

산업부산물을 치환한 고강도 콘크리트 말뚝의 강도 특성

신경수¹, 임병훈^{2*}, 황선경³

Strength Properties of High-Strength Concrete Piles Using an Industrial by-Product

Kyoung-Su Shin¹, Byung-Hoon Lim^{2*}, Sun-Kyung Hwang³

Abstract : The necessity for ground reinforcement of structures has been increasing in South Korea because buildings have encountered constructional problems such as inclined structures and collapses caused by earthquakes or differential settlement of the foundations. With regard to a ground reinforcement method, an increasing number of high-strength concrete piles have been used based on their advantages, including a wide range of penetration depth and a high load-bearing capacity. However, problems such as the destruction of a pile head during on-site placement work can occur when the pile has insufficient strength. For this reason, the strength of such piles should be managed more thoroughly. Thus, this study analyzed the strength properties of high-strength concrete piles using blast furnace slag (BFS) powder as a cement replacement, which was generated as an industrial byproduct. The analysis results indicated that the compression strength of the concrete piles increased when 10% to 20% of the cement was replaced with ground granulated blast-furnace slag (GGBS). In addition, the compression strength of the concrete piles was calculated to be 80.6 MPa when 20% of the cement was replaced with GGBS, which was greater by 5% than that of an ordinary Portland cement (OPC) specimen

Keywords : Industrial by-product, High-strength concrete, Compressive strength, Ground granulated blast-furnace slag

1. 서 론

국내의 고강도 콘크리트 말뚝은 1990년대 이후 건설공사가 증가함에 따라 건축물의 대형화, 고층화와 함께 지반강화를 목적으로 사용이 되었으며, 신도시 개발사업 등의 영향으로 인해 고강도 콘크리트 말뚝의 사용량은 연간 450만톤 이상 사용되어지고 있다(Jeon, 2013; Yi et al., 2012). 고강도 콘크리트 말뚝은 원심력을 이용하여 만든 콘크리트로 원심다짐방법은 콘크리트를 고속으로 회전시켜 얻는 강한 원심력으로 콘크리트 중의 기포와 잉여수분을 추출하여 고강도의 치밀한 조직을 얻을 수 있는 방법으로 내구성과 수밀성이 요구되는 콘크리트 파일, 전신주, 흡관 등의 제품에 사용되고 있다(Lee, 2004; Yi et al., 2011).

고강도 콘크리트 말뚝은 압축강도 및 휨과 충격에 대한 저항성이 우수하여 깊은 심도의 말뚝 공사, 본당 장기허용지력의 증가, 시공성 등의 효과가 있다(Lee et al., 2016). 그러나,

고강도 콘크리트 말뚝의 사용량이 증가할수록 제조 시 사용되는 시멘트의 양도 많아지고 있어 이산화탄소 등의 환경문제가 대두되고 있다(Jeon, 2013). 특히, 110MPa 초고강도 콘크리트 말뚝의 사용량이 증가함으로 인해 시멘트의 사용량은 계속적으로 증가하고 있어 콘크리트의 배합관리, 물성 등의 관리가 필요한 실정이다.

이를 개선하고자 산업부산물인 고로슬래그 미분말을 사용하고자 하였다. 고로슬래그 미분말은 그 자체로서는 물과 충분히 반응하지 않지만 NaOH, Ca(OH)₂ 또는 포틀랜드시멘트와 같은 알칼리 분위기 하에서는 반응하여 수경성 시멘트 재료로 유용하게 사용할 수 있다(Chang et al., 2000). 또한, 고로슬래그 미분말은 그 자체가 경화되는 성질은 미약하지만 시멘트 수화물 중 알칼리 자극에 경화하는 잠재 수경성을 가지고 있어, 콘크리트용 혼화제로 사용할 우 콘크리트의 수화발열속도 저감, 온도상승 억제, 장기강도 향상, 수밀성 증대에 의한 내구성 향상 및 염화물 이온 침투억제에 의한 철근의 발청 억제 등의 다양한 효과를 기대할 수 있다(Roy, 2013; Bellman et al., 2009; Kim et al., 2012; Lee et al., 2015). 또한, 고로슬래그 미분말을 사용함으로써 보통포틀랜드시멘트 원료인 석회석을 약 40% 절약할 수 있으며, 석회석 및 에너지의 소비가 적기 때문에 석회석의 열분해나 연료의 연소에 의한 이산화탄소의 배출량저감과 산업부산물의 재이용이 가능하며 환경부하 저감 및 경제적 효과를 기대 할 수 있다(Lee et al.,

¹정회원, (주)자연구조엔지니어링 기업부설연구소 연구소장, 공학박사

²정회원, 우송대학교 건축공학과 교수, 공학박사, 교신저자

³정회원, (주)자연구조엔지니어링 대표이사, 공학박사

*Corresponding author: bhlm@wsu.ac.kr

Department of Architectural Engineering, Woosong University, Dong-Gu, Daejeon, 34606, Korea

•본 논문에 대한 토의를 2020년 **월 **일까지 학회로 보내주시면 2020년 **월호에 토론결과를 게재하겠습니다.

Table 1 Physical properties of used materials

Materials	Physical properties
OPC	Density : 3.15 g/cm ³ , Blaine : 3,500 cm ² /g
GGBS	Density : 2.90 g/cm ³ , Blaine : 4,196 cm ² /g
S	Density : 2.56 g/cm ³ , Absorption ratio : 1.51%
G	Density : 2.67 g/cm ³ , Absorption ratio : 1.39%
AD	Polycarboxylate Superplasticizer

- 1) OPC : ordinary Portland cement,
- 2) GGBS : Ground granulated blast-furnace slag
- 3) S : Fine aggregate
- 4) G : Coarse aggregate

Table 2 Chemical compositions of used materials

Materials	Chemical composition (%)								
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	SO ₃	LOI
OPC	20.7	6.2	3.1	62.2	2.8	0.1	0.9	2.1	1.9
GGBS	32.8	15.6	0.5	43.5	4.4	0.3	0.5	0.1	2.3

2016; Song 2017). 그러나, 기존 연구에서는 고로슬래그 미분말의 적용에 대한 연구내용이 대부분 표준양생 조건에 관한 내용이 주를 이루고 있으며, 증기양생에 대한 연구결과는 상당히 부족한 실정이다. 특히, 증기양생 조건에서도 대부분 압축강도에 관한 내용이 대부분이며 강도가 발현하게 되는 미세구조 및 결정구조 등의 내용은 상당히 부족한 실정이다.

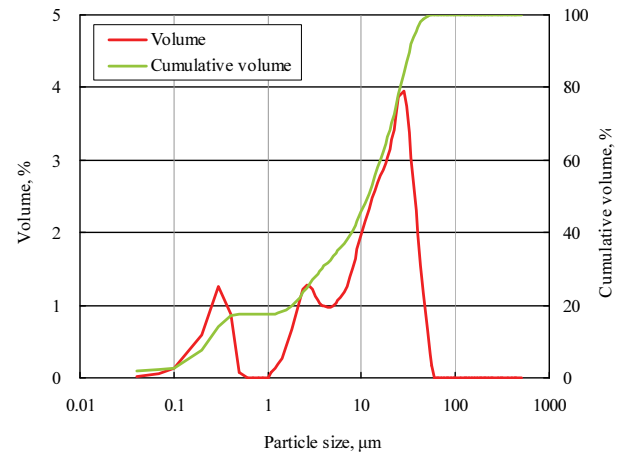
이에 본 연구에서는 증기양생 조건인 고강도 콘크리트 말뚝에 산업부산물인 고로슬래그 미분말의 치환율을 고려하였으며, 압축강도, 휨강도, 응력-변형곡선, 정탄성계수 등의 역학적 특성을 평가하였으며, 압축강도에 대한 분석내용으로 pH와의 관계, 미세구조 등을 검토하고자 하였다.

2. 실험계획 및 방법

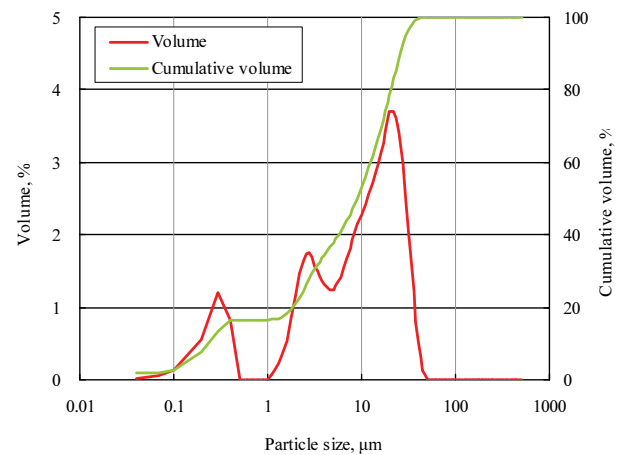
2.1 사용재료

Table 1 및 2는 사용재료의 물리적 성질과 화학조성을 나타낸 것이다. 시멘트는 KS L 5201 「포틀랜드 시멘트」의 1종 보통포틀랜드시멘트로서 밀도 3.15g/cm³, 분말도 3,500cm²/g인 것을 사용하였으며, 고로슬래그는 KS F 2563 「콘크리트용 고로슬래그 미분말」에 준하여 밀도 2.90g/cm³, 분말도 4,196cm²/g인 것을 사용하였다.

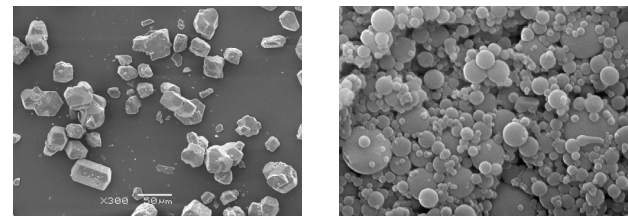
잔골재는 부순골재로서 밀도 2.56g/cm³, 흡수율 1.51%를 사용하였고, 굵은골재는 부순골재로서 밀도 2.67g/cm³, 흡수율 1.39%를 사용하였다. 고성능감수제는 폴리카르본산계를 사용하였으며, 원심성형을 만족하기 위한 최소한의 유동성을



(a) OPC



(b) GGBS

Fig. 1 Particle size distribution of used materials

(a) OPC

(b) GGBS

Fig. 2 SEM

위해 1.2%를 고정으로 사용하였다. Fig. 1는 사용재료의 입도 분포곡선을 나타낸 것이다. 고로슬래그 미분말이 보통포틀랜드시멘트에 비해 2.0~8.0μm의 분포가 더 큰 것을 확인하였다. Fig. 2는 사용재료의 미세구조를 나타낸 것이다.

2.2 실험계획

Table 3은 실험계획을 나타낸 것으로 산업부산물을 활용한

Table 3 Experimental plan

Experimental variables	Experimental level	Evaluation items
Cement type	OPC	- Compressive strength
Replacement ratio of BFS (wt.%)	10	- Flexural strength
	20	- Static modulus of elasticity
	30	- pH
	40	- SEM

Table 4 Mix proportion of concrete

Specimens ID	W/B (%)	S/a (%)	W	Unit weight (kg/m ³)					
				C	B	S	G	AD	
OPC				520	-	646	1179		
HCB10				468	52	644	1177		
HCB20	25.0	36.0	130	416	104	643	1174	6.24	
HCB30				364	156	642	1172		
HCB40				312	208	640	1169		

Table 5 Centrifugal casting conditions

Contents	Low speed	Middle speed	Upper-middle speed	High speed
RPM	130	290	420	690
Time (min.)	3	2	1	5

Table 6 Curing conditions

Contents	Preset period	Heating	Maintenance	Cooling
Curing (°C)	40	80	80	40
Time (Hour)	1	3	5	2

고강도 콘크리트 말뚝의 강도 특성을 평가하기 위해 동일한 조건에서 고로슬래그 미분말의 치환율을 각각 10, 20, 30, 40%로 설정하였다. 평가항목은 압축강도, 휨강도, 응력-변형곡선&탄성계수, pH이며 미세구조는 주사전자현미경(SEM)을 통해 분석하였다. Table 4에 콘크리트 배합을 나타내었다. 콘크리트 배합은 기존 콘크리트 말뚝에 사용되고 있는 80MPa이며, 물결합재비(W/B)는 25%, 잔골재율(S/a)은 36%로 설정하였다. 시멘트의 사용량이 많아 잔골재율(S/a)은 예비평가를 통해 36%로 고정하였다. 단위수량은 130kg/m³로 설정한 후 감수제의 사용량에 따라 조절하였다.

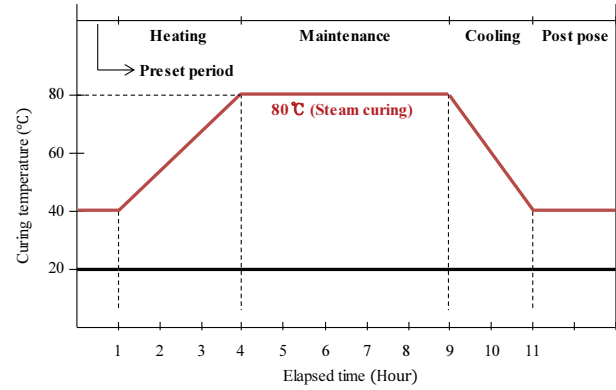


Fig. 3 Curing conditions



Fig. 4 Centrifugal compaction

2.3 시험체 제작 및 실험방법

콘크리트의 비빔은 2축 강제식 믹서를 사용하였으며, 시험체는 「KS F 2454 원심력으로 다져진 콘크리트의 압축강도 시험방법」에 준하여 제작하였다. 콘크리트는 비빔 직후 15.3kg을 계량한 후 원심몰드에 투입하여 Ø200×300mm의 크기로 원심성형을 통해 제작하였다. 원심성형조건은 Table 5에 나타난 바와 같이 저속 3분, 중속 2분, 중고속 1분, 고속 5분의 4단계로 구분하였다. 원심성형이 종료된 시험체는 내부 슬러지를 제거한 후 증기양생을 실시하였다. 양생조건은 Table 6 및 Fig. 3에 나타난 바와 같이 전치 1시간, 승온 3시간, 유지 5시간, 강온 2시간의 조건으로 총 10시간으로 설정하였으며, 시험체의 최고온도는 80°C로 설정하였다. Fig. 4는 실험사진을 나타낸 것이다. 증기양생이 종료된 후에는 온도 20±3°C, 상대습도 60±5%의 항온·항습실 내에서 재령 7일간 양생을 실시하였다. 휨강도 시험체는 KS F 2408 「콘크리트 휨강도 시험방법」에 준하여 □100×100×400mm로 제작한 후 재령 7일간 강도를 식 (1)에 준하여 측정하였다.

$$f_b = pl/bh^2 \quad (1)$$

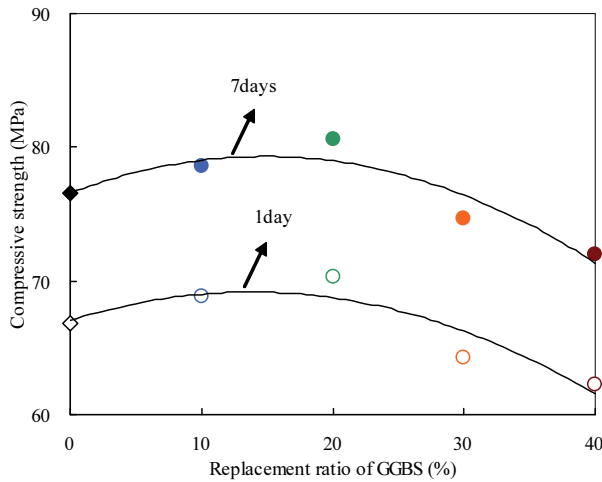


Fig. 5 Compressive strength measurement results of concrete

여기서, f_b 는 휨 강도(MPa), P 는 시험기가 나타내는 최대 하중(N), l 은 지간(mm), b 는 파괴 단면의 너비 (mm), h 는 파괴 단면의 높이 (mm)이다.

정탄성계수는 KS F 2438 「콘크리트 원주 시험체의 정탄성 계수 및 포아송비 시험방법」에 준하여 압축강도 측정시 LVDT와 데이터로거를 사용하여 응력과 변위를 각각 산출한 후 최대응력의 40% 지점에서의 세컨트 모듈러스(Secant Modulus)로 산정하였다. pH는 KS F 2103 「흙의 pH 값 측정 방법」에 준하여 pH메타 / HI-8314N를 사용하여 3개의 값을 평균으로 하였으며 재령 1일, 3일, 7일에 측정하였다. pH의 변화는 기존 연구결과를 바탕으로 참고하였으며, 고로슬래그 미분말의 피막을 pH의 농도에 의해 수화생성물을 용출하는 것을 참고하여 진행하였다(Mun et al., 2006). 시험체의 미세 구조는 주사전자현미경(Scanning electron microscope)을 활용하여 샘플을 백금으로 코팅한 후 가속전압 15 kV로 재령 7일에 관찰하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 압축강도

Fig. 5는 고로슬래그 미분말의 치환율에 의한 고강도 콘크리트 말뚝의 압축강도 시험결과를 나타낸 것이다. 재령 1일 압축강도의 경우 OPC 시험체는 66.8MPa, HCB10 시험체는 68.9MPa, HCB20 시험체는 70.3MPa, HCB30 시험체는 64.3MPa, HCB40 시험체는 62.2MPa로 측정되었다. 따라서, 고로슬래그 미분말을 20% 치환한 HCB20 시험체의 압축강도가 약 5% 증가하여 가장 높은 압축강도를 나타냈으며, 고로슬래그 미분말을 40% 치환한 HCB40 시험체의 압축강도는

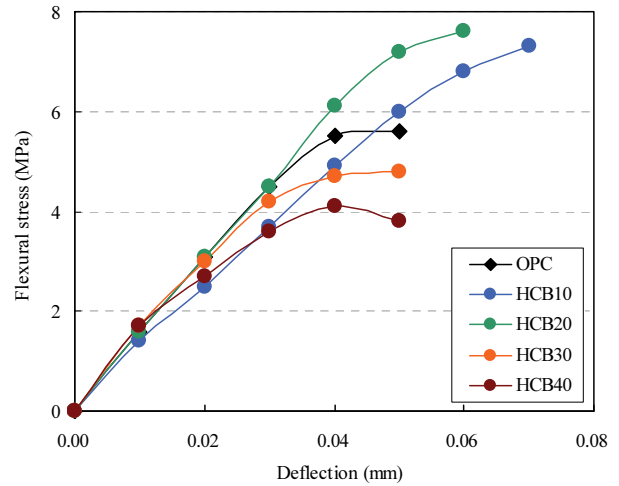


Fig. 6 Flexural strength measurement results of concrete

약 7% 감소하여 가장 낮은 값을 나타내었다. 또한, 재령 7일 압축강도의 경우 OPC 시험체는 76.5MPa, HCB10 시험체는 78.6MPa, HCB20 시험체는 80.6MPa, HCB30 시험체는 74.7MPa, HCB40 시험체는 71.9MPa로 측정되었다. 재령 1일과 거의 유사한 패턴을 보였으며 고로슬래그 미분말을 20% 치환하였을 경우 압축강도가 OPC에 비해 약 5% 증가하여 가장 효과가 큰 것으로 판단된다.

결론적으로, 고로슬래그 미분말을 20%의 범위에서 치환할 경우 압축강도 증가에 유리한 경향을 보였으며, 20%를 초과하는 범위에서는 압축강도가 감소하는 경향을 보여 추가적인 검토가 필요하다고 판단된다. 또한, 산업부산물로 발생하는 다른 혼화제와 110MPa의 초고강도 콘크리트 말뚝, 다양한 콘크리트 2차 제품으로의 검토도 필요한 것으로 판단된다.

3.2 휨강도

Fig. 6은 고로슬래그 미분말의 치환율에 의한 고강도 콘크리트 말뚝의 휨강도 시험결과를 나타낸 것이다. 휨강도 시험 결과는 재령 7일을 기준으로 OPC 시험체는 5.7MPa, HCB10 시험체는 7.3MPa, HCB20 시험체는 7.6MPa, HCB30 시험체는 4.8MPa, HCB40 시험체는 4.1MPa로 측정되었다. 전체적으로 고로슬래그 미분말의 치환율 10~20%까지는 휨강도가 증가하는 경향을 보였으나, 30%~40%의 범위에서는 감소하는 경향을 보였다. 특히, 고로슬래그 미분말을 10% 치환한 시험체가 OPC 시험체 비해 28% 증가하였으며, 20% 시험체는 33% 증가하였다. 한편, HCB40 시험체는 OPC에 비해 약 28% 감소하는 경향을 보였다. 따라서, 고로슬래그 미분말의 치환율 10~20% 범위에서는 압축강도의 증가로 인해 휨강도가 증가하는 경향을 보여 가장 효과적인 것으로 판단된다.

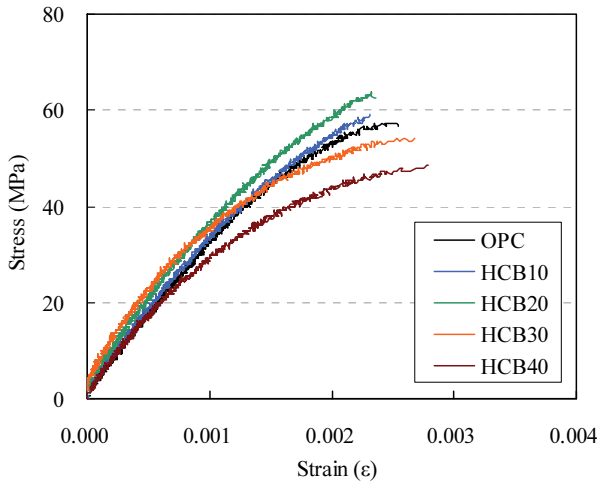


Fig. 7 Stress-strain curve of concrete

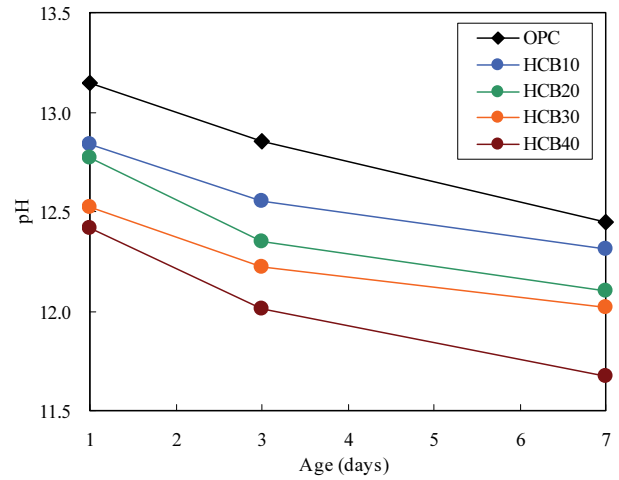


Fig. 9 pH measurement results of concrete

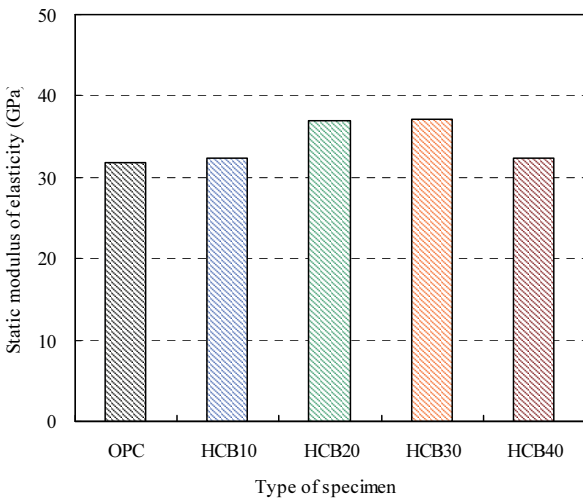


Fig. 8 Elastic modulus of concrete

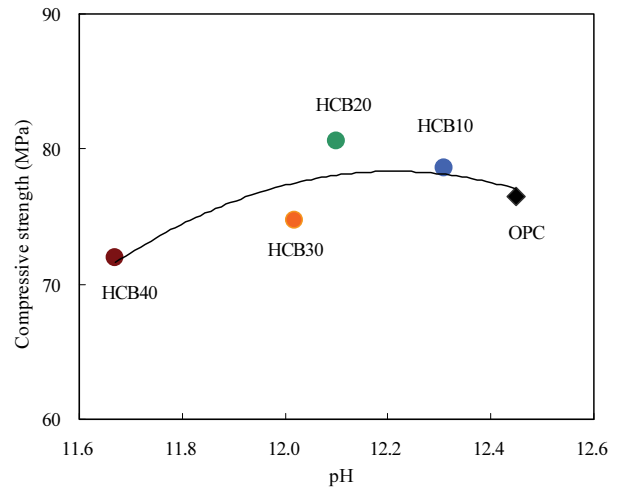


Fig. 10 Compressive strength and pH relationship analysis

3.3 응력변형곡선&정탄성계수

Fig. 7은 고로슬래그 미분말의 치환율에 의한 고강도 콘크리트 말뚝의 응력-변형곡선 시험결과를 나타낸 것이다. 고로슬래그 미분말을 10% 치환한 시험체가 0.00231의 변형값에서 59.3MPa의 압축강도를 나타냈으며, 20% 치환한 시험체가 0.00236의 변형값에서 63.67MPa의 압축강도를 나타냈어 OPC 시험체보다 높은 값을 나타내었다. 그러나, 30% 치환한 시험체가 0.00268의 변형값에서 54.3MPa, 40% 치환한 시험체가 0.00280의 변형값에서 48.7MPa를 나타내었다. 따라서, 고로슬래그 미분말의 치환율이 증가할수록 변형값이 커지는 것을 확인하였다.

Fig. 8은 고로슬래그 미분말의 치환율에 의한 고강도 콘크리트 말뚝의 정탄성계수를 나타낸 것이다. HCB10시험체는

32.4GPa, HCB20 시험체는 36.9GPa를 나타내어 OPC 시험체에 비해 각각 2%, 15% 증가하였다. 또한, HCB30 및 HCB40 시험체의 정탄성계수는 37.2GPa, 32.3GPa를 나타내어 OPC 시험체에 비해 각각 16%, 1% 증가하였다. 전체적으로 고로슬래그 미분말의 치환으로 인해 정탄성계수가 증가하는 것을 확인하였다.

3.4 pH

Fig. 9는 고로슬래그 미분말의 치환율에 의한 고강도 콘크리트 말뚝의 pH 시험결과를 나타낸 것이다. OPC 시험체는 재령 1일 13.15, 재령 3일 12.85, 재령 7일 12.45로 측정되어 총 0.7 감소하였다. HCB10 시험체는 재령 1일 12.84, 재령 3일 12.55, 재령 7일 12.31로 총 0.53 감소하였다. HCB20 시험체

는 재령 1일 12.77에서 재령 7일에서는 12.10으로 감소하였다. 한편, HCB40 시험체는 재령 1일 12.42에서 재령 7일 11.67로 0.75로 가장 크게 감소하였다.

Fig. 10은 pH와 압축강도의 관계를 나타낸 것이다. 고로슬래그 미분말의 치환율이 증가할수록 pH는 감소하는 경향을 보이지만 HCB20 시험체가 가장 높은 압축강도를 나타내고 있으며, 다음으로 HCB10, OPC 시험체 순으로 압축강도를 나타내고 있어 pH와 압축강도는 큰 상관관계가 없는 것으로 판단된다.

기존 연구 결과를 바탕으로 고로슬래그 미분말을 다량으로 치환할 경우 압축강도 증진을 위해 NaOH, Ca(OH)₂와 같은 알칼리 성분을 활용하고 있지만 (Chang et al., 2000) 본 연구와 같이 시멘트에 고로슬래그 미분말을 치환하는 경우에서 pH의 영향이 크지 않고 양생온도에 따른 온도의존성이 더 큰 것으로 예상되며, 양생조건과 고로슬래그 미분말의 관계는 추가 연구가 필요할 것으로 판단된다.

3.5 주사전자현미경 관찰 (SEM)

Fig. 11은 고로슬래그 미분말의 치환율에 의한 고강도 콘크리트 말뚝의 주사전자현미경 관찰 결과를 나타낸 것이다.

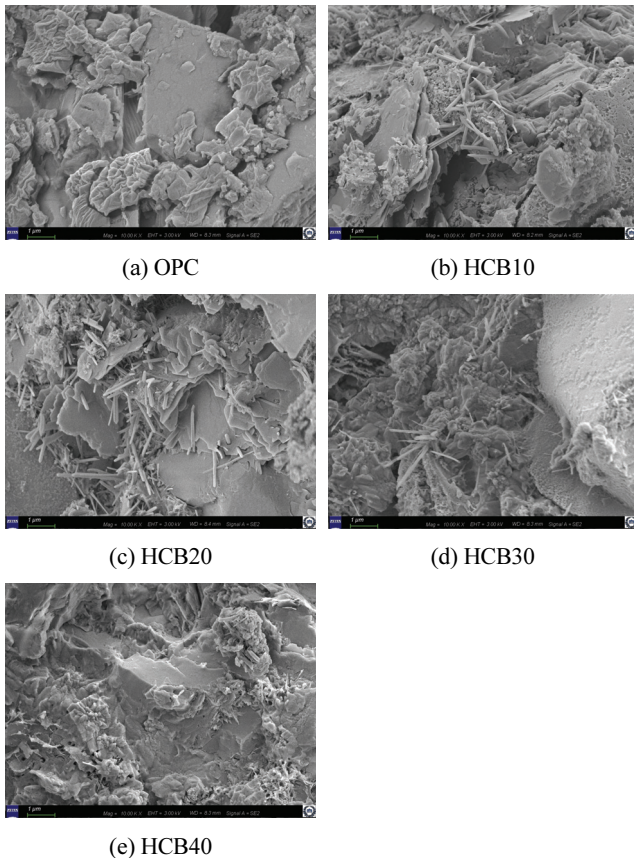


Fig. 11 SEM of concrete (7days)

OPC 시험체는 대부분 겔 형태의 수화생성물을 나타내고 있지만, 고로슬래그 미분말을 치환한 HCB10 시험체에서는 소량의 ettringite가 관찰되었다. 또한, HCB20 시험체에서도 소량의 ettringite, C-S-H, portlandite와 같은 수화생성물이 관찰되었다. 한편, HCB30 시험체에서도 소량의 ettringite가 관찰되었으나, HCB40 시험체에서는 HCB10, HCB20, HCB30 시험체와는 다른 미세구조를 나타내고 있으며, 대부분 겔 형태를 나타내고 있다. 따라서, 고로슬래그 미분말의 치환으로 인해 ettringite를 기준으로 동시에 생성된 C-S-H 등과 같은 수화생성물로 인해 콘크리트 내부 빈 공간을 채워주고 조직이 치밀해져 압축강도에 영향을 준 것으로 판단된다.

4. 결론

본 연구에서는 산업부산물인 고로슬래그 미분말의 치환율에 의한 고강도 콘크리트 말뚝의 강도 특성에 대해 검토하였으며, 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 고로슬래그 미분말을 20% 치환한 경우 고강도 콘크리트 말뚝의 압축강도가 80.6MPa로 가장 높았으며, OPC에 비해 약 5% 증가하는 경향을 보여 가장 효과가 높은 것으로 나타났다.
- 2) 고로슬래그 미분말의 치환율 20%에서 고강도 콘크리트 말뚝의 휨강도가 7.6MPa로 가장 높았으며, 고로슬래그 미분말의 치환율 30~40% 범위에서는 휨강도가 28% 이상 감소하는 경향을 보였다.
- 3) 고로슬래그 미분말의 치환으로 인해 고강도 콘크리트 말뚝의 변형량이 커지는 것을 확인하였으며, 탄성계수의 값도 커지는 것을 확인하였다.
- 4) 고로슬래그 미분말의 치환율이 증가할수록 pH는 감소하는 경향을 보였으나 압축강도는 20% 치환할 경우 가장 높게 측정되어 pH의 영향은 크지 않은 것으로 나타났으며, pH보다 양생온도에 따른 온도의존성이 더 큰 것으로 판단되어 향후 양생조건 및 고로슬래그 미분말의 치환율에 대한 검토가 필요하다고 판단된다.
- 5) 고로슬래그 미분말을 적정 범위까지(20% 이내) 치환할 경우 ettringite 생성량과 함께 C-S-H 등과 같은 수화생성물이 증가하여 콘크리트 내부 빈 공간을 채워주고 조직이 치밀해져 압축강도에 영향을 준 것으로 판단된다.

감사의 글

This study was supported by the university research fund from Woosong University in 2020.

References

1. Jeon, S. H. (2013), The Characteristics of PHC Pile using Admixture by Waste TFT-LCD Glas Powder. Ph.D. dissertation, Chonbuk National University, Department of Architectural Engineering.
2. Yi, S. T., Noh, J. H., and Heo, H. S. (2012), Mixture Study for Early-age Strength Improvement of NAC-typed High-strength Concrete Piles, *Journal of the Korea Institute for Structural Maintenance and Inspection*, 16(2), 58-64.
3. Li, Y. H. (2004), An Experimental Study on Manufacture of the Ultra High-Strength Concrete Pile, A Master's Thesis, Kyungpook National University, Department of Architectural Engineering.
4. Yi, S. T., Noh, J. H., Park, C. J., and Heo, H. S. (2011), A Study for Application of Polycarboxylic Type Admixture to Precast High-Strength Concrete Piles. *Journal of the Korea Institute for Structural Maintenance and Inspection*, 15(1), 263-270.
5. Lee, H. G., Gong, M. H., and Jung, Y. S. (2016), Field Application and Manufacturing Technology of Low Carbon Ultra High Strength Green PHC Pile using High Volume Ground Granulated Blast Furnace Slag, *Magazine of the Korea Concrete Institute*, 28(2), 35-40.
6. Chang, P. K., and Lim, Y. M. (2000), Effect of Chemical Composition on the Latent Hydraulic Activity of Blast Furnace Slag. *Journal of the Korean Ceramic Society*, 37(5), 453-458.
7. Roy, D. M. (1999), Alkali Activated Cements Opportunities and Challenges. *Cement and Concrete Research*, 29(2), 249-254.
8. Bellman, F., and Stark, J. (2009), Activation of Blast Furnace Slag by a New Method. *Cement and Concrete Research*, 39(1), 644-650.
9. Kim, G. Y., Koo, K. M., Nam, J. S., Miyauchi, H., Shin, K. S., and Lee, T. G. (2012), Compressive Strength Development of Blast Furnace Slag Binder Mortar. *Journal of the Architectural Institute of Korea Structure & Construction*, 28(9), 99-106.
10. Lee, S. H., Lee, G. H., Yoo, D. W., Ha, J. H., and Cho, Y. G. (2015), Hydration and Insulation Characteristics of a Ground Granulated Blast Furnace Slag Based Non-Sintered Cement using Circulating Fluidized Bed Combustion Ash as a Activator, *Journal of the Korea Concrete Institute*, 27(3), 244-251.
11. Song, S. H. (2017), A Study on the Evaluation of Practical Application of PHC Pile-Filling Material utilizing High Calcium Fly Ash, A Master's Thesis, Chonbuk National University, Department of Architectural Engineering.
12. Mun, K. J., Lee, C. W., So, S. Y., and Soh, Y. S. (2006), Hydration Reaction of Non-Sintering Cement using Inorganic Industrial Waste as Activator, *Journal of the Korea Concrete Institute*, 18(2), 267-274.

Received : 10/20/2020

Revised : 10/22/2020

Accepted : 11/09/2020

요 지 : 국내 건축물은 지진이나 기초 부동침하 등으로 인해 건물의 기울어짐, 붕괴 등의 문제가 발생하기 때문에 건축물의 지반강화에 대한 필요성이 증가하고 있다. 이에 대한 보강방법으로 깊은 관입량과 지지력 보강에 유리한 고강도 콘크리트 말뚝의 사용량이 증가하고 있으며 나 강도가 부족할 경우 현장타설 시 두부 파손 등의 문제가 발생할 수 있어 강도에 대한 철저한 유지관리가 필요한 실정이다. 이에 본 연구에서는 산업부산물인 고로슬래그 미분말을 치환한 고강도 콘크리트 말뚝의 강도 특성에 대해 검토하였다. 그 결과, 고로슬래그 미분말을 10~20% 치환할 경우 압축강도가 증가하였으며, 20% 치환시 압축강도는 80.6MPa로 OPC 시험체에 비해 5% 증가하는 것을 확인하였다.

핵심용어 : 산업부산물, 고강도 콘크리트, 압축강도, 고로슬래그 미분말
