Korean Chem. Eng. Res., 53(3), 364-371 (2015)
http://dx.doi.org/10.9713/kcer.2015.53.3.364
PISSN 0304-128X, EISSN 2233-9558

산업부산물 구형골재를 사용한 폴리에스테르 폴리머 콘크리트의 특성(II) (플라이 애쉬와 아토마이징 제강 환원슬래그 사용)

황의환† · **김진만***

공주대학교 화학공학부
331-717 충남 천안시 부대동 275
*공주대학교 건축학부
331-717 충남 천안시 부대동 275
(2014년 8월 21일 접수, 2014년 9월 12일 수정본 접수, 2014년 9월 17일 채택)

Characteristics of Polyester Polymer Concrete Using Spherical Aggregates from Industrial By-Products(II)(Use of Fly Ash and Atomizing Reduction Steel Slag)

Eui-Hwan Hwang† and Jin-Man Kim*

Department of Chemical Engineering, Kongju National University, 275 Budae-dong, Cheonan, Chungnam 331-717, Korea
**Department of Architecture, Kongju National University, 275 Budae-dong, Cheonan, Chungnam 331-717, Korea*
(Received 21 August 2014; Received in revised form 12 September 2014; accepted 17 September 2014)

요 약

폴리머 콘크리트의 원가절감을 위해서 생산비의 대부분을 차지하는 폴리머 결합재의 사용량을 절감하는 것이 매우 중요하다. 산업부산물로 얻을 수 있는 플라이 애쉬와 아토마이징 제강 환원슬래그는 구형의 재료이다. 구형의 제강 환원슬래그는 래들로 환원공정에서 생산되는 제강슬래그를 아토마이징 기술로 제조하였다. 폴리머 콘크리트 복합재료의 제 물성을 조사하기 위하여 폴리머 결합재의 첨가율과 아토마이징 제강 환원슬래그의 대체율에 따라 다양한 배합의 폴리머 콘크리트 공시체를 제조하고 물성시험을 실시하였다. 시험결과, 아토마이징 제강 환원슬래그의 대체율과 폴리머 결합재의 첨가량이 증가됨에 따라 공시체의 압축 및 휨강도는 현저하게 향상되었다. 내열수성시험에서 압축강도, 휨강도, 밀도 및 세공의 평균직경은 감소되었으나 총세공량과 공극률은 증가되었다. 탄산칼슘(충전재)과 강모래(잔골재)대신 구형의 플라이 애쉬와 아토마이징 제강 환원슬래그를 사용하여 만든 폴리머 콘크리트의 작업성이 현저히 개선되어 본 연구에서 개발된 폴리머 콘크리트는 종래의 제품보다 폴리머 결합재의 사용량을 18.2% 절감할 수 있게 되었다.

Abstract – For the cost down of polymer concrete, It is very important to reduce the use amount of polymer binder, which occupies most of the production cost of polymer concrete. Fly ash and atomizing reduction steel slag are spherical materials obtained from industrial by-products. Spherical atomizing reduction steel slag was manufactured using steel slag from reduction process of ladle furnace by atomizing technology. To investigate the physical properties of polymer concrete, polymer concrete specimens were prepared with the various proportions of polymer binder and replacement ratios of atomizing steel slag. Results showed that compressive and flexural strengths of the specimens were remarkably increased with the addition amount of polymer binder and the replacement ratios of atomizing steel slag. In the hot water resistance test, compressive strength, flexural strength, bulk density and average pore diameter decreased but total pore volume and pore diameter increased. We found that polymer concrete developed in this study reduced the amount of polymer binder by 18.2% compared to the conventional product because of the remarkable improvement of workability of polymer concrete using spherical fly ash and atomizing reduction steel slag instead of calcium carbonate (filler) and river sand (fine aggregate).

Key words: Polymer Concrete, Polymer Binder, Atomizing Steel Slag, Spherical Material, By-product

† To whom correspondence should be addressed.
E-mail: ehhwang@kongju.ac.kr
‡이 논문은 공주대학교 박균영 교수님의 정년을 기념하여 투고되었습니다.
This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

1. 서 론

폴리머 콘크리트는 압축 및 휨강도가 보통 시멘트 콘크리트보다 훨씬 높고 수밀성, 내약품성 등 내구성이 매우 우수하기[1,2] 때문에 기능성 제품으로 산업에 널리 사용되고 있다[3-7]. 폴리머 콘크리트에 사용되는 폴리머 결합재는 불포화폴리에스테르수지, 에폭시수지, 아크릴수지, 페놀수지, 요소수지, 푸란수지 등이 사용되고 있으나 경제성과 성능을 고려해 불포화폴리에스테르수지가 가장 많이 사용되고 있다[8]. 불포화폴리에스테르수지는 일반적으로 반응 개시제로 MEKPO(Methyl ethyl ketone peroxide)와 반응 촉진제로 옥텐산 코발트(Cobalt octoate)를 첨가하여 경화시키는데 경화수축이 매우 크기 때문에 제품의 체적 안정성을 확보하기 위하여 열가소성수지인 폴리스티렌이나 폴리메틸메타크릴레이트수지를 적정량 첨가하여 제조하고 있다[9-11].

폴리머 콘크리트는 우수한 물성을 지닌 재료이지만 보통 시멘트 콘크리트에 비하여 동일한 부피당 생산원가가 8~10배 정도 비싸기 때문에[10] 아직까지 폴리머 콘크리트는 개발도상국보다는 선진국을 중심으로 보급되고 있다[8]. 불포화폴리에스테르수지를 폴리머 결합재로 사용한 폴리머 콘크리트의 경우, 폴리머 결합재가 생산원가의 85% 정도 차지하고 있기[12] 때문에 폴리머 콘크리트의 가격 경쟁력을 제고시키기 위해서 폴리머 결합재의 첨가량을 절감할 수 있는 기술개발이 필요하다. 일반적으로 폴리머 콘크리트는 충전재로 탄산칼슘이나 실리카를 사용하고 있으며, 잔골재로 강모래, 굵은골재로 강자갈 또는 쇄석을 사용하여 제조하고 있다. 이러한 제조방법에서 폴리머 결합재의 사용량은 작업성을 유지하기 위해서 대략 12~13wt%를 사용하고 있다[8]. 폴리머 결합재의 사용량을 절감하기 위한 수단으로 구형의 형상으로 되어 있는 플라이 애쉬를 충전재로 사용하거나 철강 제조공정에서 발생되고 있는 제강 산화슬래그를 아토마이징 공법으로 생산한 구형의 제강슬래그를 잔골재로 사용한 연구논문이 종종 보고되고 있다[12-15]. 그러나 폴리머 결합재를 절감하기 위하여 래들로의 환원공정에서 생산되는 아토마이징 제강 환원슬래그를 폴리머 콘크리트에 사용한 사례는 아직 찾아보기 어렵다.

우리나라 제강산업에서 가동되는 전로(Converter furnace) 또는 전기로(Electric arc furnace)에서 발생되는 제강슬래그는 연간 800만 톤 규모로 산업적인 용도가 별로 없어 대부분 폐기물로 덤핑 처리하여 왔다. 폐기물로 처리되는 가장 큰 이유가 제강슬래그 속에 존재하는 유리 산화칼슘(free-CaO)이나 유리 산화마그네슘(free-MgO)이 물과 반응하면 체적이 팽창되면서 붕괴되기[14-17] 때문에 대량으로 소비할 수 있는 시멘트 콘크리트에 사용할 수 없기 때문이다. 최근에 개발된 아토마이징 공법[18], 즉 용융상태의 제강슬래그를 흘려보내면서 고압의 압축공기를 분사하여 제조한 아토마이징 제강슬래그는 급냉 되면서 미반응의 산화금속이 유리상태로 변하기 때문에 물과의 반응을 일으킬 수 없게 된다[14,15]. 그러나 아직까지 미반응의 산화금속을 완전히 차단할 수 있는 기술이 없고, 시멘트 콘크리트에 사용할 경우 높은 비중으로 인한 재료분리가 발생되기 때문에 시멘트 콘크리트의 골재로 사용되지 못하고 있다.

그러나 폴리머 콘크리트는 결합재로 점도가 높은 폴리머를 사용하기 때문에 물과의 반응에 의하여 발생되는 문제나 재료분리에 의한 문제가 모두 해소되기 때문에 아토마이징 제강 슬래그를 폴리머 콘크리트의 골재로 사용할 수 있다[12-15] 전기로 산화공정에서 발생되는 아토마이징 제강 산화슬래그를 골재로 사용하면 폴리머 콘크리트의 유동성이 증진되어 값비싼 폴리머 결합재의 사용량을 현저히 절감할 수 있는 것으로 보고되고[12,14,15] 있다. 따라서 본 연구에서는 래들로 환원공정에서 생산된 아토마이징 제강 환원슬래그를 폴리머 콘크리트의 잔골재로 사용하여 다양한 종류의 공시체를 제조하고, 압축 및 휨강도를 비롯한 다양한 물성을 측정하여 산업적으로 사용할 수 있는 가능성에 대하여 검토하였고, 그 결과를 보고하고자 하였다.

2. 실 험

2-1. 실험재료

폴리머 콘크리트 복합재료 제조에 사용한 불포화폴리에스테르수지는 다가산으로 이소-프탈산, 무수프탈산 및 무수말레산을 사용하였고, 다가알콜로 에틸렌글리콜과 프로필렌글리콜을 사용하여 2단 반응으로 합성하였다. 4-tert-Butylcatechol을 중합금지제로, 스티렌을 희석제로 사용하였다. 그리고 수축저감재는 국내 K사에서 생산되는 폴리스티렌계 제품을 사용하였다. 경화제(촉매)로 Methyl ethyl ketone peroxide(MEKPO), 촉진제로 Cobalt octoate(CoOc)를 사용하였다. 충전재는 탄산칼슘대신 플라이 애쉬(평균입경 30 μm)를 사용하였으며, 잔골재는 강모래대신 0.3~1.2 mm 범위의 아토마이징 제강 환원슬래그(래들로 제강슬래그, LFS)로 대체하여 사용하였다. 굵은골재는 5~8 mm 범위의 깬자갈을 사용하였다. Table 1에 UP 수지와 PS 수축저감재의 물성을 나타내었고, Table 2에 X-ray Fluorescene(XRF)를 이용하여 분석한 플라이 애쉬와 아토마이징 제강 환원슬래그의 화학적 조성을 나타내었다. Table 3에 잔골재 및 굵은골재의 물성을 나타내었다.

2-2. 시험방법

2-2-1. 압축 및 휨강도시험

KS F 2481 및 2482에 의하여 압축 및 휨강도시험을 수행하였다.

2-2-2. 내열수성시험

90 °C의 열수에 28일간 내열수시험을 행한 후 압축 및 휨강도를

Table 1. The Physical Properties of UP Resin and PS Shrinkage Reducing Agent

Type	Specific gravity	Nonevolatile materials	Acid value	Viscosity (Poise)
Unsaturated polyester resin	1.1	62	20	4.1
PS SRA	0.95	35	-	33

Table 2. Chemical Composition of Fly Ash and Atomizing Ladle Furnace Slag

	Chemical composition (wt%)									
Material	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	MgO	K_2O	SO_3	TiO_2	Free-CaO	Ig. loss
Fly ash	57.5	25.3	7.4	3.2	1.2	1.0	2.9	1.2	-	0.3
LFS	7.1	24.6	1.0	59.3	4.8	0.8	1.9	-	0.2	0.3

Table 3. Physical Properties of the Aggregates

Type		Source	Density (g/cm^3)	Water content (%)	Unit weight* (kg/m^3)	Solid volume (%)	Size (mm)
Aggregate	Coarse	Silica	2.65	< 0.05	1,510	52.0	5.0~8.0
	Fine	Silica	2.62	< 0.05	1,422	55.0	0.3-1.2
		Atomizing steel slag	2.94	< 0.05	1,879	63.2	0.3-1.2

측정하여 시험 전의 강도와 비교·검토하였다.

2-2-3. 세공측정

입경 2.5~5 mm 범위의 시료를 채취하여 아세톤으로 세정하고 48시간 건조시켜 수은 압입법으로 세공을 측정하였다.

2-2-4. SEM 분석시험

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

2-2-5. 공시체 양생

시험에 사용한 폴리머 콘크리트의 공시체는 25±2 ℃에서 14일간 양생한 후에 사용하였다.

2-2-6. 배합설계

폴리머 콘크리트 복합재료의 특성을 조사하기 위한 공시체의 배합설계 표를 Table 4에 나타내었다. 배합설계 표에서 보는 바와 같이 폴리머 결합재의 첨가량은 4단계(7.5, 8.0, 8.5, 9.0%), 탄산칼슘 충전재대신 사용하는 플라이 애쉬는 탄산칼슘과 동일한 부피가 되도록 첨가하며 또한 잔골재(강모래) 대신 사용하는 아토마이징 제강 환원슬래그 역시 잔골재와 동일한 부피가 되도록 조정하고 그 대체율은 5단계(0, 25, 50, 75, 100%)로 배합설계하였다. 굵은골재(쇄석)의 첨가량은 4단계(51.0, 51.5, 52.0, 52.5%)로 변화시켜 총 20종의 배합에 대하여 공시체를 제조하였다.

3. 결과 및 고찰

3-1. 폴리머 콘크리트의 압축 및 휨강도 특성

Fig. 1,2에 아토마이징 제강 환원슬래그의 대체율에 따른 공시체의 압축강도와 휨강도를 각각 나타내었다. Fig. 1에서 보는 바와 같이 압축강도는 폴리머 결합재의 첨가량이 증가됨에 따라 현저하게 증가되는 것을 볼 수 있다. 폴리머 결합재의 첨가량이 매우 적은 7.5%에서는 압축강도가 매우 낮게 나타나지만 첨가량이 점차 증가될수록 압축강도가 현저하게 증가되어 폴리머 결합재 9.0%에서는 90 MPa 이상의 강도를 발현하여 산업적으로 사용하는데 전혀 문제가 없는 것으로 생각된다. 탄산칼슘을 충전재로 사용하는 보통 폴리머 콘크리트는 11% 정도의 폴리머 결합재를 사용하기 때문에 이것과 비교하면 약 18.2%의 폴리머 결합재를 절감할 수 있게 된다. 또한 아토마이징 제강 환원슬래그의 대체율이 증가됨에 따라 압축강도는 향상되는 것으로 나타나고 있다. 폴리머 결합재의 첨가율이 낮은 공시체는 대체율이 증가됨에 따라 압축강도의 증진효과가 크게 나타나지만 폴리머 결합재의 첨가율이 높은 9.0%에서는 증진효과가 매우 미미한 것으로 나타나고 있다. 이러한 결과는 폴리머 결합재의 첨

Table 4. Mix Proportions of UP/PS Polymer Concrete using Industrial By-Products

PB[1] (wt%)	Filler (Fly ash)	Fine aggregate		Coarse aggregate (wt%)	Remarks
		River sand (wt%)	LFS[2] (vol%)		
7.5	20	20	0	52.5	Catalyst : MEKPO[3] Accelerator : CoOc[4] Shrinkage-reducing agent : PS[5]
		15	5		
		10	10		
		5	15		
		0	20		
8.0	20	20	0	52.0	
		15	5		
		10	10		
		5	15		
		0	20		
8.5	20	20	0	51.5	
		15	5		
		10	10		
		5	15		
		0	20		
9.0	20	20	0	51.0	
		15	5		
		10	10		
		5	15		
		0	20		

[1]PB : Polymer binder(UP 80%+PS 20%)
[2]LFS : Ladle furnace steel slag
[3]MEKPO : Methyl ethyl ketone peroxide
[4]CoOc : Cobalt octoate
[5]PS : Polystyrene

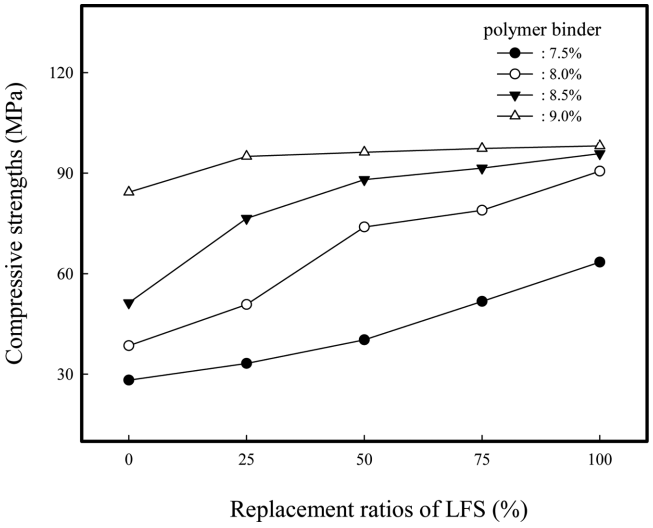


Fig. 1. Compressive strengths of Up/PS polymer concrete vs. replacement ratios of LFS (Filler: Fly ash).

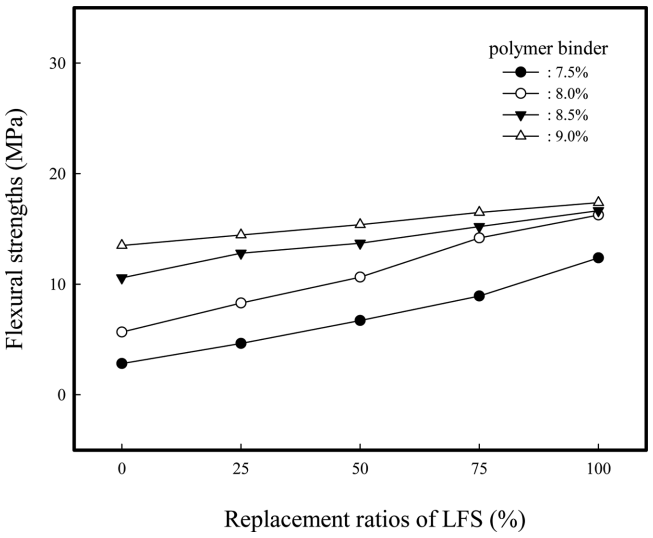


Fig. 2. Flexural strengths of Up/PS polymer concrete vs. replacement ratios of LFS (Filler: Fly ash).

가량이 적은 배합에서 구형의 아토마이징 제강 환원슬래그를 강모래 대신 사용하면 볼베어링 효과에 의한 유동성이 증가되어 공시체를 성형할 때 치밀한 조직의 공시체가 만들어져 강도가 가파르게 증가되지만 폴리머 결합재 9.0%에서는 공시체를 성형하는데 충분한 유동성이 확보되어 충전효과가 더 이상 증가되지 않기 때문에 압축강도의 증가현상이 둔화되는 것으로 판단된다.

Fig. 2에 나타낸 휨강도의 특성에서도 압축강도와 비슷한 경향성을 보여주고 있다. 탄산칼슘 대신 플라이 애쉬를 대체 사용하여도 폴리머 콘크리트의 물성에는 큰 차이가 없는 것으로 판단된다. 플라이 애쉬는 구형으로 폴리머 콘크리트의 유동성을 증진시키는 효과가 있는 반면 탄산칼슘 충전재보다 폴리머 결합재를 흡수하는 특성이 있어 폴리머 결합재의 절감 필요성 측면에서 면밀하게 검토할 필요가 있는 것으로 생각된다. 압축강도 최대값 98.1 MPa, 휨강도 최대값 17.4 MPa로 나타나고 있어 보통의 폴리머 콘크리트의 강도와 유사한 것으로 나타났다.

3-2. 내열수성시험 후의 압축 및 휨강도 감소율 특성

Fig. 3,4에 내열수시험 전과 내열수시험 후에 측정한 강도의 감소율을 각각 나타내었다. 그림에서 보는 바와 같이 내열수성시험에 의하여 압축강도, 휨강도 모두 현저하게 저하되어 강도감소율이 크게 나타나는 것을 볼 수 있으며, 압축강도보다 휨강도에서 강도 감소율이 더 크게 나타나고 있다. 압축 및 휨강도 모두 폴리머 결합재의 첨가율이 증가될수록 폴리머 결합재 첨가율 9% 공시체를 제외하고 강도감소율이 크게 나타나고 있다. 이것은 폴리머 결합재의 첨가율이 증가됨에 따라 내열수성시험전의 압축 및 휨강도가 높게 나타나지만 내열수성시험 후에는 현저하게 강도가 감소되기 때문에 나타나는 현상으로 판단된다. 폴리머 결합재 첨가율 9% 공시체의 강도감소율이 아토마이징 제강 환원슬래그 대체율 75% 이상에서 감소되는 이유는 Fig. 1에서 보는 바와 같이 아토마이징 제강 환원슬래그 대체율 50% 이상에서 폴리머 결합재의 사용량이 과다하여 강도 증가율이 현저히

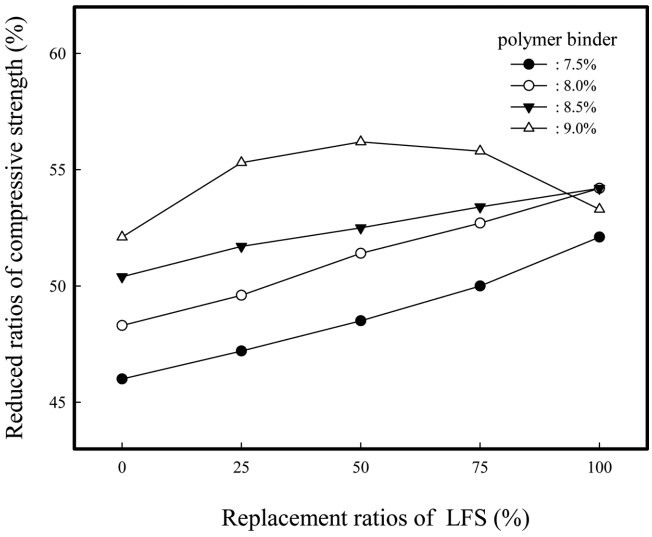


Fig. 3. Reduction ratios of compressive strength measured before and after hot water resistance test versus replacement ratios of LFS.

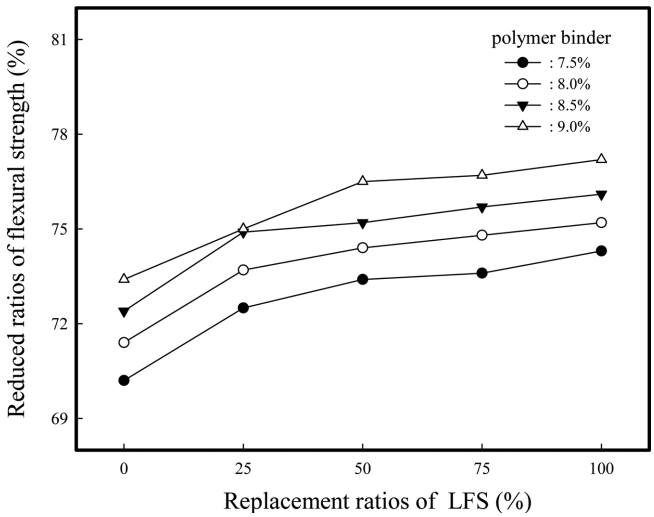


Fig. 4. Reduction ratios of flexural strength measured before and after hot water resistance test versus replacement ratios of LFS.

둔화되는데 기인되는 결과로 생각된다. 또한 아토마이징 제강 환원슬래그의 대체율이 증가됨에 따라 강도감소율이 크게 나타나고 있다. 이러한 현상은 아토마이징 제강 환원슬래그가 금속성분을 다량 함유하고 있기 때문에 매트릭스와 열팽창계수 차가 크고 또 제강슬래그 골재 주변에 미세한 균열이 발생되기 때문에 나타나는 현상으로 생각된다. 감도감소율은 고강도 공시체일수록 내열수성시험에 의하여 크게 영향을 받는 것으로 나타나고 있다. 대체적으로 압축강도 감소율은 46~56%, 휨강도 감소율은 70~77% 정도 감소되는 것으로 나타나 내열수성시험에 의한 강도감소율은 압축강도보다 휨강도가 더 크게 나타나는 것으로 조사되었다. 이러한 결과는 압축강도와 휨강도의 강도발현 메카니즘이 다르기 때문에 나타나는 현상으로 생각된다.

3-3. 내열수성시험 전과 후의 세공특성

Fig. 5~8에 총세공량, 공극률, 세공의 평균직경 및 밀도를 각각 나타내었다. Fig. 5에서 아토마이징 제강 환원슬래그의 대체율이 증가됨에 따라 총세공량은 감소되는 경향을 볼 수 있고, 내열수성 시험 후에 측정한 시편의 총세공량은 내열수성시험 전에 측정한 시편의 총세공량에 비하여 현저히 증가되는 것으로 나타나고 있으며, 증가율은 제강슬래그의 대체율이 증가될수록 더 크게 증가되었다. 이와 같이 아토마이징 제강 환원슬래그의 대체율이 증가됨에 따라 총세공량이 감소되는 것은 제강슬래그가 사용한 잔골재(강모래)나 굵은 골재에 비하여 세공량이 적기 때문에 나타나는 현상으로 생각된다. 또한 내열수성시험에 의하여 총세공량이 현저히 증가되는 이유는 28일간 90 ºC의 열수 속에 방치함으로서 폴리머 결합재가 분해 또는 열화 됨으로서 세공량이 증가되기 때문에 나타나는 결과로 판단된다. Fig. 6의 공극률 특성변화도 총세공량의 변화와 유사하게 나타나고 있다. 즉 총세공량이 높을수록 공극률도 커지게 됨을 알 수 있다. 아토마이징 제강 환원슬래그의 대체율이 증가됨에 따라 공극률이 크게 감소됨으로서 기계적 강도가 우수하고, 낮은 흡수율로 동결융해에 대한 내구성이 향상되게 된다.

Fig. 7에서 세공의 평균직경은 아토마이징 제강 환원슬래그의 대체율이 증가됨에 따라 작아지는 경향을 보여주고 있으며 내열수성시험 전에 측정한 세공의 직경에 비하여 내열수성시험 후에 측정한 세공의 직경이 작아지는 것으로 나타나고 있다. 내열수성시험에 의하여 세공의 직경이 작아지는 이유는 폴리머 결합재가 분해 또는 열화

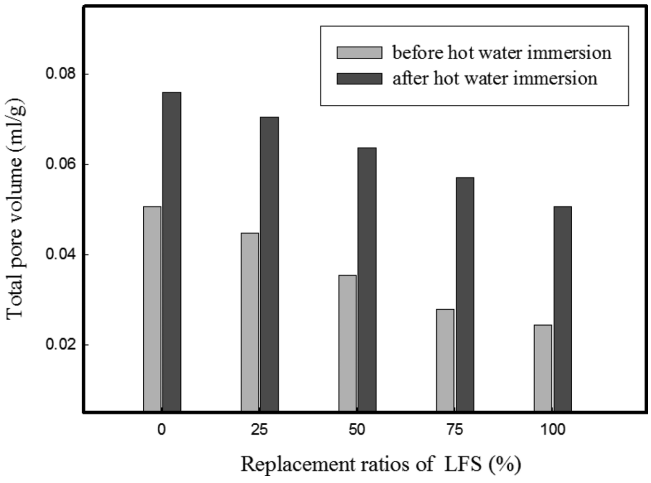


Fig. 5. Total pore volume versus replacement ratios of LFS (Polymer binder: 8.5%).

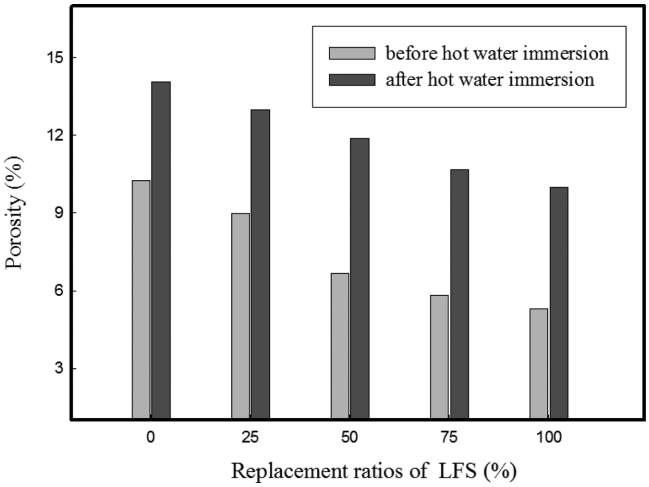


Fig. 6. Porosity versus replacement ratios of LFS (Polymer binder: 8.5%).

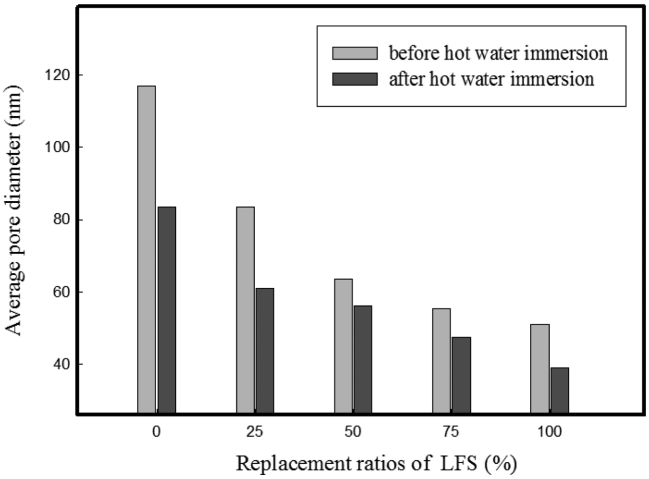


Fig. 7. Average pore diameter versus replacement ratios of LFS (Polymer binder: 8.5%).

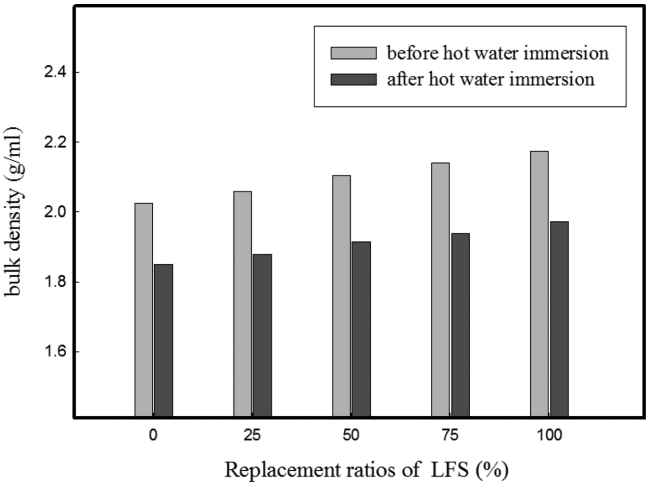


Fig. 8. Bulk density versus replacement ratios of LFS (Polymer binder: 8.5%).

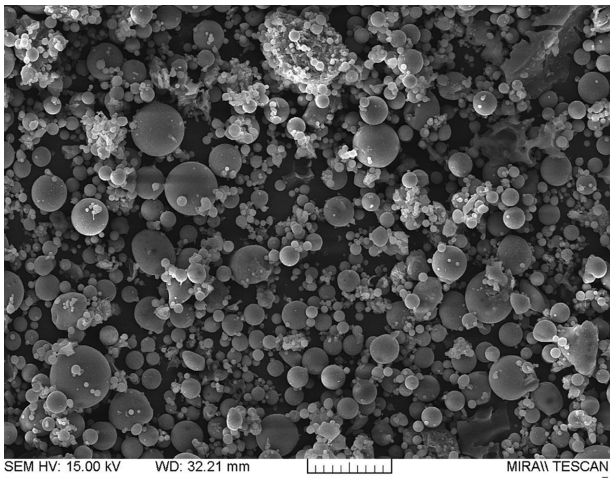
됨으로서 비교적 큰 세공들이 열려지기 때문에 나타나는 현상으로 생각된다.

Fig. 8에서 아토마이징 제강 환원슬래그의 대체율이 증가됨에 따라 밀도는 증가되는데 이것은 보통 잔골재나 굵은 골재에 비하여 제강슬래그의 밀도가 크기 때문에 나타나는 결과로 생각된다. 또한 내열수성시험 후에 측정한 밀도가 내열수성 시험 전에 측정한 밀도에 비하여 상당히 감소되는 것으로 나타나고 있다. 이러한 현상은 폴리머 결합재가 열수 속에서 분해되거나 열화되기 때문에 나타나는 결과로 판단된다.

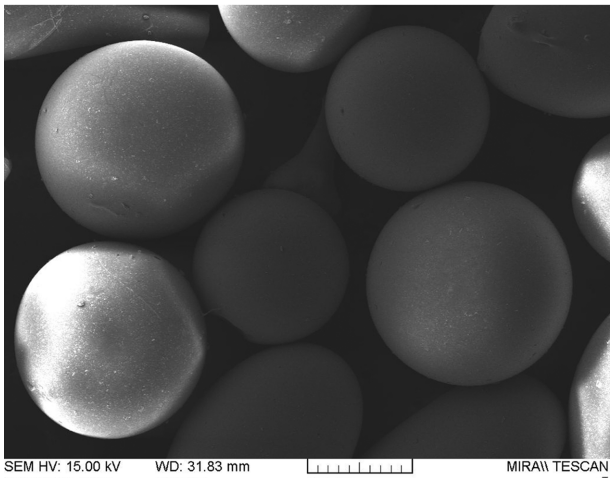
3-4. 미세조직의 SEM 분석

플라이 애쉬 및 아토마이징 제강 환원슬래그의 전자현미경 사진을 Fig. 9에 나타내었다. 그림에서 보는 바와 같이 플라이 애쉬와 아토마이징 제강 환원슬래그는 구형으로 표면이 매끄러워 폴리머 콘크리트에 사용할 경우 볼베어링 효과를 일으켜 작업성을 향상시키게 됨으로써 폴리머 결합재의 사용량을 절감할 수 있게 된다.

Fig. 10~12에 폴리머 결합재 8.0, 8.5, 9.0%와 아토마이징 제강 환원슬래그 50%를 대체하여 만든 내열수성시험 전과 후의 전자현미경 사진을 비교하여 나타내었다. 폴리머 결합재의 첨가량이 증가됨에 따라 파단면에서 구형의 플라이 애쉬와 제강슬래그가 매트릭스와 잘

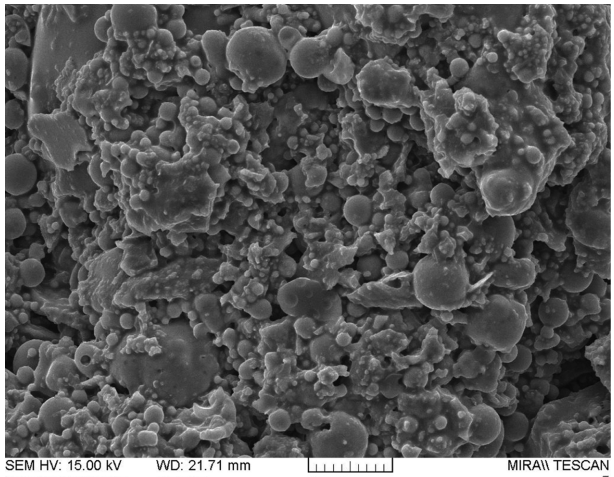


a) Fly Ash

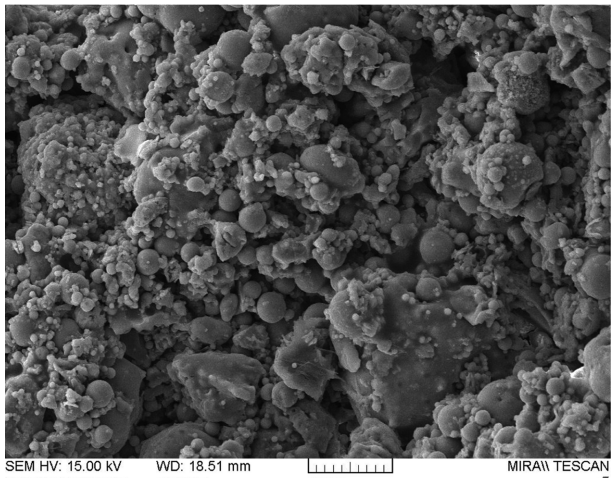


b) LFS Aggregate

Fig. 9. Micrographs of fly ash and LFS.



a) Before hot water resistance test



b) After hot water resistance test

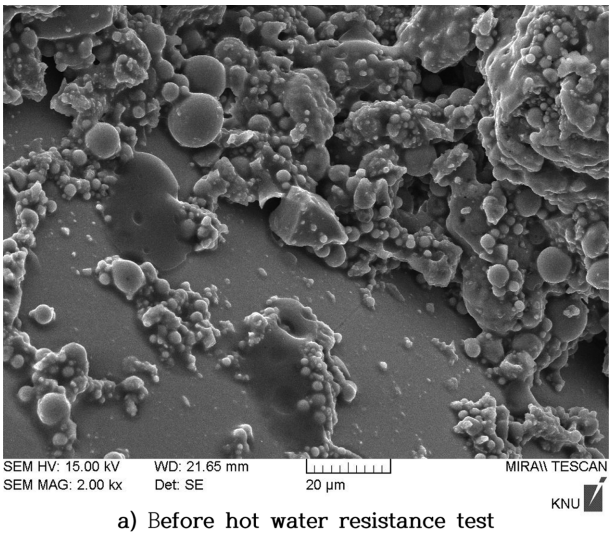
Fig. 10. Micrographs of fractured surface prepared with 8.0% of polymer binder and 50% of replacement ratio of LFS.

융착되어 있는 것을 볼 수 있다. 제강슬래그는 구형으로 표면이 매끄러워 보통의 잔골재 및 굵은골재에 비하여 표면적이 적기 때문에 폴리머 결합재의 량이 적게 소요되게 된다. 사진에서 폴리머 결합재와 플라이 애쉬 및 제강슬래그가 완전히 융착되어 co-matrix 상[12, 19]으로 이루어진 것을 관찰할 수 있다. 내열수성시험을 행한 후의 SEM 사진에서는 폴리머 결합재가 열화 되어 수축되어 있는 모양을 볼 수 있고 특히 제강슬래그 주변의 폴리머 결합재는 제강슬래그와 폴리머 매트릭스와의 열팽창계수 차이에 의하여 계면에서 균열이 형성되어 있는 것을 관찰할 수 있었다.

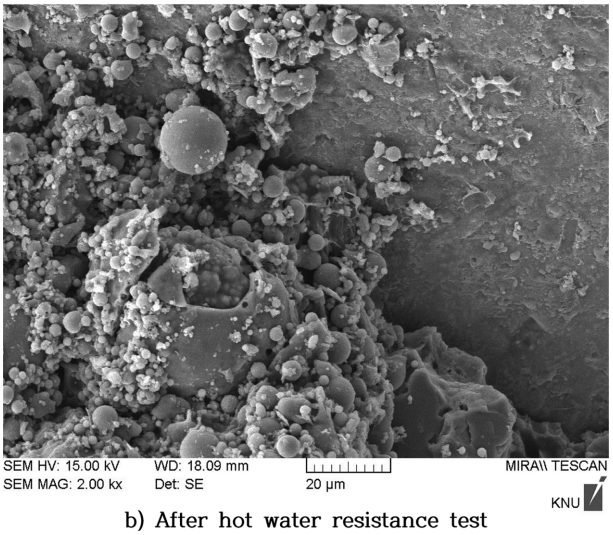
4. 결 론

폴리머 콘크리트의 원가절감을 목적으로 산업부산물로 얻을 수 있는 플라이 애쉬를 충전재로 사용하고 아토마이징 제강 환원슬래그를 잔골재(강모래) 대신 사용하여 제조한 폴리머 콘크리트의 특성에 대하여 조사한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 폴리머 결합재의 첨가율과 아토마이징 제강 환원슬래그의 대

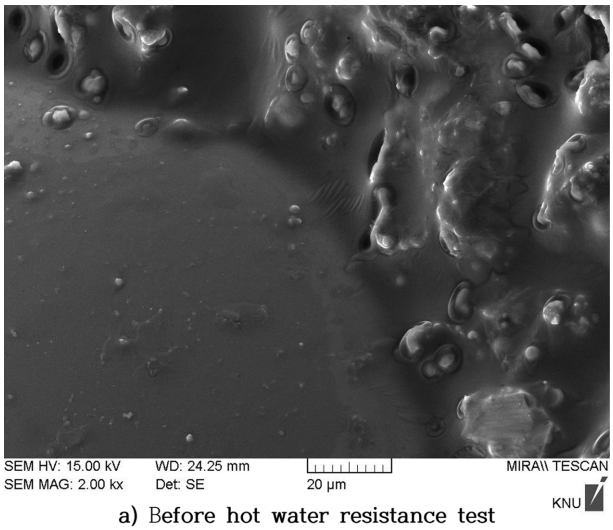


a) Before hot water resistance test

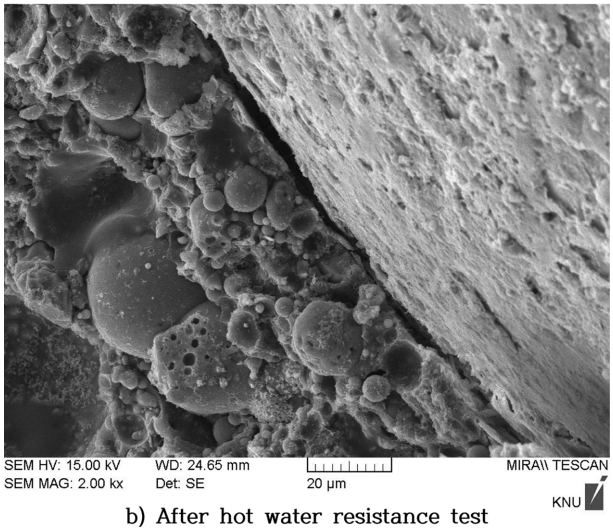


b) After hot water resistance test

Fig. 11. Micrographs of fractured surface prepared with 8.5% of polymer binder and 50% of replacement ratio of LFS.



a) Before hot water resistance test



b) After hot water resistance test

Fig. 12. Micrographs of fractured surface prepared with 9.0% of polymer binder and 50% of replacement ratio of LFS.

체율이 증가됨에 따라 압축 및 휨강도는 현저히 증가되었다. 압축 및 휨강도의 증가율은 아토마이징 제강 환원슬래그의 대체율 증가에 따라 폴리머 결합재의 첨가율이 낮을수록 더 크게 나타났다.

(2) 내열수성시험에 의한 압축 및 휨강도의 감소율은 고강도 공시체 즉, 폴리머 결합재의 첨가율이 높고 아토마이징 제강 환원슬래그의 대체율이 큰 공시체일수록 크게 나타났으며, 압축 및 휨강도의 감소율은 46~56% 및 70~77%로 각각 나타나 내열수성시험에 의한 강도감소율은 압축강도보다 휨강도에서 더 크게 나타났다.

(3) 내열수성시험 전에 측정한 총세공량, 공극률 및 세공의 평균직경은 아토마이징 제강 환원슬래그의 대체율 증가에 따라 감소되었으나 밀도는 증가되었다. 내열수성시험 후에 측정한 총세공량과 공극률은 내열수성시험 전에 측정한 값에 비하여 현저히 증가되었으나 세공의 평균직경과 밀도는 감소되었다.

(4) 내열수성시험 전의 미세조직관찰에서 매트릭스와 아토마이징 제강 환원슬래그가 견고하게 결합되어 있는 것을 확인하였으나 내열수성시험 후에 관찰한 조직사진에서는 열팽창계수가 서로 다른 매트릭스와 아토마이징 제강 환원슬래그의 접착계면에서 균열이 발생되었다.

(5) 산업부산물로 얻을 수 있는 구형의 플라이 애쉬와 아토마이징 제강 환원슬래그를 사용하여 제조한 폴리머 콘크리트는 기계적 강도가 매우 우수하였고, 작업성의 향상으로 값비싼 폴리머 결합재의 사용량을 약 18.2% 절감할 수 있는 것으로 나타났다.

감 사

본 논문은 환경부 글로벌탑 환경기술개발사업 중 폐금속유용자원 재활용기술개발사업의 지원에 의하여 연구되었으며 이에 감사드립니다(과제번호:11-C21-ID).

References

1. Gorninski, J. P., Dal Molin, D. C. and Kazmierczak, C. S., "Strength Degradation of Polymer Concrete in Acidic Environments," *Cem. Conc. Compos*., **29**, 637-645(2007).
2. Murhaf Haidar, Elhem Ghorbel and Houssam Toutanji, "Optimization of the Formulation of Micro-Polymer Concretes," *Const. Build.*

Mater., **25**, 1632-1644(2011).
3. Fowler, D. W., "Polymers in Concrete: a Vision for the 21st Century," *Cem. Conc. Com*., **21**, 449-452(1999).
4. Lech Czarnecki, Andrzej Garbacz and Jonna Kurach, "On the Characterization of Polymer Concrete Fracture Surface", *Cem. Conc. Compos*., **23,** 399-409(2001).
5. Ohama, Y., "Recent Research and Development Trends of Concrete-Polymer Composites in Japan," Proc. 12th Inter. Cong. on polym. in Conc., September, Chuncheon(2007).
6. Dionys Van Gemert, Lech Czarnecki, *et al.*, "Cement Concrete and Concrete-Polymer Composites: Two Merging Worlds," *Cem. Conc. Compos*., **27**, 926-933(2005).
7. Jose T. San-Jose, Ingo J. Vegas and Moises Frıas, "Mechanical Expectations of a High Performance Concrete Based on a Polymer Binder and Reinforced with Non-Metallic Rebars," *Const. Build. Mater*., **22**, 2031-2041(2008).
8. Gorninski, J. P., Dal Molin, D. C. and Kazmierczak, C. S., "Comparative Assessment of Isophtalic and Orthophtalic Polyester Polymer Concrete: Different Costs, Similar Mechanical Properties and Durability," *Const. Build. Mater*., **21**, 546-555(2007).
9. Hwang, E. H. and Kim, J. M., "Characteristics of Concrete Polymer Composite Using Atomizing Reduction Steel Slag (I) (Use of PMMA as a Shrinkage Reducing Agent)," *Appl. Chem. Eng*., **25**(2), 181-187(2014).
10. Hwang, E. H. and Kim, J. M., "Characteristics of Concrete Polymer Composite Using Atomizing Reduction Steel Slag as an Aggregate (II) (Use of Polystyrene as a Shrinkage Reducing Agent)," *Appl. Chem. Eng*., **25**(4), 380-385(2014).
11. Bae., G. B., Lee, S. G., Yoon, H. J. and Lee, J. D., "Preparation and Characteristic of Sheet Molding Compound using Unsaturated Polyester Resin with Low Profile Agent of Polystyrene," *Korean Chem. Eng. Res*., **50**(3), 588-593(2012).
12. Hwang, E. H., Kim, J. M. and Yeon, J. H., "Characteristics of Polyester Polymer Concrete Using Spherical Aggregates from Industrial By-Products," *J. Appl. Polym. Sci*., 2905-2912(2013).
13. Kim, J. M., Cho, S. H., Oh, S. Y. and Kwak, E. G., "The Properties of Underwater-Harding Epoxy Mortar Used the Rapidly Cooled Steel Slag," *J. Korea Conc. Instit*., **19**, 39-45(2007).
14. Hwang, E. H., Lee, C. H. and Kim, J. M., "Physical Properties of Polymer Concrete Composite Using Rapid-Cooled Steel Slag (I)," *Appl. Chem. Eng*., **23**, 210-216(2012).
15. Hwang, E. H., Lee, C. H. and Kim, J. M., "Physical Properties of Polymer Concrete Composite Using Rapid-Cooled Steel Slag (II)," *Appl. Chem. Eng*., **23**, 409-415(2012).
16. Montgomery, D. G. and Wang, G., "Instant-Chilled Steel Slag Aggregate in Concrete(Strength Related Properties)," *Cem. Conc. Res*., **21**, 1083-1091(1991).
17. Montgomery, D. G. and Wang, G., "Instant-Chilled Steel Slag Aggregate in Concrete(Fracture Related Properties)," *Cem. Conc. Res*., **22**, 755-760(1992).
18. O. S. Oh et al., Patent No. 10-0098062-0000(1996).
19. Semerad, E., Kremnitzer, Lacom, P., Holub, W. F. and Sattler, P., "Influence of Polymer Addition on Microscopic Properties," Proc. 5th Inter. Cong. on polym. in Conc., September, Brighton (1987).