

# 레디믹스드 폴리머 콘크리트의 제조와 이용

연 규 석

〈강원대학교 지역기반공학전공, 교수〉

이 윤 수

〈주성대학 토목공학과, 교수〉

I. 서론	IV. 레디믹스드 폴리머 콘크리트의 가사시간 및 강도특성
II. 폴리머 콘크리트의 성질	V. 레디믹스드 폴리머 콘크리트의 이용
III. 레디믹스드 폴리머 콘크리트의 제조방법	VI. 결론

## I. 서론

최근들어 건설기술의 발달에 따라 콘크리트 구조물도 고층화, 대형화되어 가는 추세에 있다. 이러한 현상은 기존 시멘트 콘크리트가 갖는 큰 자중, 낮은 인장 및 휨강도, 약한 내구성 등의 개선을 요구하고 있다. 이러한 요구에 따라 국내·외적으로 고성능 건설재료의 개발에 대하여 많은 연구가 진행되고 있으며, 그 결과 새로운 건설재료들이 계속하여 개발되고 있다. 또한 재료들을 적절히 조합하여 각각의 특성을 상호보완한 복합재료들의 개발을 위한 노력도 계속되고 있다.

폴리머 콘크리트는 이와같은 복합재료의 하나로서 시멘트 콘크리트에 비해 강도는 물론

기타 물리적 성질이 우수한 장점을 지니고 있다<sup>1)</sup>. 이러한 장점을 지니고 있는 폴리머 콘크리트는 현재 보수·보강공사와 제품제조에 그 사용이 폭넓게 증가하고 있는 추세에 있다.

그러나 시멘트 콘크리트에 비해서 폴리머 콘크리트는 제조시 폴리머 결합재, 개시제, 촉진제 등에 대한 정확한 배합 및 계량을 필요로 한다. 또한 골재 및 충전재를 포함한 사용재료의 저장·보관상태에 따라 제조되는 폴리머 콘크리트의 성질이 현저하게 달라지는 등의 단점이 있다.

따라서 폴리머 콘크리트는 사용범위가 한정되어 있지만 폴리머 콘크리트의 속경성, 조기고강도 발현성 등 우수한 성능을 감안한다면 현장시공 등 그 적용범위를 넓혀갈 수 있을 것

으로 판단된다.

본 고에서는 폴리머 콘크리트에 대한 이해를 돕기 위해 그 성질을 살펴보고, 현장에 효율적으로 적용키 위해 개발된 레디믹스드 폴리머 콘크리트의 제조방법, 기초적 성질 및 이용에 대하여 소개코저 한다.

## II. 폴리머 콘크리트의 성질

폴리머 콘크리트 결합재가 고분자 물질이기 때문에 시멘트 콘크리트와 다른 특성을 갖는다. 특히 굳기전이나 후의 성질은 폴리머 결합재의 종류, 결합재의 조성, 배합비 및 양생조건에 큰 영향을 받는다.

### 1. 폴리머 콘크리트의 경화전 성질<sup>2)</sup>

#### 1-1 작업성

일반적으로 폴리머 콘크리트의 작업성은 폴리머 결합재가 높은 점도를 갖기 때문에 시멘트 콘크리트에 비해 매우 떨어진다. 그러나 낮은 점도를 갖는 PMMA나 아크릴 콘크리트는 시멘트 콘크리트와 작업성이 비슷하다.

#### 1-2 가사시간 및 경화시간

가사시간(사용가능시간)이나 경화시간은 개시제, 촉진제 등의 첨가량에 따라 광범위하게 조절할 수 있다. 일반적으로 폴리머 콘크리트는 시멘트 콘크리트에 비해 빠른 경화시간을 갖는데 이것이 장점이 되는 경우가 많다. 즉 거푸집이나 몰드를 사용할 때 타설 후 1~3시간 이내에 탈형을 할 수가 있기 때문에 공장제품을 생산할 경우 몰드 활용율이 높고 현장타설시에는 인력을 절감할 수 있는 장점이 있다.

#### 1-3 블리딩

폴리머 콘크리트는 폴리머 결합재의 점도가

높기 때문에 블리딩에 대한 저항성이 크다. 그러나 PMMA 콘크리트 같은 경우는 폴리머 결합재의 점도가 낮기 때문에 시멘트 콘크리트와 비슷한 블리딩 현상이 일어난다.

#### 1-4 경화수축

시멘트 콘크리트의 건조수축 보다 폴리머 콘크리트의 경화수축은 크게 일어나는데, 이것이 실제 응용시 문제가 된다.

경화수축은 시멘트 콘크리트 건조수축의 5~10배 정도로서  $50\sim 60\times 10^{-4}$  정도이다. 이렇게 큰 경화수축은 형상의 정확성, 피착재에 대한 부착성 등에 영향을 미친다. 그러나 폴리머 결합재에 적당한 량의 수축저감제를 사용하면 경화수축을 감소시킬 수 있다.

### 2. 폴리머 콘크리트의 경화후 성질<sup>2)</sup>

#### 2-1 강도

폴리머 콘크리트는 시멘트 콘크리트에 비해 초기에 고강도를 발현하는 것이 특징이다. 이러한 고강도는 제품을 만들 경우 단면을 줄일 수 있어 중량을 감소시킬 수가 있다. [표 1]은 각종 폴리머 콘크리트에 대한 물리적 성질을 나타낸 것이다. 폴리머 결합재는 고강도이고 골재와의 부착성이 우수하기 때문에 골재의 강도에 의해 폴리머 콘크리트의 강도가 결정된다. 또한 수분은 폴리머 콘크리트의 강도를 저하시키는 원인이 되기 때문에 골재의 흡수율이 0.5~1.0%를 넘지 않아야 된다. 따라서 골재의 흡수율을 특별히 관리할 필요가 있다.

폴리머 콘크리트를 구성하는 폴리머 결합재는 열저항성이 약하기 때문에 강도의 온도의존성이 높아 약 50℃를 넘으면 강도가 급격히 감소한다. 이러한 경향은 폴리머 결합재로 열가소성 수지를 사용한 PMMA나 아크릴 콘크리트의 경우 더 심하다. 일반 폴리머 결합재를

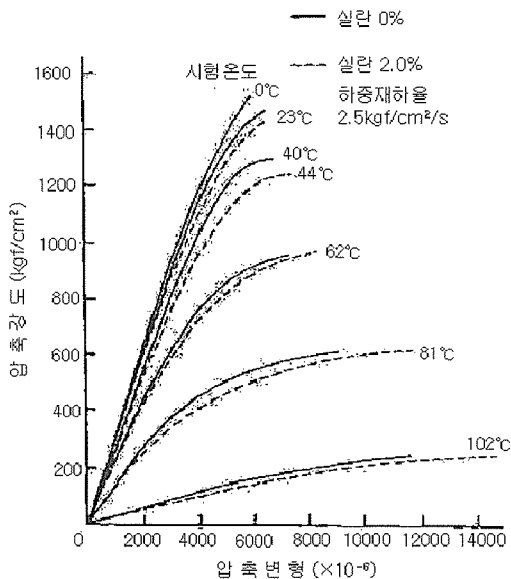
(표 1) 폴리머 콘크리트의 물리적 성질

물리적 성질	폴리머 콘크리트의 종류						참고	
	퓨란 콘크리트	폴리에스터 콘크리트	에폭시 콘크리트	폴리우레탄 콘크리트	페놀 콘크리트	아크릴 콘크리트	아스팔트 콘크리트	보통 시멘트 콘크리트
단위중량 (kg/m <sup>3</sup> )	2200~2400	2200~2400	2100~2300	2000~2100	2200~2400	2200~2400	2100~2400	2300~2400
강도 (kgf/cm <sup>2</sup> )								
압축	700~800	800~1600	800~1200	650~720	500~600	800~1500	20~150	100~600
인장	50~80	90~140	100~110	80~90	30~50	70~100	2~10	10~50
휨	200~250	140~350	170~310	200~230	150~200	150~220	20~150	20~70
탄성계수(×10 <sup>4</sup> kgf/cm <sup>2</sup> )	20~30	15~35	15~35	10~20	15~20	15~35	1~5	20~40
흡수율(wt%)	0.05~0.3	0.05~0.2	0.05~0.2	0.3~1.0	0.1~0.3	0.05~0.6	1.0~3.0	4.0~6.0

사용한 폴리머 콘크리트는 0℃ 이하에서 경화가 잘 되지 않는다. 그러나 PMMA 콘크리트는 낮은 온도에서 경화가 잘 되어 -20℃에서 타설할 경우 1시간 재령에서 500kgf/cm<sup>2</sup>의 강도를 얻을 수 있다.

### 2-2 변형성, 탄성계수 및 크리이프

폴리머 콘크리트는 시멘트 콘크리트와 마찬가지로



(그림 1) 폴리에스터 콘크리트에 있어서 압축응력-변형률 곡선에 대한 온도의 영향

가지로 최대응력까지 거의 직선적인 응력-변형률 관계를 보인다. 이는 [그림 1]에 잘 나타나어져 있으며, 온도 의존성이 높음을 알 수 있다. 폴리머 콘크리트의 탄성계수는 [표 1]에서 볼 수 있는 바와 같이 시멘트 콘크리트보다 약간 작음을 알 수 있다.

폴리머 콘크리트의 크리이프는 폴리머 결합재의 종류나 양에 따라 다르며 강도와 마찬가지로 온도 의존성이 높다. 그러나 실온에서는 시멘트 콘크리트 그것과 거의 비슷하다. 그리고 폴리머 결합재가 아주 과다한 경우를 제외하고는 열팽창계수가 약  $10 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ 로서 시멘트 콘크리트와 큰 차이가 없다. 결국 폴리머 콘크리트의 변형성은 사용된 폴리머 결합재의 점탄성 거동에 어느정도 영향을 받는다고 할 수 있다.

### 2-3 방수성 및 동결-융해 저항성

대부분의 폴리머 콘크리트는 완전 불투성의 미세조직구조이기 때문에 물이나 습기, 공기, 가스 등을 투과시키지 않는다. 또한 폴리머 콘크리트의 내부로 물이나 습기가 침투하지 못하기 때문에 동결-융해 저항성이 우수하다.

### 2-4 부착성

대부분의 폴리머 콘크리트는 시멘트 콘크리트, 석재, 세라믹 타일, 금속, 목재, 블록 등 각종 건설재료와의 부착성이 우수하다. 이와같이 우수한 부착성은 폴리머 결합재의 부착력에 기인하는 것이지만 폴리머 결합재의 종류, 피착제의 성질, 현장조건, 시험평가방법 등에 따라 다르게 나타난다.

### 2-5 화학적 저항성

폴리머 콘크리트는 시멘트 수화물과 달리 불투수성의 조직구조를 갖고있기 때문에 일반적으로 시멘트 콘크리트에 비해 우수한 화학적 저항성을 가지고 있다. 이같은 화학적 저항성은 폴리머 결합재의 양, 골재의 특성, 화학물질의 성분 등에 따라 다르게 나타난다.

### 2-6 내마모성, 내충격성 및 절연성

대부분의 폴리머 콘크리트는 시멘트 콘크리트에 비해 내마모성, 내충격성 및 절연성이 우수하며 이것 역시 폴리머 결합재의 종류, 성질 등에 따라 달라진다.

### 2-7 난연성 및 내화성

가연성 폴리머 결합재를 갖는 폴리머 콘크리트는 일반적으로 난연성이나 내화성 측면에서 불리하며, 이는 폴리머 결합재의 종류나 양에 따라 다르게 나타난다. 이러한 난연성 및 내화성을 개선시키는데는 폴리머 결합재의 양을 최소화시키는 방법과 난연제를 첨가시키는 방법이 있다. 대체적으로 폴리머 콘크리트에 대한 난연성 시험(JIS A 1321)결과 3급(준불연성재료)으로 평가되고 있다.

### 2-8 내후성

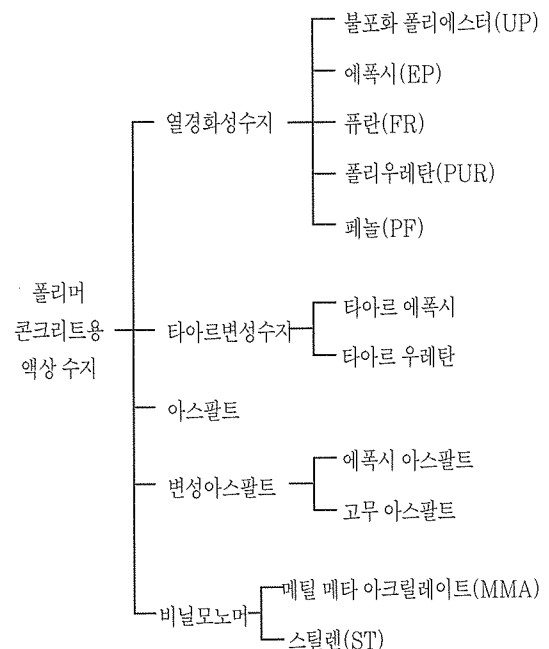
폴리머 콘크리트는 유기질의 결합재를 갖기 때문에 무기질의 결합재를 갖는 시멘트 콘크리트에 비해 내후성이 약한 것은 사실이다. 그

러나 폴리머 콘크리트에도 85%이상의 무기질 재료가 포함되어 있기 때문에 급격한 성능저하가 일어나지는 않는다. 특히 강도저하 같은 문제는 걱정할 필요가 없다. 실제적으로 폴리머 콘크리트를 옥외구조물에 사용하였을 경우 최소 20년 이상은 성능변화가 일어나지 않을 것이라 판단하고 있다.<sup>2)</sup>

## Ⅲ. 레디믹스 폴리머 콘크리트의 제조 방법

### 1. 사용재료

폴리머 콘크리트는 폴리머 결합재, 충전재, 골재 및 그밖의 재료들로 구성된다. 폴리머 콘크리트에서 일반적으로 사용하는 결합재는 [그림 2]에서 보는 바와 같이 에폭시 수지(EP), 폴리스틸렌이 함유된 불포화폴리에스터 수지(UP), 비닐에스터 수지(VE), 퓨란 수



(그림 2) 폴리머 콘크리트용 폴리머 결합재의 종류

지(FR) 그리고 메틸 메타아크릴레이트(MMA) 모노머가 있다. 그러나 경제성 등을 고려할때, 폴리머 콘크리트에는 불포화폴리에스터 수지가 가장 일반적인 폴리머 결합재로 사용되고 있다.<sup>2,3,4)</sup>

충전재로는 탄산칼슘, 실리카 미분말, 그리고 플라이애쉬와 같은 재료들이 사용되는데 일반적으로 충전재의 역할은 결합재를 증량시켜 작업성을 좋게하고, 골재사이의 매우 작은 공극을 채우기 위해 사용된다. 탄산칼슘 미분말은 가장 일반적인 충전재로 사용되고 있지만 내산성이 요구될 경우에는 사용하지 않는 것이 보통이다.<sup>2)</sup>

잔골재 및 굵은골재는 시멘트 콘크리트에서 사용하는 강모래, 강자갈이나 부순모래, 부순자갈 등을 사용하지만 골재의 함수율이 높을 경우 유기질 결합재와의 계면접착력이 약화되어 강도저하의 원인이 되므로 함수율이 0.3% 이하가 되도록 건조시켜 사용하여야 한다.<sup>2)</sup>

## 2. 제조공정

일반적으로 폴리머 콘크리트는 경화속도가 빠르게 일어나고 점도가 높은 결합재를 사용하기 때문에 발생하는 재료 분리를 막기 위해 폴리머 콘크리트는 인력으로 혼합하지 않고, 믹서를 이용한 기계 혼합을 해야 한다. 또한 타설시에는 믹서로부터 연속적으로 몰드에 투입

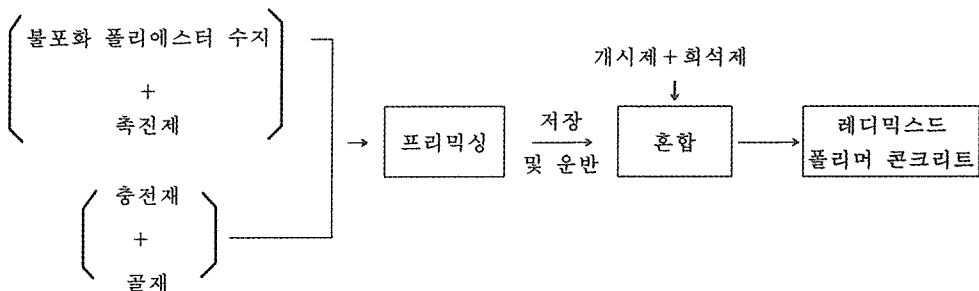
해야 하며, 폴리머 콘크리트의 우수한 특성을 얻기 위해서는 재료의 충분한 다짐이 필요하다.

공시체는 진동 테이블에서 성형하고 진동 횟수는 공시체의 형태나 크기에 따라 달라진다. 진동시간은 폴리머 결합재와 골재사이의 재료분리 원인이 되기 때문에 길게 하지 않는 것이 일반적이다.<sup>5)</sup>

[그림 3]은 레디믹스드 폴리머 콘크리트의 제조공정을 나타낸 것이다. 레디믹스드 폴리머 콘크리트의 제조공정과 일반 폴리머 콘크리트의 제조공정의 가장 큰 차이점은 결합재(폴리에스터+촉진제), 충전재, 골재를 미리 믹싱하여 저장하였다가 사용시 개시제와 희석제를 첨가한 후 다시 믹싱하여 사용한다는 점이다.

## IV. 레디믹스드 폴리머 콘크리트의 가사시간 및 강도특성

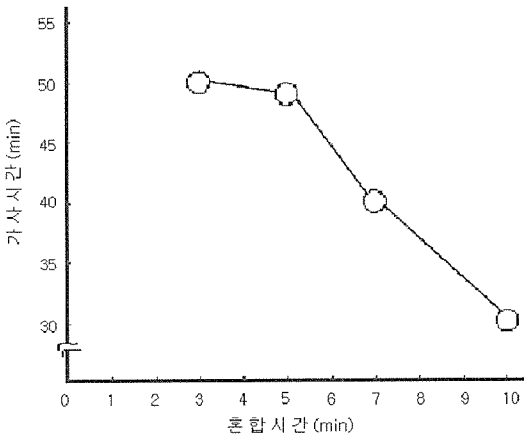
[그림 4]는 20℃에서 1일간 저장하였을 경우 레디믹스드 폴리머 콘크리트의 혼합시간에 따른 가사시간의 변화를 나타낸 것이다. 레디믹스드 폴리머 콘크리트의 가사시간은 혼합시간이 길면 길수록 짧아지는 경향을 보인다. 이것은 일반 폴리머 콘크리트를 제조하는 경우 개시제를 결합재에 첨가하여 충분히 혼합하여 제작하는 데 비해, 레디믹스드 폴리머 콘크리



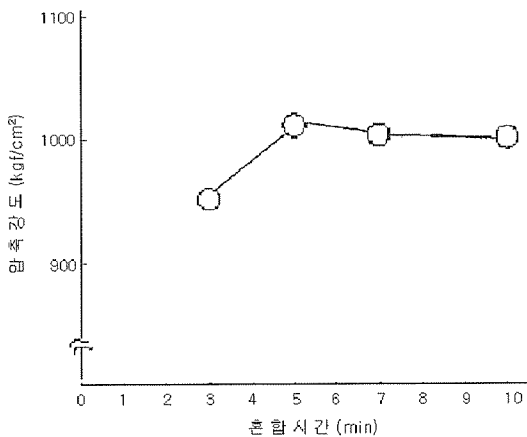
(그림 3) 레디믹스드 폴리머 콘크리트의 제조공정<sup>6)</sup>

트의 경우는 미리 혼합된 폴리머 콘크리트에 개시제를 첨가하기 때문에 그 분산에 많은 시간이 필요하므로 혼합시간이 길면 길수록 개시제의 분산이 양호하게 되기 때문이다.

[그림 5]는 20℃에서 1일간 저장하였을 경우 레디믹스드 폴리머 콘크리트의 혼합시간에 따른 압축강도의 변화를 나타낸 것이다. 레디믹스드 폴리머 콘크리트의 압축강도는 배합시간 5분에서 최대치를 보였으나, 그 이후에는



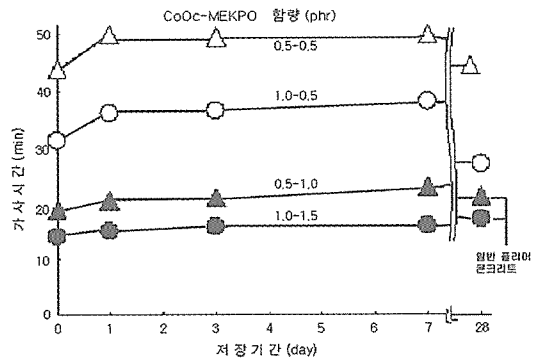
(그림 4) 레디믹스드 폴리머 콘크리트의 혼합시간에 따른 가사시간 변화 (20℃에서 1일간 저장)



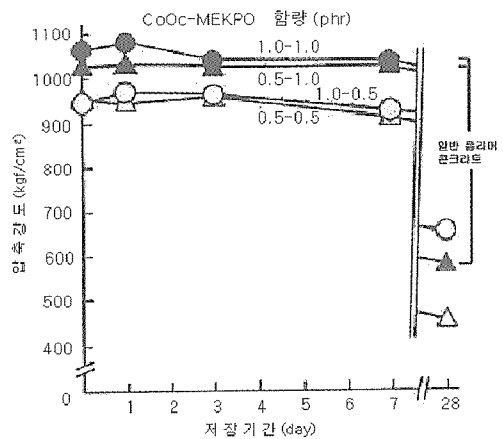
(그림 5) 레디믹스드 폴리머 콘크리트의 혼합시간에 따른 압축강도 변화 (20℃에서 1일간 저장)

감소하는 경향을 보였다. 이것은 배합시간의 증대에 따른 개시제의 분산특성이 향상됨에 따라 강도가 증가하기 때문으로 판단되며, 불포화 폴리에스터수지의 중합반응에 의한 골재의 결합이 배합에 의해서 저해받기 때문에 일어나는 강도감소가 혼합시간 5분에서 발생됨을 시사해 주는 것이다.

[그림 6]은 레디믹스드 폴리머 콘크리트의 저장온도가 20℃일 때 저장기간에 따른 가사시간 변화를 나타낸 것이다. 가사시간은 촉진제가 개시제의 증가에 따라 급격히 감소하였



(그림 6) 레디믹스드 폴리머 콘크리트의 저장기간에 따른 가사시간 변화(20℃ 저장)



(그림 7) 레디믹스드 폴리머 콘크리트의 저장기간에 따른 압축강도 변화(20℃ 저장)

다. 또한 결합재의 조성에 관계없이 레디믹스드 폴리머 콘크리트의 가사시간은 일반 폴리머 콘크리트에 비해 증가하는 것으로 나타났다.

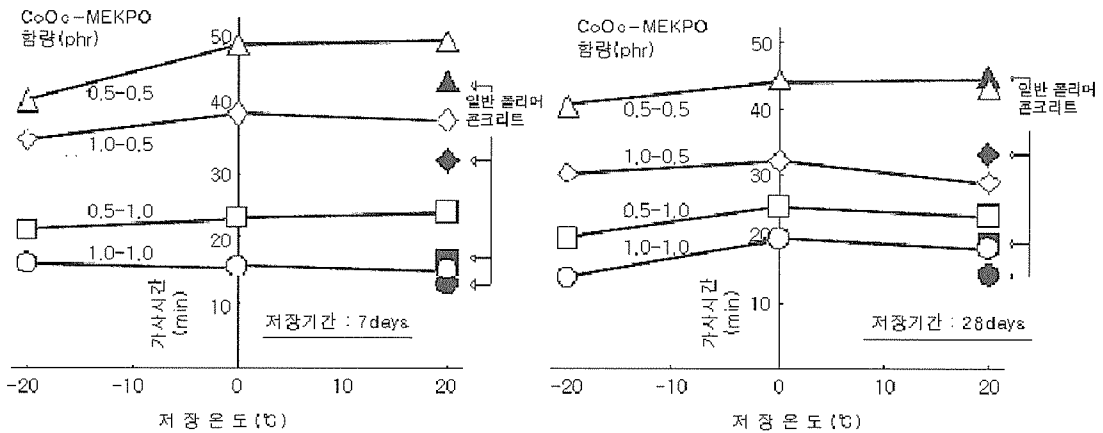
[그림 7]은 레디믹스드 폴리머 콘크리트의 저장온도가 20℃일 때 저장기간에 따른 압축강도 변화를 나타낸 것이다. 촉진제 및 경화제 첨가량에 관계없이 저장기간 7일까지의 레디믹스드 폴리머 콘크리트의 압축강도는 거의 일정하게 나타났지만 저장기간 28일에서의 압축강도는 일반 폴리머 콘크리트에 비하여 50~60%수준으로 저하하는 것으로 나타났다.

위의 결과로부터 레디믹스드 폴리머 콘크리

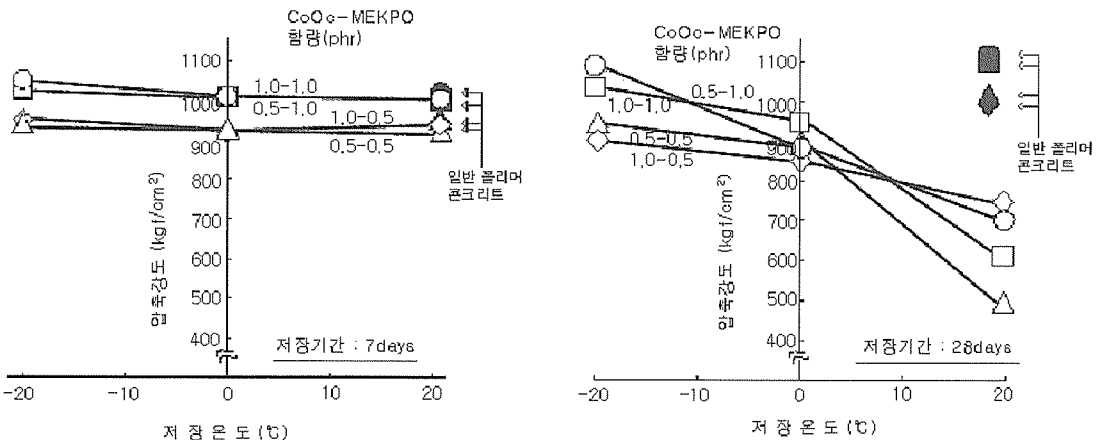
트의 저장온도가 20℃일 경우 7일까지 저장하였다가 사용하더라도 가사시간 및 강도에 큰 변화가 없음을 알 수 있다.

[그림 8]은 7일 및 28일간 저장한 레디믹스드 폴리머 콘크리트의 저장온도에 따른 가사시간 변화를 나타낸 것이다. 가사시간은 저장온도의 차이에 따라 작은 변화를 보였다. 저장온도와 상관없이 가사시간은 7일 저장한 경우 28일 저장한 것과 비교할 때 약간 길거나 비슷했다.

즉 일반 폴리머 콘크리트의 가사시간과 비교하면 그 차이는 5분 이내였다.



(그림 8) 레디믹스드 폴리머 콘크리트의 저장온도에 따른 가사시간 변화



(그림 9) 레디믹스드 폴리머 콘크리트의 저장온도에 따른 압축강도 변화

또한 동일한 촉진제 및 개시제 첨가량을 갖는 레디믹스드 폴리머 콘크리트의 경우 저장기간 7 및 28일에서의 가사시간을 비교하면 7일보다 28일에서 약간 짧아지는 경향을 보였다.

[그림 9]는 7일 및 28일간 저장한 레디믹스드 폴리머 콘크리트의 저장온도에 따른 압축강도 변화를 나타낸 것이다. 저장기간이 7일인 경우 레디믹스드 폴리머 콘크리트의 압축강도는 촉진제 및 개시제 첨가량에 관계없이 저장온도의 상승에 따라 약간 저하되는 경향을 보였으나 일반 폴리머 콘크리트와 거의 같은 압축강도를 나타냈다. 한편 저장기간이 28일인 경우의 레디믹스드 폴리머 콘크리트의 압축강도는 저장온도의 상승에 따라 현저한 저하현상을 보였으며, 특히 20℃에서 저장한 레디믹스드 폴리머 콘크리트의 압축강도는 촉진제와 개시제의 양에 따라 다르긴 하지만 일반 폴리머 콘크리트의 강도보다 50%정도의 강도저하를 나타냈다. 그러나 -20℃에서 저장한 경우에서는 이러한 강도저하 현상은 거의 나타나지 않았다.

위의 결과로부터 레디믹스드 폴리머 콘크리트를 장기간 저장할 경우 저온을유지할 수 있는 저장방법을 택해야 함을 알 수 있다.

## V. 레디믹스드 폴리머 콘크리트의 이용

### 1. 현장이용

폴리머 콘크리트는 시멘트 콘크리트 구조물의 덧씌우기나 보수용 재료로서 주로 이용되고 있으나 현재는 모르타르 형태가 더 많이 사용되고 있다. 일반적으로 폴리머 콘크리트를 현장타설에 적용함으로써 얻을 수 있는 장점은 ① 빠른 경화시간 ② 콘크리트에 대한 우수한 부착강도 ③ 매우 낮은 흡수율 ④ 높은 내마모성 ⑤ 우수한 표면 마무리성 ⑥ 우수한 강도

[표 2] 폴리머 콘크리트의 현장 이용실태<sup>7,8,9,10,11,12)</sup>

리페어 / 패칭	오버레이/라이닝
교량상판, 도로구조물 보수	교량상판 및 공장바닥 표면처리
해양구조물 보수	여수도 및 구조물 덧씌우기
복개구조물 보수	수력발전소 조정지 방호라이닝
각종 콘크리트 구조물 보수	내산성이 요구되는 콘크리트 구조물의 라이닝
교량 포장 및 기타 구조물 패칭	주차장 출입용 램프 덧씌우기
	내력벽 표면보강

와 내구성 등을 들 수 있다. 그러나 이러한 장점 외에 폴리머 콘크리트의 단점으로 지적되는 것은 ① 높은 가격 ② 큰 열팽창계수 ③ 모노머와 수지의 불쾌한 냄새 ④ 작업자들의 이해 부족 등도 현실적으로 폴리머 콘크리트의 폭넓은 사용을 저해하는 요인이다.

[표 2]는 현장타설용으로서 폴리머 콘크리트의 현장 이용사례를 나타낸 것이다.

### 2. 이용시 참고사항

① 레디믹스드 폴리머 콘크리트용 재료는 일반 폴리머 콘크리트와 같으며, 배합비도 같은 방법으로 결정된다.

② 프리믹싱은 충전재, 잔골재, 굵은골재를 2 분간 혼합한 후 불포화 폴리에스터 수지와 촉진제로 구성되는 결합재를 충전재-골재 혼합물에 넣은 후 3분간 혼합한다.

③ 프리믹스된 폴리머 콘크리트(즉 레디믹스드 폴리머 콘크리트)는 저장용 컨테이너에 넣어 운반된다. 레디믹스드 폴리머 콘크리트를 -20℃ 정도에서 보관할 수 있다면 프리믹싱 후 28일까지 사용할 수 있다. 저장온도가 20℃정도라면 7일 이내에 사용하여야 한다. 만약 -20℃에서 저장운반 되었다면 적어도 20℃에서 1일간 상용화시킨 후 사용해야 한다.

④ 레디믹스드 폴리머 콘크리트는 타설 직



전에 개시제와 희석제를 넣은 후 5분 정도 혼합해야 한다. 혼합한 후에는 일반 폴리머 콘크리트와 같은 방법으로 타설한다.

## Ⅵ. 결론

폴리머 콘크리트는 현재 시멘트 콘크리트와 비교하여 높은 기능성 및 우수한 물리·역학적 특성 때문에 신건설재료로서 많은 관심을 끌고 있다. 즉 폴리머 콘크리트는 다양한 분야에 사용이 가능하고 내구적인 구조물을 만들 수 있어 주목을 받고 있으며, 시멘트 콘크리트 구조물의 보수·보강분야에서도 폴리머 콘크리트의 사용은 지속적으로 증가하고 있다. 이는 폴리머 콘크리트가 시멘트 콘크리트와 같은 기존 건설재료가 갖지 못하는 성질을 갖고 있기 때문에 나타나는 필연적인 것이다. 특히 폴리머 콘크리트는 시멘트 콘크리트나 섬유 보강재와 복합적으로 사용할 수 있는 지속 가능한 건설재료로서 매우 중요한 신소재 중의 하나이다.

폴리머 콘크리트의 이용기술은 30여년간 꾸준히 발전하여 최근 건설분야의 기술혁신에 크게 기여를 하고 있다. 초고층 건물, 심층 구조물, 해양과 우주개발 등의 새로운 건설사업 분야의 재료로서도 관심을 끌고 있으며, 최근 건설산업이 환경에 미치는 영향에 대한 관심이 더욱 높아짐에 따라 친환경적인 건설재료로서의 역할도 기대되고 있다.

이상과 같은 점들을 고려해 볼 때 21세기에 있어서 폴리머 콘크리트는 새로운 복합재료로서 연구개발해야 할 분야가 너무도 많으며, 지속가능한 건설재료로서 충분한 조건을 갖추었으므로 앞으로 활발한 연구개발과 실용화가 이루어질 것으로 전망된다.

## 참고 문헌

1. Ohama, Y., Sugi, M. and Hamatsu, M., "Freeze-Thaw Durability of Polymer made with Wet Aggregates", Proceedings of the 29th Japan Congress on Materials Research, The Society of Materials Science, Kyoto, Japan, 1986, pp. 167~170
2. Chandra, S. and Ohama, Y., "Polymer Mortar and Concrete", CRC, 1994, pp.94-101, 137-144, 189
3. Fowler, D. W., "United States and World Applications", Proceedings of the ICPIIC Workshop on Polymers in Concrete, Bled- sloven'a, 1996, pp.17-20
4. Fowler, D. W., "PC Materials, Properties and Applications", International ICPIIC Workshop on Polymers in Concrete, Bled- Slovenia, 1996, pp.37-44
5. National Research Council Canada Polymer Concrete, "A Technological and Economic Study", Industrial Materials Research Institute (IMRI), 1986, pp. 14-15, 47-48, 117-120
6. Ohama, Y., Demura, K. and Shimizu, A., "Process Technology and Properties of Ready Mixed Polyester Concrete", The Production & Potential of Polymers on Polymers in Concrete, Brighton Poly- Technic, Brighton, England, pp 71~74, 1987
7. Fowler, D.W., "Polymers in Concrete: Where have We been and Where are We Going?", Proceedings of the Tenth ICPIIC, Paper No. 82, 2001, Hawaii

8. Depuy, G. W and Dimmick, F. E., "Polymer Concrete Overlays for the Repair and Protection of Concrete", Proceedings of the Tenth ICPIIC, Hawaii, USA, 2001, Paper No. 83
9. Carter, P. D., "Thin Polymer Wearing Surfaces for Preventive Maintenance of Bridge Decks", ACI SP-137, 1993, pp.29-47
10. Kavi, F., Grum, B., ernilogar, L. and Levani, R., "Repair of RC Wharves in Marine Enviroment", Proceedings of the Tenth ICPIIC, Hawaii, USA, 2001, Paper No. 31
11. Hasan, V. "Polymer Concrete Overlay for Greenpoint Marine Transfer Station", Proceedings of the Tenth ICPIIC, Hawaii, USA, 2001, Paper No. 74
12. Yeon, K. S., "Utilization of Polymer Concrete as Sustainable Construction Materials", Proceedings of the Fourth ICMR, Akita, Japan, 2001, pp. 82-87

