



영하온도에서 UP-MMA 폴리머 모르타르의 강도 발현에 미치는 골재 및 양생온도의 영향

Effects of Aggregate and Curing Temperature on Strength Development of UP-MMA based Polymer Mortar under Sub-Zero Temperature

연규석* · 김용성* · 차진윤* · 손승완*†

Yeon, Kyu Seok · Kim, Yong Seong · Cha, Jin Yun · Son, Seung Wan

ABSTRACT

In this paper, the effects of aggregate and curing temperature on strength development characteristics of UP (Unsaturated Polyester)-MMA (Methyl Methacrylate) based polymer mortar under sub-zero temperature are experimentally investigated to provide a criterion for repair and production of precast products. The result showed that the setting time of the binder was 4 minutes at 20 °C whereas 35 minutes at -20 °C. The result also revealed that the compressive, flexural, and splitting tensile strengths of UP-MMA based polymer mortar significantly decreased as the aggregate and curing temperatures decreased. However, sufficient strengths which can be implemented in actual practices - 36.6 MPa of compressive strength, 6.11 MPa of flexural strength, and 5.81 MPa of splitting tensile strength - were obtained even though both aggregate and curing temperatures were -20°C. Strength development of polymer mortar is largely affected by curing temperature rather than aggregate temperature. It was found that the effects of aggregate temperature on strength development become smaller as the curing temperature becomes lower. Also, toughness, a ratio of compressive strength to flexural strength, increased from 3.5 to 5.9 as both aggregate and curing temperatures decreased from 20 °C to -20 °C.

Keywords: UP-MMA based polymer mortar; Aggregate temperature; Curing temperature; Setting time; Strength; Toughness

1. 서 론

폴리머 콘크리트는 1950년대에 인조대리석 제조용으로 개발되었으며, 1970년대 초부터 시멘트 콘크리트 포장이나 콘크리트교 상판의 보수재료로 이용되기 시작하였다. 근년에 이르러서는 보수용보다도 도로나 교량의 오버레이 (overlay)와 각종 프리캐스트 (precast) 제품용으로 많이 이용되고 있다 (Dattatreya et al., 2006; Fowler, 1989; Mantrala et al., 1995; Vipulanandan et al., 1990). 폴리머 콘크리트는 골재가 수지 (resin)에 의해 결합되어 있기 때문에 시멘트 콘크리트와 구조나 형상이 비슷하지만, 물리·역학적 성질은 양생 시 온도에 영향을 크게 받는다 (Vipulanandan et al., 1990; Yeon et al., 1990). 이러한 특성은 결합재로 사용되는 수지가 무기질인 시멘트 보다 온도에 민

감하게 반응하기 때문이다 (Maximov et al., 1998; Mu et al., 1990; Okada et al., 1975).

폴리머 콘크리트는 결합재와 골재, 충전재로 구성된다. 결합재로는 Epoxy, UP (Unsaturated Polyester), MMA (Methyl Methacrylate) 등이 사용되며 이들은 상온에서 경화된다. 또한 폴리머 콘크리트는 고강도이고, 방수성과 내식성이 우수하며 조기에 경화하는 특성이 있어 응용분야가 넓다 (Herwarth, 1990). 그러나 동절기 날씨가 추운 지방에서는 양생, 시공온도를 확보하기 위해 골재를 가열하여 사용하거나, 폴리에틸렌 시트를 덮고 가온하여 적정 온도를 확보한다 (Inoue, 1975).

일반적으로 폴리머 콘크리트의 경화시간과 역학적 성질에 영향을 주는 요소는 개시제-촉진제 비, 개시제와 촉진제의 첨가량, 타설온도, 양생온도, 골재의 형상 및 입도 등이다 (Haddad et al., 1983).

특히 골재의 성질과 입형은 폴리머 콘크리트이든 시멘트 콘크리트이든 간에 상관없이 역학적 성질에 큰 영향을 주며 (Aitcin et al., 1990; Ozkul, 1995; Serdar et al., 2010), 폴리머 콘크리트의 경우는 골재의 함수율도 강도에 큰 영향을 미친다 (Ahn et al., 2001; Galan et al., 2004).

* 강원대학교 지역건설공학과

† Corresponding author Tel.: +82-33-250-6469

Fax: +82-33-250-6469

E-mail: hero440@kangwon.ac.kr

2011년 7월 15일 투고

2011년 9월 19일 심사완료

2011년 9월 26일 게재확정

이와 같은 기존의 연구 결과들을 분석해보면 양생온도에 따른 물리·역학적 특성에 대한 연구가 있으며, 골재와 관련된 연구로서는 골재의 종류와 형상, 함수율에 따른 강도특성에 관한 연구가 대부분임을 알 수 있다.

그러나 본 연구에서와 같이 골재온도와 양생온도를 복합적인 변수로 하여 폴리머 콘크리트의 강도발현 특성을 연구한 결과는 찾아 볼 수 없다. 여기서 골재의 온도를 변수로 한 이유는 사용량이 많아 일정한 온도로 실내보관이 어렵기 때문이며, 결합재인 폴리머의 온도를 변수로 할 수 있으나 사용성 확보에 문제가 있어, 25 °C 내외에서 보관하는 것을 권장하고 있으므로 변수로 하는 것은 의미가 없다.

본 연구의 목적은 폴리머 모르타르를 이용하여 외기온이 낮은 동절기에 현장에서 콘크리트 구조물을 보수하거나 보온유지가 어려운 환경에서 폴리머 콘크리트를 시공 할 때 이용할 수 있는 기초자료를 얻기 위한 것으로서 골재온도와 양생온도에 따른 강도발현 특성을 실험적으로 구명하여 보았던 바 그 결과를 여기에 보고한다.

II. 재료 및 방법

1. 사용재료

가. 결합재

1) 불포화 폴리에스터 수지

불포화 폴리에스터 (UP) 수지란 그 구성분자의 포화된 모노머 (monomer)가 에스테르 결합으로 중합된 고분자 화합물을 말한다. 이것은 취급이 용이하고 상온에서 자유롭게 경화시킬 수 있을 뿐만 아니라 경화제 및 촉진제의 양에 따라 경화시간을 자유롭게 조절할 수 있다. 온도 25 °C에서의 점도는 300 mPa·s로서 온도가 상승하면 점도가 낮아지고 온도가 하강하면 점도가 높아지며, 동결온도는 -30 °C를 기준으로 하고 있다.

본 실험에 사용한 불포화 폴리에스터 수지는 오소타입 (ortho type)으로서 물성은 다음의 Table 1과 같다.

2) MMA

MMA는 무색투명한 액체로 C4 유분을 원료로 하여 제조된 TBA (tert-butyl alcohol)를 기체 상태에서 산화시켜 메타크릴산을 제조한 뒤 메탄올로 에스테르화 하여 제조한다. MMA는 모노머 (monomer)형태로 점도가 0.56 mPa·s로 매우 낮으며, 동결온도는 -48 °C인 것으로 알려져 있다.

일반적으로 아크릴계 수지는 높은 열팽창계수에도 불구하고 MMA는 안정성이 매우 높은 편에 속하며 투명성, 내후성, 착색성이 우수하다. 다음의 Table 2는 MMA 모노머의 물성을 나타낸 것이다.

Table 1 Properties of UP resin

Density (25 °C)	Viscosity (25 °C, mPa·s)	Acid value	Styrene content (%)
1.13	300	20.0	40

Table 2 Properties of MMA monomer

Density (25 °C)	Viscosity (20 °C, mPa·s)	Molecular weight (g/mol)	Appearance
0.9420	0.56	100	Transparent

Table 3 Properties of initiator

Component	Specific gravity (25 °C)	Active oxygen
MEKPO 55 % DMP 45 %	1.12	10.0

Table 4 Properties of DMA

Density (20 °C)	Boiling point (°C)	Melting point (°C)	Molecular weight (g/mol)	Appearance
0.956	193~194	1.5~2.5	121.18	oily liquid

Table 5 Properties of shrinkage-reducing agent

Density (20 °C)	Viscosity (20 °C, mPa·s)	Nonvolatile matter (%)	Appearance
1.11	3,100~4,100	34 - 38	Transparent

3) 개시제 (MEKPO)

불포화 폴리에스터 수지의 경화를 위해 개시제와 촉진제가 필요하다. 본 연구에서는 개시제로서 MEKPO (methyl ethyl ketone peroxide) 55 %인 DMP (dimethyl phthalate) 용액을 사용하였으며, 물성은 Table 3과 같다. 동결온도는 약 2 °C 이하로 추정되며, 25 °C 내외에서 보관하는 것을 권장하고 있다.

4) 촉진제 (DMA)

불포화 폴리에스터 수지와 MMA가 공중합 상태일 때는 개시제만을 첨가하였을 경우 분자간의 경화 반응속도가 매우 낮아 폴리머 모르타르나 콘크리트 제조에 이용하는 것이 불가능하다. 따라서 반응을 촉진시키기 위한 촉진제가 필요하며, 본 연구에서는 상온 및 저온에서 중합반응이 가능한 DMA (N,N-Dimethylaniline)를 첨가하였다. DMA의 물성은 Table 4와 같다. 동결온도는 1.5~2.5 °C이며 약, 25 °C 내외에서 보관한다.

5) 수축저감제

불포화 폴리에스터수지는 영상·영하 온도에 상관없이 초기의 발열반응 이후 경화되는 과정에서 휨이나 균열이 발생되므로 치수

의 안정성 확보를 위해 수축저감제를 첨가하며, 동결온도 -30℃를 기준으로 하고 있다.

본 연구에서는 열가소성 폴리스티렌 (polystyrene)을 스틸렌 모노머에 용해시킨 수축저감제를 사용하였으며, 이에 대한 성질은 Table 5와 같다.

나. 골재 및 충전재

폴리머 모르타르에 사용되는 골재는 일반 시멘트 모르타르와 동등한 수준 이상의 것을 사용한다. 그러나 친수성인 골재가 흡수를 하면 폴리머 모르타르는 골재를 둘러싼 결합재 층과 골재 표면 사이의 수막이 결합재와 골재간의 접착력을 약화시켜 폴리머 모르타르의 강도를 저하시키므로 함유율이 0.1% 이하로 되도록 건조시킬 필요가 있다. 본 연구에서는 골재의 온도를 변수로 하기 위해 20℃와 0, -10, -20℃ 되도록 chamber에서 12시간동안 처리하였다. 사용된 골재의 물리적 성질과 입도 곡선은 Table 6 및 Fig. 1와 같다.

폴리머 모르타르의 결합재는 시멘트 페이스트와 달리 순수한 액체로 되어있기 때문에 충전재는 골재와 골재사이의 공극을 채워주며, 이로 인해 내구성 및 강도를 향상 시키는 역할을 하게 된다.

본 연구에서는 충전재로 증질탄산칼슘을 사용하였으며, 사용된 충전재의 물리적 성질과 화학적 조성은 Table 7 및 8과 같다.

Table 6 Physical properties of fine aggregate

Size (mm)	Apparent density	Bulk density	Unit weight (kg/m ³)	Fineness modulus	Water content (%)	Organic impurities
0.08~5	2.64	2.62	1,648	3.09	< 0.1	Nil

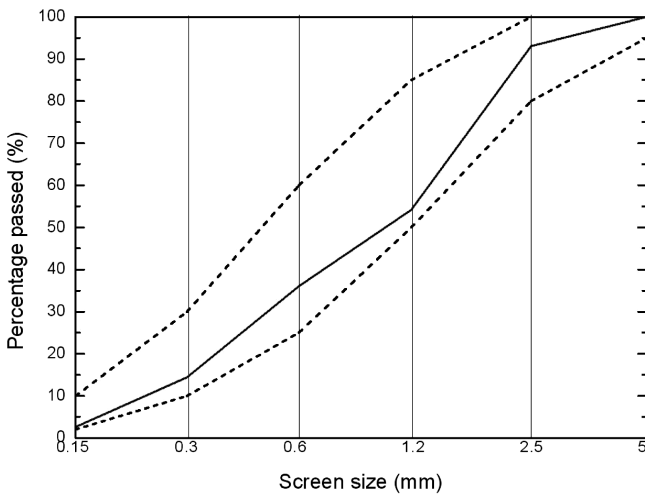


Fig. 1 Gradation curve of fine aggregate

Table 7 Properties of heavy calcium carbonate

Specific gravity (gr/cc)	Absorption (cc/gr)	Water content (%)	pH	Mean grain size (μm)	Retained percentage of 325 mesh sieve
0.75	0.20	≤ 0.3	8.8	13	0.03

Table 8 Chemical component of heavy calcium carbonate (unit : %)

CaO	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	SiO ₂	MgO	Ignition loss
53.7	0.25	0.09	2.23	0.66	42.4

2. 시험 방법

가. 결합재 및 폴리머 모르타르의 배합비

불포화 폴리에스터 수지는 높은 점도로 인해 작업성이 떨어지며, 이러한 점의 해결을 위해 스틸렌 모노머를 첨가할 수 있으나 과다하면 강도가 저하하고 수축이 커지는 문제가 있다 (Hwang et al., 1994). 이에 비해 MMA 모노머를 첨가시키면 점도저하와 함께 강도를 증진시키는 효과를 가져 온다 (Lei et al., 1990).

불포화 폴리에스터 수지 및 MMA 모노머의 점도는 각각 300 mPa·s 및 0.58 mPa·s 정도로 MMA의 점도가 훨씬 낮다. 따라서 불포화 폴리에스터 수지에 MMA를 첨가한 결합재의 점도는 MMA 첨가에 의해 낮아지게 되고 이를 통해 작업성 개선과 결합재 사용량의 절감이 가능하다 (Lei et al., 1990). 그러나 적정량 이상 MMA를 첨가하게 되면 재료분리 및 접착력 감소, 강도 저하, 가사시간 지연 등의 문제가 발생된다 (Ohama, 1978).

본 연구에서 예비시험을 통해 결정된 결합재의 조성비와 폴리머 모르타르의 배합비는 다음의 Table 9와 같다.

나. 양생온도의 설정

한국콘크리트학회 (KCI)에서 발행한 콘크리트표준시방서에는 “하루 평균기온이 4℃ 이하로 예상될 때에는 한중콘크리트로 시공하여야 한다.”고 규정되어 있으며, 1971년부터 2000년까지 한국에서의 한중콘크리트 적용기간은 약 95일로서 이 기간 평균온도는 0.5~ -3.5℃라고 보고되어 있다. 또한 기상청이 발표한 한국의 기후표를 보면 한국은 1월의 기온이 가장 낮으며,

Table 9 Binder formation and mix proportion of polymer mortar (unit : wt, %)

Binder	Filler	Fine aggregate	Binder formation				
			UP	MMA	SRA	MEKPO (phr*)	DMA (phr*)
12	24	64	62	30	8	1	2

Note, *phr : parts per hundred parts of resin

철원지방의 경우 월평균 최저기온이 $-19.2\text{ }^{\circ}\text{C}$ 로 되어 있다 (Han, 2005).

상기와 같은 자료들에 근거하여 본 연구에서는 최저 양생온도를 연중 동절기 기간에 적용이 가능한 $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ 로 설정하였다. 그리고 양생은 설정온도의 유지가 가능한 대형 chamber에서 소정의 재령 (최대 168 hrs)까지 실시하였다.

다. 결합재의 경화시간 및 모르타르의 사용가능시간 측정

본 연구에서는 온도 변화의 범위를 $20\sim -20\text{ }^{\circ}\text{C}$ 까지 설정하였기 때문에 촉진제 적정사용량 결정이 어렵다. 따라서 개시제를 1 phr로 고정하고 촉진제를 변수 ($0.1\sim 5\text{ phr}$)로 하여 골재온도 및 양생온도별 ($0, -10, -20\text{ }^{\circ}\text{C}$)로 결합재의 경화시간 및 모르타르의 사용가능시간을 측정하였다.

결합재의 경화시간은 개시제와 촉진제를 넣은 시점부터 겔 (gel) 상태가 될 때까지의 시간으로 하였다.

폴리머 모르타르의 사용가능시간 측정에는 관입법이나 인발저항법 보다 감촉법이 유리하기 때문에 (Ohama, 1978), KS F 2484 (폴리에스테르 레진 콘크리트의 사용 가능시간 측정 방법)에 제시된 방법 중 감촉법에 의해 측정하였다.

라. 공시체 제작 및 강도시험

폴리머 모르타르 공시체는 KS F 2419 (폴리에스테르 레진 콘크리트의 강도 시험용 공시체 제작 방법)에 규정된 방법에 따라 설정된 양생온도의 유지가 가능한 조건에서 제작하였다.

압축강도 시험은 KS F 2481 (폴리에스테르 레진 콘크리트의 압축강도 시험방법), 휨강도 시험은 KS F 2482 (폴리에스테르 레진 콘크리트의 휨강도 시험방법), 쪼갠장강도 시험은 KS F 2480 (폴리에스테르 레진 콘크리트의 인장강도 시험방법)에 따라 시험하였다. 압축 및 쪼갠장강도 시험에는 $\varnothing 5\times 10\text{ cm}$ 의 원주형 시험체를 사용하였으며, 휨강도 시험에는 $4\times 4\times 16\text{ cm}$ 의 각주형 시험체를 사용하였다. 그리고 재하속도는 압축강도의 경우 매초 $0.8\sim 1.2\text{ N/mm}^2$, 휨강도의 경우 매분 $8\sim 12\text{ N/mm}^2$, 쪼갠장강도의 경우 매분 $4\sim 6\text{ N/mm}^2$ 로 하였다.

III. 결과 및 고찰

1. 촉진제(DMA)의 적정량 결정

폴리머 모르타르는 적정한 시간 내에서 경화가 되도록 하는 것이 가장 중요하다. 즉, 소정의 시간 내에 경화가 완료되지 않거나 너무 빨리 경화가 일어나면 현장에서 사용할 수 없기 때문이다.

일반적으로 폴리머 모르타르의 양생을 위해서는 개시제와 촉

진제가 필요하며, 경화시간은 개시제 보다 촉진제의 첨가량에 더 큰 영향을 받는다. 즉, 개시제는 경화반응에 영향을 미치며, 촉진제는 경화시간에 영향을 미친다.

따라서 본 연구에서는 촉진제 (DMA)의 적정량을 결정하기 위하여 개시제 (MEKPO)를 1 phr로 고정하고 촉진제를 $0.1\sim 5\text{ phr}$ 범위에서 변화를 시켜가며 결합재의 경화시간과 모르타르의 사용가능시간을 측정하였다.

결합재의 경화시간 변화를 시험해 본 바 Fig. 2와 같다. 이 결과에서 촉진제 첨가량 증가에 따라 경화시간은 짧아졌으나 촉진제 2 phr 이후는 완만한 변화를 보였다.

한편 촉진제 0.1 phr일 경우 시험온도 $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ 이하에서는 경화반응이 일어나지 않았으며, 0.25 phr에서는 경화가 일어났으나 경화시간은 76분으로 매우 길게 나타났다. 그리고 촉진제가 0.75 phr이 되어야만 $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ 에서도 60분 이내에 경화시간을 확보할 수 있었다.

촉진제 첨가량 변화에 따른 경화시간의 변화양상을 살펴보면 $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 일 경우 1.5 phr, $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ 일 경우 2 phr, $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ 일 경우 2.5 phr에서 안정화 되어 촉진제의 소요량이 급격히 증가하였다. 뿐만 아니라 안정화에 필요한 경화시간도 $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ 에서는 4

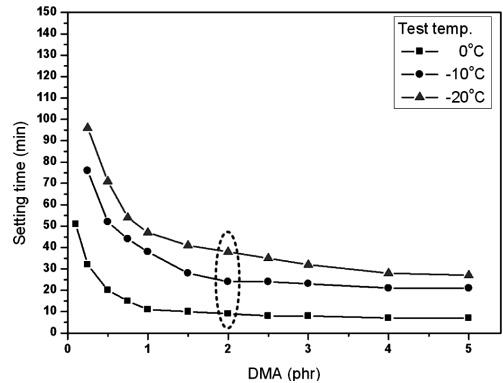


Fig. 2 Setting time of binder

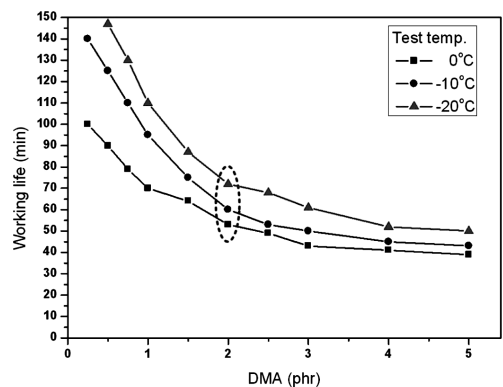


Fig. 3 Working life of mortar

분정도인데 비해 -20 °C에서는 35분으로 크게 길어졌다.

또한 개시제를 2 phr 이상 사용하면 상기한 온도 범위에서는 모든 시험온도에서 경화시간을 30분 이내로 확보할 수 있었다.

폴리머 모르타르의 사용가능시간 변화를 시험한 결과는 Fig. 3과 같다. 이 결과에서도 촉진제 첨가량에 따라 사용가능시간은 짧아졌으나 2 phr부터는 완만한 변화를 보였다. 또한 촉진제 0.1 phr에서는 0 °C 이하에서, 0.25 phr에서는 -20 °C에서 양생이 되지 않았으며, 0.5 phr의 경우 -20 °C에서 양생은 되었으나 사용가능시간 147분으로 현장 적용이 어렵다. 일반적으로 폴리머 모르타르는 현장 적용 시 사용가능시간을 60~70분 정도로 하는 것이 적당하다. 이러한 점들을 고려해 볼 때 -20 °C에서 이 정도의 가사시간을 확보하기 위해서는 촉진제 첨가량을 2 phr로 하는 것이 적당함을 알 수 있다.

한편 Fig. 4에서 촉진제 2 phr일 경우 결합재의 경화시간과 모르타르의 사용가능시간을 살펴보면 모르타르의 사용가능시간이 훨씬 길어짐을 알 수 있으며, 시험온도에 따라 다르나 그 차이는 줄어들어 대략 34~44분 범위인 것으로 나타났다. 이러한

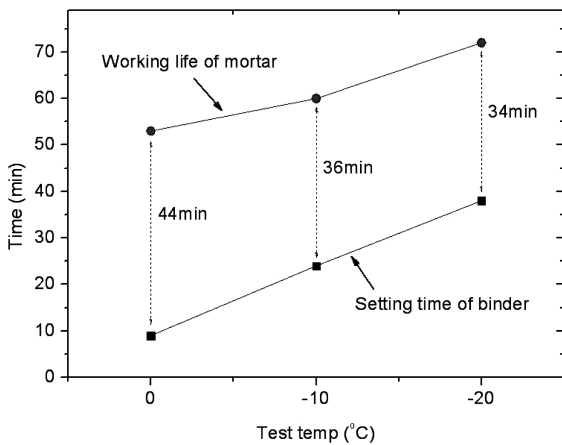


Fig. 4 Comparison of setting time of binder and working life of mortar (DMA 2 phr)

원인은 결합재를 세골재와 충전재로 혼합함으로써 결합재의 분산으로 분자간격이 멀어져 경화반응을 지연시키기 때문이라고 할 수 있다.

2. 강도 발현 특성

일반적으로 폴리머 콘크리트의 강도는 결합재의 종류와 개시제, 촉진제의 혼입 비율에 따라 상이한 특성을 나타내지만, 온도의 영향도 크다. 시멘트 콘크리트는 -5 °C (28일 양생)에서 2.7 MPa의 압축강도를 나타냈고, 고성능 콘크리트는 -5 °C (28일 양생)에서 16.3 MPa를 나타내는 것으로 보고되어 있다 (Metin et al., 2005). 그러나 PMMA (polymethyl methacrylate) 폴리머 콘크리트는 -20 °C (7일 양생)에서 압축강도 90 MPa로서 매우 높게 나타나는 것으로 보고되어 있다 (Kobayashi et al., 2003).

이와 같이 단일 결합재를 사용한 경우와 달리 본 연구에서는 UP와 MMA를 혼합하여 결합재로 사용한 폴리머 모르타르에 대하여 골재온도와 양생온도에 따른 강도 발현특성을 시험한 결과 Fig. 5, 6, 7과 같이 나타났다. 여기서 골재온도를 20 °C로 하여 제작된 공시체는 168 hrs (7-days) 재령에서 양생온도가 0, -10, -20 °C로 낮아짐에 따라 압축, 휨 및 쪼갬인장강도 모두 저하하는 경향을 보였으며, -20 °C에서는 현저하게 저하함을 알 수 있다. 이러한 결과는 골재온도와 양생온도가 모두 같은 조건 (23±2 °C)에서 시험한 폴리머 콘크리트의 강도시험결과 (Yeon et al., 2011)와 비교해 볼 때 약 40~60 % 수준으로 낮은 값이다. 그러나 -20 °C 양생함으로써 골재온도의 영향이 별로 없는 가혹한 조건에서도 재령 168 hrs의 강도가 36.6 MPa로 실용화에 문제가 없는 것으로 나타났다. 이것은 상온에서 제조된 일반적인 시멘트 콘크리트의 압축강도가 21 MPa 정도인 것과 비교해 볼 때 상당히 높은 강도 값이라고 하겠다.

한편, 양생온도 0 °C와 골재온도 20 °C 일 때 재령 168 hrs에서의 강도를 기준으로 할 때, 압축, 휨 및 쪼갬인장강도의 간

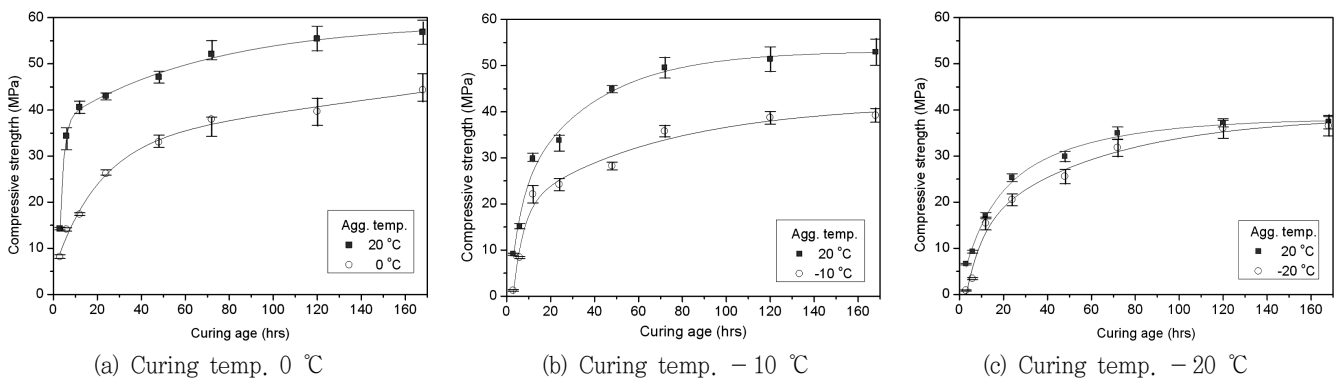


Fig. 5 Compressive strength development with curing and aggregate temperature

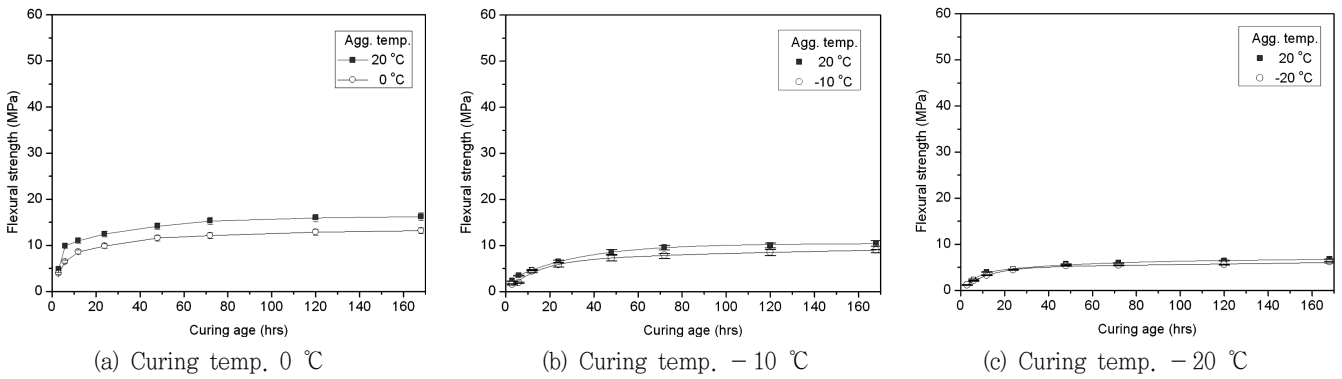


Fig. 6 Flexural strength development with curing and aggregate temperature

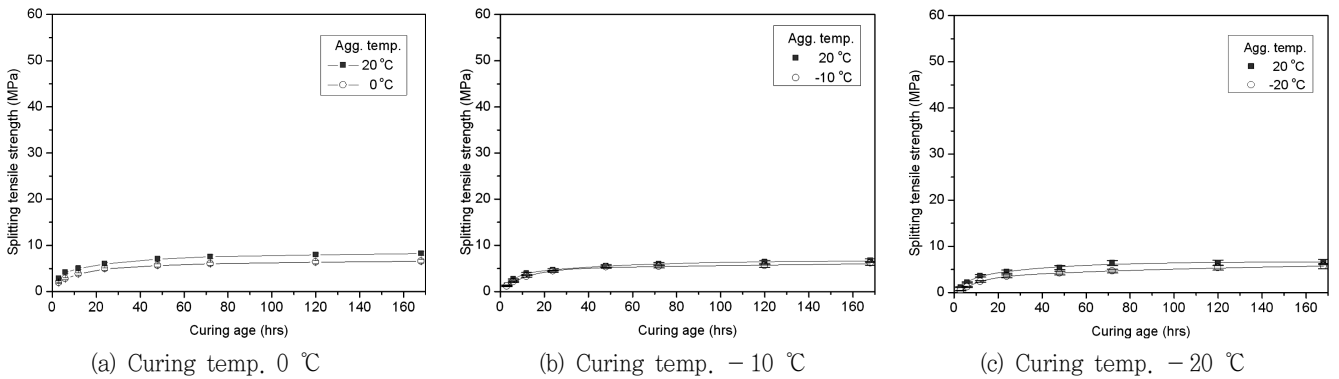


Fig. 7 Splitting tensile strength development with curing and aggregate temperature

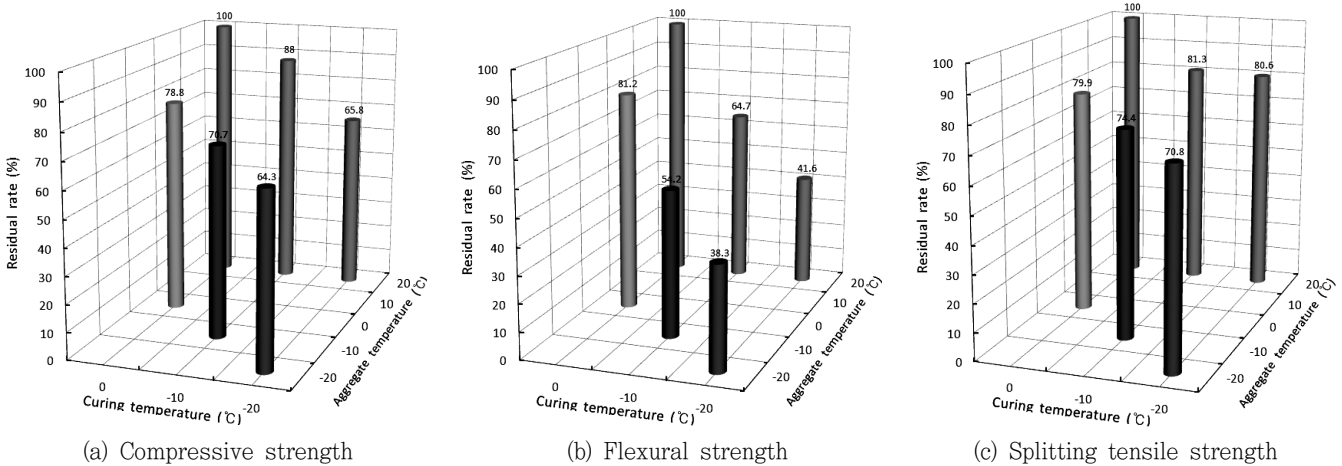


Fig. 8 Residual rate of strength at age of 168 hrs

존율을 그림으로 나타내면 Fig. 8과 같다. 이 그림에서 볼 수 있는 바와 같이 양생온도와 골재온도에 따른 강도 잔존율은 급격히 작아짐을 알 수 있다. 양생온도와 골재 온도 각각 0 °C 일 경우 잔존율은 압축강도의 경우 78.8 %, 휨강도의 경우 81.2 %, 쪼갬인장강도의 경우 79.9 %로 비슷하였다. 그러나 각각의 온도

가 - 20 °C 일때의 잔존율은 압축강도의 경우 64.3 %, 휨강도 38.3 %, 쪼갬인장강도 70.8 %로서 큰 차이를 보였다. 특히 양생 및 골재 온도가 각각 - 20 °C 일 경우 압축, 인장강도보다 휨강도의 잔존율이 현저히 저하한 것이 특징적인 경향이라고 하겠다.

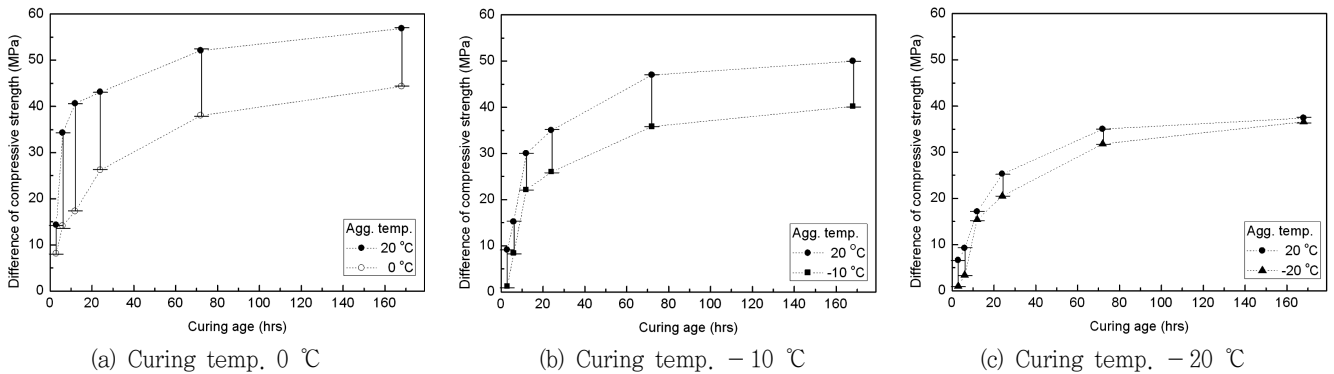


Fig. 9 Difference of compressive strength with curing and aggregate temperature

이상에서와 같이 양생온도에 골재온도가 낮아질수록 강도 잔존율이 작아지는 것은 경화반응시 분자운동이 느려져서 충분한 에너지가 제공되지 못하기 때문에 나타나는 현상이라고 할 수 있겠다.

3. 압축강도 감소 경향

본 연구에서는 골재온도와 양생온도에 따른 압축, 휨 및 쪼갠장강도 변화 차이를 시험하였다. 그러나 휨 및 쪼갠장강도는 양생온도에 따른 차이는 있지만 골재온도에 따른 강도차이가 0.06~3.43 MPa로서 크지 않기 때문에 골재온도가 압축강도의 차이에 미치는 영향에 대해서만 Fig. 9에서 살펴보기로 한다.

이 결과에서 양생온도의 저하에 따라 압축강도는 휨 및 쪼갠장강도와 비슷한 양상으로 저하함을 알 수 있다. 이와 더불어 골재온도에 따른 압축강도의 차이 (저하폭)는 골재온도가 낮아질수록 작아지는 것으로 나타났다. 즉, 골재온도 20 °C와 0 °C의 압축강도 차이는 양생온도 0 °C일때 6.2~23.3 MPa, -10 °C일때 6.8~11.2 MPa -20 °C일때 0.8~5.8 MPa로서 양생온도가 저하함에 따라 골재온도에 따른 압축강도의 차이가 작아짐을 알 수 있다. 그러나 Fig. 9의 (a), (b), (c)를 비교해보면 골재온도보다는 양생 온도에 더 큰 영향을 받으며, 골재온도는 양생온도가 낮아지면 강도발현에 미치는 영향이 작아짐을 알 수 있다.

4. 압축/휨강도비

압축/휨강도비 (C/F ratio)는 모르타르의 인성 (toughness)을 나타내는 하나의 파라미터로서 볼 수 있으며, 강도비 값이 작아질수록 인성이 증가됨을 나타낸다. 폴리머 시멘트 모르타르의 경우 압축/휨강도비는 3.3~3.5 정도이지만 혼화재의 종류에 따라 2.5 정도까지 낮출 수 있다 (Zhong et al., 2006).

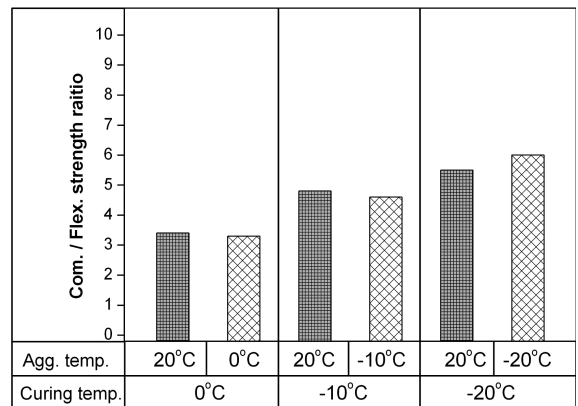


Fig. 10 Compressive strength / flexural strength ratio

본 연구에서는 양생온도와 골재온도에 따라 재령 168 hrs에서 측정된 강도 값을 이용하여 압축/휨강도비를 산출해 본 결과 Fig. 10과 같다. 이 결과에서 골재온도와 양생온도가 낮아질수록 압축/휨강도비가 커짐을 알 수 있다. 즉, 골재온도와 양생온도가 20 °C일 때는 3.5였으나 -20 °C에서는 5.9로서 압축/휨강도비가 약 1.7배나 증가하였다. 이와 같이 양생온도가 낮아질수록 압축/휨강도비가 크게 나타나는 것은 저온양생을 할 경우에는 결합재인 폴리머의 취성이 증가하여 휨강도가 작게 발현되기 때문이며, 이는 인성증진 측면에서 불리함을 보여주는 결과이다. 이것은 고온에서는 경화한 폴리머 결합재가 연성화되어 탄성계수가 작아지고 크리프 변형이 커지는 경향을 보이는 것 (Chandra et al., 1994)의 반대현상이라고 보면 쉽게 이해할 수 있다. 따라서 저온양생을 할 경우 인성이 저하함을 감안해야 할 것이며, 인성 증진이 필요할 경우 유리섬유 등으로 보강하는 방안을 강구하는 것이 바람직할 것으로 사료된다.

IV. 요약 및 결론

본 연구는 동결기 콘크리트 구조물 보수 및 현장시공 시 기

초자료로 활용하기 위해 골재온도와 양생온도가 UP-MMA 폴리머 모르타르의 강도특성 변화에 미치는 영향을 구명한 것으로서 얻어진 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 온도가 낮아짐에 따라 결합재의 경화에 필요한 개시제와 촉진제의 소요량은 현저히 증가하였다. 경화시간은 20 °C에서 4분 정도인데 비해 -20 °C에서는 35분으로 크게 길어져 초기에 강도발현이 어려움을 알 수 있었다.

2. 폴리머 모르타르의 사용가능시간도 결합재의 경화시간과 비슷한 경향을 보였으며, -20 °C에서 60~70분의 가사시간을 확보하기 위해서는 촉진제 첨가량을 2 phr로 하는 것이 적합하다.

3. 폴리머 모르타르의 압축, 휨 및 쪼갬인장강도는 양생온도가 낮아짐에 따라 크게 저하하며, 골재온도의 영향이 현저히 작아짐을 알 수 있다. 그러나 양생온도 및 골재온도가 -20 °C인 경우라도 168 hrs 재령에서, 압축강도 36.6 MPa, 휨강도 6.11 MPa, 쪼갬인장강도 5.81 MPa를 얻을 수 있었다.

4. 폴리머 모르타르의 강도발현은 골재온도보다 양생온도에 더 큰 영향을 받으며, 골재온도는 양생온도가 낮아지면 강도발현에 미치는 영향이 작아짐을 알 수 있었다.

5. 인성을 나타내는 압축/휨강도비는 양생 및 골재온도가 각각 20 °C일 경우 3.5로 작았으나 -20 °C인 경우는 5.9로 현저히 커져 인성 확보 면에서는 불리한 것으로 나타났다.

본연구는농림수산식품부농림기술개발사업에의해이루어진 것임.

REFERENCES

1. Ahn, Namshik. and Fowler, D. W., 2001. The Effects of Metallic Monomers on The Mechanical Properties of Polymer Concrete Made With Wet Aggregates. *Proceedings of the 10th ICPIC*, Paper03 1-20.
2. Aitcin, P. C. and Mehta, P. K., 1990. Effect of Coarse-Aggregate Characteristics on Mechanical Properties of High-Strength Concrete. *ACI Materials Journal*, 103-107.
3. Chandra, S. and Ohama Y., 1994, *Polymers in Concrete*, CRC press, 138-140.
4. Dattatreya. J. K., Srinivasan, C., Sabitha D., Harish, K. V. and Neelamegam, M., 2006. A Comparative Study of Mechanical Properties of Epoxy and Vinyl Ester Concretes. *Proceedings of the 5th ASPIC*, 437-444.
5. Fowler, D. W., 1989. Future Trends in Polymer Concrete. *ACI Special Publication* 116: 129-143.
6. Galan-Marín, C., Olivares-Santiago, M., Roa-Fernández, and J.Rodríguez-García, R., 2004 Comparative Studies on The Influence of Moisture in The Polymer Mortar Aggregates. *11th ICPIC*, 209-214.
7. Haddad, Mustafa. U., Fowler, David. W., Paul and Donald. R., 1983. Factors Affecting the Curing and Strength of Polymer. *ACI Journal Proceedings*, 396- 402.
8. Han, M. C., 2005. Variation of Application Period of Cold Weather Concrete in Korea. *Journal of the Korea Concrete Institute*, pp.237-245 (in Korean).
9. Herwarth Kranenberg., 1990. Worldwide Applications of Polymer Concrete. *Proceedings of the 6th ICPIC*, 60-64.
10. Hwang, K. R., Soh, H. S., Soh, S. Y. Park, H. S. and Soh, Y. S., 1994. Effects of styrene Monomer Content on The Strength Properties of Polyester Resin Concrete. *Proceedings of the Korea Architectural Insititute*, 699-702 (in korean).
11. Inoue, S., 1975. Strength Development of Cold Setting Epoxy Resin Mortars. *Proceedings of the 1st ICPIC*, 185-190.
12. Kobayashi, T. and Ohama, Y., Low-Temperature Curing of PolymethylMethacrylate Polymer Concrete. *Transportation Research Record* 2003, *International Symposium on Mechanical Properties of Special Concrete*, 15-18.
13. Lei Yongming., Wu Keru. and Tan Muhua., 1990. Relationships Between monomer-Unsaturated Polyester Ratio and The Properties of Polyester Resin Mortars. *Proceedings of the 6th ICPIC*, 120-124.
14. Mantrala, Syam K. and Vipulanandan C., 1995. Nondestructive Evaluation of Polyester Polymer Concrete. *ACI Materials Journal*, 660-668.
15. Maximov, Yu. V., Soloviov, G. K. and Trambovetsky, V. P., 1998. Polymer Concretes on Methylmethacrylate Base Hardened Under Sub-Zero Temperatures. *Proceedings of the 9th ICPIC*, 589-592.
16. Metin Husem and Serhat Gozutok, 2005. The Effect of Low Temperature Curing on the Compressive Strength of Ordinary and High Performance Concrete.

- Construction and Building Materials* 19: 49-53.
17. Mu Shuhe. and Wang Zhaoming., 1990. Low Temperature ($-10\text{ }^{\circ}\text{C}$) Hardenable Epoxy Resin Mortar Adhesive. *Proceedings of the 6th ICPIC*, 569-575.
 18. Ohama, Y., 1978. Determination Methods for working Life of Polyester Resin Concrete. *ACI Special Publication*, 31-40.
 19. Okada, K., Koyanagi, W. and Yonezawa, T. 1975. Thermo-Dependent Properties of Polyester Resin Concrete. *Proceedings of the 1st ICPIC*, 210-215.
 20. Ozkul, M. H., 1995. Effect of Aggregate on The Properties of Epoxy Concrete. *Proceedings of the 8th ICPIC*, 193-198.
 21. Serdar Aydin, Halit Yazici, Mert Yucel Yardimci and Huseyin Yigiter., 2010. Effect of Aggregate Type on Mechanical Properties of Reactive Powder Concrete. *ACI Materials Journal*, 441-449.
 22. Vipulanandan and C. Eliza Paul., 1990. Performance of Epoxy and Polyester Polymer Concrete. *ACI Materials Journal*, 241-251.
 23. Yeon, K. S. Kim, K. W. and Lee, B. H., 1990. Effects of Curing Temperature on Early Strength of Polymer Concrete. *Proceedings of the Korea concrete Insititute*, 151-165 (in Korean).
 24. Yeon, K. S., Kim, Y. S., Kim, Y. I. and Choi, Y. S., 2011. Flexural Behavior of Methyl Methacrylate Modified Unsaturated Polyester Polymer Concrete Beams Reinforced with Glass-Fiber-Reinforced Polymer Sheets. *Journal of Applied Polymer Science* 119(6): 3297-3304.
 25. Zhong Shi-Yun and Wang Feng, 2006. Compressive/ Flexural Strength Ratio of Latex Modified Mortar with Mineral Admixture. *Proceedings of the 5th ASPIC*, 315-322.