pISSN 1598-2033
eISSN 2233-5706

J. Korea Inst. Build. Constr. Vol. 16, No. 3 : 247-255 / Jun, 2016
http://dx.doi.org/10.5345/JKIBC.2016.16.3.247

www.jkibc.org

흑연을 혼입한 전기전도 모르타르의 전기저항 및 발열특성에 관한 실험적 연구

An Experimental Study on Electric Resistivity and Exothermic Property of Electrically Conductive Mortar using Amorphous Graphite

안 홍 진[1]　　김 상 헌[2*]　　최 수 경[3]

Ahn, Hong-JIn[1]　　Kim, Sang-Heon[2*]　　Choi, Soo-Kyung[3]

Graduate School, Department of Architecture, Hanseo University, Haemi-Myen, Seosan, 32158, Korea [1]

College of Architecture, Konkuk University, Gwangjin-Gu, Seoul, 05029, Korea [2]

Department of Architecture, Hanseo University, Haemi-Myen, Seosan, 32158, Korea [3]

Abstract

The exothermic property of electrical conductivity concrete would allow the heating system of house or snow melting system of tunnel, road or bridge deck. This study was performed on electric resistance, exothermic property and mechanical property of the mortar with graphite of carbon-based conductive material as a fundamental research for the heat conductive concrete development. As the results of this experiment, the increasement on the amorphous graphite substitution rate was found to decrease in the compressive strength, however, the electric resistance was found to be significantly lower. And, in order to demonstrate the exothermic property, the graphite was found to be included more than 15% of the total mortar volume. When low electric resistance obtained with a certain level of the graphite inclusion, exothermic value and applied voltage has a higher correlation, and the exothermic value and the square of the voltage appeared to be in a proportional relationship.

Keywords : electrically conductivity, amorphous graphite, electric resistivity, exothermic property, mortar

1. 서　론

콘크리트는 그 구성재료가 자연에서 쉽게 얻을 수 있는 재료를 기반으로 하고 있으며, 소요강도의 확보가 용이하고, 내구성, 시공성 및 경제성이 우수하여 건축, 토목의 재료로서 가장 널리 사용되고 있다. 특히 최근에는 일반적인 콘크리트가 갖고 있는 단점을 극복하거나 추가적인 성능향상을 목적으로 하는 다양한 시도가 이루어지고 있다.

Received : February 24, 2016
Revision received : April 18, 2016
Accepted : May 25, 2016
* Corresponding author : Kim, Sang-Heon
[Tel: 82-2-3436-7898, E-mail: granalma@konkuk.ac.kr]
ⓒ2016 The Korea Institute of Building Construction, All rights reserved.

콘크리트에 고기능성을 부여하는 기술의 일환으로 전기전도성을 부여하고 이를 통해 발열 성능을 확보할 수 있는 전기전도 발열 콘크리트에 대해 많은 시도가 있었다[1,2,3,4]. 전기전도 발열 콘크리트는 특히 우리나라와 같이 겨울철에 적설 및 결빙이 발생하고 이에 따라 도로, 교량 및 터널 등에서의 염화계 융설제 살포, 제설 차량의 운영 등의 소모성 대응이 이루어지고 이에 의한 환경 오염, 기존 구조물의 손상 등의 문제점을 극복할 수 있는 대안으로 제시되고 있으며, 온수온돌 바닥구조를 기본으로 하는 국내 주거 건축물의 구조형식을 효율적으로 개선하는 데에 기여할 수 있을 것으로 기대된다.

전기전도 발열 콘크리트에 관한 기존의 연구로는 흑연, 코크스, 카본블랙, 탄소섬유 등의 전도성 물질을 혼입한

콘크리트의 물리적 특성을 평가하거나 전기저항의 변화 또는 시험체의 발열 성상 확인 등이 이루어졌다[5,6,7]. 그러나 기존 연구들은 사용재료, 배합, 시험체의 규격, 시험방법이 각기 상이하며 결과에 대한 종합이 어려워 실제 발열 콘크리트 개발을 위한 실용화 자료로 제시되기에는 아직 부족한 것으로 판단된다.

이에 본 연구에서는 전기전도 발열 콘크리트의 개발을 위해 먼저 탄소계 재료인 흑연을 사용한 전기전도성 모르타르를 제조하여 이에 대한 기본적인 역학적 특성을 살펴보고 길이 변화에 따른 전기저항 특성 및 전압 변화에 따른 발열특성을 분석하여 전기전도 발열 콘크리트에 관한 기초 자료를 제시하고자 한다.

2. 전기전도 모르타르의 이론적 고찰

2.1 전기전도 모르타르의 개념

모르타르란 시멘트, 잔골재, 물을 일정 비율로 혼합한 것이며, 모르타르의 재료들은 일반적으로 부도체이기 때문에 전기 전도도를 나타내지 않는다. 일반적으로 모르타르는 $10^{8\sim12}\Omega$ cm의 저항성을 갖고 있지만 도전성 재료를 치환하여 모르타르를 제조할 경우 부도체인 모르타르의 전기 저항을 $10^{3}\Omega$ cm 수준으로 크게 낮추어서 전기 전도도를 갖는 모르타르로 변화한다. 러시아에서 처음 개발된 전기전도 콘크리트는 현재까지 접지저항 저감용, 낙뢰보호용, 정전기 방지용, 전자파 차폐용 및 친환경 발열체 등의 활용을 위한 다양한 연구와 노력이 수행되고 있다[8].

2.2 전기전도 모르타르의 원리

저항이 있는 도체에 전류가 흐를 때 도체 내에서 소비되는 에너지는 열을 발생하게 되는데, 이 때 발생하는 열을 줄열(Joule's Heat)이라 한다. 전류의 흐름의 제곱과 도체의 저항에 비례한다는 Joule의 법칙에 따라 발생하는 열을 열량으로 환산하면 아래 식 (1)과 같다. 이러한 줄열의 원리를 모르타르에 적용한 것이 전기전도성 발열 모르타르이다.

$$Q = 0.24\ I^2\ R\ t \quad \text{---------- (1)}$$

여기서, Q : 열량 (cal)
I : 전류
R : 저항
t : 시간 (sec)

전기전도 모르타르의 전기전도성은 모르타르 내의 전도성 물질의 첨가량에 따라 달라지게 되며, 전도성 물질의 양이 증가함에 따라 전기전도 모르타르의 비저항 값은 감소하게 된다. 즉, 모르타르 내에 전도성 물질이 많아질수록 전류의 흐름이 원활하게 되기 때문이다.

하지만, 전도성 물질을 첨가하여 전기전도 모르타르를 제조 하였어도, 전도성 물질 외의 혼화재료를 첨가하였다면 혼화재료가 전류의 흐름을 막아 흐름이 원활하게 되지 않기 때문에 저항이 증가하게 된다[9].

2.3 전기전도성 재료

전기전도 모르타르의 전도성 재료는 일반적으로 흑연 및 카본블랙, 코크스, 탄소섬유 등이 알려져 있다.

2.3.1 카본블랙(Carbon black)

카본블랙은 천연가스 및 타르 등의 불완전 연소로 생성되는 그을음으로써 입자의 크기는 흑연과 비슷하다. 화학적 조성으로는 탄소성분이 97% 이상이며, 표면에는 산소, 질소, 수소, 유황 등이 존재한다. 고대 중국에서는 소나무의 그을음에서 먹을 만들어 사용하였으나, 카본블랙은 잉크·먹·그림물감 등의 용도 외에 증강제, 내유성, 내열성, 내후성 및 전기전도성 등의 성질을 주기 위해 사용된다. 흑연과 혼합하여 건전지에도 사용되는데 이것은 전지블랙이라고 한다. 카본블랙의 물리적 특성은 아래 Table 1, 형상은 Figure 1과 같다.

Table 1. Physical characteristics of carbon black

Appearance	Powder / Pellet	Color	Black
Density (20℃)	1.7~2.3 g/ml	pH (ASTM 1512)	4.11
Bulk density	1.25~40 lb/ft^3 20~640 kg/m^3	Solubility	Insoluble
Pellet	200~680 kg/m^3	Decomposition temperature	300℃
Powder	20~380 kg/m^3	Self-ignition temperature	>140℃

Figure 1. Shape of carbon black

2.3.2 탄소섬유(Carbon Fiber)

탄소섬유는 탄화탄소가 주성분인 섬유로써 유기섬유를 안정화(Stabilization) 및 탄화(Carbonization), 2500℃ 이상에서의 연신 흑연화(Stretch Graphitization)를 시켜 얻어진 것을 말한다.

가열과정에서 질소, 산소, 수소 등의 분자가 빠져나가 중량이 감소되므로 알루미늄보다 가벼운 반면 철에 비해 탄성 및 강도가 뛰어난 것으로 나타난다[10]. 0.005~0.0010mm의 매우 가는 섬유로써 강도는 10~20g/d, 밀도는 1.5~2.1로 나타난다. 일반적으로 탄소 원자들은 섬유의 길이 방향을 따라 육각 고리 결정의 형태로 붙어 있다. 이러한 분자 배열로 인해 탄소섬유는 강한 물리적 속성을 나타내며, 고온 및 저온에서의 내열성 및 내충격성이 좋으며 , 화학적 안전성이 높아 산, 염기의 용매에 대한 내약품성이 우수하다. 또한 전기전도가 뛰어나 전극제나 전자파 차단재로 쓰인다.

2.3.3 흑연

흑연은 크게 천연흑연과 인공 흑연으로 나눌 수 있으며, 천연흑연의 경우 온도와 압력의 증가에 따라 그 형상과 특성이 달라져, 인상 흑연, 고결정질(high crystalline) 흑연, 미정질(microcrystalline or cryptocrystalline; amorphous) 흑연 등 세가지로 구분한다[11].

보통 흑연의 구조는 Figure 2와 같이 감마결합(Gamma bond)로 이루어져 있다. 이 감마결합은 매우 약한 결합으로 판상체가 미끄러지기 쉽다. 이렇게 쉽게 미끄러지는 성질때문에 흑연은 마찰계수가 매우 적고 윤활작용을 하므로, 코팅제나 윤활제로 쓰인다.

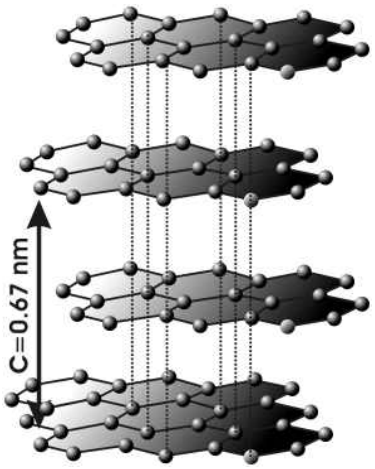


Figure 2. Crystal structure of the graphite[12]

천연 흑연의 경우 자연상에서 산출되는 것으로 보통 그 입자의 크기에 의해 분류는데 통상적으로 입자의 크기에 따라 인상(flake), 괴상(lump), 미정질 흑연 등으로 세분한다. 이러한 입자의 크기는 탄소의 함량에 영향을 미치며 흑연의 용도와 규격에 직결된다. 국내에서는 결정질 흑연을 통틀어 인상 흑연, 미정질 흑연을 토상흑연으로 일컫는다[13]. 흑연의 종류별 물리적 특성은 Table 2와 같다.

Table 2. Physical characteristics of the graphite

	Flake graphite	High crystalline graphite	Amorphous graphite
Appearance	flake	lump	powder
Carbon content	<60%	<100%	30~90%
Size(mm)	>0.1	0.001~0.1	<0.001
Crystal form		Hexagonal system	
Density		2.0 ~ 2.25	
Melting point		> 3,500℃	
Thermal conductivity (cal/cm sec ℃)		0.4 ~ 1.0	

3. 실험계획 및 방법

3.1 실험계획

본 연구의 실험 계획은 Table 3과 같다. 모르타르 배합비는 1:3 수준으로 고정하였으며, 물시멘트비 70%를 기본으로 한 Plain 배합과 전도성 재료인 흑연을 잔골재 치환율로서 17%에서 37%까지 5%씩 치환양을 늘려 단계별로 배합하였다. 또한 흑연의 치환에 따라 흑연에 포함된 휘발분의 점성으로 인하여 작업성이 매우 떨어진 것으로 나타나 적정한 유동성 확보를 위하여 고성능 감수제를 사용하였다.

Table 3. Design of experiment

Item	Factor	Contents	
Mix factors	C:S	1	1:3
	Type of graphite	1	Amorphous Graphite
	W/C(%)	1	70
	Replacement ratio of fine aggregate to graphite (%)	6	0, 17, 22, 27, 32, 37
Test factors	Hardening mortar	Compressive strength Specific resistance Properties of Exothermic	

Table 4. Mix design

Type	Mix ratio (C:S)	Contents of the graphite (%)	W/C (%)	Volume mix (l/m^3)				Weight mix (kg/m^3)			
				Cement	Fine aggregate	Graphite	Water	Cement	Fine aggregate	Graphite	Water
Plain	1 : 3	0	70	146	532	0	322	460	1,383	0	322
G-17		17			442	90			1,148	202	
G-22		22			415	117			1,079	261	
G-27		27			388	144			1,010	320	
G-32		32			362	170			941	380	
G-37		37			335	197			871	439	

굳은 모르타르에 대하여 압축강도, 비저항, 발열특성 시험을 실시하여 흑연의 치환율, 시험체의 길이에 따라 비교 · 분석 하였다. 실험 배합표는 Table 4와 같다.

3.2. 사용재료

3.2.1 시멘트

본 실험에 사용된 시멘트는 KS L 5201 규정을 만족하는 H사 제품의 1종 보통 포틀랜드 시멘트를 사용하였으며 물리 · 화학적 특성은 Table 5, 6과 같다.

Table 5. Physical characteristics of cement

Density (g/cm^3)	Fineness (cm^2/g)	Stability (%)	Setting time (min)		Compressive strength (MPa/days)		
			initial	final	3	7	28
3.15	3,630	0.08	255	345	28.4	41.4	54.5

Table 6. Chemical characteristics of cement

Composition	CaO	SiO_2	Al_2O_3	MgO	Fe_2O_3	SO_3
(%)	61.3	21.1	5.2	4.0	2.8	2.4

3.2.2 잔골재

본 실험에 사용된 잔골재는 인천산 세척 해사를 사용하였다. 물리적 특성은 KS F 2504 「잔골재의 밀도 및 흡수율 시험방법」에 따라 해사의 물성을 시험하였으며, 그 결과는 Table 7과 같다.

Table 7. Physical characteristics of fine aggregate

Density (g/cm^3)	Fineness modulus (F.M.)	Percentage of water absorption (%)
2.60	2.79	2.4

3.2.3 토상 흑연

실험에 사용된 전도성 재료는 토상 흑연을 사용하였으며 국내는 생산량이 거의 없고 수입에 의존 하고 있다. 본 실험에 사용된 중국산 토상 흑연의 물리적 특성은 Table 8과 같다.

Table 8. Physical characteristics of amorphous graphite

Appearance	Moisture (%)	Density (g/cm^3)	Particle size (mesh)	Fixed carbon (%)	Volatile matter (%)
Black powder	0.45	2.23	350-400	82.5	3

3.3 실험방법

3.3.1 시험체 제작

압축강도 평가용 모르타르 시험체는 KS L 5105 「수경성 시멘트 모르타르의 압축 강도 시험방법」에 준하여 50×50×50mm의 정사각형 철제 몰드에 모르타르를 균일하게 다진 후 각 재령별로 3개씩 제작하였다.

압축강도 측정은 KS L ISO 679 「시멘트의 강도 시험방법」에 준하여 모르타르 시험체의 단면적을 측정한 후 만능재료시험기(U.T.M)를 이용하여 측정하였다. 압축강도 시험은 재령에 따라 각각 7일, 28일에서 시험을 실시하였다.

전기 저항 및 비저항을 측정하기 위한 기본 시험체는 100×50mm의 단면에 400, 800, 1200mm의 길이별 시험체를 제작하였으며, 전기 발열량을 측정하기 위한 소형 시험체는 60×50×200mm로 제작하였다.

시험체는 전도성에 영향을 줄 수 있는 물을 제거하기 위해 28일 수중양생 및 14일 기건양생을 실시한 후 7일간 110℃의 건조로에 건조를 실시하였다. 전기 저항 시험용 공시체는 Figure 3과 같다.

Figure 3. Shape of specimen

3.3.2 전기전도성 시험

본 실험은 시험체의 전기전도성을 평가하기 위하여 먼저 건조로에서 절건시킨 시험체에 대하여 전기 저항값을 측정한 후 배합에 따른 비저항을 평가하였다.

전기 저항은 특정 상태에 있는 물질에 대한 현재의 저항값을 말하며, 비저항은 단위면적 및 단위길이당 저항으로 물질에 따른 고유값으로 얼마나 전류를 잘 흐르게 하는가에 대한 양인 전도율과 역수관계에 있다. 따라서 비저항은 전류가 흐르는 물질의 특성을 평가하는 값이라 할 수 있다. 전기 저항의 측정방법은 건조된 시험체의 양 단부에 전선을 고정한 후 Digital Multimeter로부터 각 시험체의 전기 저항을 측정하였으며, 아래 식 (2)에 의해 비저항을 계산하였다.

$$\rho = \frac{RA}{l} = \frac{1}{\sigma} \quad \text{----------} \quad (2)$$

여기서, R = 저항 (Ω)

ρ = 비저항 (Ω m)

σ = 전기전도율 (Ω m^{-1})

A = 전류가 흐르는 방향에 수직한 시험체의 단면적 (m^2)

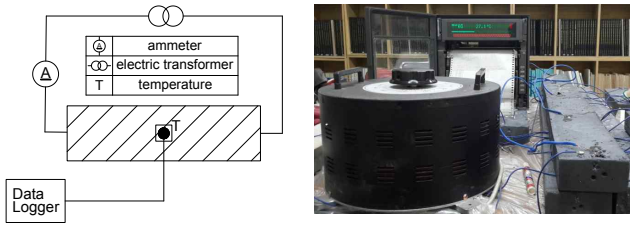
l = 전압이 측정되는 두 지점간의 거리 (m)

3.3.3 발열 시험

본 실험은 시험체의 길이 및 전류량에 따른 발열 특성을 평가하기 위하여 각 배합별 전기 발열량 측정용 소형 시험체에 50, 100mm 간격으로 전기 접점을 설치하였으며, 적용 전압은 Figure 4의 변압조정기를 사용하여 조절 하였다.

시험체에 흐르는 전류량을 측정하기 위하여 전류계를 Figure 5와 같이 설치하였으며, 발열양은 접점간 거리의 중앙 상부표면에서 K type 열전대를 통해 측정하였다.

Figure 4. Current transformer



a) mimetic diagram of test

b) testing image

Figure 5. Test of electric resistivity and exothermic properties

4. 실험결과 분석 및 고찰

4.1 압축강도

시멘트는 고정하고 잔골재의 일부를 흑연으로 치환한 치환율 및 재령에 따른 모르타르의 압축강도는 Figure 6과 같다.

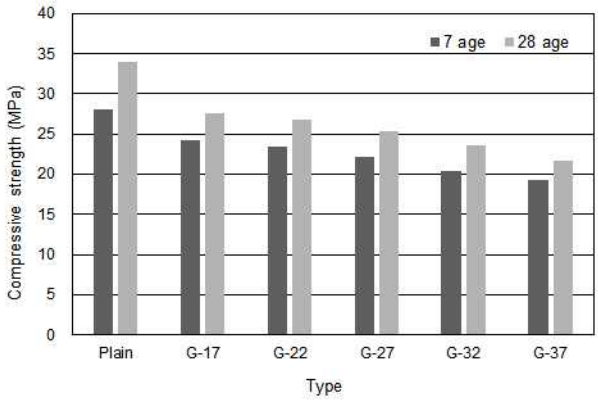


Figure 6. Compressive strength

흑연이 치환되지 않은 Plain 배합의 경우 7일 및 28일 강도는 28.1, 34.0MPa로 나타났다. 흑연의 치환율이 17%부터 5%씩 증가함에 따라 7일 압축강도는 각각 24.3, 23.5,

22.2, 20.3, 19.3MPa이었으며, 28일 압축강도는 각각 27.5, 26.8, 25.4, 23.6, 21.6MPa로 나타났다.

흑연 치환율이 증가할수록 모르타르의 압축강도가 낮아지는 것으로 나타나 Plain 28일 강도를 기준으로 20.2, 21.2, 25.2, 30.6, 36.4%의 강도 저하가 나타났으며, 이는 미정질 흑연이 육각형 판상체로 약한 구조의 층간결합으로 구성되어 낮은 강도를 갖는 것에 기인한 것으로 판단된다 [14].

4.2 전기전도성 시험

저항 및 비저항에 대한 전기전도성 시험 결과는 다음 Table 9와 같다.

Table 9. Result of specific resistance test

Type	Electric resistance (kΩ)			Specific resistance (Ωm)		
	Length (mm)			Length (mm)		
	400	800	1200	400	800	1200
Plain	1200	2800	3900	15000	17500	16250
G-17	28.1	57.8	83.5	351.3	361.3	347.9
G-22	21.5	42.1	69.5	268.8	263.1	289.6
G-27	15.7	30.1	43.5	196.3	188.1	181.3
G-32	9.6	15.5	29.5	120.0	96.9	122.9
G-37	1.1	2.2	3.3	13.8	13.5	13.7

시험체의 길이 400mm에서 Plain의 전기저항은 1.2MΩ 으로 나타났으며, 흑연의 치환율이 17, 22, 27, 32, 37%로 증가함에 따라 각각 28.1, 21.5, 15.7, 9.6, 1.1kΩ 으로 나타나 흑연의 치환율이 높아질수록 전기 저항은 낮아지는 것으로 나타났다.

시험체의 길이 800mm에서의 Plain과 흑연의 치환율에 따른 전기저항이 2.8MΩ , 57.8, 42.1, 30.1, 15.5, 2.2kΩ , 1200mm는 Plain은 3.9MΩ , 흑연 치환율에 따라 각각 83.5, 69.5, 43.5, 29.5, 3.3kΩ 의 전기저항을 나타냈다.

측정된 배합 및 길이별 전기 저항값을 비저항으로 환산한 결과, 흑연이 치환되지 않은 Plain은 16.2kΩ m로 나타났으며, 흑연을 치환한 배합에서는 Figure 7과 같이 잔골재 치환율이 17, 22, 27, 32, 37%로 증가함에 따라 각각 353.5, 278.8, 188.5, 113.3, 13.7Ω m로 나타났다. 흑연이 치환된 배합의 비저항을 평균하여 이에 대한 회귀분석을 실시한 결과, 모르타르의 비저항은 흑연의 치환율과 매우 높은 상관관계가 있음을 확인할 수 있다.

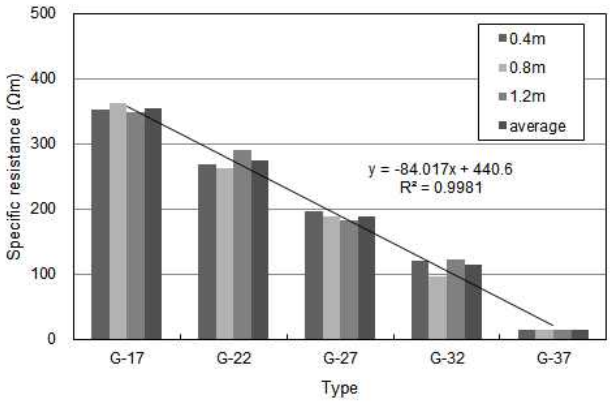


Figure 7. Specific resistance of mortar

4.3 발열 특성

흑연을 치환한 모르타르의 전기 발열특성을 평가하기 위하여 시험체의 양단에 전극을 설치하여 실험을 진행하였다. 흑연 치환율이 가장 높은 G-37 배합의 길이 400mm 시험체에 대한 200V의 전압에서의 각 지점별 발열량을 측정한 결과는 Figure 8과 같다.

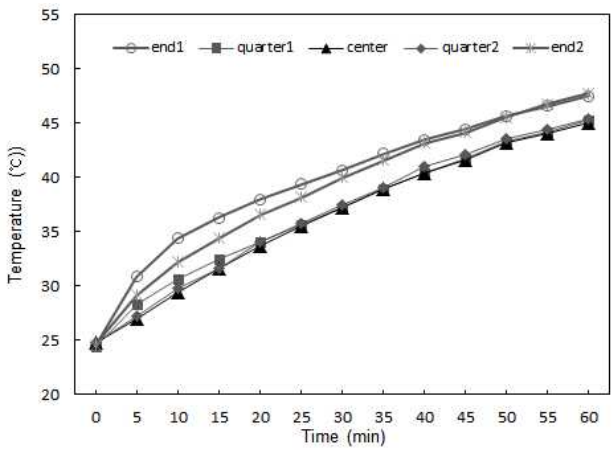


Figure 8. Exothermic temperature of G-37, 400mm

1시간 경과 후 시험체의 최고온도는 양단부에서 47.5, 47.8℃, 1/4지점는 45.3, 45.4℃, 중앙부 45.1℃로 나타나, 전류가 흐르기 시작하는 양단부의 온도가 가장 높으며, 1/4 및 중앙부의 온도가 상대적으로 낮은 것으로 나타났다. 그러나 G-37배합의 400mm 시험체를 제외한 다른 배합 및 길이의 시험체는 발열시험에 따른 온도 변화가 매우 미미한 것으로 나타났다.

발열 특성을 평가하기 위한 소형 시험체의 크기는 50×60×200mm로 상부에 전류를 보내기 위한 전극을 50mm 및 100mm 간격으로 설치하였으며 전압은 100V 및 200V를 사용하여 중앙부에서 온도를 측정하였다. 시험체에 대한 전기발열 특성에 대한 시험 결과는 Table 10 및 Figure 9와 같다.

Table 10. Result of exothermic test (unit : ℃)

Time	G-37				G-32				G-27	
	50mm		100mm		50mm		100mm		50 mm	100 mm
	100V	200V	100V	200V	100V	200V	100V	200V	200V	200V
Start	24.4	23.3	31.8	32.2	24.8	26.8	32.5	32.8	24.9	33.2
1 Min.	24.9	31.0	32.1	34.1	24.9	27.0	32.5	33.0	25.0	33.3
5 Min.	29.6	66.0	33.3	43.2	25.4	28.9	32.7	33.8	26.0	33.5
10 Min.	34.1	96.2	35.3	53.1	26.3	31.5	33.1	34.8	27.1	33.9
15 Min.	37.3		37.2	61.5	26.9	33.4	33.4	35.7	27.9	34.3
20 Min.	40.0		38.8	68.6	27.2	35.2	33.7	36.5	28.5	34.5
30 Min.	43.6		41.3	78.5	27.8	38.5	34.2	37.8	29.4	35.0
40 Min.	46.2		43.7	85.4	28.2	41.2	34.5	38.9	30.1	35.4
50 Min.	48.4		45.2	91.1	28.5	43.4	34.8	39.9	30.7	35.8
60 Min.	50.0		46.5	95.1	28.8	45.0	35.0	40.9	31.1	36.0

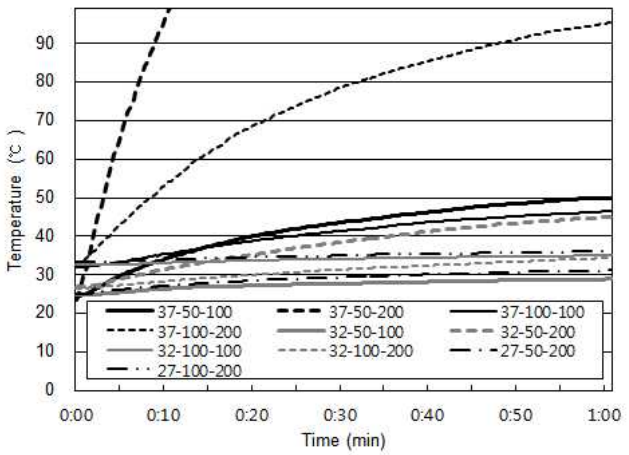


Figure 9. Exothermic temperature over time

흑연이 가장 많이 치환된 G-37배합의 경우 전극간 거리 50mm, 전압 100V에서 초기 온도 24.4℃에서 시작하여 60분후 50℃에 도달하였으며 200V에 대해서는 10분만에 100℃에 근접하는 것으로 나타났다. 또한 동일배합의 시험체의 전극간 거리 100mm에서는 100V 및 200V 전압에 따라 최대온도가 각각 46.5, 95.1℃로 나타나 발열량은 전압이 증가할수록, 전극간 거리가 가까울수록 커지는 것으로 나타났다. G-32배합의 경우 전극간 거리 50mm, 전압 100, 200V에 대해 온도상승은 4.0, 18.2℃였으며 100mm에서는 각각 2.5, 8.1℃로 나타나 G-37배합과 동일한 경향을 보였으나 흑연의 치환율이 적어짐에 따라 발열량은 전체적으로 감소하는 것으로 나타났다. 한편 G-27배합은 200V의 전압에 대해 전극거리 50 및 100mm에서 각각 6.2 및 2.8℃의 온도상승이 나타났으나, 100V의 전압에서의 온도상승은 거의 나타나지 않았다. 또한 흑연의 치환율 22% 미만의 배합에서는 200V의 전압에 대해서도 온도상승이 나타나지 않았다. 따라서 모르타르에 전도성 재료인 흑연이 혼입되더라도 전체 용적의 15% 미만으로 혼입된 경우에는 전기저항성은 상당 수준 낮출 수 있으나 발열특성을 보이지는 못하는 것으로 판단된다.

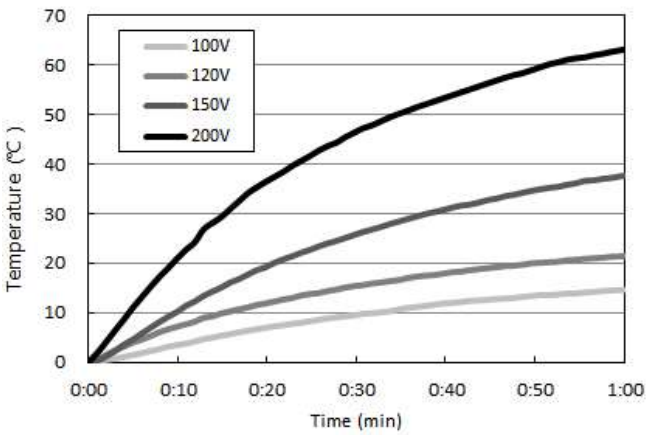


Figure 10. Exothermic value of G-37, 100mm

G-37 배합 전극거리 100mm 시험체를 대상으로 하여 전압을 100, 120, 150, 200V로 변화시키며 측정한 결과, Figure 10과 같이 1시간 후의 최고온도는 전압이 높아짐에 따라 각각 14.6, 21.4, 37.5, 62.9℃ 상승했다. 이에 대한 전압과 발열온도에 대한 상관관계는 Figure 11과 같으며 전압의 제곱과 발열온도는 비례하며 매우 높은 상관관계가 있음을 확인할 수 있다. 이는 저항이 일정할 때 전력은 전압의 제곱에 비례한다는 전기 이론에 부합하는, 전기전도 콘크리트의 발열량이 전력에 비례함을 의미하며 이를 통해 측정

된 전기전도성 콘크리트의 저항값을 발열량과 발열온도의 추정, 평가의 기준으로 활용할 수 있을 것이며 이를 통해 전기전도 발열 콘크리트 실용화를 위한 저항에 대한 개발 목표의 수립이 가능할 것으로 판단된다.

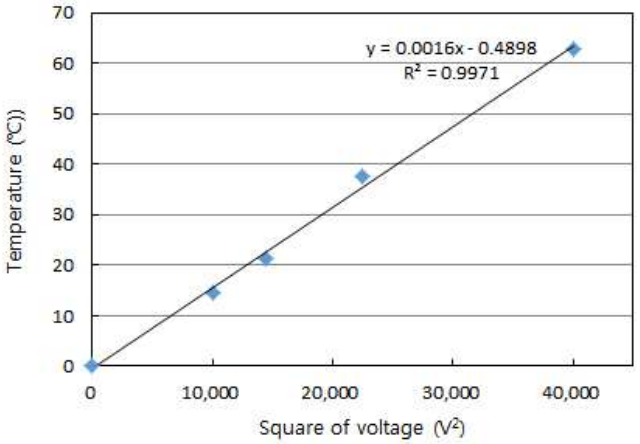


Figure 11. Relationship between exothermic value and voltage

5. 결 론

본 연구는 전기전도 발열 콘크리트 개발을 위한 선행 연구로써 탄소계 전도성 재료인 흑연을 치환한 모르타르의 역학적 특성과 함께 전기저항 및 발열 특성에 대한 실험을 실시한 결과는 다음과 같다.

1) 토상 흑연 치환율이 증가할수록 압축강도는 감소하는 것으로 나타났으며, 이는 미정질 흑연이 육각형 판상체로 약한 구조의 층간결합으로 구성되어 낮은 강도를 갖는 것에 기인한 것으로 판단된다.
2) 흑연을 치환한 시험체의 저항은 흑연이 혼입되지 않은 시험체에 비해 매우 낮은 저항값을 나타냈으며, 시험체의 저항은 길이에 비례하는 것으로 나타났다. 또한 측정된 길이별 저항값을 통해 각 배합의 비저항을 평가할 수 있었으며, 비저항은 흑연의 치환량에 비례하는 것으로 나타났다.
3) 흑연이 혼입되지 않은 콘크리트는 높은 비저항으로 인해 200V의 전압에 대해 부도체로 작용하는 것으로 나타났으며, 발열특성을 보이기 위해서는 흑연의 혼입이 전체 체적의 15%이상 이루어져야 하는 것으로 판단된다.
4) 흑연의 혼입이 일정수준이상 이루어져 낮은 전기저항 및 발열특성을 확보한 경우에는 작용하는 전압과 발열량은 높은 상관관계를 가지며 전압의 제곱과 발열온도는 비례관계에 있는 것으로 나타났다.

향후 콘크리트의 체적, 비열 및 열용량 등을 감안한 발열량, 발열온도 및 전기전도 콘크리트의 저항값을 통해 발생하는 전력에 대한 관계 규명을 통한 전기전도성 콘크리트의 저항 측정을 통한 발열온도 추정에 관한 연구와 함께 콘크리트의 전기저항을 낮추기 위한 재료 개발 연구가 함께 진행된다면 보다 효율적인 전기전도 발열 콘크리트의 개발을 이룰 수 있을 것으로 기대한다.

요 약

콘크리트에 전기전도성을 부여하여 확보한 발열 성능을 통해 주택의 난방이나 터널, 도로 또는 교량 상판에 눈녹이는 것이 가능하다. 본 연구는 전기전도 발열 콘크리트 개발을 위한 선행 연구로써 탄소계 전도성 재료인 흑연을 치환한 모르타르의 역학적 특성과 함께 전기저항 및 발열 특성에 대한 실험을 실시한 후 다음과 결과를 얻었다. 토상 흑연 치환율이 증가할수록 압축강도는 감소하는 것으로 나타났으나 전기 저항은 크게 낮아지는 것으로 나타났다. 발열특성을 보이기 위해서는 흑연의 혼입이 모르타르 전체 체적의 15%이상 이루어져야 하는 것으로 나타났다. 흑연의 혼입이 일정수준이상 이루어져 낮은 전기저항 및 발열특성을 확보한 경우에는 작용하는 전압과 발열량은 높은 상관관계를 가지며 전압의 제곱과 발열온도는 비례관계에 있는 것으로 나타났다.

키워드 : 전기전도성, 흑연, 전기저항, 발열, 모르타르

References

1. KIER. R&D of Floor Heating Panel made of Electro-Conduction Concrete. Ministry of Trade, Industry & Energy of Korea, Sejong(Korea). 1998. 233 p.
2. Sim SH. A Study for the Developement of Road Snow Melting System Using a Grid Heating Element [master' s thesis]. [Seoul(Korea)]: Sejong University; 2008. 70 p.
3. Tuan CY, Yehia S. Evaluation of Electrically conductive concrete Containing Carbon Products for Deicing. ACI Materials Journal. 2004;101(4):287-93.

4. Baldwin K. Electrically conductive concrete: properties and potential. Construction Canada. 1998;98(1):28-9.
5. Ryu HG, Kwon YJ. An Analysis on the Properties of Concrete Used as the Mixture Material with Carbon Black. Journal of the Architectural Institute of Korea. 2013 Jul;29(7):101-8.
6. Kim ND, Park SJ. A Study on the Electrical Characteristics of Electro Heat-Generation Mortar Mixing Amorphous Graphite. Journal of the Korean Institute of Building Construction. 2010;10(2):59-66.
7. Chang C, Song G, Gao D, Mo YL. Temperature and mixing effects on electrical resistivity of carbon fiber enhanced concrete. Smart materials and structures. 2013;22(3):1-7.
8. Jo DH. A Study on the Durability of Electrically Conductive Concrete with Coarse Aggregate [master's thesis]. [Seoul(Korea)]: Seoul National University of Technology; 2010. 72p.
9. Hymers W. Electrically conductive concrete. Concrete construction. 1980;25(5):411-15.
10. Son YJ. A Study on the Physical Properties of Mortar Containing Conductive Materials [master's thesis]. [Seosan(Korea)]: Hanseo University; 2010. 62 p.
11. Seo MK, Choi KE, Min BG, Park SJ. Carbor Fibers (I): General Understanding and Manufacturing Techniques of Carbon Fibers. Carbon Letters. 2008;9(3):218-31.
12. Hollemann AF, Wiberg E, Wiberg N. Lehrbuch der Anorganischen Chemie. Berlin: Walter de Gruyter Verlag; 1985. p. 703.
13. Kwack JH. An Experimental Study on the Strength Properties of Mortar according to the Contents of Graphite [master's thesis]. [Seoul(Korea)]: Konkuk University; 2009. 63 p.
14. Wu S, Mo L, Shui Z, Chen Z. Investigation of the conductivity of asphalt concrete containing conductive fillers. Carbon. 2005;43(7):1358-63.