

# 원전 배합 콘크리트의 외기대류계수에 관한 연구

## Study on the Coefficient of Air Convection for Concrete Mix of Nuclear Power Plant

이 윤\*      김진근\*\*      최명성\*\*\*      송영철\*\*\*\*      우상균\*\*\*\*\*  
Lee, Yun      Kim, Jin Keun      Choi, Myoung sung      Song, Young Chul      Woo, Sang Kyun

### ABSTRACT

The hardening of concrete after setting is accompanied with nonlinear temperature distribution caused by development of hydration heat of cement. Especially at early ages, this nonlinear distribution has a large influence on the tensile cracking. As a result, in order to predict the exact temperature distribution in concrete structures it is required to examine thermal properties of concrete.

In this study, the coefficient of air convection for concrete mix of nuclear power plant, which presents thermal transfer between surface of concrete and air, was experimentally investigated with variables such as velocity of wind and types of form.

The coefficient of air convection obtained from experiment increases with velocity of wind, and its dependance on wind velocity is varied with types of form. This tendency is due to a combined heat transfer system of conduction through form and convection to air. The coefficient of air convection for concrete mix of nuclear power plant obtained from this study was well agreed with the existing models.

### 1. 서론

1930년대 대형 댐의 건설로 처음으로 소개되었던 콘크리트의 수화열에 의한 온도균열 문제는 그동안의 수많은 연구를 통해 많은 부분이 진전되어 왔다. 그러나 해석적인 방법에서 중요한 입력변수에 대한 연구는 아직도 미진한 상태이다. 특히 콘크리트 표면에서 대기로의 열전달을 나타내는 외기대류에 대한 연구는 수화열 수치해석에 관한 연구에 비해 상당히 뒤떨어져 있는 것이 사실이다. 따라서 구조물의 특성상 바람의 영향을 크게 받는 해안가나 일부 지역에서는 외기대류에 의한 열손실이 크게 발생할 수 있으며, 이를 적절히 고려하지 않는다면 실제와는 다른 온도 해석결과를 얻을 수 있다.

외기대류계수는 콘크리트 표면과 대기 사이의 열교환을 나타내는 열물성치이다. 이러한 외기대류계수에 대한 연구는 열전도율이나 비열 등과 같은 열물성치에 비해 매우 부족하며, 다만 일부 연구자들에 의해 실시된 실험결과나 모델식이 제안되어 있다. Rastrup 등<sup>1-3)</sup>은 전형적인 외기대류계수의 범위

\* 정회원, 한국과학기술원 건설 및 환경공학과 박사과정

\*\* 정회원, 한국과학기술원 건설 및 환경공학과 교수

\*\*\* 정회원, 한국과학기술원 건설 및 환경공학과 석사과정

\*\*\*\* 정회원, 한국전력공사전력연구원 책임연구원

\*\*\*\*\* 정회원, 한국전력공사전력연구원 선임연구원

를  $4.3 \sim 30 \text{ kcal/m}^2 \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C}$ 라고 보고하고 있다. Mendes는 외기대류계수에 영향을 미치는 영향인자들을 실험방법에 따라 보정해주어야 한다고 제안했으며, 이를 경험적으로 콘크리트 표면 거칠기와 풍속의 함수로 나타내었다. 그러나 각 연구자들이 제안한 외기대류계수는 실험조건에 따라 값의 차이가 심하며, 거푸집의 다양한 영향을 고려하지 못하고 있다. 따라서 이 연구에서는 원전구조물의 정확한 수화열 해석을 위하여 원전 구조물 배합에 대한 콘크리트의 외기대류계수를 풍속과 거푸집의 영향을 고려하여 실험적으로 산정하였으며, 이를 기존의 모델식과 비교하였다.

## 2. 실험 개요

### 2.1 실험 재료 및 배합설계

Table 1은 사용된 콘크리트의 배합설계표로 현재의 원전 격납구조물 배합이다.

Table 1 콘크리트 배합(1종 시멘트)

배합강도 (kgf/cm <sup>2</sup> )	물/결합재 비(%)	물 (kgf)	결합재		잔골재 (kgf)	굵은골재 (kgf)	혼화재료		잔골 재율 (%)
			시멘트 (kgf)	플라이 애시 (kgf)			감수제 (cm <sup>3</sup> )	AE제 (cm <sup>3</sup> )	
386.7 (5500psi)	44.4	169.1	305.0	75.9	745.8	959.3	620.0	34.0	44

### 2.2 실험변수

외기대류계수는 풍속뿐만 아니라 거푸집의 종류에 따라서도 영향을 받으므로, 이 연구에서는 풍속 외에 거푸집의 종류를 고려하였다.

Table 2 실험 변수

풍속 (m/s)	거푸집 종류
0, 1	거푸집 없음, 양생포, 양생포+비닐

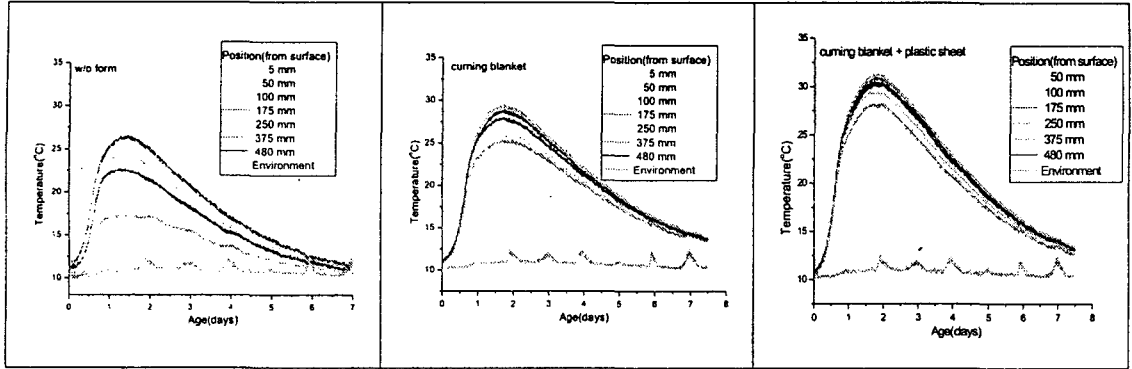
### 2.3 실험방법

실험은 동일 풍속에 대해 4개의 실험체(거푸집이 없는경우, 양생포, 양생포+비닐)에 대해 수행하였고, 바람은 설치된 풍동내의 송풍기를 이용하여 한 방향으로만 불어주었다. 풍속은 실험체의 개방면 바로 위의 풍속을 측정할 값이다

실험체는  $200 \times 200 \times 500 \text{ mm}$ 의 직육면체이고, 대류에 의한 영향을 보다 확실하게 하기 위해 두께 300 mm의 단열재(스티로폼)를 사용하여 콘크리트의 열전달을 개방면 방향으로 유도하였다. 온도는 K-type의 열전대를 실험체의 깊이 방향으로 총 7개소에 설치하여 측정하였다.

### 3. 실험 결과

#### 3.1 풍속에 따른 변화

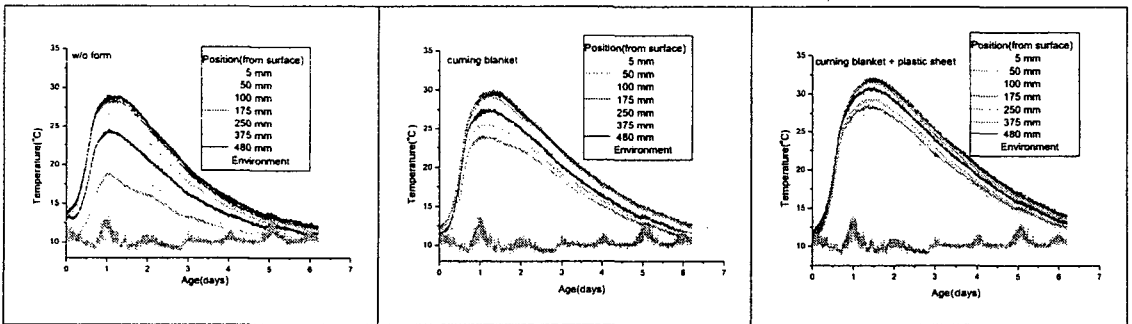


(a) 거푸집 없음

(b) 양생포

(c) 양생포+비닐

Fig. 1 각 위치에서의 온도이력(풍속 : 0 m/s)



(a) 거푸집 없음

(b) 양생포

(c) 양생포+비닐

Fig. 2 각 위치에서의 온도이력(풍속 : 1 m/s)

실험결과를 보면, 풍속이 빨라짐에 따라 최대 온도 시점의 온도차이가 증가하고 있다. 이를 통하여 심부의 온도저감률이 표면부의 온도저감률보다 작다는 것을 알 수 있다. 즉, 콘크리트를 통하여 심부에서 표면부로 열전도가 일어나는 속도보다 표면부에서 열이 소산되는 속도가 더 빠르다. 풍속이 빨라지면 외기대류계수가 증가하므로, 외기대류계수의 증가에 따라 열소산이 증가한다고 결론지을 수 있다.

#### 3.2 거푸집의 종류에 따른 변화

거푸집을 사용한 경우와 거푸집을 사용하지 않은 경우 온도분포가 확연한 차이를 보이고 있다. 즉 거푸집을 사용함으로써 외기로의 열 소산율이 떨어지기 때문에 결과적으로 심부와 표면부의 온도차이가 작아진다.

또한 양생포 거푸집 경우와 양생포+비닐 거푸집에 따른 온도분포를 보면, 거푸집의 종류에 따라서

도 온도분포의 변화가 일어남을 알 수 있다. 양생포만 사용했을 경우는 양생포에 비닐을 추가했을 경우에 비해 심부와 표면부에 관계없이 외기로의 열소산이 더 잘 이루어진다. 따라서, 수화열에 의한 균열을 방지하기 위한 보온양생시, 양생포에 비닐을 사용한 경우가 더 큰 보온 효과를 나타내게 된다.

Table 3 실험 결과

1종 시멘트	거푸집 없음		양생포		양생포+비닐	
	속성도 ( $^{\circ}\text{C} \cdot t$ )	외기대류계수 ( $\text{kcal}/\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot ^{\circ}\text{C}$ )	속성도 ( $^{\circ}\text{C} \cdot t$ )	외기대류계수 ( $\text{kcal}/\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot ^{\circ}\text{C}$ )	속성도 ( $^{\circ}\text{C} \cdot t$ )	외기대류계수 ( $\text{kcal}/\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot ^{\circ}\text{C}$ )
0 m/s	60	11.78	60	4.93	60	2.438
	100	7.58	100	2.8	100	2.66
1 m/s	60	13.478	60	4.61	60	2.454
	100	10.141	100	3.74	100	2.47

#### 4. 결 론

현재의 원전 격납구조물 배합에 대한 외기대류계수 실험을 수행한 결과 얻은 결론은 다음과 같다.

- 1) 콘크리트 표면과 외기와의 열전달을 나타내는 외기대류계수는 풍속외에도 거푸집의 종류 및 두께에 따라 영향을 받는다.
- 2) 원전구조물의 보다 정확한 수화열 해석을 위해서는 추후 외기대류계수에 관한 이론적인 배경을 통하여 앞에서 언급한 영향인자를 모두 고려할 수 있는 외기대류계수 모델식이 필요하다고 할 수 있다.
- 3) 수화열 해석의 정확도를 높이기 위해서는 콘크리트의 열특성계수에 관한 연구가 필요하며, 이 연구에서 수행된 외기대류계수에 대해서 실제 현장에서 사용되고 있는 거푸집 형태(유로폼, 양생포 등)와 보다 다양한 거푸집 형상(두께 변화 등), 그리고 현장 시공조건에 대한 추가적인 연구가 필요할 것으로 사료된다.

#### 감사의 글

이 연구는 한국원자력연구소의 원자력중장기사업 중 '원전콘크리트 구조물 수화열 및 건조수축 저감' 과제의 연구비 지원에 의해 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

#### 참고문헌

1. Rastrup, E., "Heat of Hydration in Concrete," Magazine of Concrete Research, Vol. 6, No. 17, 1954, pp.79~92.
2. Hsieh, C., Qin, C., and Ryder, E., "Development of Computer Modelling for Prediction of Temperature Distribution Inside Concrete Pavements", Report FL/DOT/SO/90-374, Mechanical Engineering Dept., University of Florida, Gainesville, 1989.
3. Chapman, "Fundamental of Heat Transfer", Macmillian Inc., New York, 1982.