Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society
Vol. 17, No. 5 pp. 688-696, 2016

http://dx.doi.org/10.5762/KAIS.2016.17.5.688
ISSN 1975-4701 / eISSN 2288-4688

서중 외기온도 조건에 따른 80 MPa 고강도콘크리트의 특성

정용욱[1], 이승한[2*]
[1]계명대학교 첨단건설재료실험센터, [2]계명대학교 토목공학과

Characteristics of the 80MPa High Strength Concrete according to the Hot Weather Outside Temperature conditions

Yong-Wook Jung[1], Seung-Han Lee[2*]
[1]**Advanced Construction Materials Testing Center, Keimyung University**
[2]**Department of Civil Engineering, Keimyung University**

요 약 본 연구에서는 하절기 서중 온도조건이 80MPa 고강도콘크리트의 특성에 미치는 영향을 검토한 것으로 외기온도 조건 20℃, 30℃, 40℃에서 슬럼프플로, 충전성, 응결시간, 수화열 및 압축강도 발현 등의 특성을 평가하였다. 실험결과 온도조건별 고강도콘크리트의 슬럼프 플로와 500mm도달 속도 및 경시변화는 외기온도 20℃기준으로 온도가 10℃ 상승시마다 외기온도 상승의 영향으로 급격한 슬럼프로스발생 시점을 약 30분 정도 앞당기는 것으로 나타났다. 응결시간은 외기온도 20℃의 경우 초결 7시간, 종결 12시간으로 나타났으며, 30℃에서는 초결 1시간, 종결 3시간, 40℃에서는 초결 2시간, 종결 5시간정도 단축시키는 것으로 나타났다. 또한 외기온도 조건에 따른 고강도콘크리트의 수화발열 특성은 외기온도 20℃와 30℃에서는 최고온도 발현시간과 타설 깊이별 최고온도 등이 유사하게 나타났으나 외기온도 40℃에서는 최고온도 발현시간이 약 4시간 빠르게 나타났으며, 타설 깊이별 최고온도는 평균 약 12℃정도 높게 나타났다. 이와 같이 서중환경에서 제조, 시공되는 고강도콘크리트는 외기온도 조건에 따라 굳지 않은 콘크리트의 유동성, 충전성 및 경시변화 등의 특성이 상이하므로 외기온도의 영향을 고려한 작업성, 수화열에 의한 온도균열, 강도발현 특성 등의 검토를 통한 품질관리가 필요하다.

Abstract This paper evaluates the effect of hot weather conditions on the fresh concrete characteristics of 80-MPa high-strength concrete. The slump flow, packing ability, setting time, hydration heat, and compressive strength were evaluated under exterior temperatures of 20℃, 30℃, and 40℃. The slump flow, arrival speed of 500 mm, and their changes with the elapsed time were found to bring the occurrence of rapid slump loss forward by about 30 minutes when increasing the temperature by 10℃ from 20℃. The initial and final setting times of the concrete at 20℃ were 7 hours and 12 hours, which were reduced by 1 hour and 3 hours at 30℃ and by 2 hours and 5 hours at 40℃, respectively. The hydration heat characteristics at 20℃ and 30℃ were similar in terms of the highest temperature of the concrete casting depth and the time when the maximum temperature occurred. However, at 40℃, the maximum temperature occurred about 4 hours earlier, and the highest temperature per the concrete casting depth increased by about 12℃. Therefore, it is concluded that the characteristics can vary according to the exterior temperature. Thus, quality assurance should consider workability, temperature cracks due to hydration heat, the properties of strength development, and other characteristics.

Keywords : Hot weather, Exterior temperature, High strength, Elapsed time change

본 논문은 국토교통부의 재원으로 국토교통과학기술진흥원(KAIA)의 연구비지원(과제번호 : 13건설연구A02)에 의해 수행되었음.
*Corresponding Author : Seung-Han Lee(Keimyung University)
Tel: +82-53-580-6708 email: lsh@kmu.ac.kr
Received April 5, 2016 Revised April 26, 2016
Accepted May 12, 2016 Published May 31, 2016

1. 서론

최근 건설공사의 대형화 및 고층화에 따른 사회적 요구에 의해 고강도크리트의 사용이 증가하고 있다[1, 2]. 고강도콘크리트의 사용은 초고층 및 초대형 건설구조물 공사가 주요 대상으로 고강도콘크리트가 필요한 건설공사에서는 공기의 중요성이 강조됨에 따라 계절조건에 관계없이 연중시공이 필수적으로 하절기 서중 환경에서도 콘크리트를 타설하는 경우가 증가하고 있다[3].

콘크리트는 환경적 요인에 크게 영향을 받는 재료로서 높은 기온, 낮은 상대습도 및 빠른 풍속 등이 복합적으로 작용할 경우에는 굳지 않은 콘크리트 및 경화 후 콘크리트의 특성 등 콘크리트의 품질에 악영향을 미치게 된다[4,5]. 특히 서중환경에서 고강도콘크리트의 타설시 외기온도가 높아 소요워커빌리티를 얻기 위한 단위수량의 증가, 운반 중의 슬럼프저하, 조기응결, 수화열에 의한 온도균열, 장기강도의 감소 등 콘크리트의 품질저하가 발생하게 된다[6].

이와 같이 계절 변화에 따른 기후변화가 뚜렷한 국내 환경조건 하에서 증대되고 있는 서중환경에서의 고강도콘크리트의 공사수요 등을 고려하여 하절기 외기환경 조건하에서 고강도콘크리트의 유동성, 수화열 및 강도 등의 특성에 미치는 영향을 검토하는 것은 고강도콘크리트 구조물의 품질 및 신뢰성 확보 측면에서도 매우 중요하다. 또한 국내 우수한 고강도콘크리트 제조기술을 국외의 서중 기후지역으로 기술수출 등을 위해서도 검토할 필요가 있다.

이에 본 연구에서는 하절기 서중환경에서 타설되는 고강도크리트의 작업성 및 품질관리를 위하여 하절기 서중 온도조건에서 80MPa 고강도크리트의 특성에 미치는 영향을 평가하였다. 하절기 최고 온도조건은 우리나라의 여름철 최고기온 및 베트남 하노이의 평균온도 30℃~40℃를 기준으로 20℃, 30℃, 40℃의 온도조건으로 하였으며, 각 온도조건에서 고강도콘크리트의 슬럼프 플로, U형 충전고차, V-Lot 등의 경시변화와 응결시간, 수화발열 및 강도 특성 등을 검토하였다. 이와 같이 본 연구는 서중 환경이 80MPa 고강도콘크리트의 경화전 제 특성에 미치는 영향을 정량적으로 평가함으로써 서중환경에서 고강도콘크리트의 품질관리를 위한 기초자료를 제시하고자 하였다.

2. 실험개요

2.1 사용재료

2.1.1 시멘트

80MPa 고강도콘크리트 배합에 사용된 시멘트는 밀도 3.15g/cm^3, 분말도 3,302cm^2/g인 A사의 보통포틀랜드 시멘트로 사용시멘트의 물리적 특성은 Table 1과 같다.

Table 1. Physical properties of cement

Density (g/cm^3)	Fineness (cm^2/g)	Sound-ness (%)	Setting time (Min,)		Compressive strength (MPa)	
			Initial	Final	3days	28days
3.15	3,302	0.08	208	351	20.4	38.7

2.1.2 고로슬래그 및 플라이애시

사용 분체로 분말도 4,500cm^2/g인 충남 당진산 고로슬래그와 분말도 3,368cm^2/g인 보령산 플라이애시를 사용하였으며, 물리·화학적 성질을 Table 2에 나타내었다.

Table 2. Chemical composition and physical properties of binder

Classification	Density (g/cm^3)	Fineness (cm^2/g)	Ig.loss (%)	Hygroscopic moisture (%,)	SiO_2 (%)
Fly ash	2.21	3,368	4.0	0.1	51.30
Blast furnace slag	2.91	4,500	2.1	-	35.08

2.1.3 골재

잔골재는 밀도 2.61g/cm^3, 조립률 2.67인 경북 성주산 강모래로 표준입도범위를 만족하도록 조정하여 사용하였으며, 굵은 골재는 밀도 2.67g/cm^3, 조립률 6.91인 충북 제천산을 사용하였다.

본 연구에 사용된 모든 재료는 온도 20±2℃, 상대습도 65±5%의 항온항습실에서 24시간 보관 후 사용하였다.

2.2 실험계획 및 방법

2.2.1 실험계획

본 연구는 하절기 서중환경에서 외기온도 조건이 고강도콘크리트의 특성에 미치는 영향을 검토한 것으로 외기온도는 20, 30, 40℃로 하였다. 측정항목으로는 슬럼프플로 650±50mm를 기준하여 슬럼프플로와 500mm 도달시간, U형 충전고차 및 상대유하속도와 이들의 경

시변화 및 응결시간을 측정하였다. 또한 각 외기온도 조건별 고강도콘크리트의 수화열 및 압축강도 특성을 검토한 것으로 실험계획은 Table 3과 같다.

Table 3. Experimental plan

Outside temperature	Characteristics of fresh concrete	Characteristics of harden concrete
20℃	・Slump flow & arrival speed of 500mm ・Difference of compacting height (U-type test) ・Relative flow speed (V-Lot test) ・Changes elapsed time ・Setting time of fresh concrete ・Hydration heat : 200*200*500mm	・Compressive Strength (7, 28, 56 days)
30℃		
40℃		

고강도콘크리트의 배합은 사전예비실험을 통하여 선정하였으며, Table 4와 같이 굵은 골재 최대치수 20mm를 사용하여 설계기준강도(f_{ck}) 80 MPa, 물-결합재비(W/B) 20%, 잔골재율(S/a) 42%로 하여 제조하였다.

Table 4. Table of mix proportion

f_{ck} (MPa)	W/B (%)	S/a (%)	Material (kg/m^3)						
			W	C	BS	FA	S	G	SP
80	20	42	160	480	240	80	584	812	7.7

2.2.2 실험항목 및 방법

고강도콘크리트의 제조는 외기온도 20±2℃의 조건에서 60ℓ 고강도용 믹서기를 사용하여 모든 배합을 동일조건으로 제조하였다. 제조된 콘크리트는 슬럼프플로, 500mm 슬럼프 도달속도, U형 충전고차, V로드 유하시간 등을 측정한 후 20℃, 30℃, 40℃의 각 온도조건 구현이 가능한 챔버 내에서 경시변화, 수화발열 및 재령별 압축강도를 측정하였다.

(1) 슬럼프 플로 및 500mm도달 속도

본 연구에서 고강도콘크리트의 슬럼프플로 기준 값은 650±50mm로 하였으며, KS F 2594「콘크리트의 플로 시험방법」에 준하여 슬럼프 플로 및 500mm 도달 속도를 측정하였다.

(2) 충전성시험

U형 충전성시험은 Fig. 1과 같이 높이 600mm, 폭 280mm 인 용기의 중앙부에 이형철근 D13을 50mm 간격으로 3개 배치한 U형 충전성시험 장치를 이용하여 좌우 충전고차를 측정하였다[7].

Fig. 1. U-type compacting test views

(3) 상대유하속도

상대유하속도는 Fig. 2와 같은 V-Lot 유하시험기를 사용하였으며, 콘크리트를 주입하여 평면으로 마감 후, 유출구를 개방하여 상부에서 밑면이 보이는 시점을 유하시간의 종점으로 하여 이때의 시간을 유하시간으로 하여 식 (1)로 상대유하속도를 구하였다[7].

$$\text{상대유하속도} = \frac{10}{V_t} \quad (1)$$

여기서, V_t = 유하시간 (sec)

Fig. 2. Test views of relative flow speed (V-Lot)

(4) 응결시간

고강도콘크리트의 응결시간 측정은 KS F 2436 「관입 저항침에 의한 콘크리트의 응결시간 시험방법」에 준하여 각 온도조건하에서의 응결시간을 측정하였다.

(5) 콘크리트의 수화열

고강도콘크리트의 수화열 측정은 Fig. 3과 같이 외기온도 조건 20, 30, 40℃의 챔버 내에 폭과 너비 200mm, 높이 500mm인 시험체를 상부표면 외 모든 면을 단열시키고, 상부에서 깊이 50mm부터 100mm 단위로 5개소에서 각각 온도게이지를 매립하여 내부 수화열을 측정하였다.

Fig. 3. Test views of hydration heat

(6) 압축강도 측정

하절기 외기온도 조건이 80MPa 고강도콘크리트의 압축강도 특성에 미치는 영향을 검토하기 위하여 온도조건 20℃, 30℃, 40℃의 챔버 내에서 양생한 후 재령 7일, 28일 및 56일 압축강도를 측정하였다. 콘크리트의 압축강도 시험은 KS F 2405「콘크리트의 압축강도 시험방법」에 준하여 실시하였으며, 3회 측정값의 평균값을 취하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 굳지 않은 콘크리트의 특성

3.1.1 외기온도 조건에 따른 슬럼프플로 및 500mm 도달속도

외기온도 20, 30, 40℃의 서중환경 조건에서 경과시간에 따른 고강도콘크리트의 슬럼프플로를 Fig. 4에 나타내었다.

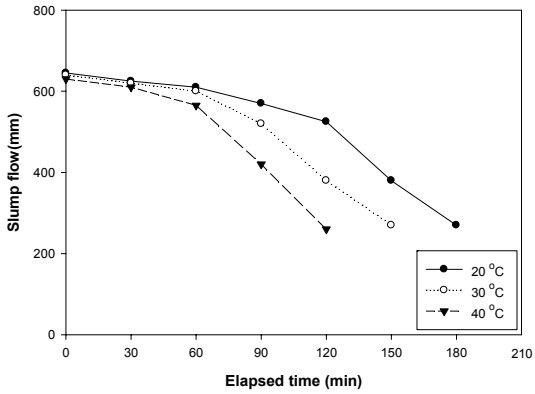

Fig. 4. Slump loss for elapsed time

Fig. 4에서 외기온도 20, 30, 40℃에서 고강도콘크리트의 슬럼프플로 경시변화는 목표 슬럼프 플로 650±50mm를 기준으로 슬럼프 플로 300mm 도달시간을 종료시간으로 하였다. 각 온도조건별 슬럼프플로 경시변화는 외기온도 조건 20℃에서는 120분에서 급격히 감소하여 180분에 슬럼프플로 300mm에 도달하였으며, 30℃에서는 90분, 40℃에서는 60분부터 급격히 감소하기 시작하여 30℃의 경우 150분, 40℃의 경우 120분에 슬럼프플로 300mm에 도달하는 것으로 나타났다. 이와 같이 슬럼프플로 300mm 도달 경시변화는 외기온도가 10℃씩 증가할 때마다 약 30분씩 빨라지는 것으로 나타났다. 이것은 외기온도가 높을수록 수화반응 촉진에 의한 응결시간의 단축에 기인한 것으로 서중 환경에서 고강도콘크리트의 시공 시 외기온도조건에 따른 슬럼프로스 등의 검토를 통한 품질관리 계획이 필요하다.

Fig. 5는 외기온도 조건별 경과시간에 따른 슬럼프플로 500mm 도달속도를 나타낸 것으로 외기온도 20, 30, 40℃의 서중환경에서 슬럼프플로 500mm 도달시간은 목표 슬럼프플로 650±50mm를 기준으로 20~30초 범위로 나타났다. 또한 외기온도 20℃에서는 120분 까지 슬럼프플로 500mm도달시간 약 110초로 나타났으며, 30℃의 경우 90분 까지 약 120초, 40℃의 고온에서는 60분경과 후 약 90초로 슬럼프플로 500mm 도달시간은 외기온도 조건에 따라 차이를 나타내었으나, 슬럼프플로 500mm 도달속도의 경시변화는 슬럼프플로 경시변화와 동일하게 외기온도 10℃ 증가시마다 약 30분 정도 빨라지는 것으로 나타났다.

3.1.2 외기온도 조건에 따른 충전성능

서중환경에서의 외기온도 변화에 따른 고강도콘크리트의 U형 충전성 시험 결과를 Fig. 6에 나타내었다.

Fig. 6에서 외기온도 20, 30, 40℃의 조건에서 굳지 않은 콘크리트의 U형 충전고차는 외기온도 20℃에서는 90분까지 목표 충전고차 50mm 이내로 기준값을 만족하였으나, 90분 이후 120분에서는 90mm로 충전고차의 급격한 증가현상을 나타내었다. 또한 외기온도 30℃와 40℃에서는 60분까지 충전고차가 50mm 이내로 기준값을 만족하는 것으로 나타났으나, 60분 이후 충전고차가 급격히 증가하였다. 이것은 외기온도가 높을수록 슬럼프 로스의 진행속도가 빨라지게 되고, 이로 인한 점성증대 등으로 충전고차가 높아지게 된 것으로 판단되며, 외기온도 30℃이상에서는 슬럼프 로스에 의한 충전고차의 증가속도도 약 30분정도 빨라지는 것으로 나타났다.

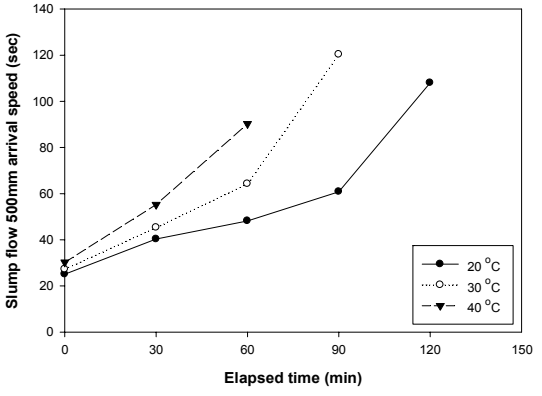

Fig. 5. 500mm arrival speed for elapsed time

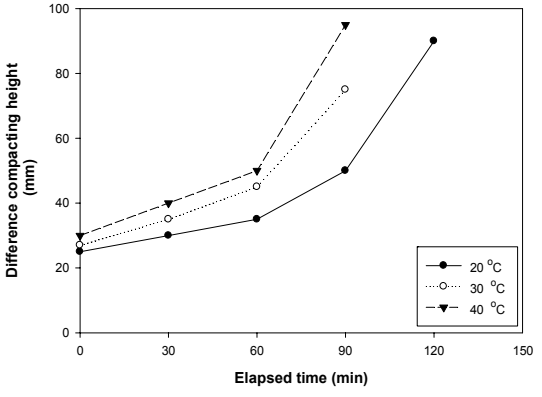

Fig. 6. Difference of compacting height for elapsed time

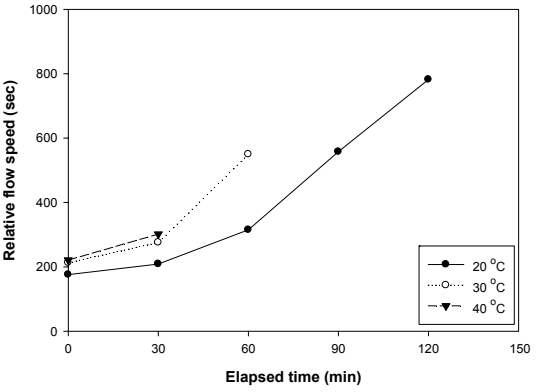

Fig. 7. Relative flow speed for elapsed time

3.1.3 외기온도 조건에 따른 상대유하속도

Fig. 7은 외기온도 20, 30, 40℃ 조건에서 경과시간에 따른 고강도콘크리트의 상대유하속도를 나타낸 것으로 일반적으로 상대유하속도가 낮으면 점성부족으로 유하시간이 길어지고, 너무 높으면 콘크리트의 유동성 부족 또는 점성 증대로 유하속도가 길어지게 된다. 따라서 목표 슬럼프 플로 650±50mm를 기준으로 고강도콘크리트의 적정 상대유하속도는 0.5~1.5의 범위가 적당하며, 이것을 유하시간으로 나타내면 7~20초이다[7]. 그러나 본 연구에서는 초기 상대유하속도가 0.025~0.04의 범위로 유하시간은 약 250초 이상으로 나타났다. 이것은 콘크리트의 과도한 점성의 영향으로 향후 점성저하를 위한 사용재료의 조정 등이 필요하다.

한편, Fig. 7에서 외기온도 조건별 경과시간에 따른 고강도콘크리트 상대유하시간은 20℃의 경우 120분경과 후에도 약 800초로 유하시간은 증가하였으나 상대유하속도의 측정이 가능하였다. 반면 30℃에서는 60분, 40℃에서는 30분경과 후부터는 슬럼프로스 등에 의한 폐쇄현상으로 상대유하속도 측정이 불가하였다.

3.1.4 외기온도 조건에 따른 응결 특성

Fig. 8에 외기온도 20, 30, 40℃조건에서 고강도콘크리트의 응결시간을 나타내었다.

Fig. 8에서 관입저항력 3.5MPa을 나타낸 초결시간은 외기온도 조건 20℃에서는 7시간, 30℃에서는 6시간, 40℃에서는 5시간으로 나타났으며, 관입저항력 28MPa을 나타낸 종결시간은 외기온도 조건 20℃에서는 12시간, 30℃에서는 9시간, 40℃에서는 7시간에 나타났다. 이는

표준온도 조건 20℃와 비교하여 30℃에서는 초결강도 1시간, 종결강도는 3시간 단축되는 것으로 나타났으며, 외기온도 40℃의 경우 초결강도는 2시간, 종결강도는 5시간정도 단축 되는 것으로 나타났다.

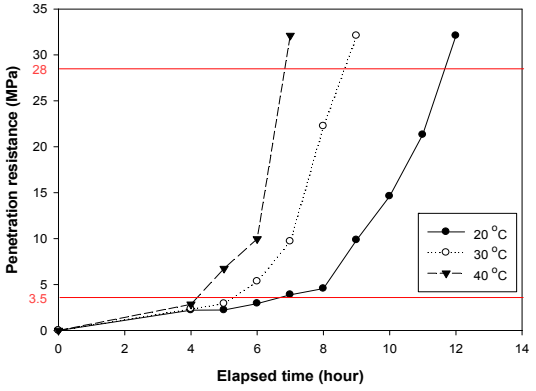

Fig. 8. Setting time for elapsed time

3.2 외기온도 조건별 수화발열 특성

본 연구에서 고강도콘크리트의 수화열 측정은 높이 500mm인 시험체를 상부표면 외 모든 면을 단열시킨 상태로 측정한 것으로 수직방향 단면만을 고려할 경우 1 m^3 콘크리트를 대상으로 한 것과 유사하다.

서중환경에서 외기온도 조건별 고강도콘크리트의 수화발열 특성을 Fig. 9~Fig. 11에 나타내었다.

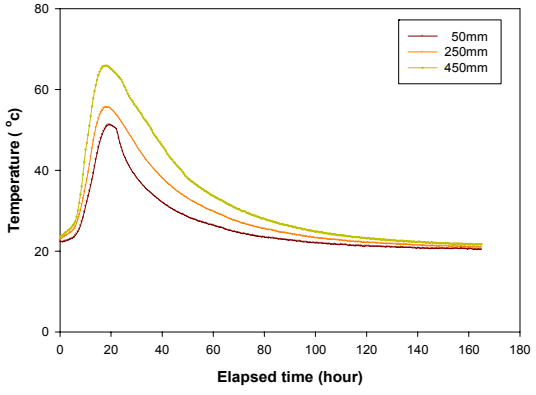

Fig. 9. Internal hydration heat for elapsed time (at 20℃)

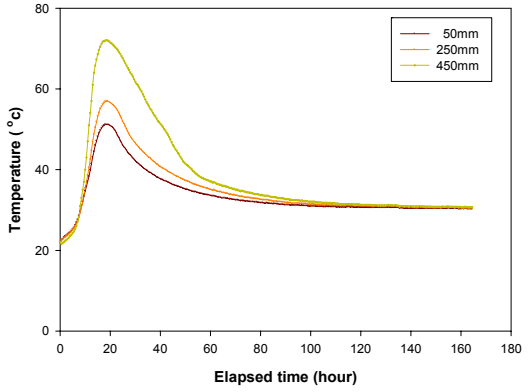

Fig. 10. Internal hydration heat for elapsed time (at 30℃)

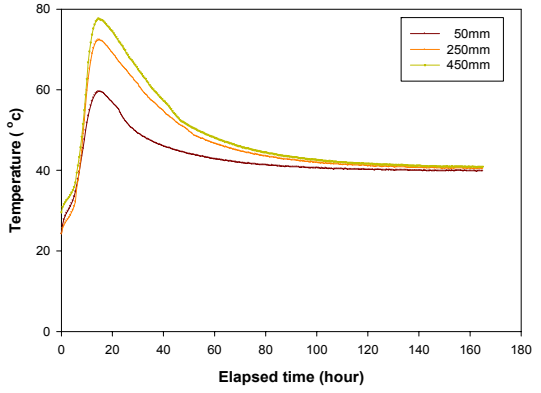

Fig. 11. Internal hydration heat for elapsed time (at 40℃)

Fig. 9는 외기온도 20℃에서 타설 깊이에 따른 고강도콘크리트의 수화열 측정결과를 나타낸 것으로 타설 깊이에 관계없이 최고온도는 약 18시간 경과 후 발현되었다. 또한 고강도콘크리트의 최고온도는 타설 깊이 50mm에서 51.3℃, 250mm에서 57.5℃, 450mm에서는 65.9℃로 나타나 타설 깊이가 200mm씩 증가시마다 각각 6.2℃와 8.4℃씩 증가하는 것으로 나타났다.

일반적으로 콘크리트의 수화열에 의한 온도균열 발생에 대한 검토는 국내의 경우 온도균열지수를 균열발생확률과 연관 지어 나타내고 있으며 콘크리트 표준시방서에서는 균열발생을 방지하여야 할 경우 온도균열지수 1.5 이상을 규정하고 있다. 반면 유럽 및 실 현장에서는 균열위험도 조건과 실제 수많은 구조물의 시공사례를 분석한 결과에서 도출된 최대 내·외부 온도차 20℃이하 기준을

병용하여 적용하고 있다[8].

외기온도 20℃조건에서 $1m^3$의 고강도콘크리트 타설 시 중심부 65.9℃와 표면부 51.3℃의 내·외부 온도차는 약 14.6℃로 수화열에 의한 온도균열 발생이 가능한 최대 내·외부 온도차 20℃이하로 나타났다.

Fig. 10은 외기온도 30℃에서 타설 깊이에 따른 고강도콘크리트의 수화열 측정결과를 나타낸 것으로 타설 깊이에 관계없이 최고온도는 약 18.5 시간 경과 후 발현되었다. 콘크리트 내부의 최고온도는 깊이 50, 250, 450mm에서 각각 51.2℃, 57.0℃, 72.1℃로 타설 깊이 50mm와 250mm에서는 외기온도 20℃와 유사하게 나타났으며, 타설 깊이 450mm에서는 약 6.2℃정도 높게 나타났다. 반면 외기온도 30℃에서 고강도콘크리트의 중심부와 표면부의 내·외부 온도차는 20.9℃로 수화열에 의한 온도균열 발생이 가능한 최대 내·외부 온도차 20℃보다 약 0.9℃ 높게 나타났다.

Fig. 11은 외기온도 40℃에서 타설 깊이에 따른 고강도콘크리트의 수화열 측정결과를 나타낸 것으로 타설 깊이에 관계없이 최고온도는 약 14시간 경과 후 발현되었다. 콘크리트 내부의 최고온도는 깊이 50, 250, 450mm에서 각각 59.6℃, 72.4℃, 77.7℃로 나타나 외기온도 20℃ 및 30℃와 비교하여 타설 깊이 50mm인 표면부에서는 약 10℃정도, 250mm에서는 약 15℃정도, 450mm에서는 약 10℃정도 높게 나타났다. 또한 외기온도 40℃에서도 고강도콘크리트의 중심부와 표면부의 내·외부 온도차는 수화열에 의한 온도균열 검토가 필요한 20℃이하인 18.1℃로 나타났다.

이와 같이 외기온도 조건에 따른 고강도콘크리트의 수화발열 특성은 외기온도 20℃와 30℃에서는 최고온도 발현시간과 타설 깊이별 최고온도 등이 유사하게 나타났다. 반면 외기온도 40℃ 조건에서는 최고온도 발현시간이 약 4시간 빠르게 나타났으며, 타설 깊이별 최고온도는 평균 약 12℃정도 높게 나타났다. 그러나 외기온도 조건에 따른 고강도콘크리트의 중심부와 표면부의 내·외부 온도차는 외기온도 20℃의 경우 14.6℃, 30℃에서 20.9℃, 40℃에서 18.1℃로 외기온도 30℃에서 가장 높은 내·외부 온도차를 나타내었다. 즉 서중 외기온도 조건에 따른 고강도콘크리트의 수화열에 의한 최대 내·외부 온도차는 외기온도 증가와 비례하여 나타나지 않았으며, 외기온도 30℃에서 가장 높게 나타났다. 이것은 외기온도 20℃와 비교하여 30℃의 표면온도 상승률에 비해 40℃에서 높은 표면온도 상승에 따른 것으로 판단된다. 따라서 서중 고강도콘크리트의 최대 내·외부 온도차에 의한 균열 발생 확률을 분석할 경우 이러한 영향요인 등에 대한 검토가 필요할 것으로 사료된다.

3.3 외기온도 조건에 따른 압축강도 특성

서중환경에서 외기온도 조건이 고강도콘크리트의 압축강도 특성에 미치는 영향을 검토하기 위하여 각각의 외기온도 조건하에서 재령 7일, 28일 및 56일 압축강도 측정하였으며, 그 결과를 Fig. 12에 나타내었다.

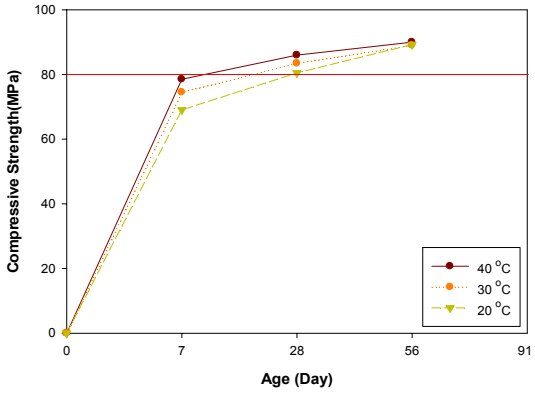

Fig. 12. Compressive strength according to age

Fig. 12에서 서중환경의 외기온도 조건에 따른 초기 재령 7일 압축강도는 20℃의 경우 69.05MPa, 30℃의 경우 74.50MPa, 40℃의 경우 78.50MPa로 나타나 외기온도 20℃기준으로 10℃씩 증가시마다 약 4MPa씩 증가되는 것으로 나타났으며, 모든 외기온도조건에서 설계기준강도 80MPa의 86%이상의 강도발현을 나타내었다. 또한 재령 28일에서는 20℃의 경우 80.48MPa, 30℃의 경우 83.45MPa 및 40℃의 경우 86.25MPa로 나타나 재령 증가에 따른 강도 증가율은 다소 감소하는 것으로 나타났으나, 모든 외기온도 조건에서 목표 압축강도인 80MPa를 상회하였다. 또한 재령 56일 압축강도는 외기온도 20℃의 경우 89.25MPa로 재령 28일과 비교하여 약 11%의 강도가 증가되었으며, 30℃의 경우 89.50MPa 약 7%, 40℃의 경우 90.24MPa로 약 4%로 나타나 외기온도가 높을수록 초기 강도 발현은 우수하나 재령 56일에서는 모두 유사한 압축강도를 나타내어 외기온도가 높을수록 재령경과에 따른 강도증가율은 감소하는 것으로 나타났다.

4. 결론

본 연구는 서중환경에서 외기온도 조건이 80MPa 고강도콘크리트의 특성에 미치는 영향을 검토한 것으로 연구의 결론은 다음과 같다.

1. 서중 온도조건별 고강도콘크리트의 슬럼프 플로와 500mm도달 속도 및 경시변화는 외기온도 20℃기준으로 온도 10℃ 상승시마다 급격한 슬럼프로스 발생 시점을 약 30분 정도 앞당기는 것으로 나타났다.
2. 고강도콘크리트의 충전성능 및 경시변화는 외기온도 20℃의 경우 90분, 30℃와 40℃의 경우 60분까지는 목표 충전고차 50mm이내를 만족하였으나, 그 후 슬럼프로스와 점성증대 등으로 충전고차가 급격히 증가하였다.
3. 외기온도조건에 따른 고강도콘크리트의 응결시간은 외기온도조건이 높을수록 수화촉진 등에 의한 응결시간이 단축되어 외기온도 20℃의 경우 초결 7시간, 종결 12시간으로 나타났으며, 30℃에서는 초결 1시간, 종결 3시간, 40℃에서는 초결 2시간, 종결 5시간정도 단축시키는 것으로 나타났다.
4. 외기온도 조건에 따른 고강도콘크리트의 수화발열 특성은 외기온도 20℃와 30℃에서는 최고온도 발현시간과 타설 깊이별 최고온도 등이 유사하게 나타났다. 반면 외기온도 40℃에서는 최고온도 발현시간이 약 4시간 빠르게 나타났으며, 타설 깊이별 최고온도는 평균 약 12℃정도 높게 나타났다.
5. 외기온도 조건에 따른 고강도콘크리트의 중심부와 표면부의 최대 내·외부 온도차는 외기온도 20℃와 비교하여 30℃의 표면온도 상승률에 비해 40℃에서 높은 표면온도 상승의 영향으로 외기온도 30℃에서 가장 높은 최대 내·외부 온도차이를 나타내었다.
6. 서중환경에서 외기온도 조건에 따른 압축강도는 재령 7일의 경우 온도 20℃에서 69MPa로 설계기준강도의 86%수준으로 나타났으며, 온도 10℃씩 증가시마다 약 4MPa씩 증가하여 외기온도 40℃에서는 79MPa로 나타났으며, 재령 28일에서는 모든 온도조건에서 설계기준강도 80MPa를 상회하였다. 또한 장기재령 56일 압축강도는 외기온도조건에 관계없이 89MPa~90MPa로 유사한 압축강도를 나타내어 28일 이후 강도증가율은 외기온도가 높을수록 감소하는 것으로 나타났다.

References

[1] Yu Shin Sohn, Ho Wang, Gyu Sik Lee and Seung Hoon Lee, (2006). An Application of 150MPa Ultra High Strength Concrete on a Residential-Commercial Building. Magazine of the korea concrete institute, 18(5), 59-64.

[2] Kwang Soo Youm, Hun Kyu Jeon and Heung Youl Kim. (2009). Fire Test of Fiber Cocktail Reinforced High Strength Concrete Columns with Loading. Journal of the Korea Concrete Institute, 21(4), 473-480. DOI: http://dx.doi.org/10.4334/JKCI.2009.21.4.473

[3] Kyoung Min Kim, Cheon Goo Han, (2005), Technical Application for Cold weather and Hot weather Concretes, Magazine of the korea concrete institute, 17(1), 28-33.

[4] Chae Yong Lim, Young Jun Son, Jae Dam Ha, Chang Woon Kang(2012), Study on the Effect of Hot Weather on Concrete Strength, Proceedings of the Korea Concrete Institute, Vol. 24, No. 2, 749-750.

[5] Park, C. G., Won, J. P., &Kang, J. W. (2004). Recommendations of Environmental Reduction Factor of FRP Rebar for Durability Design of Concrete Structure. Journal of the Korea Concrete Institute, 16(4), 529-539. DOI: http://dx.doi.org/10.4334/JKCI.2004.16.4.529

[6] Park, S. (2005). A Study on Concrete Material Quality Management Based on Various Test of Construction Condition under Hot Weather Circumstance. Journal of the Korea Institute of Building Construction, 5(3), 91-99. DOI: http://dx.doi.org/10.5345/JKIC.2005.5.3.016

[7] Seung Han Lee, Yong Wook Jung. (2007), Mix design of high performance concrete using maximum density theory. Journal of the Korea Concrete Institute, 19(3), 377-383. DOI: http://dx.doi.org/10.4334/JKCI.2007.19.3.377

[8] Se Jin Jeon, Myung Sung Choi and Young Jun Kim, (2006), An Advanced Assessment Strategy of Thermal Cracks Induced by Hydration Heat and Internal Restraint, Journal of the Korea Concrete Institute, 18(5), 677-685. DOI: http://dx.doi.org/10.4334/JKCI.2006.18.5.677

정 용 욱(Yong-Wook Jung) **[정회원]**

- 1999년 2월 : 계명대학교 토목공학과 (공학석사)
- 2004년 8월 : 계명대학교 토목공학과 (공학박사)
- 2004년 12월 ~ 2011년 8월 : 계명대학교 첨단건설재료실험센터 책임연구원
- 2011년 9월 ~ 현재 : 계명대학교 첨단건설재료실험센터 조교수

<관심분야>
콘크리트 구조, 건설재료

이 승 한(Seung-Han Lee) **[정회원]**

- 1985년 2월 : 日本 Tokyo工業大學 토목공학과 (공학석사)
- 1988년 2월 : 日本 Tokyo工業大學 토목공학과 (공학박사)
- 2004년 12월 ~ 2012년 2월 : 계명대학교 첨단건설재료실험센터 센터장
- 1988년 3월 ~ 현재 : 계명대학교 토목공학과 교수

<관심분야>
콘크리트, 친환경 건설재료