

콘크리트의 고강도화에 따른 열전도율에 관한 연구

이동진 · 김동준 · 권영진 · 이재영* · 原田和典*

호서대학교 소방방재학과 · 日本京都大学

A Study on the Thermal Conduction Ratio of Concrete according to Compressive Strength

Lee, Dong Jin · Kim, Dong Joon · Kwon, Young Jin

· Lee, Jae Young* · Kazunori Harada*

Dept. Fire & Disaster Prevention of Hoseo Univ,
Kyoto University*

요 약

화재시 고온에 고강도콘크리트가 노출되었을 경우에는 심각한 성능저하 및 손상이 발생할 가능성이 매우 높다. 화재시 고강도 콘크리트는 수밀성으로 인해 폭발 현상이 더욱 심하게 발생할 것으로 판단된다. 열전도율은 전반적으로 물질과 열의 이동에 의존하며, 콘크리트 내부에서 물리·화학적 반응이 중요한 역할을 한다.

본 연구에서는 콘크리트의 공기량을 비교하면 실험값과 일치하는 해석 결과를 얻을수 있었고 공극 중에서 함수와 온도를 고려해 해석하면 실험값과 일치하는 결과를 얻었다. 또한, 콘크리트의 열전도율의 해석 결과 200℃ 이상의 고온에서 실험값과 일치하는 결과가 도출 되었다.

1. 서 론

최근 우리나라는 건축물이 초고층화 및 초대형화로 가는 추세이다. 이러한 초고층 건축물은 고강도콘크리트를 사용하여 구조적 장점뿐만 아니라 내구성 및 사용성이 우수하여 건축·토목 구조물에서의 활용이 점차 증대되고 있다. 그러나 고강도 콘크리트는 화재 시 고온에 의한 폭발문제로 인해 사회적인 문제로 대두되고 있다. 고강도콘크리트는 강도를 내기 위해 혼화재를 사용하여 내부조직이 치밀해져 화재 시에는 수증기를 배출시키지 못해 일정 정도의 고온에서 갑작스럽게 부재 표면이 심한 폭음과 함께 박리 및 탈락하는 폭발현상이 일어나 부재의 안정성이 저하될 수 있는 가능성이 더 큰 것으로 알려져 있다.

따라서 본 연구는 콘크리트의 고강도화에 따른 열전도율의 특성을 실험과 해석을 통하여 분석한 것이다.

2. 콘크리트 열적특성 실험 및 열전도율 예측방법

2.1 실험계획

콘크리트의 압축강도, 열전도율, 열확산계수 그리고 비열을 실험적으로 검토를 하기 위한 실험계획은 표 1과 같이 정리하였다. 또한 실험변수로 콘크리트의 설계강도 21, 50, 80, 100MPa의 4종류로 하였으며, 양생조건은 표준양생으로 28일로 설정하였다. 표 2에는 사용재료의 물성치값을 정리하였고, 표 3에는 설계강도에 의한 배합비를 정리하였다.

표 1. 실험 계획

F _{ck} (MPa)	양생 조건	실험항목		측정 온도(°C)
		Fresh State	Hardened State(28日)	
21	표준 양생 (28日)	공기량	압축강도	30, 80
50		Slump	열전도율	100, 120
80		Slump-flow	열확산계수	200, 400
100			비열	600, 800

표 2. 사용 재료의 물성치 값

Materials	Density	Size	Note
Water	1.00	-	
Cement	3.15		O.P.C
Fly-ash	2.23		4000Glass
Silica-fume	2.20		200000Glass
Sand	2.54	5mm	Sea sand
Grave	2.59	19mm	Crushed stone-화강암

표 3. 콘크리트의 배합비

F _{ck} (Mpa)	W/B (wt.)	Air (%)	Unit weight (kg/m ³)					
			Binder	C	FA	SF	S	G
21	0.60	4	287	249	29	9	756	1022
50	0.32	4	516	413	77	26	722	864
80	0.22	4	705	543	106	56	640	797
100	0.18	4	833	625	125	83	552	778

2.2 MAXWELL모델의 열전도율의 해석 방법

MAXWELL의 모델(1873)은 고분자 복합재료의 열전도율의 예측을 위한 모델로서, 충전제와 고분자의 열전도율을, 충전제의 체적비로 열전도율을 예측하는 모델이다.

그림 1은 MAXWELL의 모델을 콘크리트에 적용하는 방법을 나타낸 것이다. 콘크리트는 시멘트, 배합수, 잔골재 및 굵은 골재에 필요에 따라 혼화제를 적절한 비율로 섞어서 만든 혼합물을 말하며, 모르타르는 콘크리트에 굵은 골재를 사용하지 않은 것이고, 시멘트 페이스트는 골재를 사용하지 않는 혼합물이다. 재료에 대해서, 2 종류를 임의의 체적비율로 혼합할 수 있다. 여기에서 2종 복합 재료의 열전도율은 그림 2에 나타낸 것처럼 연속상과 분산상을 임의의 비율로 혼합한 재료가 열전도율을 식(1)에 의해서 구할 수 있다.

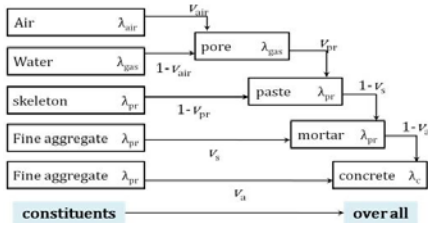


그림 1. 콘크리트 열전도율의 모델

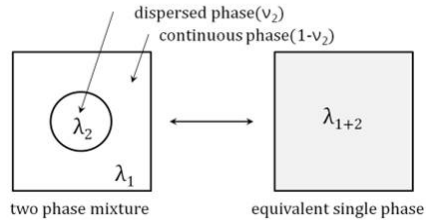


그림 2. 2종 복합재료의 열전도율

$$\lambda_{1+2} = \lambda \frac{\lambda_2 + 2\lambda_1 - 2v(\lambda_1 - \lambda_2)}{\lambda_2 + 2\lambda_1 + 2v(\lambda_1 - \lambda_2)} \quad \text{식(1)}$$

3. 실험결과 및 고찰

그림 3은 공기량을 설계값과 측정값으로 해석한 결과를 나타낸 것으로 120℃에서는 모두 측정값보다 작지만 600℃에서는 공기 측정값을 적용하면 측정값과 일치하는 경향을 나타내었다. 그림 4는 콘크리트의 압축강도와 온도변화에 따라 열전도율 실험결과를 나타내었다. 실험개시에서 100℃ 이내에서 큰 온도 차이를 보이지 않던 시험체들은 100~200℃ 구간에서 급격한 열전도율 값이 하강하였으며, 이 중 일반콘크리트에 속하는 21MPa 시험체는 110℃에서 큰 폭으로 하락하였다. 이후 200~400℃구간에서는 약 0.2(W/m·K) 정도 하락하였으며 온도가 800℃ 도달하였을 때 0.3(W/m·K) 정도 하락하는 것으로 측정되었다. 이는 200℃부터 800℃까지 열전도율이 하락하는 경향을 나타낸 것이다.

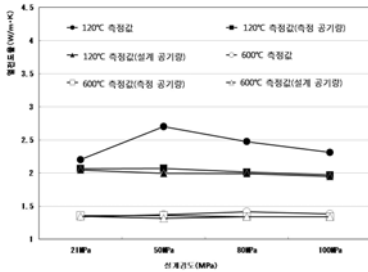


그림 3. 공기량의 영향

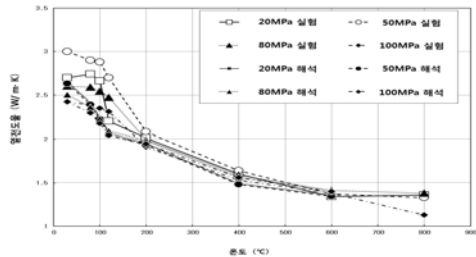


그림 4. 콘크리트 열전도율 실험값과 해석값 비교

시멘트와 물의 수화(水和)생성물의 체적은 수화(水和)전의 각각의 체적의 합보다 작아 지지만, 그 양은 미세하기 때문에 본 연구에서는 이 영향을 무시했다. 시멘트 페이스트는 경화할 때 시멘트 중량의 25%가 물과 결합한다. 또한 고강도 콘크리트는 25%이하의 설계에서도 물은 모두 수화 반응으로 사용되는 것으로 가정하였다.

또, 콘크리트의 배합 설계 시 일반적으로 workability를 고려하고, 4~5%의 공기량을 설정한다. 그러나 실제로 혼합할 때의 공기량의 측정값은 고강도화 될수록 그 값은 작아진다.

따라서, 공기량을 설계량과 측정량으로 나누어 분석했다. 이상의 조건으로 얻을 수 있던 콘크리트의 배합비를 그림 5에 나타내었다.

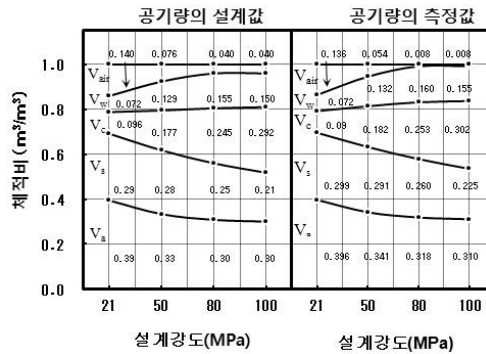


그림 5. 공기량의 설계값과 측정값의 대비

4. 결 론

각종 콘크리트의 열전도율의 해석을 통해서 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 콘크리트의 공기량의 측정치를 적용하면 실험값과 일치하는 해석 결과를 얻었다.
2. 공극 중에서 함수가 잔존하는 온도를 고려하여 해석한 결과 실험값과 일치하는 결과를 얻었다.
3. 콘크리트의 열전도율 해석 결과 200°C 이상의 고온으로의 실험값과 일치하는 결과가 도출되었다.

즉, 콘크리트의 열전도율의 예측에 대해 공기량과 공극중의 함수를 고려하면 좋은 결과를 얻을 수 있다. 단, 상온으로부터 120°C의 범위에서는 해석값은 실험값보다 매우 작아지므로 이것은 수분의 이동이 관여하고 있다고 판단되며 향후의 구체적인 연구를 수행할 예정이다.

감사의 글

본 연구는 2008년 한국과학재단 특정기초연구과제 20100027581 지원에 의하여 수행하였으며, 관계자에게 감사를 드립니다.

참고문헌

1. 이재영 외4명 “各種強度コンクリートの高温時の熱伝導率の推算方法”に関する研究, 日本火災學會研究發表會概要集, 2010
2. 김홍렬, “고온 영역에서 고강도 콘크리트의 역학적 특성에 관한 실험적 연구”, 건국대학교 대학원 박사학위 청구논문, 2002.11
3. 신성우 외9명 “고강도콘크리트 구조내화설계” 대한건축학회, 2008
4. NFPA, SFPE Handbook of Fire Protection Engineering, 2008
5. 原田和典, 寺井俊夫, “コンクリートの高温時の熱伝導率推算方法に関する研究”, (社)日本建築學會近畿支部研究報告集, 第32号・計畫系, pp. 157-160, 1992