

폴리머 콘크리트의 초기경화특성에 관한 실험적 연구

An Experimental Study on Hardening Performance at Early Age of Polymer Concrete

오 병 환* 이 형 준** 차 수 원*** 장 제 욱****
Byung Hwan Oh Hyung Jun Lee Soo Won Cha Je Wook Chang

요 약

폴리머 콘크리트에 대한 연구는 세계 각국에서 오래전부터 수행하여 구조물에 적용한다든가 보수재로 사용하고 있는데 비해 국내에서의 연구는 최근에 시작되었으며, 폴리머 콘크리트에 대한 재료의 기초적특성 연구가 활발히 진행되고 있으나 체계적인 연구 결과나 실용화 실적이 적다. 따라서 본 연구에서는 폴리머 콘크리트의 초기경화 특성을 고찰하여 콘크리트 포장의 보수재료로서의 폴리머 콘크리트의 활용 토대를 구축하고자 한다.

ABSTRACT

A study on the polymer concrete has been processed for a long time, applied to the structure and use for a repairing stuff in many countries. But it has been begun recently in Korea. The basic material characteristic studies of polymer concrete are progressed very much but there are few results and applications of systematic studies. The object of this study is the consideration of the early age hardening characteristics of the polymer concrete and construction of applicable base as a repairing stuff of concrete pavement.

1. 서론

지금까지 건설분야의 대표적인 재료로 널리 사용되고 있는 포틀랜드 시멘트 콘크리트는 경제성 및 구조특성상 훌륭한 건설 재료이나 이것은 일반적으로 인장강도, 접착성, 수밀성, 동결융해 저항성 및 균열발생 등에 많은 취약점을 가지고 있다. 근년에 이르러서는 건설기술의 눈부신 발전과 더불어 이에 대응하기 위한 새로운 건설재료의 개발에 박차를 가하고 있으며, 이와 같은 신건설재료로서 섬유보강 콘크리트, 폴리머 콘크리트등이 꾸준히 개발되고 있다.

이러한 신건설재료인 폴리머 콘크리트는 제조방법에 따라 폴리머 콘크리트(PC, Polymer Concrete), 폴리머 함침 콘크리트(PIC, Polymer Impregnated Concrete), 폴리머 포틀랜드 시멘트 콘크리트(PPCC, Polymer Portland Cement Concrete)로 분류된다.

본 연구에서는 고강도이고 속경성이며 마모저항, 충격저항, 내약품성, 동결융해 저항성, 내부식성 등 강도 특성과 내구성이 뛰어난, 결합재로서 시멘트 대신에 폴리머를 사용한 폴리머 콘크리트에 대한 연구를 수행하여, 도로구조물에 실제적으로 활용하기 위한 토대를 구축하고자 한다.

2. 실험개요 및 방법

2.1 실험개요 및 목적

폴리머 콘크리트는 짧은 시간안에 고강도를 얻을 수 있으므로 도로구조물등의 긴급보수용으로의 활용이 점차 증가되고

* 서울대학교 토목공학과 교수

** 서울대학교 토목공학과 박사과정 수료

*** 서울대학교 토목공학과 박사과정

**** 서울대학교 토목공학과 석사과정

있는 실정이다. 도로구조물의 부분적인 파손에 대한 시멘트 콘크리트를 사용한 보수방법은 콘크리트가 완전히 경화되는 기간까지 교통을 통제하므로 이에 따라 원활한 교통소통이 되지 못했다. 그러나, 도로의 긴급보수용으로 폴리머 콘크리트를 사용하면 2시간 이내에 300-400 kg/cm²의 강도를 얻을 수 있어 교통의 통제시간이 그만큼 절약되므로 교통의 원활한 소통을 이룰 수 있다.

따라서 본 연구에서는 도로포장과 같은 긴급보수가 요구되는 구조에 적용할 수 있는 고강도이고 적절한 가사시간과 숙경성을 갖는 폴리머 몰탈 및 폴리머 콘크리트에 대한 체계적인 연구를 수행하여 최적배합을 제시하고, 역학적 특성을 규명하고자 한다.

2.2 실험재료

(1) 채움재

채움재는 국내 S사에서 생산하는 1종 보통 포틀랜드 시멘트를 사용하였다.

(2) 골재

세골재로 비중이 2.64, 조립률이 2.38인 강모래를 100°C로 24시간 오븐 건조하여 사용하였다.

(3) 수지, 경화개시제 및 경화촉진제

폴리머 몰탈에 사용되는 수지로는 여러가지 종류가 있으나, 본 실험에서는 국내 M사에서 생산하는 일반성형용 불포화 폴리에스터 수지(품명 : CM-750M)를 사용하였다.

폴리머 몰탈과 폴리머 콘크리트의 기본배합비는 표 1과 같다.

표 1 폴리머 몰탈과 폴리머 콘크리트의 기본배합비

종류	재료	수지	골재		
			세골재	조골재	채움재
폴리머 몰탈		25%	67%		8%
폴리머 콘크리트		16%	32%	46%	6%

2.3 실험변수 및 방법

본 연구에서는 경화촉진제 함량에 따른 폴리머 몰탈과 폴리머 콘크리트의 가사시간과 소요강도 발현특성을 고찰하고, 결정된 배합에 대하여 경화개시제의 함량에 따른 재료의 성질, 가교제 첨가량에 따른 작업성, 저수축제 첨가량에 따른 선팅창계수, S/A비에 따른 강도특성등을 고찰하였다.

폴리머몰탈과 폴리머 콘크리트의 배합은 사용수지와 경화촉진제를 미리 계량하여 함께 골고루 섞은 후 모래 및 채움재와 배합하기 직전에 경화개시제를 수지에 첨가하였다.

초속경화 기본배합비를 알기위한 실험에서는 폴리머 몰탈과 폴리머 콘크리트의 조기강도 발현도를 알기 위하여 압축강도의 측정시간을 45분, 60분, 90분으로 하였으며, 폴리머 몰탈과 폴리머 콘크리트의 조기강도가 급격하게 증가하기 때문에 측정기준시간 앞뒤로 2분간의 차이를 두고 압축강도를 측정하여 그 평균값을 기준시간의 압축강도로 취하였다.

폴리머 몰탈의 압축강도 측정용 시편은 5x5x5cm의 정육면체 시편(cubic mould)을 사용하였으며, 폴리머 콘크리트의 압축강도 측정용 시편은 7.5x15cm의 원주형 공시체를 사용하여, 한가지 경우에 8개의 시편을 제작하였다. 온도감응실험의 시편은 7.5x10x45cm의 직육면체 시편(beam mould)을 사용하였으며 2개의 시편을 제작하여 평균값을 취하였다. 휨강도 측정용 시편은 5x5x20cm의 직육면체 시편(beam mould)을 사용하였다. Wokability는 Flow Test를 시행하였으며 Flow Test 몰드에 2층 다짐후 25회 진동후 ((진동후지름-몰드지름)/몰드지름)x100의 식으로 측정하였다.

압축강도, 할렬인장강도 및 휨강도는 용량 200t 규모의 일본 MORI사의 강도시험기를 사용하였으며 온도감응실험은 온도를 15°C, 20°C, 40°C, 60°C, 80°C로 변화시켜가며 단위온도에 따른 길이변화로 열팽창계수를 측정하였다.

3. 실험결과 및 분석

3.1 경화촉진제 함량에 따른 가사시간과 압축강도 변화 경화촉진제의 최적배합비를 찾고자 하는 실험에서는 결합재인 불포화 폴리에스터 수지의 사용량 및 경화개시제의 양은 고정시키고 경화촉진제 DMA와 후발성 경화촉진제 Acetylacetone의 첨가량을 변화시켰다. DMA는 사용 수지량의 0.02%, 0.05%, 0.08%로, Acetylacetone은 사용 수지량의 0.02%, 0.05%, 0.08%, 0.12%, 0.15%로 변화시켜가며 폴리머물탈의 강도특성과 배합특성을 고찰하였으며, 폴리머 콘크리트의 경우, DMA는 사용 수지량의 0.02%, 0.04%, 0.08%로, Acetylacetone은 사용 수지량의 0.04%, 0.08%, 0.12%, 0.15%로 변화시켜가며 폴리머물탈의 강도특성과 배합특성을 고찰하였다. 실험 결과치는 아래 표 2 폴리머 물탈의 가사시간과 표 3 폴리머 콘크리트의 가사시간, 표 4 폴리머 물탈의 압축강도, 표 5 폴리머 콘크리트의 압축강도와 같다.

표 2 폴리머 물탈의 가사시간

DMA ACAC	0.02%	0.05%	0.08%
0.02%	5	5	4
0.05%	10	7	6
0.08%	15	14	11
0.12%	16	13	13
0.15%	23	19	14

표 3 폴리머 콘크리트의 가사시간

DMA ACAC	0.02%	0.04%	0.08%
0.04%	16	13	14
0.08%	15	14	12
0.12%	22	19	17
0.15%	50	41	31

표 4 폴리머 물탈의 압축강도

DMA ACAC	강도측 정시간	0.02%	0.05%	0.08%
0.02%	45분	59	56	250
	60분	246	104	309
	90분	471	175	365
0.05%	45분	296	173	163
	60분	366	238	267
	90분	651	385	342
0.08%	45분		107	160
	60분	110	289	267
	90분	200	457	421
0.12%	45분	195	174	146
	60분	373	296	264
	90분	531	399	361
0.15%	45분	64	294	321
	60분	296	433	353
	90분	440	641	414

표 5 폴리머 콘크리트의 압축강도

DMA ACAC	강도측 정시간	0.02%	0.04%	0.08%
0.04%	45분	39	166	34
	60분	125	243	155
	90분	233	366	371
0.08%	45분	46	123	98
	60분	154	290	170
	90분	338	326	329
0.12%	45분	44	137	88
	60분	117	224	203
	90분	280	317	287
0.15%	45분			146
	60분		69	83
	90분		195	213

위의 결과에서 DMA가 일정하면 후발성 경화촉진제인 아세틸아세톤의 첨가량에 따른 가사시간의 변화는 아세틸아세톤의 첨가량이 증가하면 폴리머물탈과 폴리머 콘크리트의 가사시간이 증가하는 경향을 보이고 있다. 또한 아세틸아세톤이 일정할 때 경화촉진제 DMA의 첨가량에 따른 가사시간의 변화는 DMA의 첨가량이 증가하면 가사시간이 감소함을 보여주고 있다. DMA가 일정할 때 양생시간에 따른 폴리머물탈과 폴리머 콘크리트의 압축강도 발현 특성은 아세

탈아세톤의 첨가량이 증가할수록 전반적으로 압축강도가 증가하는 경향을 보이고 있다. 이상의 결과에서 폴리머 몰탈은 DMA함량 0.05%, ACAC함량 0.15%인 경우, 폴리머 콘크리트는 DMA함량 0.04%, ACAC함량 0.08%인 경우를 최적으로 선정하였다.

3.2 가교제 첨가량에 따른 workability

가교제의 첨가량에 따르는 workability는 가교제의 첨가량이 증가될수록 증가하는 경향을 보이며 그 변화율은 선형에 가깝게 증가한다. 그러나, 일반적으로 가교제의 첨가량이 증가될수록 강도의 감소현상을 초래하므로 가교제의 사용에 신중을 기할 필요가 있다.

3.3 골재의 함수비에 따른 강도특성

골재의 함수비에 따른 3시간압축강도는 표 6과 그림 1에 나타내었다.

표 6 골재의 함수비에 따른 압축강도

함수비 종류	0.0%	0.1%	0.5%	3.0%
폴리머 몰탈	681	605	224	29
폴리머 콘크리트	457	436	224	19

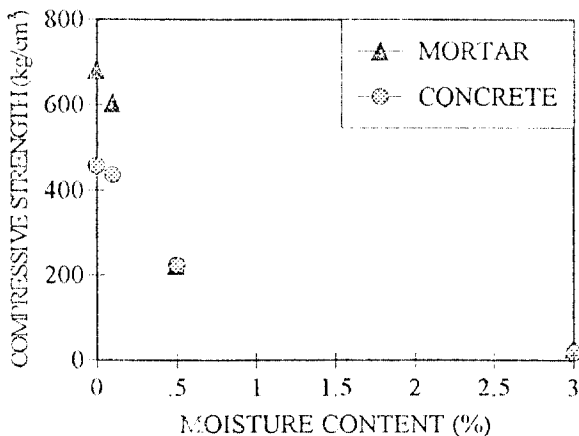


그림 1 골재의 함수비에 따른 압축강도

골재의 함수비에 따른 폴리머 몰탈과 폴리머 콘크리트의 압축강도를 보면 함수비 0.1%인 경우는 절대건조상태와 큰차이를 보이지 않으나, 이후 함수비가 증가할수록 압축강도가 현저하게 감소함을 나타낸다. 따라서, 골재의 함수비를 0.5% 이내로 제한하는 것이 필요하다.

3.4 저수축제 첨가량에 따른 열팽창특성

저수축제의 첨가량에 따른 폴리머 콘크리트와 폴리머 몰탈의 열팽창특성은 저수축제 첨가량에 따라 열팽창계수가 작아지는 경향을 보이나, 저수축제를 5% 첨가한 경우가 저수축제를 첨가 하지 않은 경우보다 현저하게 감소하고 그후에는 첨가량이 증가해도 열팽창계수의 감소량이 적어지므로 저수축제 첨가량을 5%로 하는 것이 최적이라 사료된다. 표 7에 저수축제 첨가량에 따른 열팽창계수의 값을 나타내었다.

표 7 저수축제 첨가량에 따른 열팽창계수

저수축제 첨가량	0.0%	5.0%	10.0%	15.0%
종류				
폴리머 몰탈	24.4	18.5	17.9	16.8
폴리머 콘크리트	28.0	21.1	17.0	14.5

3.5 S/A비에 따른 강도특성

폴리머 콘크리트의 강도발현에 주요영향계수는 일반콘크리트와 달리, 수지의 성능에 크게 좌우되고 있다. 외국의 경우, 폴리머 콘크리트 제조시 조골재:세골재의 비율을 60:40정도 적용하고 있는것이 보통이며, 본실험에서는 필러를 세골재에 포함시켰다. 세골재량과 필러의양이 증가되면 수지사용량이 크게 요구되는 것이 보통이다. 본 연구에서 S/A비에 따른 강도특성을 살펴본바 S/A=45에서 가장큰 강도가 획득되고 있으며 작업성 역시 양호한 것으로

나타났다. S/A비에 따른 강도영향은 대체로 크지않은점을 고려하여 사용수지량을 최소화 할 수 있도록 현장배합비를 수정 적용하는 것이 요구된다 하겠다. 강도시험은 3시간강도를 표준으로 하였으며 실험결과는 표 8과 같다.

표 8 S/A비에 따른 폴리머콘크리트의 강도

S/A 비	40%	45%	50%
압축강도	397	457	299

4. 결론

불포화 폴리에스터 수지를 사용하여 만든 폴리머 몰탈과 폴리머 콘크리트의 특성은 수지의 사용량, 경화개시제의 양, 경화촉진제의 양, 골재비 등에 따라 다른 경향을 보인다. 본 연구에서는 수지, 경화개시제의 양 및 골재비를 고정시키고 경화촉진제인 DMA와 후발성 경화촉진제인 아세탈아세톤의 양을 변화시키면서 폴리머 몰탈과 폴리머 콘크리트의 최적배합을 도출하기 위한 실험을 수행하였다. 도출된 최적배합에 대하여 개시제, 가교제 및 저수축제의 첨가량을 변화시켜 흐름실험 및 온도감응 실험을 수행하여 폴리머 몰탈과 폴리머 콘크리트의 배합특성 및 각종 강도특성을 규명하였으며, 골재비 및 골재의 함수비에 따른 폴리머 콘크리트의 강도특성도 규명하였다.

이와같은 연구를 수행하여 얻은 결론을 요약하면 다음과 같다.

1. 폴리머몰탈 및 폴리머콘크리트에서 경화촉진제인 DMA의 첨가량이 많을수록 가사시간은 감소하며, 후발성 경화촉진제인 아세탈아세톤(AcAc)의 첨가량이 증가할수록 가사시간은 증가한다.
2. 폴리머콘크리트에서 후발성 경화촉진제인 아세탈아세톤을 사용수지량의 0.15% 이상을 첨가하면 30분 이상의 가사시간을 얻을 수 있으나 초기에 큰 압축강도를 얻기 어렵다.

3. 폴리머몰탈에서 DMA첨가량이 0.05% 일 때 초기 압축강도가 가장 크게 나타났으며, 1시간 강도는 약 433kg/cm² 까지 얻을 수 있었다.

4. 폴리머콘크리트에서 DMA의 첨가량이 0.04%인 경우에 가장 큰 초기강도를 얻을 수 있었으며, 1시간 강도는 290kg/cm² 정도를 얻을 수 있었다.

5. 폴리머 몰탈 및 콘크리트에 가교제인 BA를 첨가하면 충분한 작업성(workability)을 확보할 수 있다.

6. 폴리머몰탈 및 콘크리트에서 골재의 함수비가 0.1%일때는 절대건조상태와 비슷한 강도를 발휘하나 골재의 함수비가 0.5%이상인 경우에는 강도가 1/2이하로 감소하므로 폴리머콘크리트의 시공시 골재의 선택에 특별한 주의를 요한다.

7. 폴리머콘크리트에서 조골재:세골재의 비가 55:45일 때 강도특성이 가장 우수하다.

참고문헌

1. Kobayashi, K., and Ito, T., "Several Physical properties of Resin Concrete," Proceedings of the First International Congress on Polymer Concretes, May, 5-7, 1975, pp236-240.
2. McClain, R. R., "Epoxy Modified Cement Admixture," Proceedings of the Second International Congress on Polymers in Concrete, Austin, October, 25-27, 1978, pp. 483-501.
3. Demura, K., Ohara, Y., and Shinizu, A., "Proposed Mix Proportioning of polyester Resin Concrete," Polymers in Concrete, ICPC'84, Darmstadt, pp. 265-269.
4. "Polymer in Concrete. Reported by ACI Committee 548, 1978.
5. Vipulana, C., Dharmarajian, N., and Ching, E., "Stress-Strain Behavior of Polymer Concrete System," Proceeding of ICPC'87, September, 1987, pp. 165-170.