

콘크리트-폴리머 복합체의 제조 및 그 이용

연 규 석

〈강원대학교 농공학과 부교수〉

허 남 석

〈강원대학교 농공학과 석사과정 수료〉

1. 머리말

지금까지 건설재료로서 널리 사용되고 있는 시멘트 콘크리트는 그 결합체인 시멘트 수화물에 기인하는 것으로서 낮은 경화, 작은 인장강도, 큰 건조수축, 낮은 내약품성 등의 결점을 갖고 있다. 고분자화학공업의 소산인 폴리머(polymer)를 사용해서 시멘트 콘크리트와 같은 결점을 개선할 목적으로 쓰이는 콘크리트용 폴리머 재료에는 폴리머 혼화제, 폴리머 결합제, 폴리머 함침제 등 3종류가 있다.

이러한 재료를 사용한 콘크리트는 각각 폴리머 시멘트 콘크리트(polymer cement concrete ; PCC), 폴리머 콘크리트(polymer concrete ; PC) 및 폴리머 함침 콘크리트(polymer impregnated concrete ; PIC)라는 이름으로 실용화 되고 있다. 이 3종류의 콘크리트를 총칭해서 콘크리트·폴리머 복합체(concrete-polymer composite)라고 부른다.

여기서는 콘크리트용 폴리머 재료와 그것을 사용한 콘크리트의 제조, 성질 및 용도에 대해서 평이하게 서술코저 한다.

2. 폴리머 시멘트 콘크리트

폴리머 시멘트 콘크리트의 제조는 종래의 시멘트 콘크리트와 똑같다. 워커빌리티와 압축강도에 주목해서 배합설계를 하는 시멘트 콘크리트와 비교해서 폴리머 시멘트 콘크리트는 이외의 성질 즉, 인장강도, 휨강도, 접착성, 수밀성,

기밀성, 내약품성, 내마모성 등도 고려해서 배합설계가 이루어진다. 여기서는 현재 광범위하게 사용되는 시멘트 혼화용 폴리머 디스퍼션(dispersion)을 혼화시켜 만든 폴리머 시멘트 콘크리트를 중심으로 기술코저 한다.

2. 1 재 료

2. 1. 1 시멘트

시멘트는 각종 포틀랜드 시멘트라든가 혼합시멘트, 알루미늄 시멘트, 초속경 시멘트 등이 이용된다.

2. 1. 2 폴리머 혼화제

폴리머 혼화제는 수성 폴리머 디스퍼션, 고무의 라텍스(latex) 등을 사용한다. 폴리머계에서는 알릴산에스테르, 고무계에서는 SBR계 등이 사용되지만 보통 고형분은 30~50%이다.

2. 1. 3 골재

골재는 시멘트 콘크리트의 경우와 같이 조골재와 세골재, 즉 하천자갈, 하천모래, 쇄석, 쇄사, 규사, 경우에 따라서는 인공경량골재 등이 사용된다. 이때 함수율이 큰 골재를 사용하면 소요의 폴리머-시멘트비를 달성 할 수 없으므로 주의를 요한다.

2. 1. 4 기타재료

착색하는 경우에는 내알칼리성 및 내후성이 우려되므로 폴리머 디스퍼션의 안정성과 시멘트의 수화를 저해하지 않는 안료를 사용한다. 혼화용 보강재로서는 내알칼리성 유리섬유, 강섬유, 폴리아미드 섬유, 폴리프로피렌 섬유, 폴리에틸렌 섬유, 탄소섬유 등이 이용된다. 폴리머 시멘트 콘크리트용 철근은 일반 철근콘크리트

트용의 것을 사용 한다.

2. 2 배 합

폴리머 시멘트 콘크리트는 물-시멘트비, 골재-시멘트비 및 폴리머-시멘트비(P/C)에 의해서 성질이 변화하기 때문에 사용목적에 따라 배합설계를 할 필요가 있다. 폴리머-시멘트비는 시멘트에 대한 폴리머 디스퍼손 중의 전고형분의 중량비로 표시된다.

일반적인 폴리머-시멘트비는 5~30% 범위이다. 폴리머-시멘트비가 증가하면 인장 및 휨강도, 접착성, 방수성, 기밀성, 내약품성, 내충격성 등이 향상되지만 그대신 표면경도는 작아

〈表-1〉 보수재용 폴리머 시멘트 콘크리트의 배합(ACI)

사 용 재 료	중량(kg)
포틀랜드 시멘트	94
골재(세,조골재의 혼합물)	300
폴리머 { 전고형분기준 라텍스 기준(전고형분50%)	14~19 29~38
물(라텍스와 골재의 수분을 포함)	4~25

진다. 〈表-1〉은 ACI 지침에서 장려하고 있는 배합비이고, 〈表-2〉는 일본 콘크리트 편람에 제시된 배합예이다.

2. 3 비비기

비비기는 시멘트 콘크리트에서와 같은 각종 믹서를 사용한다. 시멘트와 세골재 및 조골재를 믹서내에서 충분히 섞은 다음, 소요량의 폴리머 디스퍼손을 물에 넣어 잘 혼합시킨 것을 가하여 3~5분간 잘 믹싱한다. 시공은 45분~1시간내에 끝내도록 하는 것이 좋다.

2. 4 양 생

경화한 폴리머 시멘트 콘크리트의 성질은 수중양생이나 공기양생이나에 따라 큰 영향을 받는다. 폴리머 시멘트 콘크리트에서는 〈表-3〉 및 그림-1에 나타난 바와같이 기건양생을 하는 것이 고강도를 얻을 수 있다. 폴리머 시멘트 콘크리트의 가장 높은 강도는 초기에 수중양생 또는 습윤양생 한 후 기건양생을 하여 얻

표-2 폴리머 시멘트 콘크리트의 배합예

폴리머 시멘트비 (%)	물시멘트비 (%)	세골재율 (%)	단위폴리머 디스퍼손 (kg/m^3)	첨가수량 (kg/m^3)	단위시멘트량 (kg/m^3)	단위세골재량 (kg/m^3)	단위조골재량 (kg/m^3)	측 정 치	
								슬럼프 (cm)	공기량 (%)
0	50	45	0	160	320	812	510	5	5
5	50	45	36	140	320	768	485	17	7
10	50	45	71	121	320	749	472	21	7

주) 1) 조골재는 인공경량골재를 사용 2) 폴리아크릴산 에틸에스테르 사용

표-3 각종 폴리머 시멘트 모르터에 미치는 양생조건의 효과

폴리머 디스퍼손의 종류	시멘트 모르터	천연고무 라텍스 (NR)	폴리초산 비닐 라텍스 (PVAC)	스틸렌 부타디엔 라텍스 (SBR)	단위 : kg/cm^2
					폴리아크릴산 에스테르 라텍스 (PAE)
양생법					
28일간 건조양생	316	141	281	386	351
28일간 건조양생 후 7일간 수중양생	309	84	77	281	239

주) 시멘트 모르터는 28일간 온도 23°C, 상대습도 100%에서 양생

어낼 수 있다. 이것은 초기의 수중양생에 의해 시멘트의 수화반응을 촉진하며, 그 후 건조에 의해서 폴리머의 특성을 발휘시키기 때문이다. 그러나 이러한 양생법은 폴리머 디스퍼손의 종류에 의해 크게 다르므로 주의를 요한다. 특히 내수성이 나쁜 초산비닐에말준은 수중양생에 의한 강도저하가 크다.

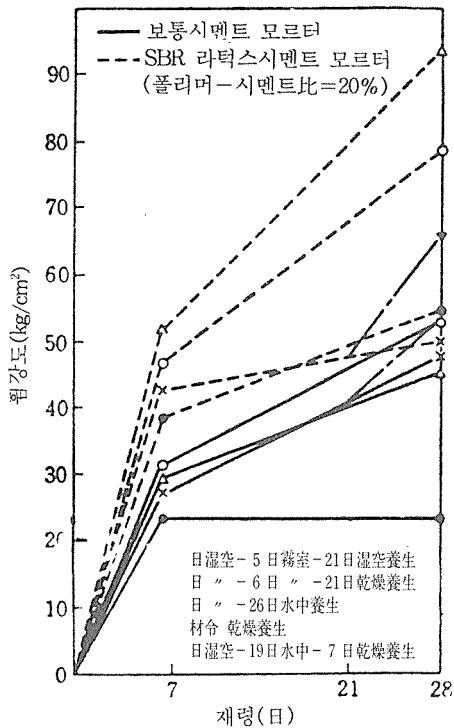


그림-1 양생조건이 폴리머 시멘트 모르터에 미치는 영향

2. 5 성 질

2. 5. 1 강 도

폴리머 시멘트 콘크리트에서는 사용하는 폴리머 디스퍼손의 종류에 의해서 제강도에 최적치를 주는 폴리머 혼입율은 각각 다르다. 그러나 일반적으로는 폴리머 시멘트비가 15~20% 범위일때 최대치를 나타낸다. 이 이하의 폴리머 시멘트 비율지라도 폴리머 디스퍼손에 첨가되는 안정제의 양에 따라 강도는 증대하는

것으로 보고되어 있다. 표-5에서 볼 수 있듯이 폴리머 디스퍼손의 혼입에 의해서 압축강도의 증가는 뚜렷하지 않는데 비해 휨, 인장, 전단강도는 PVAC를 제외하고는 대체적으로 크게 증가한다.

표-5 폴리머 시멘트 콘크리트의 강도

폴리머의 종류	폴리머-시멘트비 (%)	물-시멘트비 (%)	상 대 강 도			
			압축 σ_c	휨 σ_b	직접인장 σ_t	전단 σ_s
미혼입	0	60.0	100	100	100	100
SBR	5	53.3	123	118	126	131
	10	48.3	134	129	154	141
	15	44.4	150	153	212	146
	20	40.3	146	178	236	149
PAE-1	5	43.0	159	127	150	111
	10	33.6	179	146	158	116
	15	31.3	157	143	192	126
	20	30.0	140	192	184	139
PAE-2	5	59.0	111	106	128	103
	10	52.4	112	116	139	116
	15	43.0	137	167	219	118
	20	37.4	138	214	238	169
PVAC	5	51.8	98	95	112	102
	10	44.9	82	105	120	106
	15	42.0	55	80	90	88
	20	36.8	37	62	91	60

2. 5. 2 탄성계수

일반적으로 폴리머-시멘트비가 증가하면 폴리머 시멘트 콘크리트의 변형량이 증대해서 탄성계수를 감소시키지만 포아슨비는 크게 변화하지 않는다. 그림-2에 나타난 압축응력과 변형을 관계도로 부터 탄성계수의 감소양상을 쉽게 알 수 있다.

2. 5. 3 건조수축

폴리머 시멘트 콘크리트에서는 폴리머 디스퍼손 중에 함유된 계면활성제의 효과에 의해서 동일한 워커빌리티를 얻는데 필요한 단위수량은 시멘트 콘크리트에 비해 크게

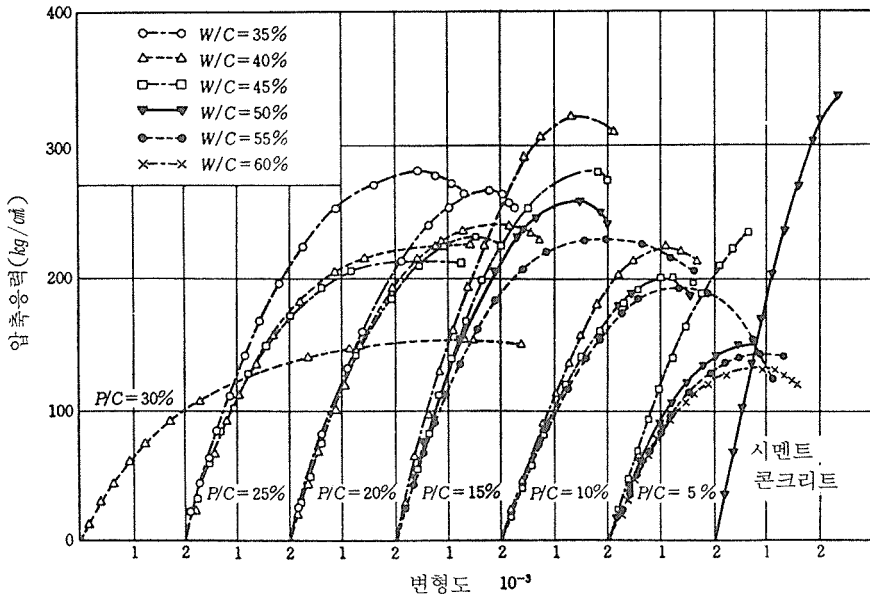


그림-2 폴리머 시멘트 콘크리트의 압축응력-변형율 관계도

감소한다. 이러한 건조수축은 그림-3에 나타난 바와같이 시멘트 콘크리트 보다 훨씬 작은 경우가 많다. 그러나 폴리머의 종류나 양생조건에 의해서 건조수축도 변화한다는 보고도 있다.

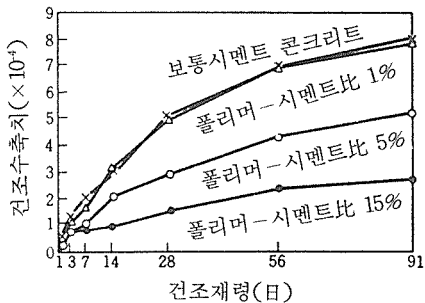


그림-3 폴리머 시멘트 콘크리트의 건조수축

2. 5. 4 크리이프

폴리머 시멘트 콘크리트의 특성에 관한 연구는 작지만 그림-4에서와 같이 SBR 라텍스 및 PAE 에멀존을 사용한 모르타의 크리이프 계

수는 시멘트 모르타에 비해 상당히 작다고 보고되어 있다. 그러나 이것 역시 폴리머 디스퍼손의 종류에 따라 큰 차이를 보인다고 한다.

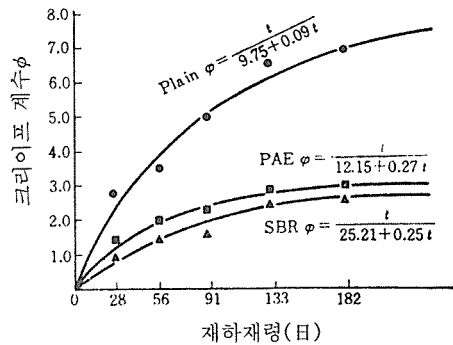


그림-4 재하시 강도의 1/3을 재하응력으로 한 경우의 폴리머 시멘트 모르타의 크리이프 계수

2. 5. 5 내약품성

폴리머 시멘트 콘크리트의 내약품성은 폴리머의 종류와 성질, 폴리머 시멘트비 및 화학약품의 성질에 따라 다르지만, 일반적으로 무기

및 유기산과 초산염, 또는 유기용제에 대해서는 불량하며, 알칼리, 초산염을 제외한 염류, 유기산을 함유치 않는 동식물성 유지, 광유 등에 대해서는 양호하다. 표-6은 폴리머 시멘트 모르타의 개념적인 내약품성을 평가한 것이다.

표-6 폴리머 시멘트 모르타의 내약품성 평가

폴리머의 종류 \ 약품	산	알칼리	염	용제	유지 광유
미혼입	1	8~10	1~7	5~7	7~10
SBR	1~2	10	5~10	2~3	8~10
NBR	1~2	10	5~10	10	10
PAE	1~2	10	5~10	2~3	7~9
EVA	1~2	8~10	5~10	5~7	8~10
PVAC	1~2	3~4	3~7	5~7	8~10

주) 10점법에 의한 개략적인 평가임.

2.6 용 도

폴리머 시멘트 모르타나 콘크리트는 아직 널리 실용화되지 않은 신재료로서 그동안 여기에 이용되는 폴리머도 점차 개량되고 있지만 실제로 구조부재에 이용된 예는 많지 않다. 최근 RC 구조물의 열화가 커다란 사회문제로 되기 때문에 각종 보수·개수공법용 재료로서 폴리머 모르타 및 페이스트(paste)의 이용이 대두되고 있는데, 그 가격과 성능이 균형을 이룰 수 있어 그 수요가 증대되고 있다. 지금까지는 타일 등의 접착용 모르타, 방수제, 포장제, 방식제, 라이닝재로 많이 사용되어 왔다.

이에 비해 폴리머 시멘트 콘크리트는 아직 그렇게 널리 이용되고 있지는 않지만 방수 지붕슬래브, 방식구조부재, 도로포장 등 구조재로서 이용할 수 있는 재료만큼 이에 대한 관심이 높아가고 있다.

3. 폴리머 콘크리트

결합재로서 시멘트와 같은 무기질 시멘트를 전혀 사용하지 않고, 폴리머 결합재만으로 골재를 결합시켜 콘크리트를 만드는 것으로서, 약

30년전부터 실용화되어 왔다. 이 분야에 대한 연구·개발은 일본, 소련, 서독 등 3개국이 선진국으로 되어 있다.

3.1 재 료

3.1.1 폴리머 결합재

결합재의 주요 성분인 폴리머류는 다음과 같은 것이 사용된다.

- 열경화성 수지: 불포화 폴리에스터, 에폭시, 후란, 폴리우레탄, 페놀
- 열가소성 수지: 폴리염화비닐, 폴리에스테르
- 아스팔트 및 레진변성 아스팔트: 에폭시 아스팔트, 고무아스팔트
- 타아르 변성 아스팔트: 타아르 에폭시, 타아르 우레탄
- 비닐계 모노머: 메타크릴산메틸

이 가운데서 현재 일본, 독일 등에서 주로 사용되는 것은 불포화 폴리에스터 수지로서 가격과 성능면에서 볼 때 가장 유리한 것으로 되어 있다.

3.1.2 충전재

충전재는 주로 증광효과를 목적으로 사용되며, 폴리머와 함께 사용되는 충전재에는 다음과 같은 종류가 있으며, 그 입경은 1~30 μ 정도이다. 경우에 따라서는 충전재를 골재의 일부를 보는 경우도 있다.

- 중질탄산칼슘
- 미분실리카, 규석분, 후라이 애쉬, 포졸란

3.1.3 골 재

폴리머 콘크리트용 골재에는 시멘트 콘크리트와 같이 하천자갈, 하천모래, 규사, 안산암이나 석회암 등의 쇄석, 경우에 따라서는 인공경량골재 등이 쓰인다. 그 입경은 조골재에서는 20 혹은 10mm이하, 세골재에서는 2.5 혹은 5mm이하이다.

3.1.4 기타재료

액상인 폴리머는 그 자체만으로는 경화하지 않기 때문에, 믹싱 할 때, 적당한 경화제, 경화촉진제 등을 첨가시켜 사용한다. 이들의 종류

표-7 각종 폴리머 콘크리트의 실용배합예

사용재료명		폴리머 콘크리트의 종류와 중량배합비				
		폴리에스터 (OKada 등)	폴리에스터 (Ohama)	에 폭 시 (Ohama)	폴리우레탄 (Ohama)	후 란 (L. M. Elshim)
결 합 재	액 상 폴리머	불 포 화 폴리에스터 10	불 포 화 폴리에스터 11.25	에 폭 시 (경화제포함) 10	폴리우레탄(경화 제, 충전제 포함) 20	모노머-FA510 BSA 1.6 아세톤 0.2
	충전제	탄산칼슘 12	탄산칼슘 11.25	탄산칼슘 10	-	석 분 32.9
골재 (입경mm)	가는 모래	(0.1~0.8) 20	(<1.2) 38.8	(<1.2) 20	(<1.2) 20	-
	굵은 모래	(0.8~4.8) 25	(1.2~5) 9.6	(1.2~5) 15	(1.2~5) 15	-
	자갈	(4.8~20) 33	(5~20) 29.1	(5~20) 45	(5~20) 45	(5~40) 60.3

와 첨가율을 적당히 선택함으로써 폴리머 콘크리트의 경화시간을 제어한다.

폴리머 콘크리트용 보강재로서는 강봉, PC강봉, 유리섬유 등이 사용된다.

3.2 배 합

단위체적당 비용절감, 또는 내구성, 안정성, 기타의 성능향상을 위한 결합재 혹은 액상 폴리머와 골재와의 효과적인 배합은 폴리머 콘크리트의 제조에 있어 대단히 중요하다.

폴리머 콘크리트의 실제 배합지침은 다음과 같다.

① 연속입도설 또는 불연속입도설에 근거해서 입도분포가 다른 각종 골재군을 혼합시켜 그 공극율 등을 측정하고, 가장 치밀하게 되는 골재조성을 찾을 것.

② 다음에 가장 치밀한 상태의 골재와 결합재를 비벼서 폴리머 콘크리트를 제조하며, 아직 굳지 않은 때 및 경화한 때의 제성질(위커 밀리티, 재료분리 유무, 강도 등)로부터 결합재료를 정해서 최적배합을 결정 할 것.

이와같은 지침에 근거해서 결정된 폴리머 콘크리트의 실용배합예는 표-7과 같다.

3.3 비비기

고점도와 빠른 경화반응에 의해 불균일한 혼

합을 피하기 위해 반드시 기계에 의해 폴리머 콘크리트를 비벼야 한다. 대량으로 비빔을 하기 전에는 시험비빔을 할 필요가 있다. 폴리머 콘크리트의 기계비빔에 사용하는 믹서는 강제 비빔 믹서와 같은 비연속식이 널리 보급되어 있다.

비비는 순서는 골재와 충전제를 믹서 속에서 충분히 섞은 다음, 폴리머에 경화제, 경화촉진제 등을 넣어 잘 혼합시킨 결합재를 투입한 후 3~5분간 믹싱을 하면 된다.

3.4 성 형

폴리머 콘크리트는 시멘트 콘크리트 처럼 비벼놓은 것을 사용할 수 없기 때문에 비빔후에 전량을 가능한한 단시간내(가사시간 이내)에 사용해야 된다. 또한 이것은 각종 재료에 대해 접착성이 좋기 때문에 거푸집을 사용할 때는 폴리머의 종류에 적합한 박리제(실리콘 등)를 선택해서 발라야 한다.

공장에서 프리캐스트 제품을 제조하는데는 주입성형, 진동성형, 원심성형, 압축성형, 압출성형 등의 각종 성형법이 적용된다. 어떠한 성형법을 채택하느냐 하는 것은 제품의 형상, 치수, 생산량 등에 의해서 결정된다.

3.5 양 생

폴리머 콘크리트는 시멘트 콘크리트와 달리 쓰이는 액상 폴리머나 경화제의 종류, 혹은 이것들의 첨가량을 선택함에 따라 그 경화조건을 임의로 변화시키는 것이 가장 큰 특징이다. 일반적으로 폴리머 콘크리트의 양생법에는 적용되는 온도조건에 따라 상온경화법과 가열경화법의 2가지가 있다.

3. 6 성 질

3. 6. 1 강 도

폴리머 콘크리트는 조기에 고강도를 발현하기 때문에 부재의 단면을 작게할 수 있고, 이 점에서 경량화가 가능하다. 표-8에서는 대표적인 폴리머 콘크리트의 강도를 포함한 물리적 성질을 나타내고 있다. 일반적으로 폴리머 결합재는 골재에 대한 접착성이 우수하고, 그 자체의 강도도 높기 때문에 폴리머 콘크리트의 강도는 골재의 강도에 의존하기 쉽다. 한편 폴리머 콘크리트는 내열성이 약한 폴리머 결합재를 함유하기 때문에 그 강도는 온도의존성이 높게 마련인데, 강도를 이용하는 경우의 최고 사용온도는 50°C 전후로 알려져 있다.

3. 6. 2 탄성계수 및 크리이프

표-8에 보인 바와 같이 폴리머 콘크리트의 탄성계수는 시멘트 콘크리트와 비슷하지만 약간 작게 나타난다. 폴리머 콘크리트의 크리이프는 폴리머 결합재의 종류 및 양에 따라 다르며, 온도의존성이 크기는 하지만 상온에서는

시멘트 콘크리트의 그것과 큰 차이가 없다. 그림-5에는 폴리에스터 및 에폭시 수지 콘크리트의 크리이프 거동을 나타낸 것이다.

3. 6. 3 내동결융해성 및 내수성

폴리머 콘크리트는 완전한 수밀성, 기밀성의 조직구조를 갖기 때문에 흡수 및 투수에 대한 저항성과 수증기, 공기, 기타 기체의 투과에 저항성이 우수하며, 또한 내부에 물이 침투할 수 없기 때문에 표-9에 나타낸 바와같이 내동결융해성도 대단히 양호하다.

표-9 폴리머 콘크리트의 내동결융해성

폴리머의 종류	동결융해 사이클수	중량변화 (%)	동탄성계수 ($\times 10^4 \text{ kgf/cm}^2$)	휨강도 (kgf/cm^2)
에 포 시	0	-	28.3	173
	100	0.04	28.1	170
	300	0.07	25.6	170
폴리에스터	0	-	33.6	227
	100	0.06	33.6	224
	200	0.14	33.6	-
	300	0.15	33.1	-
	400	0.18	32.7	217
폴리우레탄	0	-	18.3	193
	100	0.09	17.4	184
	300	0.18	16.9	179

3. 6. 4 접착성

폴리머 콘크리트의 접착성은 폴리머 결합재의 높은 접착성에 기인해서 우수하므로 시멘트 콘크리트, 석재, 타일, 금속, 목재, 벽돌 등의 각

표-8 각종 폴리머 콘크리트의 물리적 제성질

항 목	결합재의 종류					참 고		
	후 란	폴 리 에스터	에폭시	폴 리 우레탄	페 놀	아스콘	시 멘트 콘크리트	
밀 도 (kg/m^3)	2000~2100	2200~2400	2100~2300	2000~2100	2000~2100	2100~2400	2300~2400	
강 도(kg/cm^2)	압축 인장 휨	500~1400	800~1600	800~1200	650~720	240~250	100~600	
		60~100	90~140	100~110	80~90	20~30	2~10	10~50
		160~320	140~350	170~310	200~230	70~80	20~150	20~70
탄성계수($\times 10^4 \text{ kg/cm}^2$)	20~30	15~35	15~35	10~20	10~20	1~5	20~40	
흡수율 (wt%)	0.1~1.0	0.2~1.0	0.2~1.0	1.0~0.3	0.1~1.0	1.0~3.0	4.0~6.0	

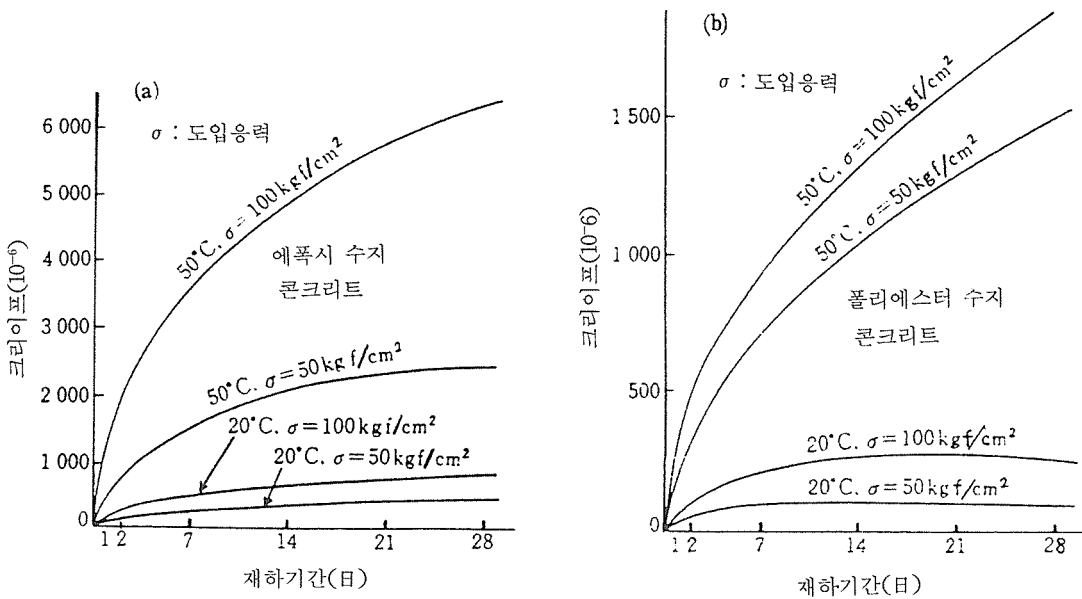


그림-5 폴리에스터 및 에폭시 수지 콘크리트의 크리이프

종 건설재료에 잘 접착한다. 일반적으로 이 접착성을 폴리머 결합재의 종류, 피착체의 성질, 사용조건, 시험방법 등에 의해서 영향을 받는다.

3. 6. 5 내약품성

시멘트 수화물 같은 내약품성 불량인 성분을 함유치 않고, 수밀성의 조직구조가 형성되기 때문에 폴리머 콘크리트는 대체적으로 우수한 내약품성을 갖는다. 표-10에는 폴리머 콘크리트의 내약품성에 관한 개념적 평가를 나타내고 있다.

표-10 폴리머 콘크리트의 내약품성

콘크리트용 결합재	10점법에 의한 평가				
	산	알칼리	염	용제	유지·광유
폴리에스터	8~9	3~4	9~10	4~5	7~9
에폭시	9~10	9~10	10	6~7	9
후란	9~10	9~10	10	7~8	8
아크릴	8~9	8~9	9~10	5~6	7~9
시멘트	1	8~10	1~7	5~7	7~10

3. 7 용 도

폴리머 콘크리트는 세라믹스, 철강, 비철금속,

기타재료의 대체품으로서 고강도, 고도의 수밀성, 내마모성, 전기절연성 등의 이점을 가장 잘 이용할 수 있는 분야에 사용된다.

현재 일본에서의 실용화 상황을 보면 통신용, 가스용, 전력용 등의 블록맨홀, 강화플라스틱 파이프, 실드공법용 세그먼트, 강화플라스틱 패널, 측구, 인조대리석, 수도밸브 박스, 고강도 파일, 보도판 등의 프리캐스트 제품과 현장타설의 공사예로서 댐방수로의 복공, 온천지에 있어서 건물의 기초 등이다. 소련에서는 저수댐 배수로의 복공, 강의 복공용 프리캐스트 부재, 농업용 사일로, 방사선 차폐용 콘크리트 등에 사용되고 있다.

앞으로 건설분야에서의 용도개발이 기대되며, 프리캐스트 제품에 대해서는 양산화 기술의 개발에 의해 비용을 절감하고, 아울러 그 성능과 경제성의 균형을 이루도록 하는 것이 중요하다.

4. 폴리머 함침 콘크리트

시멘트계의 재료를 건조시켜 미세한 공극에

액상 모노머를 함침·중합시켜 일체화한 콘크리트를 폴리머 함침 콘크리트라고 한다. 이것의 특징은 고강도로서 내구성이 좋고, 내수성이 있어 화학약품이 침투하는 것을 막을 수 있다.

1960년대 후반 부터 미국, 유럽 여러나라, 일본 등에서 시작되어 많은 연구가 발표되었지만 최근에는 이러한 연구개발에 적극성을 보이지 않고 있는 실정이다.

4. 1 재 료

4. 1. 1 폴리머 함침제

폴리머 함침제에는 메타크릴산 메칠 또는 스티렌 등의 저점도 화합물(보통 함침용 모노머라고 함)의 중합체가 이용된다.

4. 1. 2 피함침재

피함침재로 되는 프리캐스트 제품으로서 시멘트 콘크리트 성형품, 파이프, 파일, 칼버트 등의 콘크리트 2차제품, 석면 스투트, 웨로시멘트 제품, 석고 제품 등이 이용된다. 현장 폴리머 함침공법에서는 신·구에 관계없이 기존의 경화한 시멘트 콘크리트 현장자체가 피함침재이다.

4. 2 제 조

4. 2. 1 프리캐스트 제품 제조

일반적으로 프리캐스트 제품은 그림-6에서 보는 바와같은 제조공정으로 제조 된다. 이 경우 방사선 중합방식 보다도 열중합방식이 잘 이용된다. 보통 폴리머 함침을 (폴리머 함침 콘크리트 중에 들어있는 폴리머의 양)은 5~15wt %이다.

4. 2. 2 현장 폴리머 함침공법

신·구에 관계없이 기존의 시멘트 콘크리트 표면을 충분히 건조시킨 후, 적당한 방법으로 그 위에 함침용 모노머를 저류하고, 자연함침을 시키고 열중합을 한다. 현장 폴리머 함침공법의 표준적인 시공순서는 그림-7과 같다.

기존 시멘트 콘크리트의 건조정도가 시공 후 폴리머 함침 콘크리트 및 성질에 큰 영향을 주기 때문에 건조를 충분히 할 필요가 있다. 함침용 모노머의 저류는 건조후 상온까지 냉각시킨 후에 하도록 한다. 건조법 및 열중합법은 현장의 상황에 맞추어서 에너지를 적게 들이는 방법을 택해야 한다. 시공후에는 코야채취 등에 의해 폴리머 함침깊이를 확인한다. 보통의 폴리머 함침 깊이는 20~30mm 정도이다.

일본의 Ohama교수 등은 종래의 공법을 간단케 하고 에너지의 효율적 이용을 위해 건조 직후 시멘트 콘크리트 표면에 0°C이하로 냉각시킨 함침용 모노머를 저류시키고, 건조시의 남은 열로 중합시켜 약 1시간의 작업으로서 20~25mm의 폴리머 함침깊이를 갖는 신속 현장 폴리머 함침공법을 성공시킨 바 있다.

그림-6 폴리머 함침 콘크리트 공장제품의 제조공정

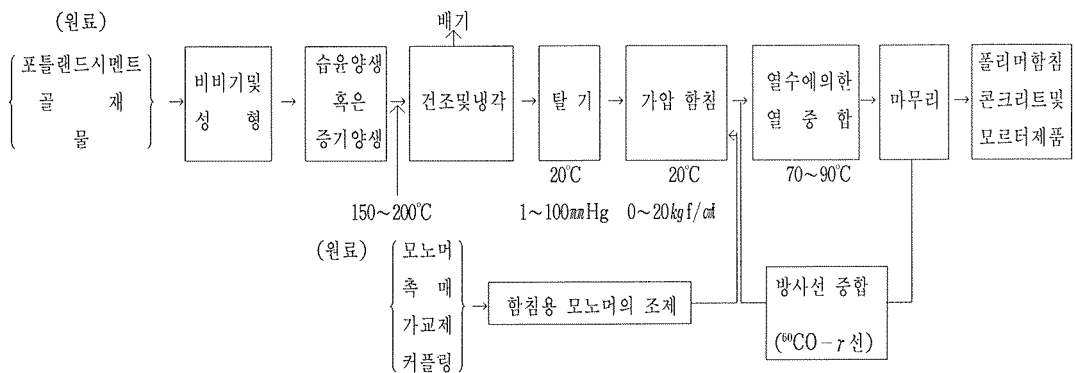
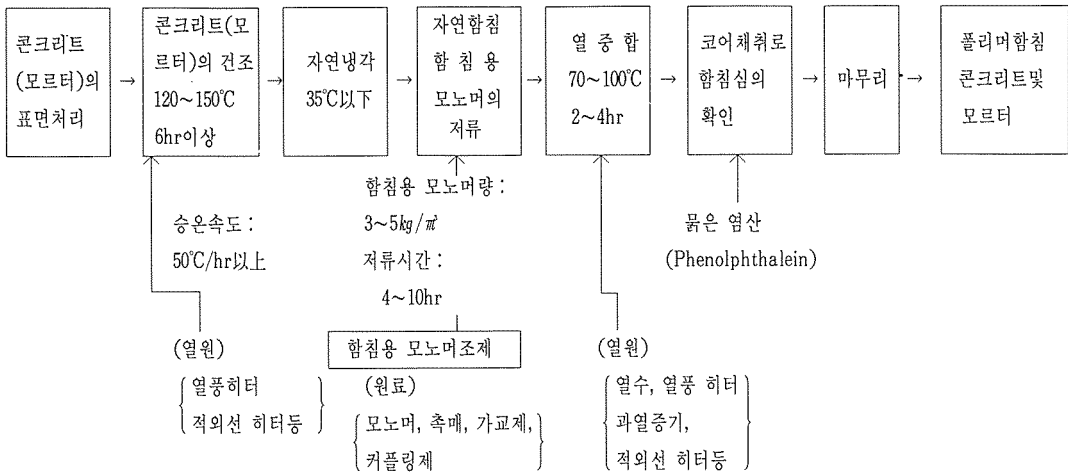


그림-7 현장 폴리머 함침공법의 순서



4. 3 성 질

4. 3. 1 강 도

폴리머 함침에 의해서 피함침재의 강도는 크게 증가한다. 증가율은 피함침재의 종류, 모노머의 종류, 함침처리 조건 등에 의해 변화한다. 표-11은 압축강도, 휨강도, 할열인장강도의 개략적인 값인데 이는 미함침 콘크리트에 비해 월등히 높은 값을 보여주는 것이다. 이는 미함침 콘크리트 속에 있는 공극이 폴리머로 채워져 치밀하고 균일성이 높은 재료로 되기 때문이라 할 수 있다.

4. 3. 2 변형성

폴리머 함침 콘크리트의 응력-변형도 곡선

은 그림-8과 같다. 탄성계수는 30~80% 증가하며, 최대 압축변형도도 2배정도까지 증가한다. 이러한 경향은 표-11에 제시된 탄성계수를 보아도 쉽게 알 수 있다. 응력-변형도 곡선의 형상은 시멘트 콘크리트에 비해 직선적으로 되며, 파괴시 거동은 보다 취성적이다. 함침에 의한 포아손비의 변화는 작다.

크리이프는 시멘트 콘크리트에 비해서 약간 작는데, 보에서 구해진 8개월간의 크리이프 계수는 0.2~0.5로 나타났다. 또한 폴리머 함침재의 건조수축은 매우 작는데 한 예로 수중침적 100일후 흡수율은 0.72%, 흡수팽창율은 0.009%로서 보통의 시멘트 제품보다 작았다. 그러나 건조공정에서 생기는 건조수축과 중합시의 수축(10% 함침에서 10×10^{-4} 정도)은 피할수

표-11 폴리머 함침 콘크리트의 성질

항 목	미 함 침 콘크리트	폴리스틸렌 함침 콘크리트		PMMA 함침 콘크리트	
		방 사 선	가 열	방 사 선	가 열
압축강도(kg/cm ²)	370	1,034	702	1,424	1,277
휨 강 도(")	52.0	167.9	81.5	185.4	160.8
인장강도(")	29.2	84.7	59.1	114.3	106.0
탄성계수($\times 10^4$ kg/cm ²)	25	54	52	44	43
흡 수 율(%)	6.4	0.51	0.70	1.08	0.34

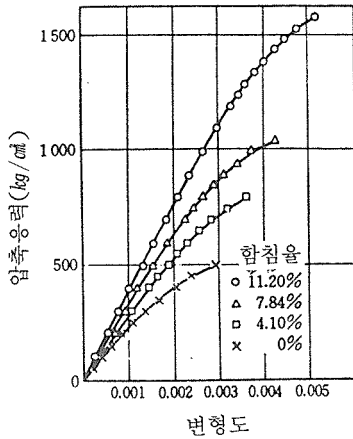


그림-8 폴리머 함침 콘크리트의 응력-변형도 곡선
없다.

4. 3. 3 내구성

폴리머 함침 콘크리트는 내구성이 우수하다. 표-12는 동결융해시험 결과인데 가교제를 10% 가하여 가열중합시킨 것은 9,450 사이클에서도 중량변화가 0이다. 또한 유기용제를 제외하고는 내약품성이 강한데, 시멘트 제품이 견디지 못하는 무기의 강한 산에 대해서도 다소 변색이 있을 뿐 강도저하는 작았다. 500rpm인 마모시험기에 의한 마모량 실험에서 폴리머 함침에 의한 마모량은 1/3.5정도 감소했다.

4. 4 용 도

폴리머 함침 콘크리트를 사용한 프리캐스트 제품의 실용화에는 일본의 경우 전력 케이블용

다공관, 해중 레스트랑의 창틀, 외벽용 테라조 패널, 보도판, 파이프, 방사선 폐기물 수납용기, 영구형틀 등이며, 이외에 다른 외국에서는 교량의 보나 고속도로의 상판, 파이프, 칼버트 등이다.

현장 폴리머 함침공법의 적용에서는 기존 콘크리트 구조물 표면의 경도나 강도, 수밀성, 내약품성, 염화물 이온의 침투나 중성화에 대한 저항성, 내마모성 등의 향상을 목적으로 고속도로의 포장이나 댐의 보수공사, 지붕슬래브의 방수, 공장바닥의 부식방지 등에 대한 용도개발이 유망하다.

2. 맺음말

콘크리트·폴리머 복합체가 근년에 이르러 우리나라에서도 신건설재료로서 서서히 관심을 끌어가고 있다. 이미 미국, 일본 및 유럽의 여러나라에서는 상당한 기술이 개발되어 실용화의 수준도 상당히 높은 편이다. 그러나 이것은 새로운 재료로서 연구·구명되어야 할 부분이 상당히 많은 것으로 되어있다.

우선 폴리머 시멘트 콘크리트의 경우는 지금까지 주로 비구조재로서 접착용, 방수용 및 보수용으로 이용되어 왔으나 앞으로는 강도를 크게 증가시킬 수 있는 폴리머 혼화제가 개발되어 구조재로서도 그 용도를 넓혀 나갈 수 있도록 해야 할 것이다.

그리고 폴리머 콘크리트는 최근 각광을 받는 것 중의 하나로서 지금까지는 주된 용도가 시멘트 콘크리트의 보수 및 보강이었으나 근년에

표-12 폴리머 함침 콘크리트의 동결융해 시험결과

모노머의 종류	미 함 침			MMA		스티レン		MMA 90 TMPTMA 10	
	미처리	방사선	가 열	방사선	가 열	방사선	가 열	방사선	가 열
함침율(%)	-	-	-	5.9	6.8	4.9	4.4	6.2	7.2
동결융해사이클	740	400	440	10340	3650	2635	6015	7870	9450
중량감소(%)	25	28	35	12	2	25	25	25	0

는 공장제품으로서의 개발이 활발히 이루어지고 있다. 이것의 용도를 넓히기 위해서는 각종 섬유 등을 이용한 보강법의 개발이 필요하며, 아울러 폴리머가 비교적 고가이므로 공장제품의 생산단가를 줄이기 위해서는 양산화 기술을 개발하는 것이 중요하다고 본다.

또한 폴리머 함침 콘크리트는 지금까지 많은 연구가 거듭되어 왔으나 최근에 주춤하고 있는 것은 제조공정이 복잡하고, 함침 깊이를 정확히 측정 할 수 없어 품질관리가 어려운데 비해 그 성능은 폴리머 콘크리트에 비해 큰 차이가 없기 때문이다. 따라서 함침이나 중합 등 폴리머 함침 콘크리트의 제조를 손쉽게 할 수 있는 기술의 개발이 절실히 필요하며, 현장 이용은 물론이고 공장제품에의 이용에 대해서도 적극적인 연구가 이루어져야 하겠다.

이상에서 기술한 내용은 주로 외국에서의 기술개발 내용을 기준으로 했을 때의 것이며 우리나라에서는 아직도 그 연구개발이 제대로 되지 않는 초보적인 단계에 머무르고 있는 실정 이므로 앞으로 콘크리트·폴리머 복합체에 대한 많은 연구가 체계적으로 이루어져야만 할 것이다.

〈참 고 문 헌〉

1. ACI Committee 548, Guide for the use of Polymers in concrete, Journal of ACI, Vol. 83, No. 5, 1986, pp 798-829.
2. D.W. Fowler, Current Status of Polymers in Concrete, Proceedings of the ICPC '87, pp 3~7.
3. W.O.Nutt, State of the Art in Europe, Proceedings of the ICPC '87, pp 9~11.
4. ACI, Polymers in Concrete, SP-40, 1973.
5. ACI, Polymers in Concrete, SP-58, 1978.
6. ACI, Applications of Polymers in Concrete, SP-69, 1981.
7. ACI, Polymer Concrete—Uses, Materials, and Properties, SP-89, 1985.
8. ACI, Polymers in Concrete—Advances and Applications, SP-116, 1989.
9. 小林茂敏, 콘크리트分野における新しい材料, 土木技術, 43卷2號, pp 44-50.
10. 魚本健人, 新材料と土木構造物, 土木學會誌, pp 31~33.
11. 日本콘크리트工學協會編, 콘크리트便覽, 支報堂, pp 984~1006 *

— 광고 안내 —

협회는 레미콘지를 제간으로 발간하여 그동안 레미콘업계뿐만 아니라 학계, 정부기관 각종 기업체의 성원으로 광범위한 독자층을 형성하고 있습니다.

당 협회는 레미콘지에 다음과 같이 표지면을 광고란으로 할애하여 관련업체의 광고, 홍보를 게재하고 있으니 귀사의 적극 이용을 바랍니다.

— 다 음 —

개 제 면	색 도	광 고 료	크 기
표지 2면	칼 라	50만원(부가세 별도)	전 면
표지 3면	칼 라	40만원(부가세 별도)	전 면
표지 4면	칼 라	60만원(부가세 별도)	전 면

(1) 광고안은 인쇄가능한 원색 분해필름

(2) 마감일 : 년 4회 발간(3, 6, 9, 12월호중 원하는 기간 선택) 수시접수

(3) 문의처 : 서울시 강남구 역삼동 832-2(우덕빌딩 8층)

한국레미콘공업협회 기획과 566-7162, 7164