

# 전기전도성 시멘트모르타르의 특성에 관한 연구

## A study on the Properties of Electrical Conductive Cement Mortar

최길섭\*      김봉찬\*      김완기\*\*      소양섭\*\*  
Choi, Gil Seob      Kim, Bong Chan      Kim, Wan Ki      Soh, Yang Seob

### ABSTRACT

Concrete has been used for many years as a composite material that has excellent mechanical properties and durability for construction. However, concrete is a poor electrical conductor, especially under dry conditions. Concrete that is excellent in both mechanical and electrical conductivity properties may have important applications in the electrical, electronic, military and construction industry(e.g. for de-icing road from snow).

The purpose of this investigation is to improve the electrical conductive of cement mortar prepared with graphite as filler.

From the test result, as the ratio of graphite/cement increased, fluidity and strength decreased but resistivity decreased. The resistivity of electrical conductive cement mortar is effect by water/cement, aggregate-cement ratio and water content of specimen.

From this study, it is enough to assure the use of graphite as a conductive filler for electrical conductive cement mortar.

### 1. 서 론

콘크리트는 우수한 기계적 성질과 내구성을 가지고 있기 때문에 지금까지 건설재료로서 가장 널리 사용되어 왔다. 그러나 콘크리트는 특히 건조상태에서 절연체 특성을 가지고 있다. 만약 기존의 콘크리트 재료에 전기전도성이라는 특성을 부여하게 되면 콘크리트의 응용분야를 다방면으로 확대할 수가 있다. 예를 들면, 음극방식 매개재료(Cathodic protection of reinforcement in concrete structures), 접지저항 저감재(Electrical grounding), 전자파 차폐재료(Electromagnetic shielding), 발열재료(Electrical heating, such as for de-icing of roads and bridges), 자기진단 센스재료(Non-destructive evaluation of concrete structures), 정전기 방지재료(Antic-static materials) 등으로 이용 가능하다<sup>1)2)3)</sup>. 하지만 현

\* 정회원, 전북대학교 건축공학과, 석사과정

\*\* 정회원, 전북대학교 건축공학과 강사, 공박, 공업기술연구소

\*\*\* 정회원, 전북대학교 건축공학과 교수

재 국내에서는 전기전도성 시멘트 모르타르에 관한 연구가 미비한 상태이고 러시아, 캐나다의 일부 연구기관에서 연구 중에 있다. 따라서 본 연구는 전기전도성 시멘트 모르타르에 관한 기초적 정보를 제공하고자 모르타르·콘크리트에 도전성을 부여하는 방법<sup>4)5)</sup> 중 하나인 도전성 입자 즉 흑연(Graphite) 분말을 혼입한 시멘트 모르타르의 기초적 특성과 전기전도성을 측정하였다.

## 2. 사용재료

### 2.1. 시멘트

본 실험에 사용된 보통 포틀랜드 시멘트는 KS L 5021(포틀랜드 시멘트)에 규정된 1종 보통 포틀랜드 시멘트 국내 D사에서 제조한 제품을 사용하였으며 화학성분은 Table 1과 같다.

Table 1. Chemical components of ordinary portland cement (unit : %)

SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	SO <sub>3</sub>	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
21.09	4.84	63.85	3.32	3.09	1.13	0.29	2.39

### 2.2. 골재

골재는 주문진산 표준사(KS L 5100)를 사용하였다.

### 2.3. 도전성 분말

도전성 물질은 흑연(Graphite)을 사용하였다. 흑연의 물리적 특성과 화학적 성분은 Table 2과 같다.

Table 2. Properties and chemical components of graphite

Size( $\mu$ m)	Specific gravity(20°C)	Absorptivity (%)	Weight of unit volume (t/m <sup>3</sup> )	Void (%)
<100	2.11	7.3	1.28	38

Chemical components		
Solid solution carbon (%)	volatile (%)	SiO <sub>2</sub> (%)
83	3	12

## 3. 실험계획 및 방법

### 3.1. 공시체 제작

시멘트 모르타르에 전기전도성을 부여하기 위해 도전성 재료로는 흑연을 사용하였으며 시멘트의 절대용적에 대해 흑연 치환율(Gv/Cv)을 0, 10, 20, 30, 40, 50, 60 그리고 100%로 하였으며, 플로우를 170±5mm로 고정하였다. 또한 전기전도성에 미치는 시멘트-골재비, 몰시멘트비의 영향을 파악하기 위해 모르타르 절대용적에 대해 흑연을 12%, 시멘트-골재비(C:G)를 1:1, 몰시멘트비(W/C)는 55%를 기준으로 삼고 각 인자를 변화시켰다.

### 3.2. 실험방법

전기전도 모르타르의 실험방법으로 모르타르의 혼합반죽은 KS L 5109, 플로우치 시험은 KS L 5105, 단위용적중량은 KS F 2409, 휨강도 시험은 KS F 2407, 압축강도는 KS L 5105 규정의 표준적인 방법에 따라 실시하였다. 휨강도는 40×40×160mm 공시체로 측정하였으며 그 결편으로 압축강도를 측정하였다.

### 3.3 전기전도성 측정

시멘트 모르타르의 전기전도성을 측정하기 위해 50×50×50mm의 공시체를 제작한 후 일정기간 기중양생을 한 후 사포(CC-320Cw)를 이용하여 측정단면의 불순물을 제거하고 측정단면에 U사의 알루미늄 전기전도성 테이프(<0.2Ω)를 완전 부착한 후 S사 제품 Digital Multimeter를 사용하여 모르타르의 비저항을 측정된 후 아래 식에 의해 전기전도율을 계산하였다. Table 3은 Digital Multimeter의 제원 및 측정오차를 나타낸 것이다.

$$\rho = \frac{RA}{l}$$

$$\sigma = \frac{1}{\rho}$$

R = 저항(Ω)  
 ρ = 비저항(Ω-cm)  
 σ = 전기전도율(Ω<sup>-1</sup>-cm<sup>-1</sup>)

A = 전류가 흐르는 방향에 수직  
 한 공시체의 단면적  
 l = 전압이 측정되는 두 지점간  
 의 거리

Table 3. Resolution and accuracy of Digital Multimeter

Range	Resolution	Accuracy
200 Ω	0.1Ω	±(0.8% rdg + 3 digits)
2 kΩ	1Ω	
20 kΩ	10Ω	
200 kΩ	100Ω	
2 MΩ	1kΩ	±(0.8% rdg + 1 digits)
20 MΩ	10kΩ	
200 MΩ	100kΩ	±(1% rdg + 2 digits)
		±[5% (rdg-10) + 10 digits]

## 4. 실험결과

### 4.1. 유동특성과 단위용적중량

Fig. 1은 플로우를 170±5mm으로 고정시, Gv/Cv율에 따른 W/C변화를 나타낸 것이다. Gv/Cv율이 증가할 수록 W/C는 크게 증가하였다. 이 원인은 흑연의 흡수율이 7.3% 정도의 높고 또한 미립분이기 때문에 같은 플로우치를 얻기 위해서는 많은 수량이 요구되었다.

Fig. 2는 Gv/Cv율 변화에 따른 단위용적중량을 나타낸 것이다. Gv/Cv율이 증가할수록 단위용적중량은 현저히 감소하는 것으로 나타났다. 이는 흑연의 비중이 골재와 시멘트에 비해 현저히 작고 공기량이 증가하는 원인 등이 복합적으로 작용하여 나타난 결과로 분석되어진다.

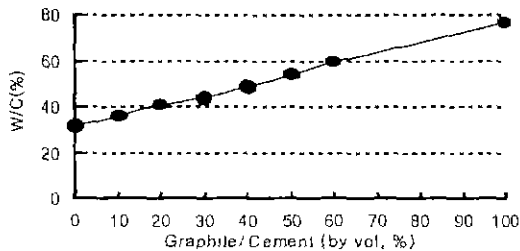


Fig 1 Relation between water/cement(%) and graphite/cement(by vol, %) when flow is 170±5(mm) and C:S=1:1

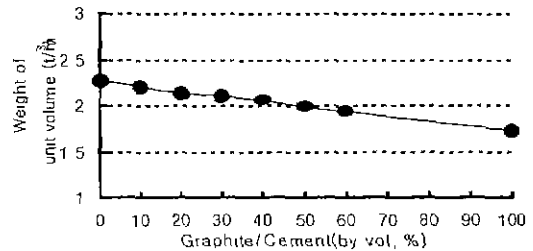


Fig. 2 Relation between weight of unit volume(t/m³) and graphite/cement(by vol, %) when flow is 170±5(mm) and C:S=1:1

## 4.2 휨 및 압축강도

Fig. 3과 Fig. 4는 기건양생 및 수중양생시 Gv/Cv을 변화에 따른 재령 28일의 휨 및 압축강도를 나타낸 것이다. 흑연의 혼입율이 증가할수록 휨 및 압축강도는 급격한 강도 감소를 보였다. 이것은 단위시멘트량의 감소와 도전성재료인 흑연이 경도가 작기 때문이다.

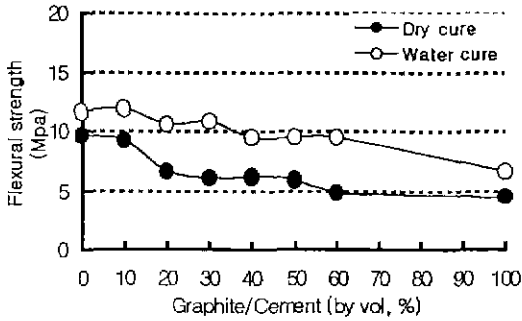


Fig. 3 Flexural strength of electrical conductive cement mortar when flow is  $170 \pm 5(\text{mm})$  and C:S=1:1

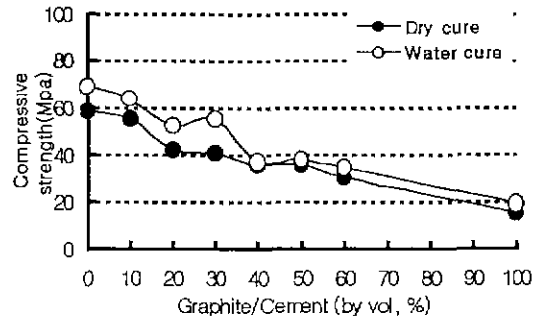


Fig. 4 Compressive strength of electrical conductive cement mortar when flow is  $170 \pm 5(\text{mm})$  and C:S=1:1

## 4.3. 전기전도성 시멘트 모르타르의 비저항과 전기전도율

### 4.3.1. Gv/Cv에 따른 비저항과 전기전도율

Fig.5는 Gv/Cv을 변화에 따른 공시체(기중양생 : 28-day-20°C-50% R.H.)의 전기전도성과 비저항을 나타낸 것이다. 도전성 물질인 흑연의 혼입율이 높아질수록 비저항은 현저히 줄어들었으며, 이에 따른 전기전도율은 크게 상승하였다. 또한 같은 Gv/Cv에서 측정공시체가 절건상태인 경우 비저항이 가장 컸으며, 표건상태인 경우가 비저항이 가장 낮았는데 이것은 측정공시체의 함수량이 비저항에 영향을 미침을 말해주고 있다. 하지만 비저항이  $2000 \Omega \cdot \text{cm}$  이하( $Gv/Cv \geq 50\%$ )에서는 절건상태나 표건상태에서 거의 같은 비저항값을 나타내고 있어  $2000 \Omega \cdot \text{cm}$  이하에서는 함수량의 영향을 거의 받지 않는 것으로 나타났다.

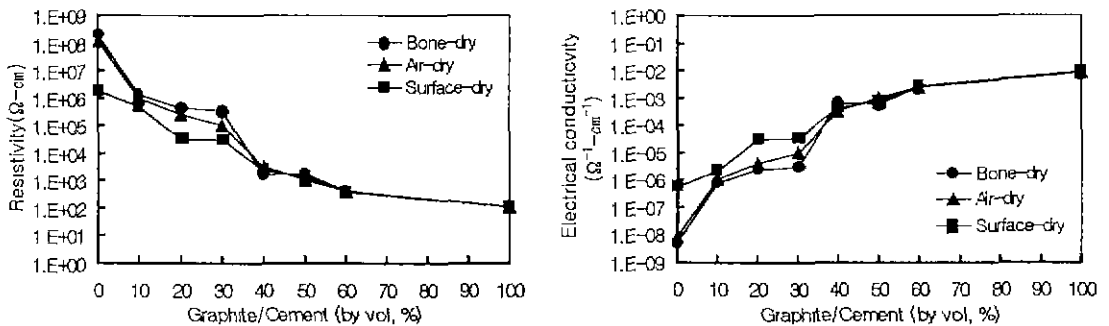


Fig.5 Relation between Resistivity( $\Omega \cdot \text{cm}$ ) · electrical conductivity( $\Omega^{-1} \cdot \text{cm}^{-1}$ ) and graphite/cement(Gv/Cv, % by vol). when flow is  $170 \pm 5(\text{mm})$  and C:S=1:1

#### 4.3.2. 전기전도성 시멘트 모르타르의 재령에 따른 비저항

Fig.6은 Gv/Cv율이 50, 60, 100% 일 때 기전(20°C-50% R.H.)양생재령별 비저항을 나타내고 있다. Gv/Cv율 50%일때는 재령이 증가함에 따라 비저항도 크게 상승하고 있다. 이것은 재령이 증가함에 따라 시험체 안에 있는 수분이 건조됨에 따라 비저항이 높아지는 것으로 생각된다. 하지만 비저항이 2000Ω·cm이하인 Gv/Cv율 60%와 100%에서는 양생재령에 따라 거의 같은 비저항을 나타내고 있는데 이것은 앞에서 언급한 것처럼 2000Ω·cm이하에서는 함수량의 영향을 거의 받지 않기 때문으로 사료된다.

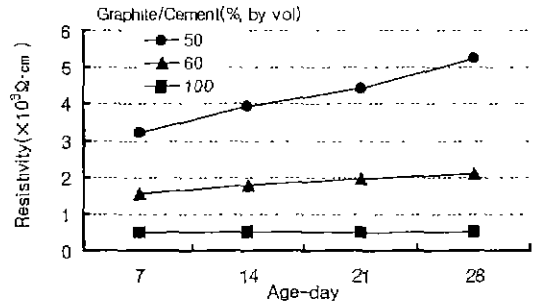


Fig.6 Relation between Resistivity(Ω-cm) and age-day [ Dry curing(20°C-50% R.H.) ]

#### 4.3.3. 물시멘트비 변화에 전기전도성 시멘트 모르타르의 비저항

Fig.7은 흑연을 모르타르 절대용적 12%, C:S=1:1로 고정하고, 물시멘트비 변화에 따른 전기전도성 시멘트 모르타르(기중양생 : 28-day-20°C-50% R.H.)의 비저항을 나타낸 것이다. 물시멘트비가 클수록 비저항은 커졌다. 이것은 물시멘트비가 커질수록 모르타르의 공극량은 증가하여 전기전도를 방해하기 때문에 비저항이 커진 것으로 사료된다. 따라서, 모르타르내의 공극이 전기전도의 저해요소임을 알 수 있다.

#### 4.3.4. 시멘트-골재비 변화에 따른 전기전도성 시멘트 모르타르의 비저항

Fig.8은 흑연을 모르타르 절대용적 12%로, W/C비를 55%로 고정하고, 시멘트-골재비 변화에 따른 전기전도성 시멘트 모르타르(기중양생 : 28-day-20°C-50% R.H.)의 비저항을 나타낸 것이다. 시멘트에 대한 골재비를 변화시킨 결과 골재비가 클수록 비저항이 현저히 줄어들었다. 이것은 시멘트-골재비가 클수록 모르타르내부에 도전성물질 즉 흑연이 연속된 통로를 많이 만들었기 때문이다. 즉 시멘트 모르타르의 전기전도성에 있어 도전성물질의 혼입율도 중요하지만 도전성물질이 연속되게 이어질 수 있는 통로를 만들어주는 것도 매우 중요하다는 사실을 말해주고 있다.

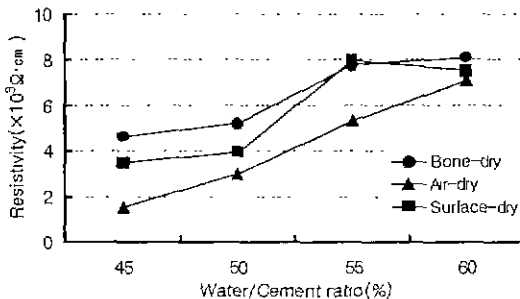


Fig.7 Relation between Resistivity(Ω-cm) and water/cement (%) [ graphite/Mortar=12%(by vol), cement:snad=1:1 ]

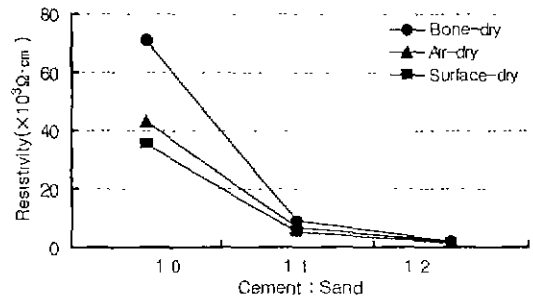


Fig.8 Relation between Resistivity(Ω-cm) and cement:sand [ graphite/Mortar=12%(by vol), water/cement=55% ]

## 5. 결론

시멘트 모르타르의 도전성을 부여하기 위해 흑연분말을 충전재로 사용한 전기전도성 시멘트모르타르의 관한 특성과 전기전도성을 요약하면 다음과 같다.

- (1) Gv/Cv율이 증가할수록 단위용적중량은 현저히 감소하였으며 흑연을 이용한 전기전도성 시멘트모르타르의 플로우를 일정하게 유지하기 위해서는 W/C비가 현저히 증가한다. 그 원인은 흑연의 흡수율이 높고 또한 미립분이기 때문이다.
- (2) 흑연을 이용한 전기전도성 시멘트모르타르의 휨 및 압축강도는 Gv/Cv가 증가할수록 감소하였다. 이는 흑연의 경도가 낮기 때문이다.
- (3) Gv/Cv가 증가할수록 시멘트 모르타르의 전기전도율은 급격히 상승하였으며 비저항이  $1500\Omega \cdot \text{cm}$  이상에서는 시험체의 함수상태 즉 표건과 절건사이에 많이 비저항 차이를 보였지만  $1500\Omega \cdot \text{cm}$  이하 (Gv/Cv = 60%)인 경우 함수량의 영향을 거의 받지 않았다.
- (4) 흑연을 모르타르의 용적 12%로 고정하고 물시멘트비와 시멘트-골재비가 시멘트모르타르의 전기전도성에 미치는 영향을 파악한 결과 물시멘트비가 낮을수록, 시멘트-골재비가 높을수록 비저항값이 낮아 전기전도율이 좋았다.
- (5) 전기전도성 시멘트모르타르의 도전성 물질로서 흑연분말 적용의 가능성을 확인할 수 있었다.

## 참고문헌

- 1) 강석화, "전기전도성 콘크리트" 콘크리트학회지 제10권6호, 1998,12 pp.34~40
- 2) Gu, p.; Brousseau, R.J.; Xie, P.; Beaudoin, J.J. "Conductive Concrete Overlay" Construction Repair 10(4), 1996 pp.24-25
- 3) Kelly Baldwin, Electrically Conductive Concrete, Published in Construction Canada, v. 98, no. 1, Jan./Fed., 1998, pp.28-29.
- 4) 유현형, 김홍수, "전기전도 콘크리트에 관한 조사연구", 한국에너지기술연구소, 1994.8.
- 5) Gerardo G. Clemena, "Electrically conductive Portland cement concrete" Portland cement, 1998.3 pp.19~25.