

黑鉛을 혼합한 發熱모르타르의 電氣的 特性에 관한 研究

A Study on the Electrical Characteristics of Heat-generation Mortar mixing Graphite

박 상 준* 원 철** 이 상 수** 권 영 호*** 박 철 립****
Park, Sang-Jun Won, Cheol Lee, Sang-Soo Kwon, Yeong-Ho Park, Chil-Lim

Abstract

From the results of study on the electrical characteristics of heat-generation mortar used graphite as fine aggregates is summerized as following. The primary purpose of this study is the mixing ratio of graphite(35%, 50%/Sg), curing conditions(autoclave, steam, surface, underwater) and shape change(length, section of the electric heat-generation mortar).

In case of the test condition with the steam curing conditon appearance to most excellent heat-generation reproducibility. And temperature a cofficient of electric heat-generation mortar change from is in inverse proportion to the temperature a cofficient of direct proportion as the ratio of graphite mixing increased.

1. 序 論

1.1 研究背景

文明的 발달과 아울러 다양한 사회적 요구기능을 충족시키기 위하여 많은 재료가 개발되고 있으며, 이러한 재료적 요소기술을 건설분야에 응용하고자 하는 노력이 계속되고 있다. 특히, 모르타르 또는 콘크리트 분야에 접목되고 있는 요소기술의 하나는 골재의 일부를 흑연 및 기타 부재료를 사용하여 전기에 대한 양도체의 성능을 부여하는 電氣發熱 모르타르가 개발되고 있다. 이러한 電氣發熱 모르타르는 電氣抵抗 및 傳導·發熱特性, 電波 遮斷性能 등을 발휘할 수 있기 때문에, 국내에서도 많은 분야에 활용될 수 있을 것으로 예상된다.

최근에 국내의 일부연구소¹⁾에서 이러한 전기발열 모르타르의 성능을 이용하여 住宅暖房 및 2次製品의 개발에 접목하기 위한 연구가 활발히 진행되고 있으나, 아직까지는 실제로 실용화할 수 있는 理論的 體系를 확립하지는 못한 실정이다.

따라서, 본 연구에서는 전기발열 모르타르에 대한 이론적 접근과 아울러 체계적인 기초연구를 통해 실용화 가능성과 요소기술의 특성을 검토하고자 한다.

1.2 研究目的 및 範圍

일반적으로 電氣 加熱方式은 저항가열, 아크가열, 유도가열, 유전가열, 적외선 가열 등으로 구분하고 있다. 본 연구에서의 전기발열 모르타르는 가장 일반적인 가열방식인 抵抗加熱 方式으로서 전원에 직

* 정희원, (주)대우건설기술연구소 연구원
** 정희원, (주)대우건설기술연구소 주임연구원
*** 정희원, (주)대우건설기술연구소 선임연구원
**** 정희원, (주)대우건설기술연구소 소장·공박

접 연결된 導體(저항체)가 전류의 흐름을 방해하므로써 주열(J)열이 발생되는 방식으로 판단되어지는 데, 이는 대용량의 설비가 가능할 뿐 아니라 열량의 조절이 비교적 쉽다는 장점을 가지고 있다.²⁾

전기발열 모르타르는 電氣的 不導體인 기존의 시멘트-모르타르와는 달리 배합조성에 따라 電氣抵抗이 낮아지고 따라서, 導體化되어 전기를 입력함에 따라 발열하는 특성을 가지고 있다. 이러한 특성의 전기발열 모르타르는 제작시에 주원료로 黑鉛을 사용하게 되는데 이때, 黑鉛은 경도가 낮고, 입형이 거칠며, 다량의 미립분을 함유하고 있어, 동일한 단위수량의 천연골재를 사용한 경우보다 流動性 및 強度 등이 낮아지게 된다. 또한, 고온으로 상승하였을 경우 시멘트 경화체인 전기발열 모르타르의 열에 대한 耐久性이 저하되기 때문에 동일 환경하에서 發熱再現 등이 어려운 것으로 보고^{6,7)}되고 있으며, 아직까지 이러한 문제점들을 해결하지 못하고 있는 실정이다.

따라서, 본 연구에서는 기존의 연구결과^{6,7)}를 바탕으로 적정의 配合比를 선정한 후, 각 단계별로 구분하여 실험을 실시하였다. 먼저, I 단계에서는 최적배합을 결정한 후, 기초물성인 電氣抵抗, 電流 및 發熱特性 등을 검토하였다. II 단계에서는 發熱再現性을 검토하고, 전기저항 및 전류간의 相互關係를 규명하므로써 궁극적으로는 전기발열 모르타르의 電氣的 特性을 理論的으로 접근하고자 한다.

2. 實驗計劃 및 方法

2.1 實驗計劃

전기발열 모르타르의 전기적 특성을 理論的으로 규명하기 위하여 본 연구에서는 최적의 黑鉛 混入率 및 공시체의 養生條件 등을 결정한 후, 이에 따른 전기저항, 전류, 발열온도 및 소비전력량 등을 10분간격으로 측정하였으며, 아울러 形狀變化에 따른 특성도 분석하였다. 본 연구의 實驗要因 및 水準은 표1.과 같고, 모르타르의 配合 및 壓縮強度 시험결과는 표2.와 같다.

표1. 實驗要因 및 水準

要 因		水 準		
I 단계	배합사항	배합비(C : S(G))	1	1 : 3
		G/S(%/g)	2	35, 50
		단위수량(kg) 또는 W/C(%)	1	각 G/S(%/g)에서 모르타르의 플로우가 200±10mm범위로 결정
	공시체의 양생조건		4	증기양생, 습윤양생, 기건양생, 오토클레이브양생
	사용전압(Volt)		1	220
	측정시간(min)		1	60
II 단계	시험항목	굳지않은 상태	1	플로우값
		경화상태	3	① 전기저항(10분간격) ② 전위 입력에 따른 발열 온도측정(10분간격) ③ 소비전력량
		2	· 시험체의 형상변화 ① 단면적 변화 (3×3cm, 3×6.7cm, 3×10cm) ② 길이변화 (32, 74, 158, 200, 274cm)	

(주) S는 천연 잔골재이고, G는 黑鉛(graphite)임.

표2. 配合事項 및 壓縮強度 試驗結果

배 합 사 항				용적배합(l/m ³)			중량배합(kg/m ³)			압축강도(kg/cm ²)	
배합비 (중량비)	폭연 혼입율 (%/Sg)	W/C (%)	W (kg)	C	S	G	C	S	G	7일	28일
1 : 3	35	69.0	305	139	329	217	439	856	461	172	201
	50	71.9	307	135	245	303	427	640	640	144	174

(주) C ; 시멘트 S; 천연 잔골재 G ; 黑鉛(Graphite)

2.2 使用材料

본 연구에 사용한 시멘트는 KS L 5201에 적합한 D사의 보통 포틀랜드 시멘트(1종)이며, 잔골재는 남양만산 세척사, 黑鉛은 비중 2.11의 충북 청원군 마로면산을 사용하였다. 이때, 잔골재 및 黑鉛은 최대치수를 2.5mm이하가 되도록 입도조정하여 사용하였다. 黑鉛의 化學的 性質⁵⁾ 및 잔골재의 物理的 性質은 각각 표3. 및 표4.와 같다.

표3. 黑鉛의 化學的 性質

黑鉛	수분 (%)	휘발분 (%)	회분 (%)	고정탄소 (%)	기타 (%)
	4.31	3.69	33.6	55.4	3.0

표4. 잔골재의 物理的 性質

천연 잔골재	비중	공극율 (%)	흡수율 (%)	실적율 (%)	단위용적중량 (kg/m ³)
	2.61	35.2	0.52	64.8	1,690

2.3 實驗方法

전기발열 모르타르의 시험체는 시멘트의 오토클레이브 팽창도 시험(KS L 5107)에 사용되는 몰드(25.4×25.4×254mm)와 임의로 제작한 몰드(A=3×3cm, L=274cm)를 이용하여 제작하였으며, 전원을 입력하기 위한 電極은 銅판을 양단면의 全面에 정착시킬 수 있는 形態로 제작하였다. 전원의 입력은 그림 1.의 모식도와 같이 연결하여 실시하였는데, 이때, 使用電壓은 교류전원으로 변압기에 연결하여 電壓을 實驗計劃(220volt)대로 변화시킬 수 있도록 하였다. 實驗項目으로 굳지않은 상태에서는 물/시멘트비 결정을 위하여 플로우값을 측정하였으며, 경화상태에서는 모르타르의 發熱特性을 측정하기 위하여 공시체의 중앙상부표면에 "T" Type의 열전대를 고정한 후, Data Logger에 연결하여 10분 간격으로 60분까지 측정하였다. 또한, 電氣抵抗은 Multi Tester를, 電流는 전류계를 병렬로 연결하여 發熱特性 시험과 동일시점에서 측정하였다.

3. 實驗結果 및 分析

3.1 養生條件 變化에 따른 試驗結果

그림2.는 각각의 재령별 黑鉛 混入率과 공시체 양생조건별 시간경과에 따른 發熱特性을 나타낸 것이다.

전반적으로 電氣發熱 모르타르의 최고 상승온도는 기존의 연구보고^{6),7)}와 유사한 경향을 나타내었는데, 흑연 혼입율이 높고 공시체의 양생조건이 비교적 다량의 수분을 포함하고 있는 蒸氣養生이거나 濕潤養生인 경우가 가장 높은 것으로 나타났다.

특히, 재령 7일이고, 흑연 혼입율이 50%인 시험체의 경우, 각각 증기양생은 84.4℃, 濕潤養生은 96.3℃까지 상승하는 것으로 나타났다. 한편, 재령별로는 동일 배합조건이고, 재령 4개월 경과된 공시체의 경우, 7일 재령과 유사하거나 다소 높은 발열특성을 나타내었기 때문에, 配合 및 養生條件, 最高上昇溫度 등을 면밀히 검토한다면 發熱再現도 충분히 가능하다는 것을 알 수 있다.

그러나, 양생조건이 濕潤養生인 일부의 시료는 전원입력 초기에 급격히 온도상승한 후, 전원입력 약 40분후부터 점차 낮아져, 발열재현이 어려운 것으로 나타났는데, 이는 전기발열 모르타르의 內部溫度

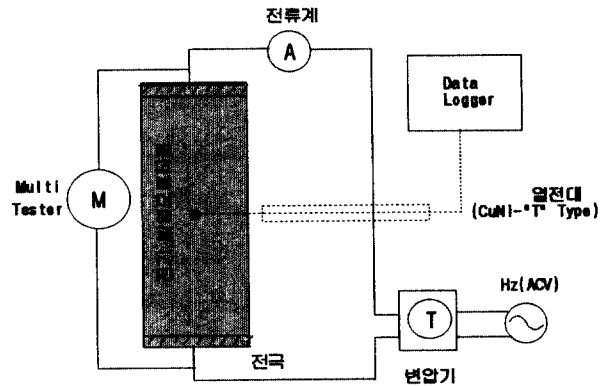


그림1. 電氣發熱 모르타르의 發熱試驗 模式圖

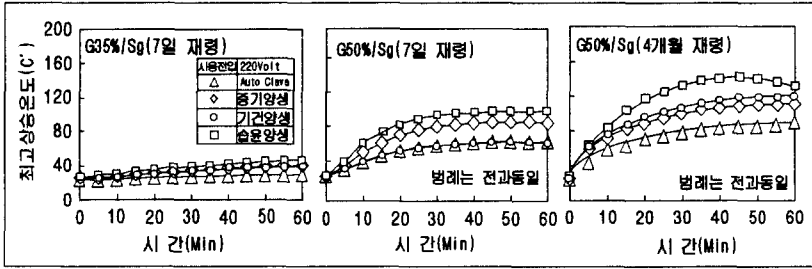


그림2. 黑鉛混入率 및 養生條件 變化에 따른 發熱特性

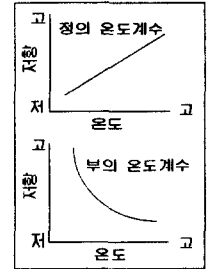


그림3. 傳導體의 溫度係數

가 상승함에 따라 수분이 體積膨脹하는 것과 시멘트-페이스트와 사용골재의 체적변화 등이 상이함에 기인하여 나타난 결과로 보여진다.

따라서, 電氣發熱 모르타르를 실무에 활용하기 위한 공시체의 양생방법은 最高上昇溫度가 다소 낮으나 비교적 안정된 發熱再現性을 갖는 蒸氣養生이나 Autoclave 양생등이 유리할 것으로 예상된다.

3.2 電氣發熱 모르타르의 溫度係數

어떤물체의 溫度가 변화할 경우, 1°C의 溫度變化에 대한 그 물체의 抵抗變化를 저항의 溫度係數라 한다. 특히, 난방이나 조명의 목적으로 사용되는 傳導性 물체의 경우에는 온도가 변화함에 따라 저항도 크게 변화한다. 이러한 傳導性 物體는 그림3.과 같이 크게 두 분야로 구분할 수 있는데, 온도가 상승함에 따라 저항도 함께 증가하는 것(正的 溫度係數라 하며, 니크롬선과 같은 금속)과 탄소, 전해액, 절연체 및 반도체 등과 같이 오히려 抵抗이 減少하는 것(負의 溫度係數)이 있다.^{2,4)}

그림4.는 電氣發熱 모르타르의 양생조건이 본 연구범위인 증기양생 및 습윤양생일 경우, 각 시점에서의 最高上昇溫度와 電氣抵抗과의 관계를 이용하여 전기발열 모르타르의 溫度係數를 나타낸 것이다.

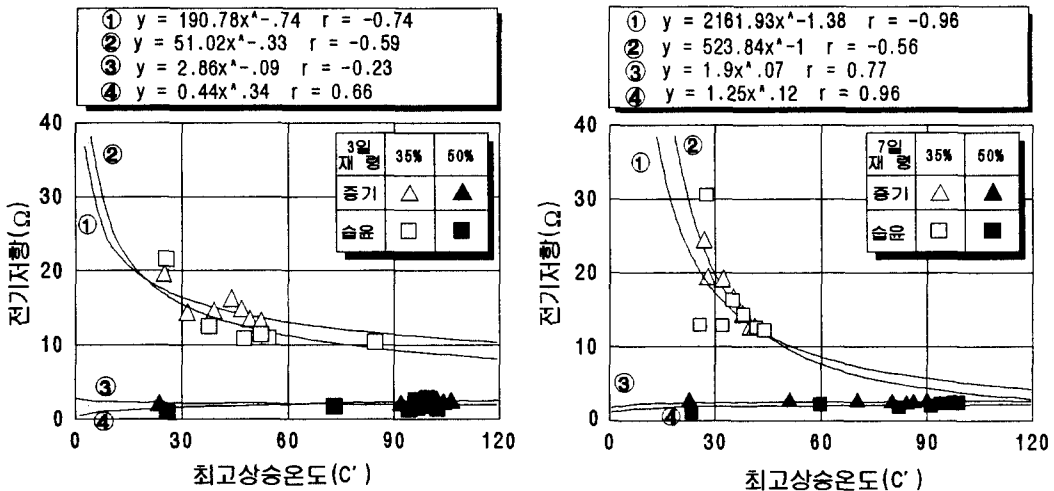


그림4. 電氣 發熱모르타르의 溫度係數

分析結果, 흑연 혼입을 35%의 경우는 탄소체나 반도체 등에 해당하는 負의 溫度係數인 것으로 나타났으나, 흑연 혼입율이 증가함에 따라 즉, 黑鉛 混入率 50%의 경우 기존의 금속체에 해당하는 正的

溫度係數에 가깝게 근접하고 있는 것으로 나타났다. 이러한 실험결과를 고려할 때, 전기발열 모르타르의 溫度係數는 黑鉛의 混入量 등과 같은 모르타르의 配合組成에 따라 負의 온도계수 영역에서 正의 온도계수 範圍까지 쉽게 변화시킬 수 있을 것으로 예상된다.

그림5는 각종 전도체와 본 연구의 배합조건에 따른 온도계수를 비교한 것이다. 재령 7일에서 흑연 혼입율이 50%인 전기발열 모르타르의 溫度係數는 蒸氣養生의 경우 0.00390, 습윤양생의 경우 0.00497인 것으로 나타났는데, 이는 일반적인 傳導體로 사용되는 동(0.00393), 텅스텐(0.0045), 철(0.005)과 비교할 때 거의 유사한 결과임을 알 수 있다.

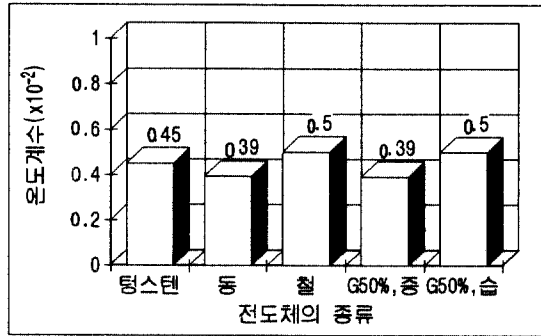


그림5. 각종 傳導體의 溫度係數 상호비교

3.3 電氣發熱 모르타르의 形狀變化에 따른 試驗結果(단면적 및 길이변화)

그림6은 앞에서 분석된 전기발열 모르타르의 發熱特性 시험결과를 바탕으로 비교적 再現性이 양호한 흑연 혼입율 50%이고, 양생조건이 蒸氣養生인 시험체의 길이변화(34cm, 74cm, 158cm, 200cm, 274cm)에 따른 電氣抵抗 및 電流의 변화특성을 나타낸 것이다.

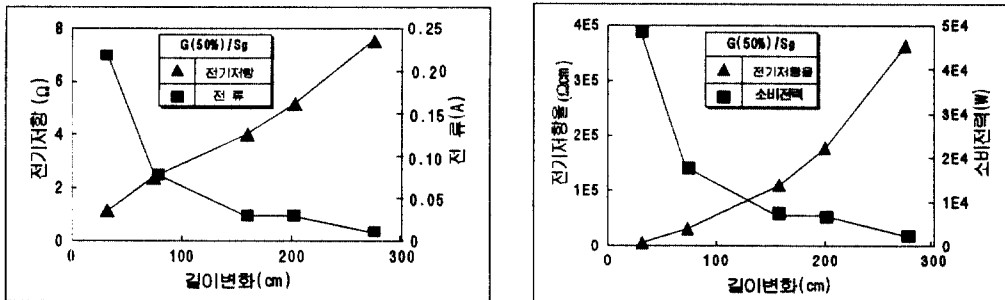


그림6. 길이변화에 따른 電氣抵抗 및 電流간에 상호관계

實驗結果, 시험체의 길이가 길어짐에 따라 電氣抵抗은 비례하여 증가하는 반면에 電流量은 감소하는 것으로 나타났다. 이러한 결과를 溫度係數 變化特性과 연관지어 분석하면, 시험체의 길이가 길어짐에 따라, 즉 抵抗이 증가함에 따라 모르타르의 溫度係數는 負의 溫度係數에 해당하는 것을 알 수 있었다.

따라서, 電氣發熱 모르타르를 실용화하기 위해서는 사용용도에 따라 배합조건뿐만 아니라 시험체의 길이도 효율성 측면에서 면밀히 검토해야 할 것으로 보여진다.

표5는 그림6과 동일한 방법으로 전기발열 모르타르의 斷面積이 변화함에 따른 電氣抵抗 및 電流 변화특성을 나타낸 것이다. 즉, 시험체의 길이가 일정(65cm)할 때, 단면적이 9cm², 20.1cm², 30cm²로 증가할수록 그림6의 결과와는 반대로 抵抗은 작아지고, 電流量은 증가하는 경향을 나타내었다.

본 연구를 통해 시험체의 길이나 단면적과 같은 形狀變化에 따른 전기발열 모르타르의 특성은 기존의 電氣的 理論에 근거하고 있다는 것을 확인 할 수 있었으며, 電氣發熱 모르타르에 대한 시험체의 최적길이는 흑연 혼입율이 50%이고, 모르타르의 단면적이 9.0cm²일 때, 74~158cm 범위가 가장 효율적인 것으로 나타났다.

표5. 전기발열 모르타르의 斷面積 變化 시험결과

배합사항				시험결과											
중량 배합비 (C:S)	W/C (%)	흑연 혼입율 (%/Sg)	시료 양생 조건	재령 (일)	시료의길이 ($l=65\text{cm}$)	경 화 상 태								소비전력 ($V \times I = \text{KW}$)	
						단면적 ($A = \text{cm}^2$)		전 류 (A)		저 항 ($k\Omega$)		최고 상승온도 ($^{\circ}\text{C}$)	저항율 ($R \times l / A = \rho$) (단위: $\Omega \cdot \text{cm}$)		
						초기	60분	초기	60분	초기	60분		초기	60분	초기
1 : 3	69	50 (30.6%/Mvol)	증기 양생	7	9.0	0.20	0.20	1.1	1.1	56.4	11349	11349	44.0	44.0	
					20.1	0.52	0.52	0.65	0.65	66.1	2092	2092	114.4	114.4	
					30.0	0.76	0.77	0.3	0.3	72.8	650	650	167.2	167.2	

따라서, 電氣發熱 모르타르의 이러한 특성을 이용하면 기존의 電熱方式보다 비교적 손쉬운 방법으로 다양한 기능을 충족시킬 수 있을 것으로 예상되며, 아울러 일반용도 및 특수용도에도 크게 활용할 수 있기 때문에 이 분야에 관한 계속적인 연구가 필요하다.

4. 結 論

黑鉛을 혼합한 電氣發熱 모르타르의 실용화를 위한 본 연구의 實驗結果를 요약하면 다음과 같다.

1) 최적의 양생방법 및 발열재현성 확인

양생조건별 모르타르의 최고상승온도는 공시체의 養生條件이 비교적 다량의 수분을 포함하고 있는 증기양생이거나 습윤양생인 경우에서 가장 높은 것으로 나타났는데 특히, 재령 7일이고, 黑鉛 混入率 이 50%인 모르타르의 경우, 각각 蒸氣養生은 84.4°C , 濕潤養生은 96.3°C 까지 상승하였으며, 發熱 再現性 에서는 Autoclave나 蒸氣養生의 경우가 가장 양호한 것으로 나타났다.

2) 모르타르의 온도계수 변화특성 확인

溫度係數 變化特性은 흑연 혼입을 35%의 경우 기존의 금속체에 해당하는 正의 溫度係數인 것으로 나타났으나, 흑연 혼입을 50%의 경우, 탄소체나 전해액 등에 해당하는 負의 溫度係數와 유사한 것으로 나타났다. 즉, 전기발열 모르타르의 溫度係數는 흑연의 혼입량등과 같은 모르타르의 배합조성에 따라 負의 온도계수에서 正의 온도계수까지 손쉽게 변화하는 것을 알 수 있었다.

3) 형상변화에 따른 전기적 특성 검토

본 연구범위의 전기발열 모르타르는 黑鉛 混入率이 50%이고, 모르타르의 단면적이 9.0cm^2 일 경우, 시료의 길이를 $74\text{cm} \sim 158\text{cm}$ 내의 범위로 하였을 경우가 가장 효율적인 것으로 나타났다.

參 考 文 獻

- 1) 유현형, 김홍수; 전기전도 콘크리트에 관한 조사연구, 한국에너지기술연구소, 1994.8
- 2) 전봉구의 2인; 건축설비, 성안당, 1986.1
- 3) 최기영, 심재홍; 최신 전기응용, 기한재, 1997.1
- 4) 국제전기(주); 월간 전기기술 (전기응용 및 전기기기 편), pp.147~150, 1986. 6
- 5) 한국동력자원연구소; 자원총람, pp.495, 1980
- 6) 朴相俊; 電氣傳導 모르타르의 發熱特性에 관한 實驗的 研究, 淸州大 碩士學位論文, 1996.12
- 7) 韓千求, 尹起源, 朴相俊; 電氣傳導 모르타르의 發熱特性에 關する 研究, 第2回 韓·日 建築材料 Joint Symposium 論文集, 日本北海道大, pp.154~157, 1996.8
- 8) 傳導性 콘크리트 鋪裝, セメント・コンクリート, No.599, pp.49, Jan. 1997