. Korean Ind. Eng. Chem.*, **10**, 1066 (1999).
8. E. H. Hwang, D. S. Kil, and I. S. Oh, *J. Korean Ind. Eng. Chem.*, **8**, 979 (1997).
9. Y. Ohama, 5th Asian symp. on Polymers in Concrete, N. Laksmanan, C. V. Vaidyanathan, Y. Ohama, and M. Neelamegam Eds., **3**, Chennai, India (2006).
10. K. S. Yeon, 5th Asian symp. on Polymers in Concrete, N. Laksmanan, C. V. Vaidyanathan, Y. Ohama, and M. Neelamegam Eds., **13**, Chennai, India (2006).
11. Y. Ohama and K. Shiroishida, SP-89, *American Concrete Institute*, 313 (1985).
12. Y. Ohama, 9th Int. cong. on Polymers in Concrete, Franco Sandrolini Ed., **9**, 1, Bologna, Italy (1998).
13. D. W. Fowler and G. W. Depuy, 8th Int. cong. on Polymers in Concrete, D. Van Gemert and K. U. Leuven Eds., **8**, 67, Oostende, Belgium (1995).
14. R. N. Swamy, 8th Int. cong. on Polymers in Concrete, D. Van Gemert and K. U. Leuven Eds., **8**, 21, Oostende, Belgium (1995).
15. E. H. Hwang, T. S. Hwang, and Y. Ohama, *J. Korean Ind. Eng. Chem.*, **5**, 786 (1994).
16. E. H. Hwang, T. S. Hwang, and Eiji Kamada, *J. of the Korean Ceramic Society*, **31**, 949 (1994).
17. D. W. Fowler, 8th Int. cong. on Polymers in Concrete, D. Van Gemert and K. U. Leuven Eds., **8**, 13, Oostende, Belgium (1995).
18. V. V. Paturoev and V. P. Trambovetsky, 8th Int., cong. on Polymers in Concrete, D. Van Gemert and K. U. Leuven Eds., **8**, 451, Oostende, Belgium (1995).
19. Y. Ohama, M. Demura, and M. Komiyama, *J. of the Society of Materials Science*, **29**, 266 (1980).
20. P. Mani, A. K. Gupta, and S. Krishnamoorthy, *Int. J. of Adhesion and Adhesives*, **7**, 157 (1987).
21. E. H. Hwang, J. J. Choi, and T. S. Hwang, *J. Korean Ind. Eng. Chem.*, **16**, 317 (2005).
22. T. Satoh, Y. Ohama, and K. Demura, Summary of Technical Papers of Architectural Institute of Japan, 137 (1994).