

시멘트 混和用 폴리머

李 承 赫 (譯)

〈韓國洋灰工業協會 技術課代理〉

1. 서 론

콘크리트의 결합재를 폴리머로 품질개선하여 만든 2상계 복합재료를 최근에는 콘크리트 폴리머 복합체 (concrete-polymer composites) 라고 부르고 있다.

일본에서는 대개 이 복합체를 폴리머 콘크리트라고 부르는 경우가 많으나 다음에 서술하는 협의의 폴리머-콘크리트와 혼동하기 쉬운 것도 있어서 세계적으로는 이 용어를 사용토록 하고 있다. 콘크리트 폴리머 복합체에는 다음과 같은 세 종류가 있다.

1) 폴리머 시멘트 콘크리트 (모르타르)

[Polymer portland cement concrete (mortar), Polymer modified concrete (mortar)]

결합재로서 시멘트와 폴리머를 사용하여 골재를 결합한 콘크리트 (모르타르).

2) 폴리머 콘크리트 (모르타르)

[Polymer concrete (mortar)]

결합재로서 폴리머만 사용한 콘크리트 (모르타르). 일본에서는 레진 콘크리트 (모르타르)로 불리는 경우가 많다.

3) 폴리머 함침 콘크리트 (모르타르)

[Polymer impregnated concrete (mortar)]

경화 콘크리트 (모르타르) 에 폴리머를 함침시켜 일체화 한 것.

이중에서 1)의 폴리머 시멘트 콘크리트 (모르타르) 에 사용한 폴리머계 재료를 시멘트 혼화용 폴리머라 부르고 콘크리트용 혼화제의 일종으로 포함시킬 수 있다.

시멘트 콘크리트 및 모르타르에의 폴리머 혼화라는 개념은 그다지 새로운 것이 아니며 포장재에의 천연고무 라텍스의 혼화에 관한 특허¹⁾가 1923년에 영국에서 공고된 바 있다. 그 후 시멘트 혼화용 폴리머는 천연고무 라텍스로부터 합성고무 라텍스나 합성수지 에멀전으로 전환되었다. 일본에서의 폴리머 시멘트 콘크리트 및 모르타르에 관한 최초의 논문은 1950년대 중반에 발표되었으나 1950년대 중반 이후에 와서는 일본을 필두로 각국에서도 그 기초 연구 및 실용화연구가 활발해졌다. 그 후 일본에서는 1964년의 올림픽을 배경으로 시멘트 혼화용 폴리머가 본격적으로 보급되었고 현재 그 연간 사용량은 10톤이 넘을 것으로 추정된다. 그렇긴하나 여기까지는 그 성능과 경제성의 밸런스를 놓고 볼 때 시멘트 혼화용 폴리머의 사용은 폴리머 시멘트 모르타르를 대상으로 한 것이 대부분이다.

2. 시멘트 혼화용 폴리머의 종류

시멘트 혼화용 폴리머로는 <그림-1>에 나타난 바와 같은 종류가 있으나 크게 4종류로 나뉜다.

1) 수성폴리머 디스퍼전 (Polymer dispersion)

물속에 폴리머의 미립자(0.05~5 μ m)가 균일하게 분산된 부유상태의 재료로서 대개 그 미립자가 고무인 경우를 라텍스(latex), 수지인 경우를 에멀전(emulsion)이라고 하는데 이러한 것들을 일반적으로 폴리머 디스퍼전이라 부르고 있다. 시멘트 혼화용 폴리머중 가장 많이 보급된 것으로는 스틸렌부타디엔고무(SBR) 라텍스, 에틸렌초산비닐(EVA) 및 폴리아크릴산에스테르(PAE) 에멀전이 흔히 사용되고 있다. <表-1>에는 시멘트 혼화용 폴리머 디스퍼전의 품질규정으로 일본규격 JIS A 6203에 나타난 것이다.

2) 재유화형(再乳化形) 분말수지 (Powdered emulsion)

분말 에멀전이라고도 불리며 합성수지 에멀전을 분부·건조한 것으로 물을 가함으로써 재유화한다. 현재 시판되고 있는 것은 EVA와 초산비닐비닐바사테이트(VA/VeoVa) 뿐이다.

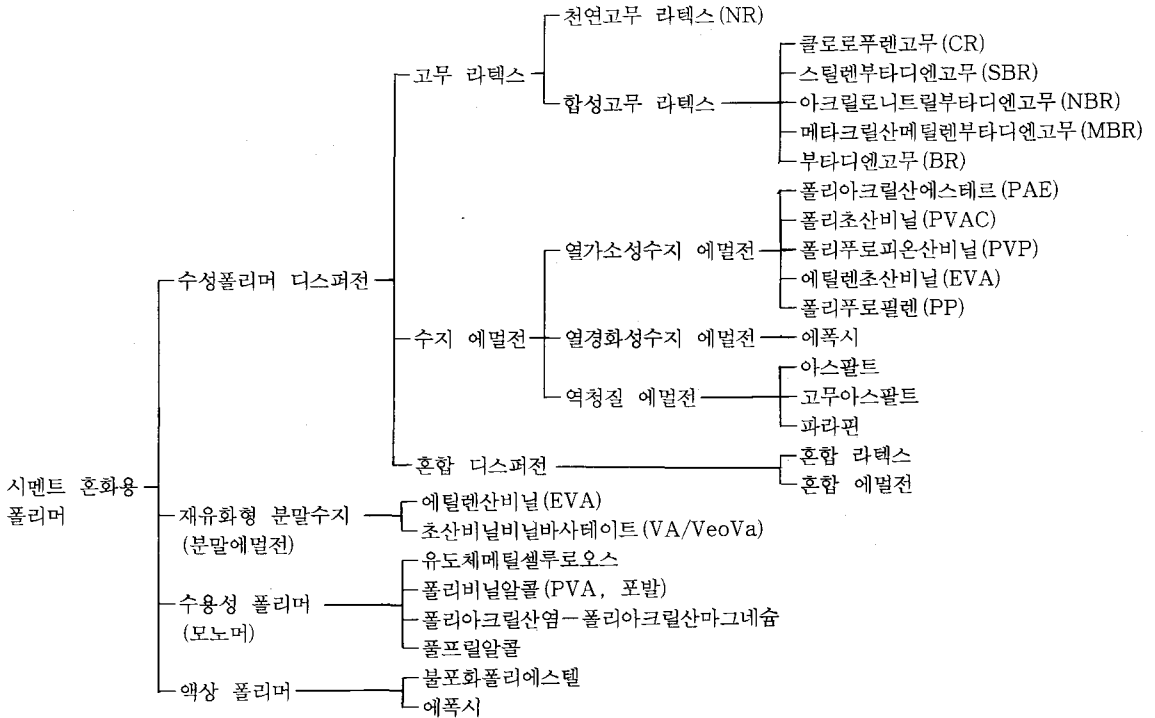
3) 수용성 폴리머(Water-soluble polymer)

메틸셀룰로오스(MC), 폴리비닐알콜(PVA, 포발) 등의 수용성 폴리머이고 작업능률 개선을 목적으로 흔히 사용된다. 또 폴프릴알콜과 같은 수용성 모노머도 이 범주에 속한다.

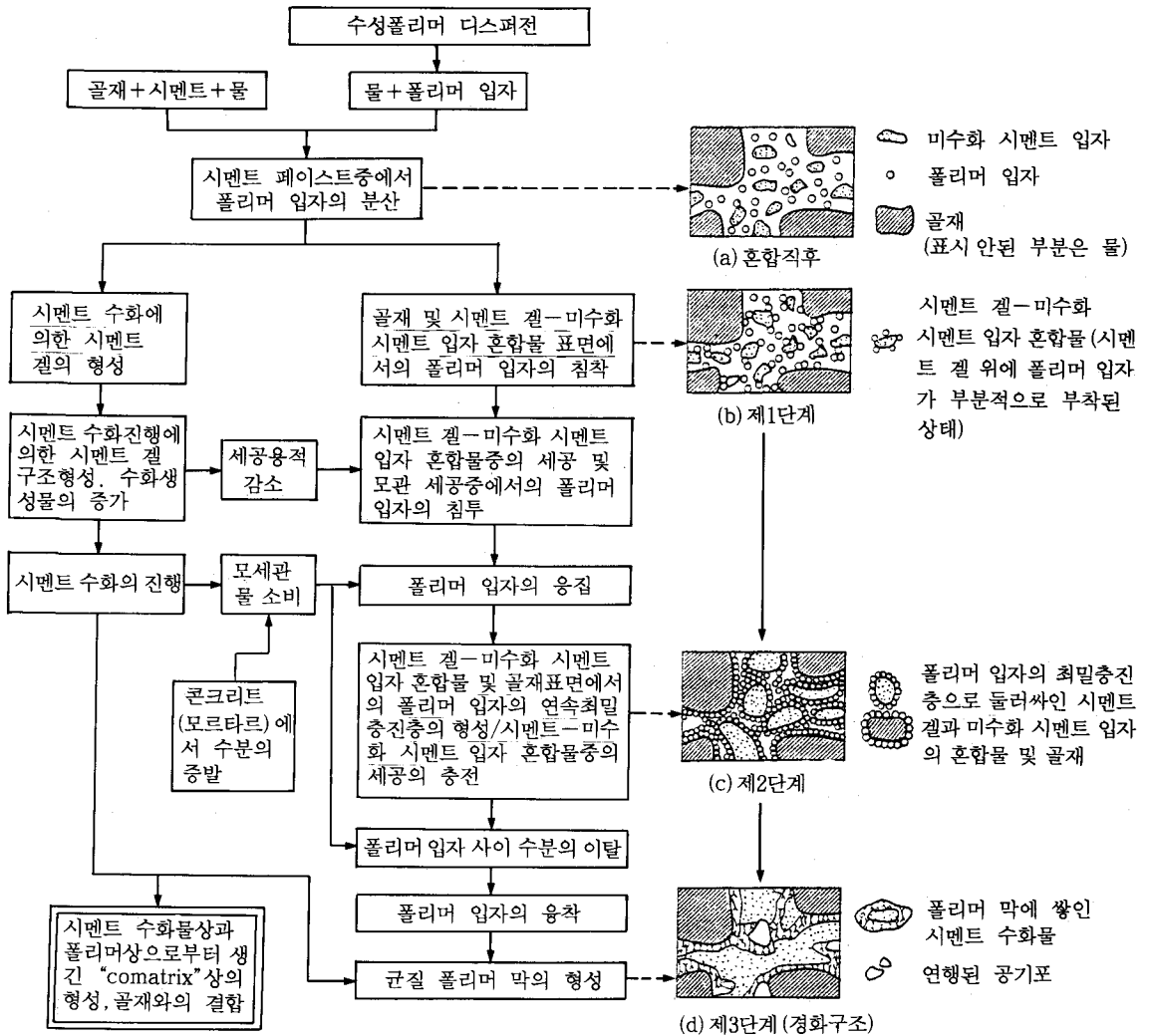
시멘트 혼화용 폴리머 디스퍼전의 품질규정(JIS A 6203)

<表-1>

시험종류	시험항목	규 정
디스퍼전 시험	외 관	조립자, 이물, 응고물 등이 없는 것.
	전고형분	35.0% 이상으로서 표시치 $\pm 1.0\%$ 이내.
폴리머 시멘트 모르타르의 시험	휨 강도	40kgf/cm ² 이상
	압축강도	100kgf/cm ² 이상
	접착강도	10kgf/cm ² 이상
	흡수율	15.0% 이하
	투수량	30g 이하
	길이변화율	0~0.150%



<그림-1> 시멘트 혼화용 폴리머



〈그림-2〉 폴리머 디스퍼전 혼입 폴리머 시멘트 콘크리트(모르타르)내 시멘트의 수화 및 폴리머 막의 형성과정 개념도

4) 액상 폴리머(Liquid polymer)

에폭시 수지나 불포화폴리에스테르 수지와 같은 액상 폴리머로서 여타 시멘트 혼화용 폴리머와는 달리 대개는 경화제나 개시제 등과 함께 사용된다.

일반적으로 이러한 폴리머는 시멘트 콘크리트나 모르타르의 반죽시에 직접 혼합 사용된다. 최근에는 바닥코르기용 도장재, 두껍게 매기는 마감재, 복층 마감재, 얇게 매기는 마감재, 타일용 접착제 등의 용도로서 시멘트, 충전재, 석분 등의 분체성 분과 세트된 2성분형 재료, 분체성분에 재유화

형 분말수지를 첨가한 프리패키지(prepackaged) 형태로 조합된 제품으로서 시판되는 것도 많다. 또한 폴리머 디스퍼전에 유리섬유나 탄소섬유와 같은 불활성 재료를 혼합한 것도 나와 있다.

3. 시멘트 혼화용 폴리머에 의한 개질 원리

감수제나 AE제 등 콘크리트용 혼화제의 대부분은 시멘트 콘크리트(모르타르)가 응결되지 않았을 때 그 성능을 발휘하여 경화된 콘크리트(모르타르)

의 조직구조를 개선시킬 뿐 경화 후에 있어서는 혼화제 자체가 어떠한 작용을 발휘하는 것은 아니다. 이에 반해 시멘트 혼화용 폴리머를 사용한 폴리머 시멘트 콘크리트(모르타르)는 결합재가 시멘트 수화물 및 폴리머의 2성분으로서 이른바 “comatrix”로 되어 있다는 것이 큰 특징이다.

그 제조에 있어서는 통상의 AE제나 감수제 등보다도 상당히 많은 양(시멘트에 대해 5~30wt.%, 단 수용성 폴리머로는 3wt.% 이하)의 폴리머가 혼합되어 시멘트 콘크리트(모르타르)가 응결되지 않았을 때와 경과 후에 있어서는 여러 가지의 효과를 발휘한다. 따라서 폴리머 디스퍼전, 재유화형 분말수지, 수용성 폴리머 및 액상 폴리머의 그 어느 형태로 사용되어도 시멘트의 수화 및 폴리머상의 형성이 동시에 진행되고 양자가 일체화된 그물구조를 가지는 매트릭스상을 형성하는 것이 중요하다.

1) 폴리머 디스퍼전에 의한 개질

시멘트 디스퍼전에 의한 결합재상의 개질은 시멘트의 수화와 동시에 진행되는 폴리머박막 형성에 의한 것이다. 대체로 시멘트의 수화과정은 폴리머박막 형성과정에 선행하나 두 과정이 균형있게 진행되는 것이 중요하다. 폴리머 디스퍼전 혼입 폴리머 콘크리트(모르타르)의 시멘트 수화 및 폴리머박막 형성 과정과 그 개념도를 <그림-2>에 나타냈다.

폴리머 디스퍼전을 혼입한 시멘트 콘크리트(모르타르)가 아직 응결하지 않은 상태에서는 폴리머 입자, 연행공기포, 폴리머 디스퍼전중에 함유된 계면활성제, 폴리머 디스퍼전 자체의 친수콜로이드 성질 등에 의하여 그 작업성, 공기연행성, 브리딩(bleeding), 재료분리 등에 대한 저항성이 개선된다. 또한 최종적으로는 시멘트 수화물과 폴리머박막상이 서로 교차해서 comatrix상이 형성되며 이로 인해 골재가 강하게 결합되므로 인장강도와 인성이 개선됨은 물론 우수한 방수성, 기밀성, 내약품성, 내동결융해성 등이 부여된다.

2) 재유화형 분말수지에 의한 개질

시멘트 콘크리트(모르타르)에 재유화형 분말수지를 혼합하면 혼련과정에서 곧 재유화하고 재유화후엔 폴리머 디스퍼전과 같은 양상으로 거동하여 개질된다.

3) 수용성 폴리머에 의한 개질

일반적으로 수용성 폴리머의 이용은 시멘트 콘크리트(모르타르)의 작업성 개선을 목적으로 하며 소량(3wt.% 이하)의 폴리머를 분말 또는 액상으로 혼합한다. 그 개질원리는 주로 수용성 폴리머의 계면활성작용을 기본으로 한 것이지만 혼합수의 점도 증가 및 얇은 폴리머막의 형성에 기인하는 밀봉효과로 인해 보수성의 향상도 기대된다. 그러나 대체로 수용성 폴리머에 의한 강도개선은 기대되지 않는다.

4) 액상 폴리머에 의한 개질

액상 폴리머에 의한 개질로는 저분자량의 중합성 폴리머 또는 prepolymer를 적당량의 경화제나 개시제와 함께 시멘트 콘크리트(모르타르)에 혼합한다. 그 혼합량은 폴리머 디스퍼전의 경우보다도 다량(30~60wt.%)인데 혼합량이 소량이면 액상 폴리머에 의한 개질은 그다지 기대할 수 없다. 그러나 그 개질원리는 폴리머 디스퍼전에 의한 경우와 같이 시멘트의 수화 및 물의 존재하에서의 폴리머 중합이라는 두 과정이 동시에 진행되며 시멘트 수화물상과 폴리머상이 서로 교차하여 comatrix상을 형성하는 것이다. 그 때문에 경화콘크리트(모르타르)의 강도 특성, 방수성, 기밀성, 내약품성 등이 향상되지만 후레시 콘크리트(모르타르)의 성질에 대해서는 폴리머 디스퍼전을 사용했을 때와 같은 효과는 기대할 수 없고 오히려 그 작업성을 저하시키는 경우가 많다.

4. 폴리머 시멘트 콘크리트(모르타르)의 제조

폴리머 시멘트 콘크리트(모르타르)의 제조에 관해서는 앞서 언급한 시멘트 혼화용 폴리머를 사용하는 경우를 제외하면 시멘트 콘크리트(모르타르)와 같은 형태의 재료가 사용된다. 사용하는 콘크리트의 종류와 관계없이 그 제조에 있어서는 시멘트 콘크리트(모르타르)와 대개 같은 순서로 이루어지지만 배합설계 및 시공에 있어서는 특히 다음과 같은 사항에 주의를 요한다.

1) 배합설계상의 주의사항

① 시멘트 콘크리트(모르타르)의 배합설계가 그 작업성과 압축강도에 주목되는데 반해 폴리머 시멘트 콘크리트(모르타르)에는 이외의 성질, 초기 인장강도, 수밀성, 접착성, 내약품성 등도 고려하여 배합설계를 할 필요가 있다.

② 시멘트 혼화용 폴리머의 혼합에 의한 결합재상의 개질은 시멘트에 의한 우수한 결합재 조직의 형성이 전제이므로 시멘트의 수화를 방해하는 등 필요 이상 폴리머의 혼입을 피하지 않으면 안된다.

③ 폴리머 시멘트 콘크리트(모르타르)의 성능은 물/시멘트비보다도 오히려 폴리머/시멘트비에 의해 제약되기 때문에 소요성능이 얻어지도록 폴리머/시멘트비를 결정할 필요가 있다. 통상 폴리머/시멘트비는 5~30wt.% 범위에서 사용된다.

〈表-2〉 및 〈表-3〉에는 ACI에서 추천하는 폴리머 콘크리트의 배합을⁴⁾, 〈表-4〉에는 폴리머 시멘트 모르타르의 표준배합을 나타냈다.

④ 시멘트 혼화용 폴리머의 대부분은 여타 콘크리트용 혼화제가 가진 성능 예를 들면 낮은 물/시멘트비에서의 작업성 향상, 공기 연행성 등의 성질을 갖고 있기 때문에 다른 혼화제와 병용하지는 않는다. 그와 같은 병용이 요구되는 경우에는 후레시콘크리트(모르타르)중의 폴리머의 안정성, 형성된 폴리머막의 기계적 성질 등에 미치는 다른 혼화제의

교량바닥용 폴리머 시멘트 콘크리트의 배합(ACI)

〈表-2〉

단 위 시 멘 트 양 (kg/m ³)	414
세 골 재 율 (%)	55~65
폴 리 머 / 시 멘 트 비 (%)	15
물 / 시 멘 트 비 (%)	25~40
공 기 량 (%)	6 이하

보수재용 폴리머 시멘트 콘크리트의 배합(ACI)

〈表-3〉

사 용 재 료	중량(kg)	
포틀랜드 시멘트	94	
골재(세·조골재의 혼합물)	300	
폴리머	전고형분기준	14~19
	라텍스(전고형분 50%로서)	29~38
물(라텍스와 골재의 수분을 포함)	4~25	

영향을 사전에 충분히 검토할 필요가 있다. 또한 에폭시수지 혼입 폴리머 시멘트 모르타르에는 그 작업성 개선을 목적으로 감수제를 사용하는 시험도 행해지고 있다.

2) 시공상의 주의사항

① 폴리머 시멘트 콘크리트(모르타르)의 시공에 있어서는 일반적인 시멘트 콘크리트(모르타르)와 동일한 주의를 기울이면 된다.

② 폴리머중에는 다량의 공기를 연행하는 것이 있으므로 적당한 소포제를 사용할 필요가 있다. 또 현재 시판되고 있는 시멘트 혼화용 폴리머에는 소포제가 기 첨가되어 있는 것이 많다.

③ 폴리머 디스퍼전 및 재유화형 분말수지를 사용한 폴리머 시멘트 콘크리트(모르타르)의 경우에는 그 개질원리에 따라 초기에 습윤양생한 뒤 건조양생하는 일이 권장된다. 또한 이들 폴리머는 동결되기 쉬우므로 저온에서의 시공은 피해야 한다.

④ 비가 올 때는 시공을 피하거나 비를 맞지 않도록

용도별 폴리머 시멘트 모르타르의 표준배합

〈表-4〉

용 도	표 준 배 합		도장 두께 (mm)	
	시멘트 : 세골재 (중량비)	폴리머/시멘트비 (%)		
포장재(바닥재)	1 : 3.0	10~20	5~10	
미장재	1차 도장	1 : 2.0~2.5	5~20	1~2
	2차 도장	1 : 2.5~3.0	5~20	5~10
	3차 도장	1 : 2.5~3.0	5~20	5~10
접착제	일반 타일용	1 : 1.0~2.5	5~20	-
	모자이크 타일용	1 : 0 ~2.0	5~20	-
	유니트 타일용	1 : 0.5~1.0	5~20	-
	콘크리트 이음재	1 : 0 ~2.0	5~20	-
방수제	일반용	1 : 0 ~3.0	5~30	-
	1차 도장	1 : 0 ~1.5	10~30	5~10
	2차 도장	1 : 2.0~2.5	10~30	5~10
방식재	1차 도장	1 : 0 ~1.0	10~30	5~10
	2차 도장	1 : 1.5~2.5	10~30	5~10
바닥재	1차 도장	1 : 2.0~3.0	20~30	1~2
	2차 도장	1 : 3.0	20~25	5~6
	3차 도장	1 : 3.0	20~25	3~4

폴리머 시멘트 모르타르(페이스트)의 용도

<表-5>

용도	시공장소
포장재 및 마루재	일반가옥, 창고, 사무소, 점포 등의 바닥, 화장실바닥, 체육관바닥, 공장의 바닥, 통로, 계단, 플랫폼, 도로, 대학, 공항, 모노레일 등
방수재	지붕기초스라브, 모르타르 및 콘크리트 블럭벽체, 저수탱크, 풀장, 정화조, 사일로 등
접착제	타일용 접착제, 바닥재, 벽재 및 단열재의 접착제, 콘크리트(모르타르)의 이음재 등
미장재	얇게 붙이는 마감도재, 복층 마감도재, 두껍게 붙이는 마감도재, 경량골재 마감도재, 하지조정도재 등
보수재	콘크리트 구조물의 균열 및 충박리의 그라우트, 기타 손상의 패칭, 부식된 철조근물의 보호코팅 등
방식재	폐액저장고, 화학공장바닥, 내산타일의 줄눈재, 정화조, 기계플로어, 화학실험실바닥, 약품창고, 온천욕조, 강관을 사용한 루핑이나 사일로의 보호코팅 등
바닥재	선박 내외부의 데크, 브리지데크, 전차·열차 등의 바닥
기타	철교범의 진동 방지용

특 적당한 조치를 취한다. 마찬가지로 폴리머 시멘트 콘크리트(모르타르)가 굳지 않은 상태에서의 살수도 피한다.

5. 폴리머 시멘트 콘크리트(모르타르)의 성질과 용도

폴리머 시멘트 모르타르 및 콘크리트의 겉보기 염화물이온 확산계수

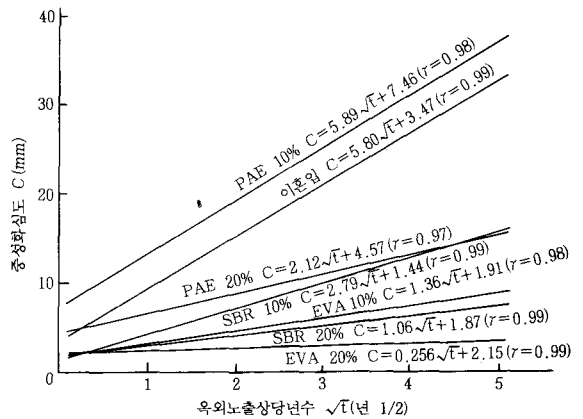
<表-6>

모르타르의 종류	폴리머/시멘트비 (%)	겉보기 확산계수 (cm ² /s)	콘크리트의 종류	폴리머/시멘트비 (%)	겉보기 확산계수 (cm ² /s)
보통 시멘트 모르타르	0	6.4×10 ⁻⁸	보통 시멘트 콘크리트	0	2.2×10 ⁻⁹
SBR 혼입 모르타르	10	6.4×10 ⁻⁸	SBR 혼입 콘크리트	10	1.9×10 ⁻⁹
	20	3.9×10 ⁻⁸		20	9.3×10 ⁻⁹
EVA 혼입 모르타르	10	4.4×10 ⁻⁸	EVA 혼입 콘크리트	10	7.9×10 ⁻⁹
	20	2.4×10 ⁻⁸		20	1.0×10 ⁻⁹
PAE 혼입 모르타르	10	3.8×10 ⁻⁸	PAE 혼입 콘크리트	10	6.2×10 ⁻⁹
	20	4.4×10 ⁻⁸		20	5.8×10 ⁻⁹

폴리머 시멘트 모르타르의 산소 확산계수

<表-7>

모르타르(콘크리트)의 종류	폴리머/시멘트비 (%)	물/시멘트비 (%)	확산계수 (cm ² /s)
시멘트 콘크리트	0	40	7.80×10 ⁻⁵
시멘트 모르타르	0	35	5.86×10 ⁻⁵
PAE 혼입 모르타르	7.5	35	1.08×10 ⁻⁵
	15.0	35	4.60×10 ⁻⁶
	20.0	35	4.32×10 ⁻⁶



<그림-3> 폴리머 시멘트 모르타르의 중성화심도와 옥외노출상당년수의 관계⁵⁾

개질원리에서 논한 바와 같이 일반적으로 시멘트 혼화용 폴리머에 의해서 후레시 콘크리트(모르타르) 등 경화콘크리트(모르타르)의 많은 성질이 개


선된다.

그러나 현재 시멘트 혼화용 폴리머의 이용은 <表-5>에서와 같은 용도의 폴리머 시멘트 모르타르로서의 이용이 대부분이다. 최근에는 특히 RC 구조물의 내구성 향상을 목적으로한 보수 등 보호재로서의 폴리머 시멘트 모르타르의 이용이 주목되고 있다. 폴리머 시멘트 모르타르의 내구성에 관한 성질 중 대표적인 것을 <그림-3>, <表-6>, <表-7>에 나타냈다.

또한 쇼트크리트(모르타르)로의 이용, 초속경 시멘트 모르타르에 폴리머 디스퍼전의 혼입, Zonolite, 유리섬유, 폴리머 디스퍼전 등으로 된 인조목재의 개발 등도 행해지고 있다.

한편 아크릴산에스테르스틸렌 공중합 에멀전을 사용하여 폴리머/시멘트비를 30~70% 정도인 초신장성 모르타르, 양이온 계면활성제를 함유한 SBR 라텍스, 수용성 폴리머와 고성능감수제를 병용한 8~20%의 낮은 물/시멘트비로서 제조한 높은 휨강도를 갖는 MDF 시멘트 등의 개발이 최근의 토퍽으로 부각되고 있으나 그 어느 것이나 실용적인 면에서의 문제가 지적되고 있다.

<참 고 문 헌>

- 1) L. Cresson : British Patent 191474, Jan. 12, 1923
- 2) 板倉 誠 : ビニール・エマルジョンを混入したコンクリートパイプ, 材料試験, Vol.2, No.10, 1953. 12, pp.488~489.
- 3) 箕浦有二 : セメント・ラテックス混合物, 日本ゴム協會誌, Vol.27, No.10, 1954. 10, pp.685~688.
- 4) ACI Committee 548 : Guide for the Use of Polymers in Concrete, Journal of ACI, Vol. 83, No.5, Sept.-Oct. 1986, p.816.
- 5) S. Popovics : New Results with Epoxy Modification of Portland Cement Concrete, Proc. of the 4th International Congress on Polymers in Concrete, Technische Hochschule Darmstadt, Darmstadt, Sept. 1984, pp.369~373.
- 6) 大濱嘉彦・出村克宣 : ポリマーセメントモルタルの中性化に對する抵抗性, コンクリート工學年次論文報告集, Vol.9, No.1, 1987. 6, p.535.
- 7) 大濱嘉彦・出村克宣・三宅雅之 : ポリマーセメントモルタル及びコンクリートにおける鹽化物イオン擴散性狀, セメント技術年報, Vol.40, 1986. 12, p.90.
- 8) 小林一輔・出頭圭三・辻 恒平・小川和雄 : 各種セメント系材料の酸素及び鹽素イオンの擴散性狀, 第7回コンクリート工學年次講演會論文集, 1985. 5, p.92.
- 9) 岡田 清 : ポリマーコンクリートに關する研究の發展と動向, 土木學會論文集, Vol.2, No.354, 1985. 2, pp.1~11.
- 10) たとえば, H. Schorn : Polymer Concrete; Uses, Materials, and Properties, ACI SP-89, p.249~260, 1985; G. L. Chynoweth : Transportation Research Record 1003, International Symposium on Mechanical Properties of Special Concrete, 1984, pp.42~46 など.
- 11) 大鹽 明・古田誠剛・關野一男 : ポリマー混入超速硬セメントモルタルの基礎的性質, セメント技術年報, Vol.40, 1986. 12, pp.99~102.
- 12) 渡邊孝司・堤 康一・山口 勝・寺村敏史・竹内秀吏・槻山興一 : 珪酸カルシウム系人造木材, セメント・コンクリート, No.469, 1986. 3, pp.37~43.
- 13) 大濱嘉彦・出村克宣・永尾弘孝 : 既調合製品を用いた超伸長性ポリマーセメントモルタルの性質, コンクリート工學年次論文報告集, Vol.9, No.1, 1987. 6, pp.259~264.
- 14) 大濱嘉彦・能登谷恭一・森脇貴志 : カチオン界面活性劑を含むスチレンブタジエンゴムラテックスを用いたポリマーセメントモルタルの性能比較, セメント技術年報, Vol.39, 1985. 12, pp.400~403.
- 15) 小谷田秀雄・後藤誠史・木村脩七 : PVA-セメント硬化體の機械的性質におよぼす温度の影響, セメント技術年報, Vol.39, 1985. 12, pp.396~399.
- 16) 日本コンクリート工學協會複合材料研究委員會ポリマーセメントモルタル試験方法小委員會 : ポリマーセメントモルタル試験方法規準(案)/(その1), コンクリート工學, Vol.25, No.6, 1987. 6, pp.5~19.
- 17) 同上/(その2), コンクリート工學, Vol.25, No.8, 1987. 8, pp.4~14.
- 18) 大濱嘉彦 : 講座/特殊な材料を用いたコンクリート(その22), V-1, ポリマー混和劑, コンクリート工學, Vol.25, No.12, 1987. 12, pp.75~86. 

<資料 : コンクリート工學, Vol. 26, No.3>