

증기양생에 따른 고로슬래그 미분말을 혼입한 콘크리트의 내구특성

홍창우*, 장호성*, 정원경**, 김경진**, 성기태**
충주대학교 건설도시공학과*, 충주대학교 토목공학과**

Durability of Concrete using Blast-Furnace Slag Powder According to the Steam Curing

Hong Chang Woo*, Jang Ho Sung*, Jeong Won Kyong**, Kim Kyong Jin**, Sung Gi Tae**
Dept. of Construction & Urban Engineering, Chungju National University*
Dept. of Civil Engineering, Chungju National University**

1. 서론

최근 건설산업의 발전에 따라 현장타설에 의한 제품생산보다는 공장설비를 통해 생산되는 콘크리트 2차 제품의 공급 수요가 점차 증대되고 있다. 특히 대규모 건설 현장에서 우수한 품질의 건설자재를 요구하고 있으며, 상대적으로 제품의 신뢰성이 높고 공기 단축이 가능한 콘크리트 2차 제품의 수요가 급격히 증대되고 있는 실정이다. 일반적으로 콘크리트 2차 제품은 품질관리 측면에서 신뢰성과 제품의 안정성이 현장제품보다 높은 것으로 알려져 있다. 그러나 콘크리트 공장제품은 주로 건설구조물 디자인의 다양성과 생산성 확대를 추구하는 측면에서 개발이 진행되어, 제품 자체의 고품질화를 위한 연구는 미비한 것이 사실이다. 특히 콘크리트 제품의 장기적인 내구성 확보 및 환경문제 해결을 위해 그 용량이 증대되고 있는 고로슬래그에 의한 콘크리트 2차 제품의 품질평가는 매우 낮은 수준이다. 농어촌 연구원에 의하면 콘크리트 2차 제품의 대표적인 벤치플름 및 수로관의 수명은 계획수명의 1/4에 불과한 10년 이하인 것으로 보고되고 있다. 이러한 콘크리트 2차 제품의 조기파손 원인은 생산업체가 생산능률과 경제성을 이유로 초고온에서 1일 3~4회씩 급속 촉진양생을 시행하고 있으며 급속 양생된 제품이라도 현행 KS산업규격에서의 조기 강도와 외관조사에서 만족할 경우 제품 출하가 가능하기 때문인 것으로 판단된다.

따라서 본 연구에서는 콘크리트 공장제품의 내구성 향상과 자원재활용을 위하여 고로슬래그 미분말 혼입률 및 증기양생 방법에 따른 강도발현 및 내구특성(동결융해저항성, 투수성, 내화학약품성)을 평가하고자 하였다. 이러한 실험결과를 바탕으로 고로슬래그 미분말의 증기양생용 콘크리트 사용가능성과 최적혼입률을 제시하여, 실제현장에서 적용하기 위한 기초자료로서 제공하고자 하였다.

2. 실험계획 및 방법

2.1 실험계획

본 연구에서는 고로슬래그 미분말을 혼입한 콘크리트 2차 제품의 강도 및 내구 특성을 확인하고자 하였다. 이를 위한 고로슬래그 혼입 콘크리트의 배합설계는 기존 프리캐스트 제품공장에서 사용하는 OPC 배합을 참고하여 설정하였으며 주요 실험변수로는 고로슬래그 미분말 치환율(0%, 10%, 30%, 50%, 70%)과 양생방법(표준 양생, 증기양생)을 선정하여 분석하였다.

2.2 사용재료

본 연구에서 사용한 시멘트는 보통 포틀랜드 시멘트이며, 굵은 골재는 비중 2.6인 19mm 쇠석을 사용하였고, 잔골재는 비중 2.55인 강모래를 사용하였다. 콘크리트 2차 제품의 내구성 향상을 위해 사용된 고로슬래그 미분말의 보다 자세한 물리적 성질 및 화학적 조성은 Table 1과 같다.

Table 1. Physical properties and chemical compositions of ground granulated blast-furnace slag.

Chemical Compositions (%)						Physical Properties	
SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	MgO	SO_3	Specific Gravity	Blaine (cm^2/g)
30~36	12~18	0.25~0.35	38~45	4.98	1.78	2.90	4,387

2.3 배합 및 양생조건

본 연구에서 사용된 배합설계표는 Table 2와 같다. 양생방법은 표준양생과 증기양생으로 구분되며 표준양생은 $20 \pm 1^\circ C$, RH 100%조건에서, 증기양생은 사전양생 3시간($20 \pm 1^\circ C$, RH 50%), 온도상승구배 2.5시간($20^\circ C/hr$), 최고온도유지시간 7시간(최고 온도 $65^\circ C$), 온도하강구배 2.5시간($20^\circ C/hr$)으로 하여 총 증기양생 시간은 15시간으로 설정하였다.

Table 2. Mix proportions of concrete

Mix No.	W/B (%)	S/a (%)	Mix proportion (kg/m^3)					Slump (cm)
			C	W	G	S	B	
OPC			430	181	737	919	0	
B10			387	181	736	917	43	
B30	42	45	301	181	733	914	129	8±2
B50			215	181	730	911	215	
B70			129	181	728	907	301	

2.4 실험방법

본 연구에서는 고로슬래그 미분말을 혼입한 콘크리트의 증기양생에 따른 강도특성을 분석하기 위하여 재령 1, 7, 28일에 KS F 2405에 의거한 압축강도시험을 수행

하였으며, 내구성 평가를 위한 동결융해저항성 시험은 KS F 2456, 염소이온 투수성 시험은 KS F 2711 그리고 내화학약품성 시험은 ASTM C 267에 의해 수행하였다.

3. 결과분석

3.1 압축강도특성

고로슬래그 미분말을 혼입한 콘크리트의 증기양생 유무에 따른 재령별 압축강도 변화는 Fig. 1, 2와 같다. 이를 살펴보면, 고로슬래그 미분말 치환율이 증가할수록 재령 1일의 초기강도는 저하되는 것으로 나타났으나, 재령 7일 이후 고로슬래그 미분말 치환율인 50%인 경우 OPC에 비해 높은 강도를 나타내었다. 그러나 고로슬래그 치환율 70%의 경우는 재령 증가에 관계없이 OPC에 비해 낮은 강도를 보여 압축강도 측면에서 고로슬래그 미분말 치환율은 50% 이내로 판단되었다.

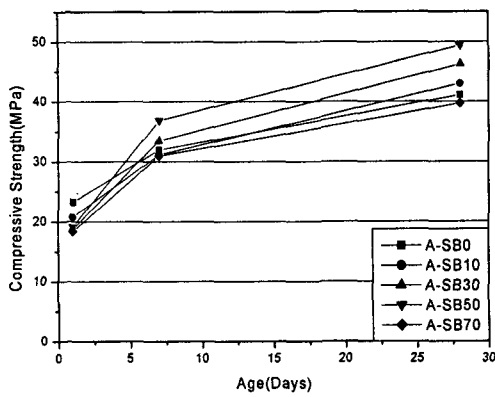


Fig. 1 Compressive strength of concrete with slag contents

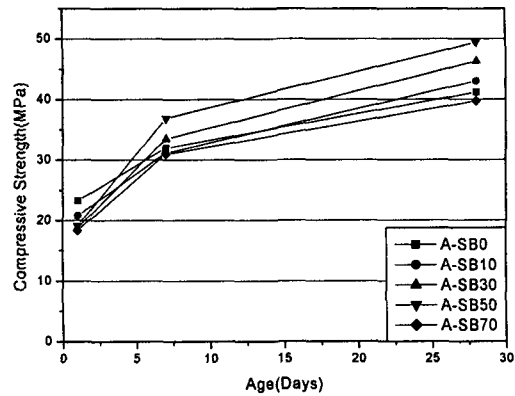
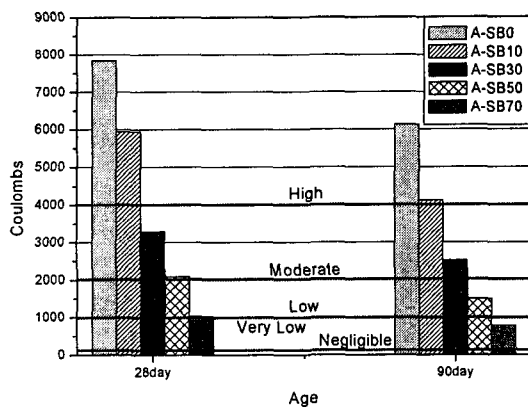
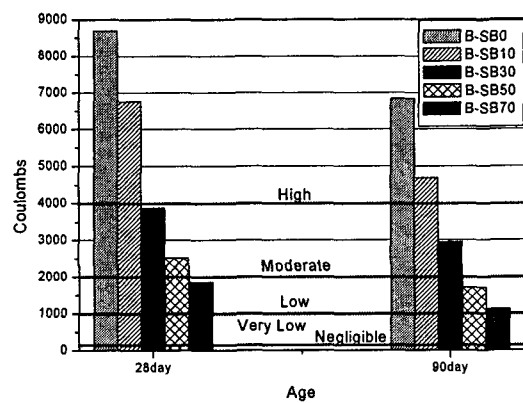


Fig. 2 Compressive strength of concrete with slag contents



(a) Steam Curing



(b) Non-Steam Curing

Fig. 3 Charge passed of concrete with curing method and ages

3.2 투수특성

Fig. 3은 재령에 따른 고로슬래그 미분말 혼입 콘크리트의 통과전하량을 나타낸

것으로서, 재령이 증가함에 따라 모든 실험변수에서 투수저항성은 증가되는 일반적인 경향을 나타내었다. 또한 고로슬래그 치환율이 증가함에 따라 투수저항성은 증대되었으며 재령 90일에 있어 재령 28일 통과전하량보다 20~40%까지 감소하는 경향을 보였다. 이는 시멘트와 배합수와의 수화생성물과 고로슬래그 미분말의 반응에 의해 생성된 수화물이 경화체 내의 모세관 공극을 막아 물의 이동을 억제함으로써 투수성이 감소하게 되는 것으로 판단된다. 증기양생 유·무에 따른 투수성은 증기양생을 한 경우가 표준양생을 한 경우에 비해 투수저항성은 더 증진되었으며 혼입률 50% 이상에서는 매우 낮은 등급의 투수등급을 나타내어 내구성 증진 효과가 우수한 것으로 판단되었다.

3.3 동결융해저항성

Fig. 4는 고로슬래그 미분말의 치환율 변화에 따른 동결융해저항특성을 나타낸 것이다. 증기양생 및 표준양생을 시행한 모든 시험체는 300사이클까지 내구성지수의 현저한 저하를 보이지 않았으나 치환율이 증가할수록 다소 감소하는 것으로 나타났다 특히, 치환율 70%의 경우에는 상대동탄성계수가 252사이클부터 급격히 떨어지는 것으로 나타났다.

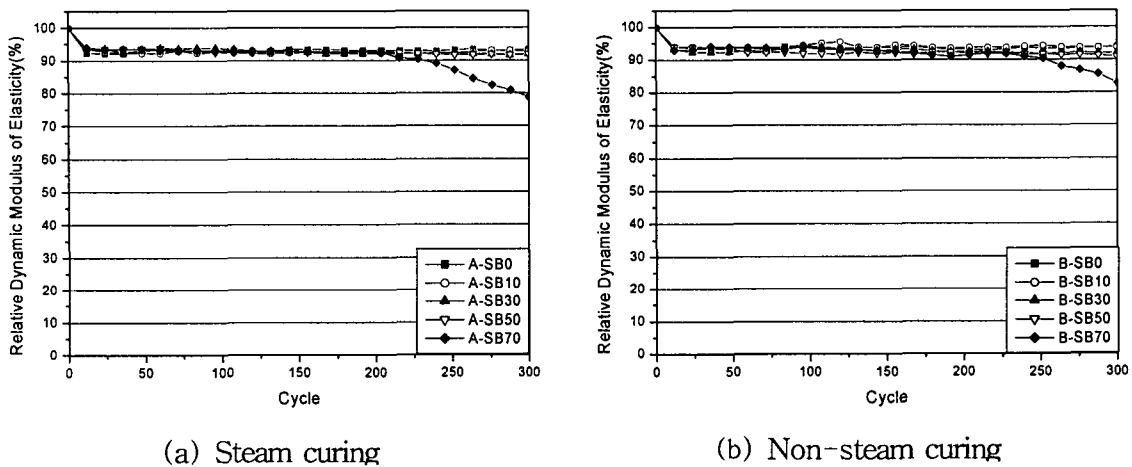


Fig. 4 Variation of relative dynamic modulus

3.4 황산침식저항성

고로슬래그 미분말 혼입 콘크리트의 황산 침식 저항성 실험은 시험체를 5% 황산용액에 침지하여 28일 동안 4일마다 중량을 측정하여 이를 침지 전 중량에 대한 중량감소비율로 나타내었으며 실험결과는 Fig. 5와 같다.

고로슬래그 미분말을 혼입하지 않은 OPC 시험체와 고로슬래그 미분말을 10%, 30% 치환한 경우에는 침지시간이 지속될수록 중량감소가 커지는 반면 고로슬래그 미분말을 50%, 70% 치환한 경우는 OPC에 비해 중량감소가 상당히 적은 것으로 나타났다. Fig. 6은 5% 황산용액에 28일간 침지시킨 시험체의 외관 변화 모습이다.

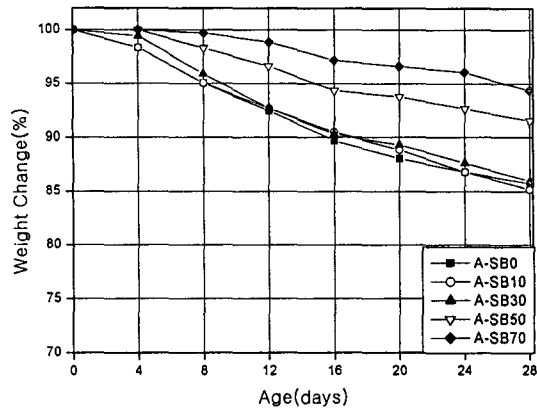


Fig. 5 Weight change after immersion in chemicals(steam curing)

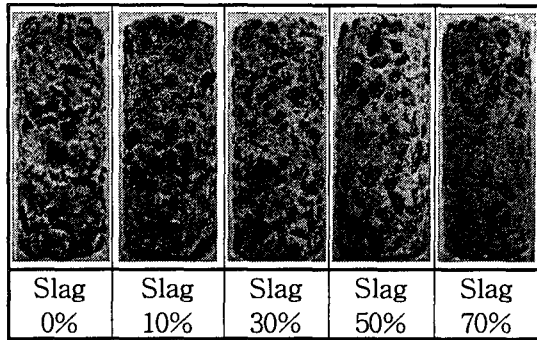


Fig. 6 Appearance after immersion in chemicals

4. 결론

1. 고로슬래그 미분말을 혼화재로 사용한 콘크리트의 증기양생에 따른 압축강도는 고로슬래그 미분말의 치환율이 증가함에 따라, 강도가 증진되었으나, 치환율 70%에서는 OPC보다 낮은 강도를 보이고 있다. 또한, 치환율 50%의 경우에는 재령 28일에서 OPC에 비해 약 20%의 강도증가율을 보였다.
2. 고로슬래그 미분말의 치환율이 높을수록 고로슬래그 미분말의 충전작용 및 수화반응에 의한 수화생성물의 영향으로 투수저항성이 증대되었으며, 동결융해저항성은 AE제를 통한 공기량 $5\pm 1\%$ 조건에서는 고로슬래그 미분말 치환율 70%를 제외하고는 모두 상대동탄성계수가 90%이상 유지되었다.
3. 콘크리트 경화체의 황산침식저항성은 고로슬래그 미분말을 50%이상 치환하였을 때 우수한 경향을 보이며, 양생조건 변화에 대한 영향은 없는 것으로 나타났다. 이와같은 결과를 종합해 볼때 고로슬래그 미분말의 콘크리트 2차 제품 제조를 위해 사용시에는 시멘트 대비 50% 치환하는 것이 강도 및 내구성 측면에서 가장 타당할 것으로 판단된다.

참고문헌

1. Accelerated Curing of Concrete at Atmospheric Pressures-State of the ART(1980), ACI 517.2R-80, pp. 429~433.
2. 박광수, 심수균, 김관호, 이준구(2002), "콘크리트제품 양생온도 이력검사 시험법 개발 연구", 농업기반공사 농어촌연구원.
3. 문수영, 최연왕(1989), "고로슬래그 시멘트를 사용한 콘크리트의 특성에 관한 고찰", 한국콘크리트학회지, 제1권 1호.
4. 김생빈, 유승룡, 최세규(1996), "축진양생이 콘크리트의 28일 압축강도에 미치는 영향에 관한 연구", 한국콘크리트학회지, 제7권 4호, pp. 141-148.