

# 고로슬래그 미분말을 다량 치환한 콘크리트의 초기품질에 미치는 온도의존성

## Temperature Dependency Affecting the Properties at Early Age of the Concrete Containing High Volume Blast Furnace Slag

(2009년 3월 24일 원고접수, 2009년 5월 28일 심사완료 / Received March 24, 2009, Accepted May 28, 2009)

한천구<sup>1)\*</sup>, 이장화<sup>2)</sup>, 고경택<sup>2)</sup>, 한민철<sup>1)</sup>, 이주선<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup>청주대학교 건축공학과

<sup>2)</sup>한국건설기술연구원 구조연구부

Cheon-Goo Han<sup>1)</sup>, Jang-Hwa Lee<sup>2)</sup>, Kyung-Taek Koh<sup>2)</sup>, Min-Cheol Han<sup>1)</sup>, Ju-Sun Lee<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup> Division of Architectural Engineering Cheongju Univeristy, Cheongju, 360-764, Korea

<sup>2)</sup> Korea Institute of Construction Technology, Koyang, 411-712, Korea

### Abstract

This study analysis the fundamental properties of temperature-dependence corresponding the change of curing temperature classified by the replacement ratio of BS, and the results are summarized as following. As the properties of flow, plain satisfied with the target slump, and as the replacement ratio of BS increased, the flow increased, but the air content slightly decreased. The time of set delayed as the replacement ratio of BS increased, but the curing temperature 35°C, even with 80% BS replaced concrete, the time of set was faster than 5°C, 20°C plain, so the temperature-dependence was much greater. The compressive strength was decreased as the replacement ratio of BS increased, especially as the curing temperature lower, the compressive strength was lower comparatively. Also as the age increased, the plain developed more strength, therefore it show the temperature-dependence is much larger.

키워드 : 고로슬래그 미분말, 온도의존성, 응결시간, 압축강도

Keywords : Blast Furnace Slag, Temperature Dependency, Setting time, Compressive strength

## 1. 서론

최근 콘크리트 산업에서는 천연자원의 고갈 및 환경오염방지 등의 문제가 중요하게 대두되고 있는데, 이에 대한 해결책으로는 화력발전소에서 발생하는 플라이애시, 철강산업에서 발생하는 고로슬래그 등 산업부산물을 콘크리트용 혼화제로 적극 활용하는 것이 하나의 방법이 될 수 있다.

특히, 저렴한 원재료비에 의한 경제적인 측면과 콘크리트의 효율적인 품질향상을 기대할 수 있는 고로슬래그 미분말(이하 BS)은 최근 그 사용량이 점차 증가하고 있는 추세인데, 이러한 BS는 콘크리트의 수밀성, 내구성 향상 및 장기강도 증진 등 우수한 효과를 발휘하는 반면, 응결지

연, 초기강도 저하 등 초기품질에 미치는 온도 영향의 문제점이 제기되어 다량 사용은 어려운 실정이다.

그러므로, 본 연구에서는 자원 고갈 및 환경문제 해소를 목적으로 BS의 치환율 변화 및 양생온도 변화에 따른 콘크리트의 응결 및 초기 강도 등 초기품질특성을 검토하여 그 문제점을 도출한 다음 차후 연구에서는 BS를 다량 사용하는 방안에 대하여도 제안하고 한다.

## 2. 실험계획 및 방법

### 2.1 실험계획

본 연구의 실험계획은 Table 1과 같고, 콘크리트의 배합사항은 Table 2와 같다.

먼저, W/B는 50% 1수준에 대하여, BS의 치환율은 0%(플레인), 20%, 40%, 60%, 80%의 5수준, 양생온도

\*Corresponding author

E-mail : cghan@cju.ac.kr

Table 1. 실험계획

실험요인		실험수준	
배합사항	W/B(%)	1	50
	목표 슬럼프(mm)	1	120±25
	목표 공기량(%)	1	4.5±1.5
	BS 치환율(%)	5	0, 20, 40, 60, 80
	양생온도(°C)	3	5, 20, 35
실험사항	굳지않은 콘크리트	5	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 슬럼프</li> <li>· 슬럼프플로우</li> <li>· 공기량</li> <li>· 단위용적질량</li> <li>· 응결시간</li> </ul>
	경화 콘크리트	1	· 압축강도(1, 3, 7, 28일)

는 5, 20, 35°C의 3수준으로 변화시켜 총 15배치를 실험 계획 하였다. 이때, 플레인 콘크리트에 한해서 목표 슬럼프 120±25mm, 목표 공기량 4.5±1.5%를 만족하도록 배합설계한 후 실험변수별 동일한 배합조건을 적용하였다.

실험사항으로 굳지않은 콘크리트에서는 슬럼프, 슬럼프 플로우, 공기량, 단위용적질량 및 응결시간을 측정하는 것으로 하고, 경화 콘크리트에서는 계획된 재령에 따라 압축 강도를 측정하는 것으로 하였다.

## 2.2 사용재료

본 실험에 사용한 재료로서 시멘트는 국내산 보통 포틀랜드 시멘트를 사용하였는데, 그 물리적 성질은 Table 3 과 같다. 혼화제로서 BS는 국내 K사산을 사용하였는데, 그 물리·화학적 성질은 Table 4와 같다. 골재로서 잔골재와 굵은골재는 모두 충북 청원군 옥산산을 사용하였고, 그 물리적 성질은 Table 5와 같다. 또한 혼화제로서 고성능감수제는 국내 E사산 나프탈렌계, AE제는 국내 E사산 음이온계를 사용하였으며, 그 물리적 성질은 Table 6과 같다.

Table 2. 콘크리트의 배합표

구분	W/B (%)	W (kg/m <sup>3</sup> )	S/a (%)	AE/C (%)	SP/C (%)	BS 치환율 (%)	용적배합(ℓ/m <sup>3</sup> )				
							W	C	BS	S	G
BS 0	50	182	47	0.012	0.65	0	182	116	0	309	348
BS20						20	182	93	25	308	347
BS40						40	182	69	50	307	346
BS60						60	182	46	76	306	345
BS80						80	182	23	101	305	344

## 2.3 실험방법

본 연구의 실험방법으로 콘크리트는 트윈샤프트 믹서를 이용하여 fig. 1과 같이 혼합하였다. 굳지않은 콘크리트의 실험으로, 슬럼프는 KS F 2402, 슬럼프 플로우는 KS F 2594, 공기량은 KS F 2421, 단위용적질량은 KS F 2409, 응결시간은 KS F 2436의 관입 저항침에 의한 콘크리트의 응결시간 시험방법에 의거 실시하였다.

경화 콘크리트의 실험으로, 압축강도는 KS F 2405의 규정에 의거 실시하였다.

Table 3. 시멘트의 물리적 성질

밀도 (g/cm <sup>3</sup> )	분말도 (cm <sup>2</sup> /g)	안정도 (%)	응결시간(분)		압축강도(MPa)		
			초결	종결	3일	7일	28일
3.15	3,144	0.18	230	375	20.9	28.4	38.9

Table 4. BS의 물리·화학적 성질

밀도 (g/cm <sup>3</sup> )	분말도 (cm <sup>2</sup> /g)	염기도	강열감량 (%)	MgO (%)	SO <sub>3</sub> (%)	Cl (%)
2.90	4,254	1.91	0.23	5.26	1.95	0.002

Table 5. 골재의 물리적 성질

구분		밀도 (g/cm <sup>3</sup> )	조립률	흡수율 (%)	단위용적 질량 (kg/m <sup>3</sup> )	0.08mm체 통과량 (%)
잔 골재	강모래	2.58	2.21	0.46	1,518	0.30
	부순모래	2.58	3.26	0.46	1,684	0.32
굵은골재		2.62	6.48	0.58	1,564	0.40

Table 6. 혼화제의 물리적 성질

구분	주성분	형태	색상	밀도(g/cm <sup>3</sup> )
고성능감수제	나프탈렌계	액상	암갈색	1.05
AE제	음이온계	액상	미백색	1.04

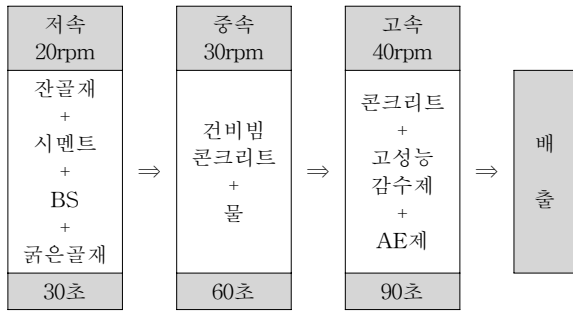


fig. 1 콘크리트의 혼합

### 3. 실험결과 및 분석

#### 3.1 굳지않은 콘크리트의 특성

fig. 2, fig. 3은 BS 치환율 변화에 따른 슬럼프 및 슬럼프 플로우를 나타낸 그래프이다.

먼저, Plain 배합은 배합설계에 의해 목표 슬럼프를 만족하는 것으로 나타났고, BS 치환율이 증가할수록 유동성은 Plain에 비해 26%까지 증가하는 것으로 나타났는데, 이는 BS의 입자 표면이 시멘트 입자의 표면에 비해서 치밀하고 매끈하므로써 페이스트와 골재 계면의 마찰이 작아지는 것에 기인한 것으로 분석된다. 또한 슬럼프 플로우는 슬럼프와 유사한 경향으로 BS 치환율이 증가할수록 유동성이 증가하는 것으로 나타났다.

fig. 4, fig 5는 BS 치환율 변화에 따른 공기량 및 단위용적질량을 나타낸 그래프이다.

먼저, Plain은 목표 공기량을 만족하는 것으로 나타났고, BS 치환율이 증가할수록 공기량은 미세한 입자 보충으로 미세하게나마 감소하는 것으로 나타났다. 단위용적질량은 전반적으로 공기량과 반대의 경향을 나타내었다.

fig. 6, fig. 7은 양생온도 및 BS 치환율별 경과시간에 따른 관입저항치로 초결 및 종결시간을 나타낸 그래프이다.

먼저, 양생온도 5°C의 경우 Plain에 비해 BS 치환율이 증가할수록 응결이 비례적으로 지연되게 나타났다. 즉, Plain은 초결시간이 14.3시간, 종결시간이 19.3시간으로 나타났으나, BS 치환율 80%인 경우 초결시간은 28.3시간, 종결시간은 49.3시간으로 초결은 약 14시간, 종결은 약 30시간으로 크게 지연되었다. 이는 BS 입자가 물과 접촉하면 ASH6의 불투수성 피막을 형성하게 되는데, 이 피막이 물의 침투와 입자내부의 이온용출을 억제하여 수화 반응을 지연시킨 것으로 분석된다. 또한, 양생온도 20°C 및 35°C의 경우, BS 치환율 변화에 따른 응결시간은 양생

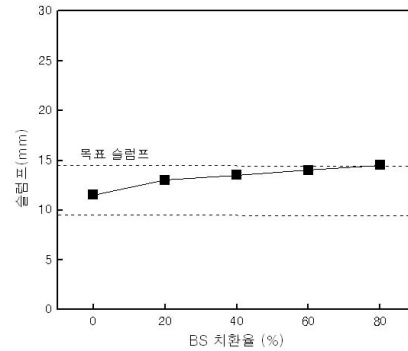


fig. 2 BS 치환율 변화에 따른 슬럼프

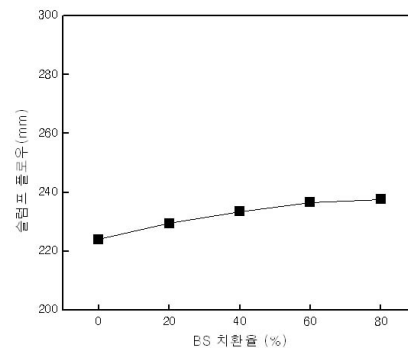


fig. 3 BS 치환율 변화에 따른 슬럼프 플로우

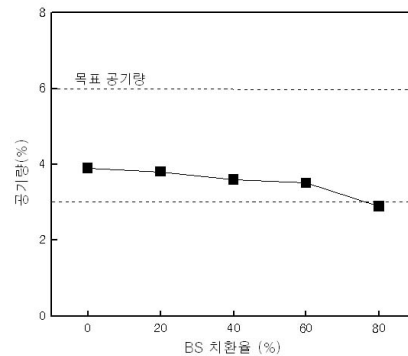


fig. 4 BS 치환율 변화에 따른 공기량

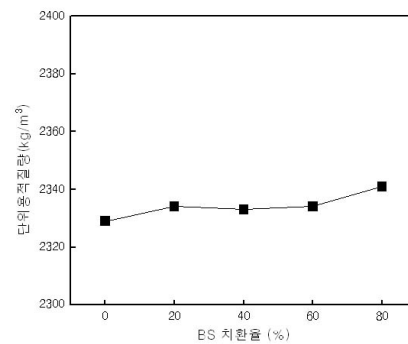


fig. 5 BS 치환율 변화에 따른 단위용적질량

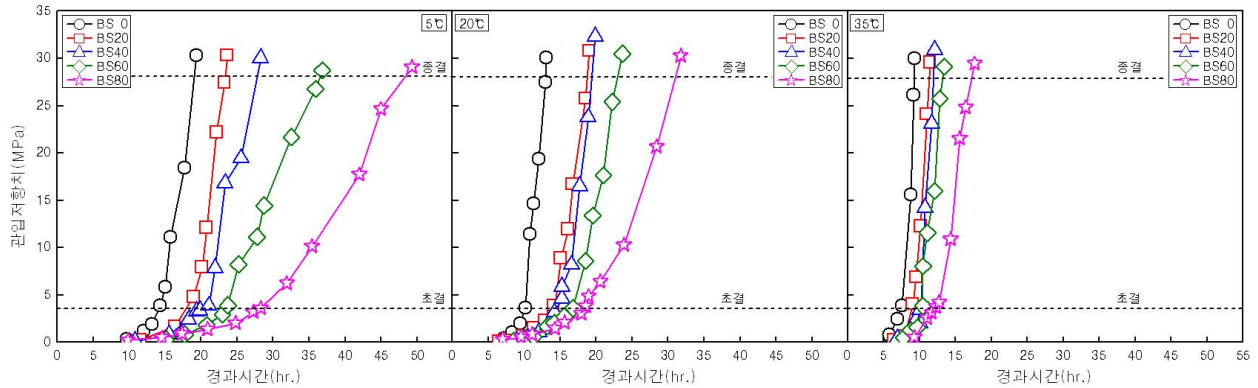


fig. 6 양생온도 및 BS 치환율별 경과시간에 따른 관입저항치

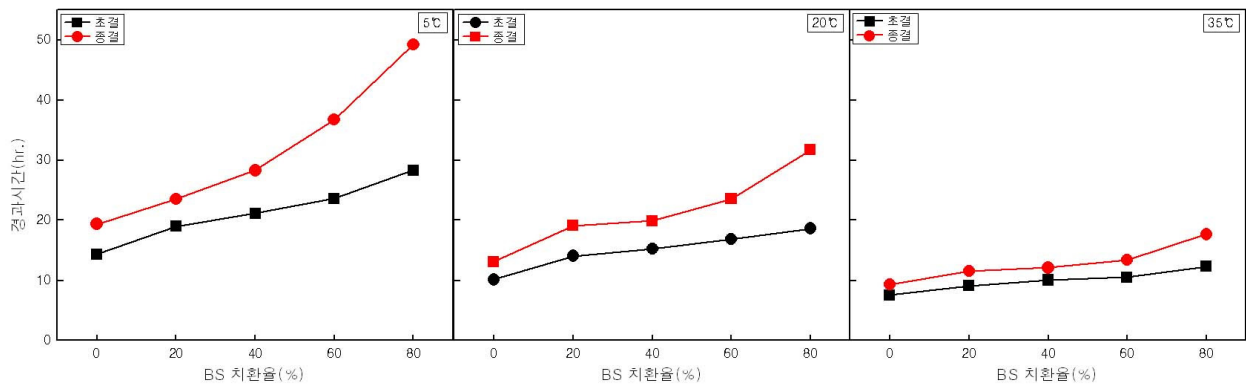


fig. 7 양생온도 및 BS 치환율별 경과시간에 따른 초결 및 종결시간

온도 5°C와 전반적으로 유사한 경향을 나타내었으나, 양생온도가 높아질수록 BS 치환율 증가에 따른 응결지연 폭은 상당부분 감소함을 알 수 있었다. 양생온도 20°C 및 35°C의 경우 초결 및 종결 시간은 양생온도 5°C에 비해 각각 약 16시간 전후, 32시간 전후 단축되는 것으로 나타났다. 이는 초기의 양생온도가 높을수록 빠른 수화반응을 일으켜 이산화 물질 등 자극제가 고로슬래그 미분말 표면의 박막을 파괴시켜 잠재수경성 반응을 유도하여 응결이 빠르게 진행된 것으로 판단된다.

Table 7. BS 치환율 변화에 따른 응결시간 회귀분석

구분	온도(°C)	T=aM <sub>BS</sub> +b		상관계수 R
		a	b	
초결	5	0.163	14.274	0.996
	20	0.096	10.872	0.969
	35	0.058	7.494	0.987
종결	5	0.359	16.618	0.974
	20	0.202	12.884	0.960
	35	0.089	9.066	0.950

fig. 8, fig. 9는 양생온도별 BS 치환율에 따른 초결 및 종결시간을 나타낸 그래프이고, Table 7은 그에 따른 회귀분석한 결과를 나타낸 것이다.

전반적으로 양생온도가 증가할수록 BS 치환율 변화에 따른 회귀식 기울기가 완만한 것으로 나타났고, 양생온도가 높을수록 응결시간이 단축되는 것으로 나타났다.

Table 7과 같이 회귀분석을 실시한 결과 초결시간의 상관계수는 0.969 이상, 종결시간의 상관계수는 0.950 이상으로 양호한 상관성을 확인할 수 있었다.

이식을 이용하여 목표 양생온도와 BS 치환율을 결정하면 응결시간의 예측이 가능 할 수 있는데, 이를 이용하면 실무의 효율적인 초기품질 관리가 가능할 것으로 사료된다.

### 3.2 경화 콘크리트의 특성

fig. 10은 양생온도 및 BS 치환율별 재령경과에 따른 압축강도를 나타낸 것이고, fig. 11는 양생온도 및 재령별 BS 치환율에 따른 압축강도를 나타낸 것이며, fig. 12는 양생온도 및 재령별 BS 치환율에 따른 압축강도 백분율을

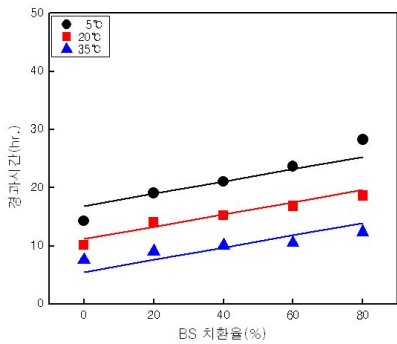


fig. 8 양생온도별 BS 치환율에 따른 초결시간

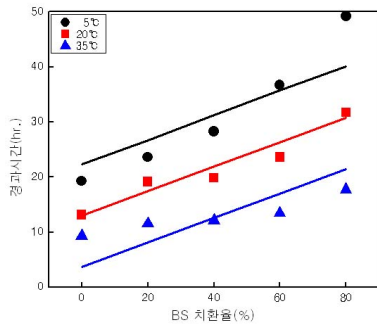


fig. 9 양생온도별 BS 치환율에 따른 종결시간

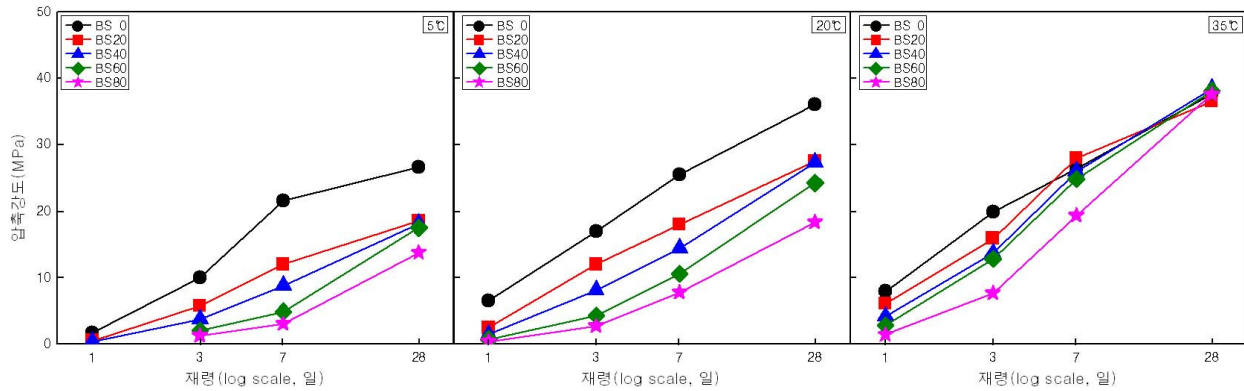


fig. 10 양생온도 및 BS 치환율별 재령에 따른 압축강도

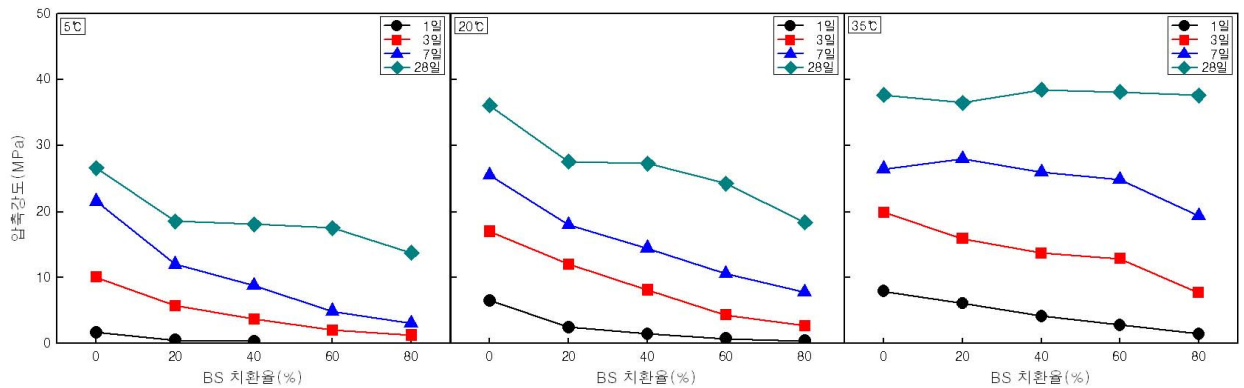


fig. 11 양생온도 및 재령별 BS 치환율에 따른 압축강도

나타낸 그래프이다.

먼저, 양생온도 5°C의 경우 초기재령 1일에서 Plain의 압축강도는 1.7MPa를 발현하였고, BS 치환율이 증가함에 따라서는 치환율 20%에서 0.5MPa, 40%에서 0.4MPa로 비례적으로 저하하였다. 또한, 치환율 60%, 80%의 경우는 Plain 배합에 비해 시멘트의 양이 현저히 감소됨에 따라 콘크리트내의 C<sub>3</sub>A, C<sub>3</sub>S의 양이 감소로 수화반응 및 응결이 지연되어 압축강도 측정이 불가능 하였다. 한편, BS의 치환율 변화에 따른 압축강도는 재령 3일 및 7일의 경우 역시 1일과 유사한 경향으로 BS의 치환율이 증가 할 수록 저하 하는 것으로 나타났으나, 재령 28일에서는 Plain의 약 51.8%의 수준까지 어느 정도 증가하는 것을 알 수 있었다.

반면에, 양생온도 20°C 및 35°C의 경우, BS 치환율 증가에 따른 압축강도 저하율이 크게 나타났는데, 즉, 양생온도 20°C인 1일의 경우 BS 치환율 변화에 따라 Plain의 약 6.8 ~ 38.1% 발현하는 것으로 나타났고, 재령 28일에서는 50 ~ 76% 정도 발현하였다. 양생온도 35°C의 경우는 초기재령에서는 Plain보다 낮은 압축강도를 발현하였으나,

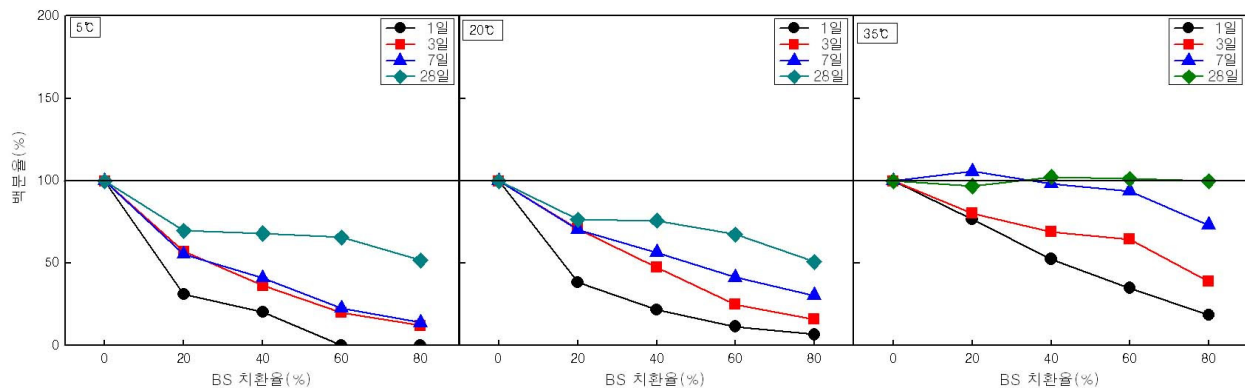


fig. 12 양생온도 및 재령별 BS 치환율에 따른 압축강도 백분율

재령 7일에서 치환율 20%, 40%는 Plain에 비해 다소 높은 강도를 발현하였고, 재령 28일에서는 치환율 변화에 따른 배합 모두 Plain 강도보다 유사하거나, 다소 높은 강도를 발현하고 있는 것으로 나타났다. 이는 양생온도가 높을수록 BS의 잠재수경성 반응의 촉진에 기인한 것으로 사료된다.

#### 4. 결론

본 연구는 BS를 다량 치환한 콘크리트의 양생온도에 따른 초기품질특성을 검토하여, 온도의존성을 분석한 것으로, 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

- 1) 굳지않은 콘크리트의 특성으로 BS 치환율이 증가할수록 유동성은 증가하고, 공기량은 미세하게 감소하는 것으로 나타났다.
- 2) 응결시간은 전반적으로 BS 치환율이 증가할수록 양생온도가 낮을수록 지연되는 것으로 나타났는데, 단, 양생온도 35°C의 경우 BS 치환율 80%인 경우라도 5°C, 20°C의 Plain에 비해 응결시간이 크게 촉진되는 것으로 나타나, 온도의존성이 매우 큰 것을 알 수 있었다.
- 3) 양생온도별 BS 치환율 변화에 따른 응결시간을 예측할 수 있는 회귀식을 Table 7에 제안함으로써 합리적인 초기품질 관리의 가능성을 제안하였다.
- 4) 압축강도는 전반적으로 BS 치환율이 증가하고 양생온도가 낮아질수록 초기 압축강도는 비례적으로 저하하였는데, 양생온도가 높을수록 BS 치환율 증가에 따른 강도 저하폭이 상당부분 감소하여, 역시 온도의존성이 매우 중요함을 알 수 있었다.

#### 참고문헌

1. 한천구, 황인성, 이승훈, 김규동, “콘크리트의 초기 강도발현에 미치는 혼화재료의 영향”, 대한건축학회 논문집 구조계, 제19권, 제9호, pp. 95 ~ 102, 2003.
2. 김종, 송승헌, 전충근, 신동안, 한민철, 한천구, “혼화제 종류 및 치환율 변화에 따른 콘크리트의 응결 및 강도 발현특성”, 대한건축학회 학술발표대회 논문집, 제24권, 제2호, pp. 499 ~ 502, 2004.
3. 이상수, 송하영, “고로슬래그 미분말을 사용한 고성능 콘크리트의 역학특성 및 내구특성에 관한 실험적 연구”, 대한건축학회논문집 구조계, 제23권, 제11호, pp. 119 ~ 126, 2007.
4. 박우신, 조재우, 김영근, 김대영, “고로슬래그콘크리트의 초기강도 증진에 관한 실험적 연구”, 대한건축학회 가을학술발표회 논문집, pp. 293 ~ 296, 1999.
5. 한민철, “고로슬래그를 사용한 초지연 콘크리트의 응결 시간 예측”, 대한건축학회논문집 구조계, 제22권, 제12호, pp.87 ~ 95, 2006.
6. 김무한, 김규용, 조봉석, 나성철, 김영덕, “고로슬래그 미분말을 대량 활용한 콘크리트의 공학적 특성 및 내구특성에 관한 실험적 연구”, 대한건축학회논문집 구조계, 제23권, 제3호, pp. 61 ~ 68, 2007.
7. 황인태, 김태식, 박용모, 소승영, 소양섭, “초기 고강도 고로슬래그 시멘트의 개발”, 대한건축학회 가을학술발표회 논문집, pp. 823 ~ 828, 1999.
8. 변근주, 박성준, 하주형, 송하원, “고로슬래그미분말 콘크리트의 초기재령특성과 중성화에 관한 연구”, 대한건축학회 가을학술발표회 논문집, pp. 107 ~ 110, 1999.

9. 김현태, 김주상, 이상수, 송하영, 김을용, “고로슬래그 미분말을 사용한 고성능콘크리트의 유동특성 및 강도 특성에 관한 실험적 연구”, 대한건축학회 학술발표대회 논문집, 제26권, 제1호, 425 ~ 428, 2006.
10. 이제방, 김재신, 소승영, 소양섭, “고로슬래그 시멘트의 초기강도 발현에 있어서 수산화칼슘의 영향”, 한국콘크리트학회 봄 학술발표회 논문집, pp. 64 ~ 69, 1999.
11. 한천구, 한민철, “콘크리트의 배합요인이 건조수축에 미치는 영향”, 대한건축학회논문집 구조계, 제19권, 제2호, pp. 67 ~ 74, 2003

### 고로슬래그 미분말을 다량 치환한 콘크리트의 초기품질에 미치는 온도의존성

본 연구는 BS를 다량 치환한 콘크리트의 양생온도에 따른 초기품질특성을 검토하여, 온도의존성을 분석한 것으로, 그 결과를 요약하면 다음과 같다. 먼저, 굳지않은 콘크리트의 특성으로 BS 치환율이 증가할수록 유동성은 증가하고, 공기량은 미세하게 감소하는 것으로 나타났다. 응결시간은 전반적으로 BS 치환율이 증가할수록 양생온도가 낮을수록 지연되는 것으로 나타났는데, 단, 양생온도 35℃의 경우 BS 치환율 80%의 경우라도 5℃, 20℃의 Plain에 비해 응결 시간이 크게 촉진되는 것으로 나타나, 온도의존성이 매우 큰 것을 알 수 있었다.

경화 콘크리트의 특성으로 압축강도는 전반적으로 BS 치환율이 증가하고 양생온도가 낮아질수록 초기 압축강도는 비례적으로 저하하였는데, 양생온도가 높을수록 BS 치환율 증가에 따른 강도 저하폭이 상당부분 감소하여, 역시 온도의존성이 매우 중요함을 알 수 있었다.