

제철슬라크를 리용한 광물중합체와 콘크리트의 특성비교

김광민, 김현철, 전동주

위대한 수령 김일성동지께서는 다음과 같이 교시하시였다.

《과학자, 기술자들은 우리 나라에 있는 원료와 연료를 최대한으로 동원하여쓰기 위한 연구사업에 힘을 넣어야 합니다.》(《김일성전집》 제77권 261페이지)

선행연구[1-4]에서는 주로 고령석이나 화력발전소연재를 리용하여 광물중합체를 제조하였다. 그러나 우리는 제철슬라크를 리용하여 광물중합체를 제조하고 그 특성을 콘크리트와 비교하였다.

1. 제철슬라크를 리용한 광물중합체제조

슬라크유리체결면에 OH^- 이 강하게 작용할 때 슬라크의 유리체결면에서는 $\text{Si}-\text{O}-\text{Si}$, $\text{Si}-\text{O}-\text{Al}$, $\text{Al}-\text{O}-\text{Al}$, $\text{Ca}-\text{O}$ 등과 같은 사슬들이 연속적으로 끊어져 유리체구조는 파괴된다. 이때 생겨난 SiO_4^{4-} , AlO_4^{5-} , Ca^{2+} 은 용액속에 용해되어 이온들사이에는 새로운 결합이 이루어진다. 즉 SiO_4^{4-} , AlO_4^{5-} 의 중합반응이 일어나 단량체 SiO_4 , AlO_4 의 함량은 적어지고 고중합물의 함량은 많아진다. 분해과정에 생성된 저중합체와 단량체 SiO_4 , 용액속에 존재하던 이온들(Ca^{2+} , Mg^{2+} 등)의 호상작용에 의하여 C-S-H응결물질, 비석과 하석류광물들이 형성된다.[2, 4]

제철슬라크를 리용한 광물중합체와 콘크리트의 특성을 비교하기 위하여 광물중합체를 제조할 때 골재비와 액고비는 콘크리트시편제조기준에 맞게 설정하였다.

골재비 1 : 2, 액고비 0.65인 조건에서 물유리의 모줄변화와 량에 따르는 광물중합체의 28일 누름세기 R_{28} 을 측정하였다.

시험체제조를 위한 원료로 제철소에서 부산물로 나오는 제철슬라크분말($d_{50} = 30\mu\text{m}$, $d_{95} = 50\mu\text{m}$)을, 활성제로 공업순 물유리(모줄 2.4, 밀도 1.34g/cm^3)와 가성소다(공업순 95%)를 리용하였다. 양생은 콘크리트의 경우 습식양생을, 광물중합체의 경우 건식양생방법을 적용하였다.

먼저 물유리특성의 기본지표인 모줄변화에 따르는 광물중합체의 누름세기를 평가하기 위하여 물유리량을 고정시키고 모줄을 변화시켰다. 이때 물유리의 모줄은 물유리에 가성소다를 혼합하는 방법으로 변화시켰으며 모줄의 변화범위를 선행연구자료[1-5]에 기초하여 0.8~1.6으로 설정하였다.(표 1)

표 1에서 보는바와 같이 시-0-3, 시-0-4, 시-0-5에서는 모줄이 증가함에 따라 누름세기가 약해진다.

표 1. 물유리모출변화에 따르는 광물중합물의 배합비 및 누름세기

시험체번호	세멘트/g	슬라크/g	골재/g	물/g	물유리/g	가성소다/g	모출	R_{28} /MPa
대 조	520	0	1 040	338	0	0	—	29.2
시-0-1	0	520	"	169	169	10.2	1.6	22.6
시-0-2	"	"	"	"	"	14.6	1.4	28.8
시-0-3	"	"	"	"	"	20.5	1.2	34.6
시-0-4	"	"	"	"	"	28.6	1.0	37.4
시-0-5	"	"	"	"	"	40.0	0.8	38.7

다음으로 물유리량에 따르는 누름세기변화를 평가하기 위하여 물유리의 모출을 1.2로 고정시키고 그 량을 121.1~211.9g으로 변화시켰다.(표 2)

표 2. 물유리량의 변화에 따르는 광물중합체의 배합비 및 누름세기

시험체번호	세멘트/g	슬라크/g	골재/g	물/g	물유리/g	R_{28} /MPa
대 조	520	0	1 040	338	0	29.2
시-1-1	0	520	"	230	121.1	18.3
시-1-2	0	"	"	210	143.5	23.4
시-1-3	0	"	"	190	165.9	28.7
시-1-4	0	"	"	169	189.5	34.6
시-1-5	0	"	"	149	211.9	42.4

표 2에서 보는바와 같이 물유리와 물의 비를 0.53으로부터 1.42로 변화시키면 누름세기는 18.3MPa로부터 42.4MPa로 증가한다. 그런데 물유리와 물의 비를 0.53으로부터 1.42로 변화시킬 때 혼합물(물유리+물)의 밀도가 1.07g/cm³로부터 1.19g/cm³로 증가되는것으로 하여 몰탈의 시공조건이 불리해지는 부족점이 있다. 그러므로 제철슬라크를 리용하여 광물중합체를 제조할 때 물유리의 모출은 1.2, 혼합물의 밀도는 1.15g/cm³로 설정하여야 한다.

2. 제철슬라크를 리용하여 제조한 광물중합체와 콘크리트의 특성비교

경화시간에 따르는 누름세기 골재비와 액고비가 같은 조건에서 시간에 따르는 콘크리트와 광물중합체의 누름세기변화는 표 3과 같다.

표 3. 경화시간에 따르는 광물중합체의 누름세기(MPa)

시험체번호	경 화 시 간						
	4h	8h	16h	1d	3d	7d	28d
대 조	0	0	0	5.6	8.6	17.8	29.2
시-1-4	8.7	13.4	17.8	22.4	29.8	31.2	34.8

표 3에서 보는바와 같이 광물중합체는 콘크리트에 비하여 초기고강도특성을 나타내는데 1일 누름세기는 28일동안 경화시킨 일반콘크리트의 누름세기와 비슷하다. 그리고 광물중합체의 7, 28일 누름세기는 일반콘크리트에 비하여 약 2.0, 1.2배이다. 즉 광물중합체는 일반콘크리트에 비하여 초기누름세기뿐만아니라 후기누름세기도 매우 높다.

물흡수특성대비 일반세멘트로 제조한 콘크리트와 광물중합체와의 물흡수율을 비교하기 위하여 두 경화체를 물에 잠그어놓고 시간에 따르는 물흡수량을 평가하였다.(표 4)

표 4. 시간에 따르는 콘크리트와 광물중합체의 물흡수율(%)

시험체번호	시 간						
	1h	4h	8h	16h	24h	2d	3d
대 조	6	6.6	7.1	7.4	7.8	8.2	8.4
시-1-4	1.2	1.24	1.29	1.34	1.37	1.4	1.4

표 4에서 보는바와 같이 3일이 지난 후 물흡수율은 콘크리트가 8.4%이고 광물중합체는 1.4%로서 콘크리트의 1/6정도밖에 되지 않는다. 이것은 광물중합체의 내수성이 일반콘크리트에 비하여 매우 높다는것을 알수 있다.

열안정성대비 콘크리트와 광물중합체와의 열안정성을 비교하기 위하여 두 경화체를 각 이한 온도(100~800℃)에서 4h동안 가열하고 누름세기를 측정하였다.(표 5)

표 5. 온도에 따르는 콘크리트와 광물중합체의 누름세기(MPa)

시험체번호	온도/℃							
	100	200	300	400	500	600	700	800
대 조	29.2	21.9	16.8	11.6	9.6	4.6	1.7	0
시-1-4	34.8	32.6	31.9	29.4	28.6	28.2	28.2	27.9

표 5에서 보는바와 같이 일반콘크리트는 온도가 증가하는데 따라 그것의 누름세기가 빠른 속도로 낮아지지만 광물중합체는 800℃에서도 초기세기의 80%정도를 유지한다. 이로부터 광물중합체가 일반콘크리트에 비하여 열안정성이 매우 높은 재료라는것을 알수 있다.

맺 는 말

1) 광물중합체는 콘크리트에 비하여 조기고강도특성을 나타낸다. 광물중합체의 1일 누름세기는 일반콘크리트의 28일 누름세기와 비슷하다.

2) 광물중합체의 물흡수율은 일반콘크리트의 1/6정도이다.

3) 광물중합체는 일반콘크리트에 비하여 열안정성이 매우 높다. 광물중합체는 800℃에서도 초기세기의 약 80%를 유지한다.

참 고 문 헌

[1] J. Davidovits; J. Mater. Educ., 16, 91, 1994.

[2] J. Davidovits; J. Therm. Anal., 37, 1633, 1991.

[3] K. K. Mandal; International Journal of Civil and Environmental, 31, 323, 2011.

[4] 杨南如; 硅酸盐学报, 2, 209, 1996.

[5] 杨南如; 硅酸盐学报, 4, 459, 1996.

Comparison of Characteristics between Geopolymer based on Blast Furnace Slag and Concrete

Kim Kwang Min, Kim Hyon Chol and Jon Tong Ju

Geopolymer has the high early strength than the concrete. The compressive strengths of geopolymer in one-day is similar to strength of the ordinary concrete in 28-day.

Water absorptivity of geopolymer is about one sixth of ordinary concrete.

Geopolymer has the high heat stability compared with the ordinary concrete. The strengths of geopolymer at 800°C is about 80% of the primary strengths.

Key words: geopolymer, slag