

## 배합수 냉각방법 및 지연제 사용에 따른 서중 원전콘크리트의 특성

이승한<sup>1</sup>, 정용욱<sup>2\*</sup>, 장석수<sup>2</sup>, 여인동<sup>1</sup>, 최종오<sup>2</sup>  
<sup>1</sup>계명대학교 토목공학과, <sup>2</sup>계명대학교 첨단건설재료실험센터

### Properties of Hot Weather Nuclear Power Plant Concrete with Water Cooling Method and Retarding used

Seung-Han Lee<sup>1</sup>, Yong-Wook Jung<sup>2\*</sup>, Seok-Soo Jang<sup>2</sup>, In-Dong Yeo<sup>1</sup>  
and Jong-Oh Choi<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Department of Civil Engineering, Keimyung University

<sup>2</sup>Advanced Construction Materials Testing Center, Keimyung University

**요약** 온도차가 극심한 하절기와 동절기 콘크리트 타설의 경우 각종 균열의 발생, 콘크리트 품질불량, 내구성 및 강도저하 등 다양한 문제를 야기 시키고 있다. 특히 원전콘크리트의 경우 대량의 타설로 인한 4계절 연속시공이 이루어져 서중환경에서 콘크리트 품질관리에 많은 문제점이 발생되고 있는 실정이다. 이에 본 연구에서는 서중환경에서 많이 사용되어지는 프리쿨링 공법 중 배합수 냉각방법과 지연제 사용이 원전콘크리트의 특성에 미치는 영향을 검토하였다. 배합수 냉각방법은 냉수 5℃와 Ice Flake 50% 치환사용 하였으며, 지연제 사용에 따른 원전콘크리트의 굳지 않은 콘크리트 및 경화 후 콘크리트의 특성을 검토하였다. 굳지 않은 콘크리트 특성으로는 슬럼프, 공기량, 응결시간 및 경화 후 압축강도를 측정하였으며, 단열거푸집을 제작하여 손실되는 열을 최소화시켜 각 온도조건하에서 수화열을 측정하였다. 실험결과, 슬럼프 및 공기량 경시변화 종료시간은 20℃에서 120분, 40℃에서 40분으로 나타났으며, 관입 저항에 의한 응결시간은 배합수 냉각방법 및 지연제 사용 모두 초결과 중결을 지연시키는 것으로 나타났으나, 외기온도가 상승할수록 지연폭은 감소하는 것으로 나타났다. 수화열은 배합수 냉각방법 모두 최고온도의 저감과 도달시간을 지연시키는 것으로 나타났으나, 지연제 사용의 경우 최고온도 저감효과는 없는 것으로 나타났다. 또한 재령별 압축강도의 경우 3일, 7일의 초기재령에서 Plain과 비교하여 낮은 강도 값을 나타내었으나, 재령 28일에서는 설계기준강도를 모두 만족시키는 것으로 나타났다.

**Abstract** In summer and winter, the difference between the temperature during the day and that during the night is high, which leads to various problems during concrete placement, such as cracks and defects in the concrete as well as low durability and strength. Although nuclear power plant concrete is widely used for placement in all seasons, particular attention must be paid to its quality during the summer. Therefore, we evaluated the effects of a cooling method for mixing water, which is a commonly used hot weather precooling method, and the use of a retarder, on the characteristics of Nuclear Power Plant concrete. In the cooling method for mixing water, cold water at 5 °C was used, with 50% of the water content consisting of ice flakes. The effects of using a retarder were evaluated by reviewing the characteristics of the cement at the unset stage and after hardening. To evaluate the characteristics of the unset cement, we measured the slump, air volumes, setting times, and pressure strengths after hardening. Furthermore, we measured the heat of hydration at different temperatures; the loss of heat was minimized using insulation. Both the slump time and the complete ageing time of the air volume were found to be 120 min at 20 °C and 40 min at 40 °C. In the case when the cooling method for mixing water was used and in the case when a retarder was used, the initial and final sets by penetration resistance were delayed, and the delay decreased with increasing air temperature. For the heat of hydration, the cooling method for mixing water not only lowered the maximum temperature but also delayed its attainment. However, the use of a retarder had no effect on the maximum temperature. Moreover, in the early ages (e.g., 3 and 7 days), the pressure strength of the concrete was lower than that of plain cement. However, the strength of 28-day concrete met the standard construction specifications.

**Key Words** : Hot Weather, Nuclear Power Plant Concrete, Quality Control, Retarder, Water Cooling

본 논문은 지식경제부의 재원으로 한국에너지기술평가원(KETEP)의 연구비지원(과제번호 : 2010161010004J)에 의해 수행되었음.

\*Corresponding Author : Yong-Wook Jung(Keimyung Univ.)

Tel: +82-53-580-6708 email: jyw@kmu.ac.kr

Received August 22, 2013

Revised September 5, 2013

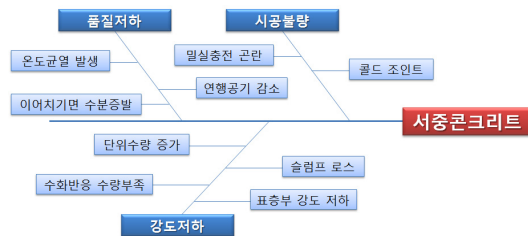
Accepted September 6, 2013

## 1. 서론

최근 원자력발전소는 국내 시공뿐만 아니라 극서지인 중동지역에서 수주가 증가하고 있다[1,2]. 하지만 일반적으로 콘크리트는 타설 후 양생기간 동안 온도에 따른 품질변동이 큰 재료로서 소요의 품질을 확보하기 위해 계절별 특성 파악 및 콘크리트 주위의 온·습도를 적절한 범위로 유지시켜 유해한 작용을 받지 않도록 품질관리에 주의해야 한다[3].

또한, 콘크리트는 원자력발전소에 적용되는 차폐성능 향상을 위하여 부재 단면이 큰 매스콘크리트를 타설하고 있는 실정이다. 매스콘크리트는 시멘트 수화열에 의해 온도상승이 크게 일어나고, 콘크리트 체적팽창과 수축거동을 유발시켜 온도응력에 의한 균열이 발생되며, 이러한 균열은 구조물의 사용성 및 내구성에 중대한 영향을 미치게 된다[4]. 특히, 원전콘크리트는 부재의 단면치수가 크기 때문에 시멘트 수화열이 부재내부에 축적되어 온도가 상승하게 되며, 수화열 온도상승폭이나 온도변화속도는 양생온도 조건에 따라 달라진다.

서중환경에서 양생할 경우 Fig. 1과 같이 높은 대기온도의 영향으로 콘크리트의 수화열이 증가하여 운반도중 슬럼프 loss의 발생, 연행공기량 감소, 콜드조인트(Cold joint), 건조수축균열, 온도균열 발생 등 품질관리가 어려워 서중콘크리트의 품질관리가 매우 중요시 되고 있다 [5,6].



[Fig. 1] Impact of a hot weather environment on concrete

따라서 콘크리트를 타설할 때 타설한 직후에는 상기의 문제점을 해결하기 위한 대책을 수립하여 콘크리트의 온도가 낮아지도록 재료의 취급, 비비기, 운반, 타설 및 양생 등에 대하여 특별한 품질관리를 하여야 한다.

서중환경에서 콘크리트의 품질관리는 콘크리트표준시방서에서 일평균기온 25℃, 일 최고기온 30℃를 초과하는 경우에 일반적 방법인 재료의 냉각과 직사광선의 차단 등으로만 한정하고 있어 건설현장별로 각기 다른 경험과 노하우를 바탕으로 품질관리를 실시하고 있는 실정

이다[7].

이에 본 연구에서는 서중콘크리트에서 많이 사용되는 프리쿨링 공법 중 배합수 냉각방법[8]과 지연제 사용이 원전콘크리트에 미치는 영향을 검토하기 위하여 외기온도 20℃, 30℃, 40℃ 조건에서 냉수(5℃)와 Ice Flake[9] 및 지연제를 사용하여 굳지 않은 콘크리트의 Fresh 성상과 경화 후 콘크리트의 특성을 평가함으로써 서중환경에서의 원전콘크리트의 품질관리방법을 제안하고자 하였다.

## 2. 실험개요

### 2.1 사용재료

#### 2.1.1 시멘트

실험에 사용한 시멘트는 A사의 분말도 3,426cm<sup>2</sup>/g의 보통포틀랜드 시멘트를 사용하였으며, 물리·화학적 성질을 Table 1에 나타내었다.

[Table 1] Chemical composition and physical properties of cement

Fineness (cm <sup>2</sup> /g)	Density (g/cm <sup>3</sup> )	Ig.loss	Chemical composition (%)				
			SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO
3,426	3.15	0.9	22.94	5.57	3.33	64.05	2.58

#### 2.1.2 골재

잔골재는 밀도 2.61g/cm<sup>3</sup>, 조립률 2.67인 경북 성주산 강모래로 표준입도범위를 만족하도록 조정하여 사용하였으며, 굵은골재는 밀도 2.67g/cm<sup>3</sup>, 조립률 6.91인 경북 성주산을 사용 하였다. 잔골재 및 굵은골재의 물리적 특성은 Table 2와 같다.

[Table 2] Physical properties of Sand and Coarse aggregate

Classification	Density (g/cm <sup>3</sup> )	Absorption (%)	F. M.	Unit volume weight (kg/L)	Ratio of absolute volume (%)
Sand	2.61	1.80	2.67	1.63	59.0
Coarse aggregate	2.67	1.69	6.91	1.56	60.0

## 2.2 실험계획 및 방법

### 2.2.1 실험계획

서중환경에서 배합수 냉각방법 및 지연제 사용이 서중 원전콘크리트의 특성에 미치는 영향을 검토하기 위하여 실시한 물성평가는 외기온도 20℃, 30℃, 40℃ 조건에서 지연제 0.1% 사용, 5℃ 냉수 100% 사용과 Ice Flake 치환율을 50%로 변화시켰다. 콘크리트 배합은 설계기준강도 ( $f_{ck}$ ) 30MPa, 물-결합재비(W/B) 45%, 굵은골재 최대치수 ( $G_{max}$ ) 20mm로 일반적으로 사용되는 원전콘크리트 배합을 기준으로 하였으며, Table 3에 콘크리트 배합표를 나타내었다.

굳지 않은 콘크리트는 온도 및 습도 조절이 가능한 대형챔버 내에서 외기온도 20℃, 30℃, 40℃, 습도 60%에서 20분 간격으로 슬럼프 및 공기량 경시변화와 응결시간, 수화열 등을 측정하였다. 또한 배합수 냉각방법 및 지연제 사용이 경화 후 콘크리트에 미치는 영향을 알아보기 위하여 재령별(3일, 7일, 28일) 압축강도를 측정하였다.

### 2.2.2 실험방법

#### (1) 콘크리트 제조

콘크리트 제조는 시멘트, 잔골재, 굵은골재를 외기온도 조건 20℃, 30℃, 40℃와 동일 조건으로 온도를 조절하여 제조하였다. 60ℓ 강제식 믹서에 혼합수와 시멘트를 먼저 투입하여 페이스트를 제조한 후 잔골재, 굵은골재 순으로 투입하였으며, 각 배치의 혼합수 투입에서부터 배출까지 소요된 시간은 총 4분으로 일정하게 유지하였다.

#### (2) 슬럼프 및 공기량 경시변화

굳지 않은 콘크리트의 슬럼프 측정은 KS F 2402 「콘크리트의 슬럼프 시험 방법」에 준하여 실시하였으며, 2회 측정 후 평균값을 슬럼프 값으로 하였다. 공기량은 KS F 2421 「압력법에 의한 굳지 않은 콘크리트의 공기량 시험방법」에 준하여 2회 실시한 후 그 평균값을 공기량 값으로 하였다.

#### (3) 응결시간

경화 후 콘크리트의 특성을 알아보기 위하여 KS F 2436 「관입 저항침에 의한 콘크리트의 응결시간 시험방

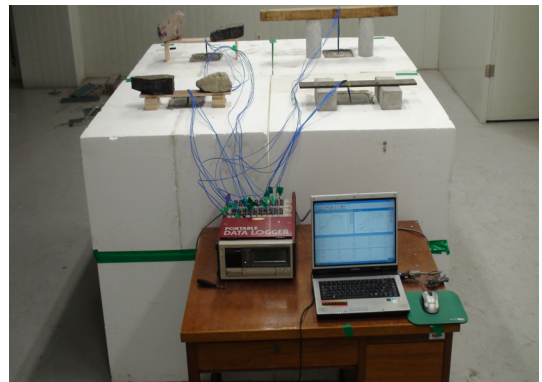
법」에 준하여 초결과 종결을 측정하였으며, 측정전경을 Fig. 2에 나타내었다.



[Fig. 2] Testing method for time of setting of concrete mixture by penetration resistance

#### (4) 수화열측정

콘크리트의 양생온도 조건에 따른 온도 이력을 검토하기 위하여 200×200×500mm 거푸집을 제작하였으며, 상부 한쪽 면을 제외한 나머지 부분을 단열처리 하였다. 상부에서 깊이 50mm부터 100mm단위로 온도계이지를 매립하여 외기온도 20℃, 30℃, 40℃ 조건에서 배합수 냉각방법 및 지연제 사용에 따른 콘크리트의 수화열을 측정하였다. 수화열 측정에 사용된 DATA LOGGER (TDS-303)와 측정전경을 Fig. 3에 나타내었다.



[Fig. 3] Hydration measurements views

[Table 3] Mix design of concrete

fck (MPa)	$G_{max}$ (mm)	Slump (mm)	Air (%)	W/B (%)	S/a (%)	Unit of weight(kg/m <sup>3</sup> )				
						Water	Binder	Sand	Coarse aggregate	Ad. (g)
30	20	150±25	4.5±1.5	45.0	42.9	166.9	370.9	730.6	972.4	2.444

(5) 압축강도

콘크리트의 압축강도 측정은 KS F 2405 「콘크리트의 압축강도 시험」에 준하여 0.6±0.4MPa(=N/mm<sup>2</sup>)의 재하 속도로 3회 측정하여 평균을 구하였으며, 압축강도의 계산은 식 (1)과 같이 시험기가 나타낸 최대하중을 공식체 단면적으로 나누어 MPa로 표시하였다.

$$f_{cu} = \frac{P}{A} \text{ (MPa)} \quad (1)$$

### 3. 실험결과 및 고찰

#### 3.1 굳지 않은 콘크리트의 특성

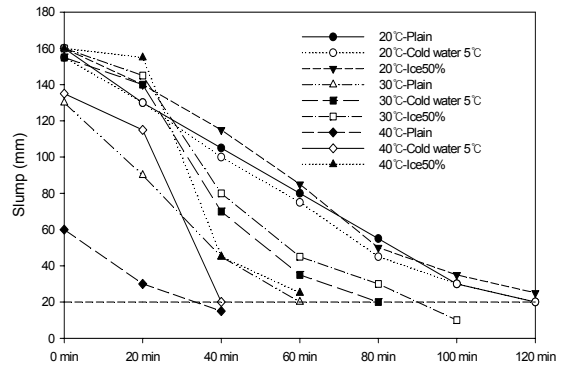
본 연구에서는 서중환경에서 배합수 냉각방법과 지연제 사용이 콘크리트의 특성에 미치는 영향을 검토한 것으로 외기온도 20℃, 30℃, 40℃의 서중환경하에서 슬럼프 및 공기량 경시변화, 응결시간, 수화열 등을 측정하였다.

##### 3.1.1 슬럼프 및 공기량 경시변화

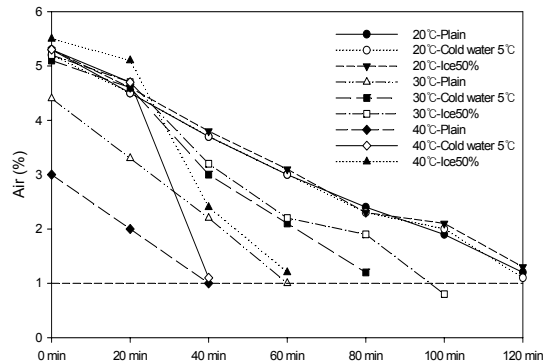
슬럼프 및 공기량은 콘크리트 타설시 작업성(workability)과 내구성에 큰 영향을 미치는 주요 인자로서 배합수 냉각방법과 지연제 사용에 따른 슬럼프 및 공기량 경시변화 결과를 Fig. 4 ~ Fig. 7에 나타내었다.

Fig. 4와 Fig. 5는 냉수 및 Ice Flake 사용에 따른 슬럼프와 공기량 경시변화를 나타낸 것으로 외기온도 20℃의 모든 배합에서 초기 슬럼프 값은 150mm, 공기량은 5.3%로 나타났으며, 슬럼프 20mm, 공기량 1% 도달시간은 120분으로 나타났다. 반면, 외기온도 40℃의 경우 Plain의 초기 슬럼프 및 공기량은 60mm, 3.0%로 나타났으나, 냉수 및 Ice Flak를 사용한 배합에서는 초기 슬럼프 및 공기량은 기준 조건을 만족하였다. 그러나 외기온도 조건 40℃에서의 슬럼프 및 공기량 경시변화는 20분 경과 후 높은 외기온도의 영향으로 급격한 감소율을 나타내었다.

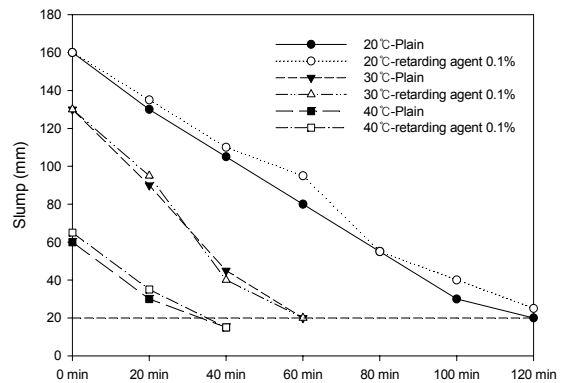
Fig. 6과 Fig. 7에서 콘크리트 지연제 0.1% 첨가에 따른 슬럼프 및 공기량 경시변화는 Plain과 같이 외기온도가 증가함에 따라 저하되는 것으로 나타났으며, 외기온도 20℃를 기준으로 10℃ 증가함에 따라 초기 슬럼프는 160mm, 130mm, 60mm, 공기량은 약 1%씩 감소하는 것으로 나타났다. 슬럼프 20mm, 공기량 1% 도달시간은 외기온도 20℃에서 120분으로 나타났으나, 30℃와 40℃의 경우 60분과 40분으로 나타나 외기온도 상승이 슬럼프 및 공기량 경시변화 속도를 빠르게 하는 것으로 나타났다.



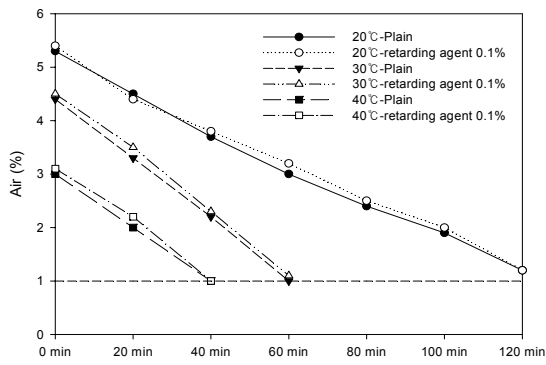
[Fig. 4] Slump ageing changes for the cooling method for mixing water



[Fig. 5] Air volume ageing changes for the cooling method for mixing water



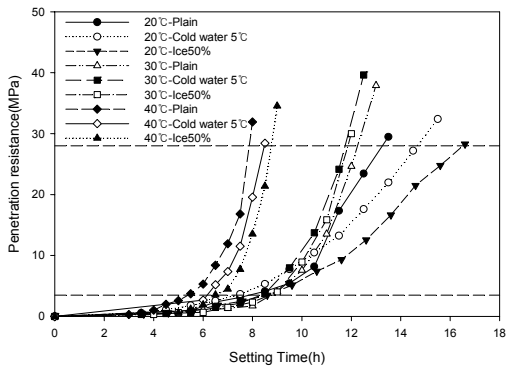
[Fig. 6] Slump ageing when a retarder is used



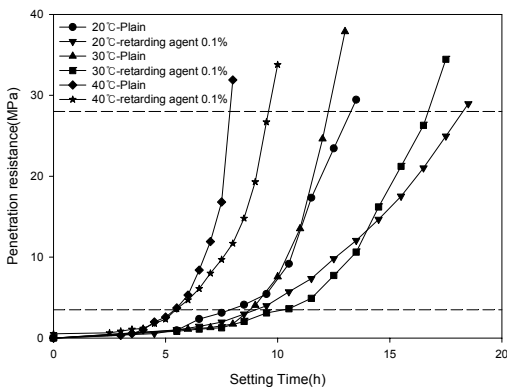
[Fig. 7] Air volume ageing when a retarder is used

### 3.1.2 응결시간

콘크리트 연속타설시 이어치기면의 콜드조인트 발생 및 거푸집 탈영시기를 알아보기 위하여 응결시간을 측정하고 있으며, 본 연구에서는 관입저항 시험기를 사용하여 측정된 배합수 냉각방법과 지연제 사용에 따른 초결과 종결 시험결과를 Fig. 8과 Fig. 9에 나타내었다.



[Fig. 8] Setting time for the cooling method for mixing water



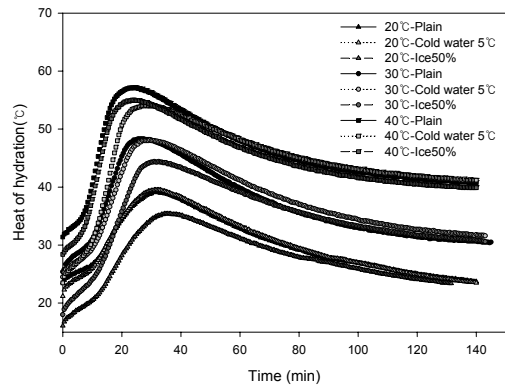
[Fig. 9] Setting time when a retarder is used

Fig. 8 배합수 냉각방법에 따른 초결과 종결은 온도별 Plain과 비교할 때 20°C의 경우 냉수 5°C일 때 45분과 2시간, Ice Flake일 때 2시간과 3시간 증가하는 것으로 나타났으며, 40°C의 경우 냉수 5°C일 때 초결과 종결 모두 40분, Ice Flake일 때 50분과 1시간 응결시간이 증가하는 것으로 나타났다.

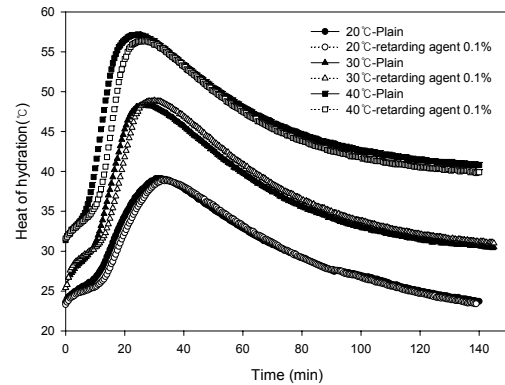
Fig. 9는 지연제 사용에 따른 응결시간을 나타낸 것으로 온도별 Plain과 비교할 때 초결은 20°C에서 75분, 30°C에서 40분, 40°C에서 10분 증가하는 것으로 나타났으며, 종결은 20°C에서 300분, 30°C에서 150분, 40°C에서 110분 증가하는 것으로 나타나 지연제 사용은 응결시간을 증가시키는 것으로 나타났다.

### 3.1.3 수화열 특성

단열 거푸집을 제작하여 외기온도 20, 30, 40°C 조건에 따른 배합수 냉각방법 및 지연제 사용에 따른 수화열 시험결과를 Fig. 10과 Fig. 11에 나타내었다.



[Fig. 10] Characteristics of the heat hydration for the cooling method for mixing water



[Fig. 11] Characteristics of the heat hydration when a retarder is used

Fig. 10은 배합수 냉각방법에 따른 수화열 특성을 나타낸 것으로 외기온도 20℃에서 냉수 5℃의 경우 Plain과 비슷한 최고온도 39.5℃와 도달시간 30.5시간을 나타내었으며, Ice Flake 50% 사용은 Plain에 비하여 타설온도와 최고온도를 5℃ 감소시키고 최고온도 도달시간을 약 3시간 지연시키는 것으로 나타났다. 또한, 외기온도 40℃에서 Ice Flake 50% 사용은 Plain 보다 타설온도와 최고온도를 6℃와 3℃ 감소시키는 것으로 나타났다.

Fig. 11에서 지연제 0.1% 사용시 수화열은 외기온도 20℃의 경우 32.5시간 후 최고온도 38.9℃, 40℃의 경우 25.5시간 후 최고온도 57.0℃로 나타났으며, Plain과 비교하여 최고온도는 비슷한 값을 나타내었으나, 도달시간은 20℃에서 2시간, 40℃에서 1시간 지연시키는 것으로 나타났다.

### 3.2 경화 콘크리트의 특성

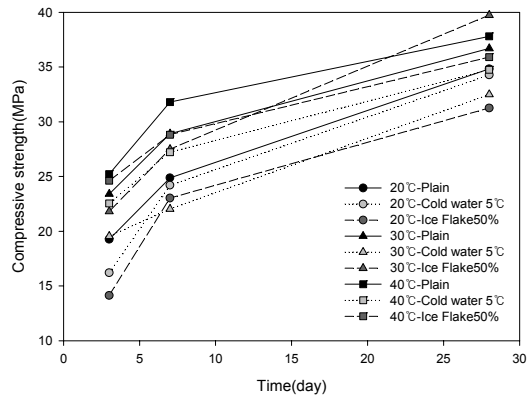
서중환경에서 배합수 냉각방법 및 지연제의 사용이 경화 콘크리트에 미치는 영향을 검토하기 위하여 재령별 압축강도를 측정하였다.

Fig. 12와 Fig. 13은 20℃, 30℃, 40℃의 양생온도조건에서 배합수 냉각방법 및 지연제사용에 따른 재령별 압축강도를 나타낸 것이다.

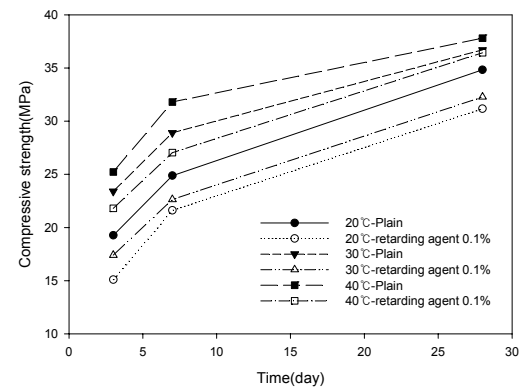
Fig. 12는 배합수 냉각방법에 따른 재령별 압축강도를 나타낸 것으로 외기온도 20℃의 경우 Plain과 비교하여 냉수 5℃ 및 Ice Flake 일 때 초기재령인 재령 3일에서 16.2MPa, 14.1MPa, 재령 7일에서 24.2MPa, 23.0MPa로 나타나 초기강도는 조금 낮게 나타났으나, 재령 28일에서 34.3MPa, 31.3MPa로 나타났다. 외기온도 40℃에서는 Plain의 경우 재령 3일에서 25.2MPa, 재령 7일에서 31.8MPa, 재령 28일에서 37.8MPa로 나타났다. 반면 배합수 냉각방법 중 냉수 5℃ 및 Ice Flake의 경우 재령 7일에서 27.2MPa, 28.8MPa로 나타나 Plain과 비교하여 초기강도 감소율은 16%, 9%를 나타내었다. 또한, 재령 28일에서는 냉수 5℃ 및 Ice Flake의 경우 34.7MPa, 35.9MPa로 나타나 Plain과 비교하여 약 2MPa 정도 낮은 값을 나타내었지만 설계기준강도를 만족하였다. 이와 같이 외기온도 조건과 배합수 냉각방법에 따른 압축강도는 초기재령과 재령 28일 모두 Plain에 비하여 낮게 나타났으나, 설계기준강도를 만족하는 것으로 나타내었다.

Fig. 13은 지연제 사용에 따른 재령별 압축강도를 나타낸 것으로 외기온도 20℃의 경우 지연제 0.1% 첨가 시 Plain에 비하여 재령 3일에서 22%, 28일에서 11% 감소하는 것으로 나타났으며, 외기온도 40℃의 압축강도 특성은 재령 3일에서 5.6%, 재령 28일에서 3.7% 감소하는 것으로 나타났다. 반면, 재령 28일에서는 지연제사용과 관

계없이 설계기준강도를 모두 만족하는 것으로 나타났다.



[Fig. 12] Characteristics of pressure strength for the cooling method for mixing water



[Fig. 13] Characteristics of pressure when a retarder is used

## 4. 결론

본 연구는 서중환경에서 배합수 냉각방법 및 지연제 사용이 서중원전콘크리트의 Fresh성상과 경화 후 콘크리트의 특성에 미치는 영향을 검토한 것으로 연구의 결론은 다음과 같다.

1. 배합수 냉각방법에 따른 슬럼프 및 공기량 경시변화는 Plain과 같이 외기온도가 증가함에 따라 저하되는 것으로 나타났으며, 외기온도 40℃에서는 20분 경과 후 냉수 및 Ice Flake 모두 슬럼프 및 공기량을 급격히 감소시키는 것으로 나타났다.



2. 지연제 0.1%를 사용한 굳지 않은 콘크리트의 슬럼프, 공기량 경시변화는 외기온도 20, 30, 40℃ 모두 비슷하여 지연제의 영향은 크지 않은 것으로 판단된다.
3. 관입저항에 의한 응결시간은 배합수 냉각방법의 경우 초결과 종결 모두 지연되는 것으로 나타났으나 외기온도가 높아질수록 지연폭은 감소하였다. 지연제 사용의 경우 Plain과 비교하여 초결과 종결 모두 지연되었으나 외기온도 상승에 따른 지연폭은 감소하는 것으로 나타났다.
4. 수화열 특성에서 배합수 냉각방법은 냉수 5℃ 및 Ice Flake 사용시 외기온도 20℃에서 냉수 5℃를 제외한 모든 배합에서 최고온도 도달시간을 1시간에서 8시간 정도 지연시키는 것으로 나타났으며, 외기온도가 증가함에 따라 지연시간은 감소하는 것으로 나타났다. 또한, 지연제의 사용은 최고온도 도달시간을 약 2시간 지연시키는 것으로 나타났으나 최고온도 값에는 영향을 미치지 않는 것으로 나타났다.
5. 배합수 냉각방법에 따른 재령별 압축강도는 외기온도 조건에 관계없이 초기재령인 3일, 7일에서는 Plain과 비교하여 낮은 강도 값을 나타내었으나, 재령 28일에서는 배합수 냉각방법에 관계없이 설계기준강도를 모두 만족하였다.
6. 지연제 0.1%를 사용한 경화 콘크리트의 재령별 압축강도는 초기재령에서 외기온도 20, 30, 40℃ 모두 Plain에 비하여 낮게 나타났으나, 재령 28일에서는 설계기준강도를 모두 만족시키는 것으로 나타났다.

## References

- [1] Il Hwan Moon et al., “Design and Durability of Concrete Structure in Nuclear Power Plant” Journal of Korea Concrete Institute, Vol. 22, No 6, pp. 44-49, 2010.
- [2] Suk Joon Chang et al., “Hot Weather Concrete Construction in Saudi Arabia ”, Journal of Korea Concrete Institute, Vol. 6, No. 4, pp. 37-41, 1994.
- [3] Korea Concrete Institute, “Standard Specification for Concrete” Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs, pp. 177-180, 2009.
- [4] Dong Wook Choi, “Hot Weather and Cold Weather Concreting” Journal of Korea Concrete Institute, Vol. 9, No. 4, pp. 14-19, 1997.
- [5] Jong Oh Choi, “Hot Weather Concrete Characteristics

Depending on Ambient Temperature Conditions” Master’s degree, Keimyung University, Daegu, 2011.

- [6] Klieger, P. “Effect of Micng and curing Temperature on Concrete Strength” ACI Journal, Proceedings, Vol. 54 No. 12, pp. 1063-1081, 1958.
- [7] Shin Park. “Condensation Characteristics Temperature Dependence of Hot Weather Concrete Casting” PhD thesis, Yeungnam University, Daegu, 2003.
- [8] Chul Hun Jung et al., “Study on Precooling of Concrete Using Ice and Cooling Water” Journal of Korea Concrete Institute, Vol. 12, No. 3, pp. 95-102, 2000.
- [9] Kyung Hwan Kim, “Ice Plant ” Journal of Korea Concrete Institute, Vol. 14, No. 4, pp. 56-58, 2002.

## 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

## 정 용 옥(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

---

**장 석 수(Seok-Soo Jang)**

[정회원]



- 2005년 2월 : 계명대학교 토목공학 (공학석사)
- 2012년 6월 : 계명대학교 토목공학 (공학박사)
- 2011년 10월 ~ 현재 : 계명대학교 첨단건설재료실험센터 책임연구원

<관심분야>  
콘크리트, 친환경 건설재료

---

**여 인 동(In-Dong Yeo)**

[정회원]



- 2009년 2월 : 계명대학교 토목공학 (공학석사)
- 2009년 3월 ~ 현재 : 계명대학교 토목공학과 박사과정

<관심분야>  
콘크리트, 친환경 건설재료

---

**최 종 오(Jong-Oh Choi)**

[정회원]



- 2011년 8월 : 계명대학교 토목공학 (공학석사)
- 2011년 9월 ~ 현재 : 계명대학교 토목공학과 박사과정 재학
- 2011년 9월 ~ 현재 : 계명대학교 첨단건설재료실험센터 연구원

<관심분야>  
콘크리트, 친환경 건설재료