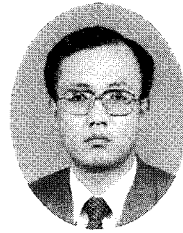


특 집

|| 콘크리트의 공장제품 ||

폴리머 콘크리트 공장제품의 개발 현황 및 전망

- Status and Future Prospect of Precast Products Using Polymer Concrete -



연구석*



주명기**

1. 머리말

아직까지 우리나라에서 폴리머 시멘트 콘크리트가 콘크리트와 같이 광범위하게 사용되고 있는 것은 아니지만 건설재료로서의 사용이 증가하는 추세에 있다. 폴리머 콘크리트의 제조에는 결합재로서 물이나 시멘트가 전혀 사용되지 않고 수지(resin)만을 사용한다. 각종 수지가운데 많이 이용되고 있는 것은 에폭시 수지, 불포화 폴리에스테르 수지, 우레탄 수지, 푸란 수지 등이 있다. 그러나 원료사정이 국가마다 다르기 때문에 폴리머 콘크리트의 결합재로 사용되는 액상수지 역시 차이가 있다. 우리나라의 경우는 에폭시 수지, 불포화 폴리에스테르 수지 및 우레탄 수지가 주로 사용되고 있으며, 가까운 일본의 경우는 폴리머 콘크리트의 결합재로서 워커 빌리티, 저온경화성, 내후성 등이 우수한 메타크릴산 메틸도 사용되고 있다^{1),2)}. 또한 폴리머 모르타르 및 콘크리트의 경화반응에 방해를 주지 않도록 충전재 및 골재 등은 건조시켜 함수율이 0.5% 이하가 되도록 사용하고 있으나, 지금은 흡수제, 가교제 등의 혼화재료가 개발되어 함수율을 3% 까지 허용하고 있으며, 지금까지 불가능하게 생각되었던 폴리머 콘크리트에 대한 레디믹스트 콘크리트(레미콘) 개발도 흥미를 끌고 있다.³⁾

최근에는 폴리머 콘크리트 공장제품 제조시 생산성을 높이기 위해 자동화 시스템이 개발되고 있으며^{4),5),6)}, 일본의 전신전화국(NIT)에서 개발된 폴리에스테르 수지를 이용한 소단면(지름 1.2

m) 실드공법⁷⁾, 미국에서 개발된 오버레이 공법⁸⁾ 등이 그 예라고 할 수 있다. 또한 사용자가 전문적 지식이 없더라도 사용할 수 있도록 프리팩트형(포장된 충전용 골재를 포설한 후 수지를 주입함) 및 프리팩키지형(골재와 수지를 2개의 포장으로 나누어 사용시 배합함)으로 공장에서 직접 제품화하여 보급하고 있다.^{8),9)}

이상과 같이 외국의 경우 폴리머 콘크리트에 대한 건설재료로서의 연구가 광범위하게 진행되고 있지만 아직 우리나라의 경우는 일부에서만 연구가 이루어지고 있는 실정이다.

우리나라에서는 불과 4~5년 전부터 폴리머 콘크리트 공장제품에 관한 개발이 본격화되기 시작하였으며, 1999년도의 경우 폴리머 콘크리트 공장제품 제조에 사용된 불포화 폴리에스테르 수지는 연간 1,200여 톤 정도인 것으로 추정되고 있다.

따라서 경제성장 및 건설기술의 발전에 발맞추어 폴리머 콘크리트 공장제품의 대중화 시대가 도래할 것으로 예상되는 만큼 기존 시멘트 콘크리트 공장제품의 문제점 및 국내외적으로 현재 생산되고 제품에 대한 개발 현황을 분석해 보고, 폴리머 콘크리트의 공장제품에 대한 앞으로의 전망에 대해 살펴보고자 한다.

2. 기존 시멘트 콘크리트 공장제품의 문제점

2.1 내구성능 저하

기존 시멘트 콘크리트 공장제품은 열악한 환경하에서 내구성능이 현저히 저하되는 큰 결점을 가지고 있다. 여기서는 내구성능

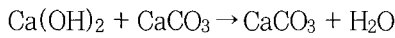
* 정희원, 강원대학교 농업공학부 지역기반공학전공 교수

** 정희원, 강원대학교 석재복합신소재제품연구센터 연구원

을 저하시키는 원인에 대하여 알아보도록 한다.

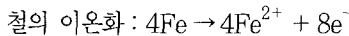
2.1.1 중성화

중성화는 콘크리트가 공기중의 이산화탄소에 의해 표면으로부터 산화되기 시작하여 pH 8 ~ 10 정도의 탄화칼슘으로 변하는 현상을 말한다. 이러한 중성화 반응은 시간의 경과에 따라 진행이 되므로 완전하게 억제할 수는 없다. 콘크리트 속에 묻혀있는 철근은 콘크리트의 알칼리성에 의해서 부식환경으로부터 보호되고 있으나 중성화가 이루어지면 철근이 부식하게 되고 이러한 철근의 부식으로 체적이 증가하여 콘크리트 내부에 균열을 발생시킨다^{(10), (11)}. 다음은 콘크리트 구조물에서의 중성화의 화학반응식을 나타낸 것이다.

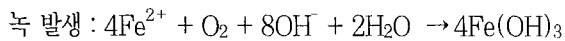


2.1.2 염해

콘크리트 중의 철근 표면은 치밀한 부동태피막(두께 3 nm 정도의 산화물층)이 존재하지만 염소이온(Cl⁻)이 정도 이상으로 침투하면 산화피막의 산소원자에 염소이온이 침입하여 그 부분에서 피막의 파괴가 일어난다. 이러한 작용이 계속됨으로써 염소이온의 작용에 의해 철의 용해가 일어난다.



다음으로 철이온이 염소와 물과 반응하여 녹을 발생시킨다.



녹의 팽창압에 의해 콘크리트에 균열이 발생하고 균열에 의해 염소이온이 침투하며, 통수량과 통기량의 증가에 의하여 부식속도가 빨라져 콘크리트의 박락이 발생된다.^{(12), (13), (14), (15)}

2.1.3 동결융해

동결에 의한 손상은 콘크리트가 수분을 흡수하고 외부온도가 빙점보다 낮아지면 수분은 얼게 되고, 그 결과 빙압이 발생되어 콘크리트 내부가 붕괴되는 것을 말하며, 융해에 의한 손상은 콘크리트 표면의 온도가 빙점 이상으로 올라갈 때 균열표면이 박리하는 것을 말한다.⁽¹⁶⁾

이와 같은 동결과 융해가 반복되는 과정에서 그 손상정도는 매우 심각하게 나타난다.

2.1.4 화학적 침식

지하 구조물용 콘크리트 제품은 하수나 공장폐수에 의한 화학적 침식이 많이 발생되고 있다. 화학적 침식의 원인은 하수 내의

유기물, 단백질 및 기타 황화물이 혐기성 상태에서 분해·생성되는 황화수소(H₂S)가 공기 중으로 솟아오르면서 호기성 미생물에 의해 SO₂나 SO₃가 되며, 이것이 관 내부의 물방울에 녹아서 황산(H₂SO₄)을 발생시킨다. 황산은 시멘트 콘크리트에 함유된 철(Fe), 칼슘(Ca), 알루미늄(Al) 등과 반응하여 황산염이 되어 시멘트 콘크리트 공장제품을 부식시킨다. <그림 1>은 황화수소에 의한 성능저하 기구를 나타낸 것이다.

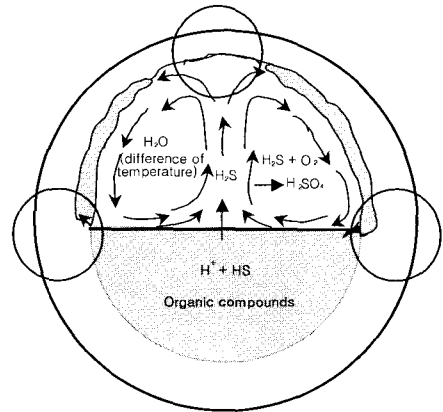


그림 1. 황화수소에 의한 성능저하 기구

2.1.5 건조수축

콘크리트에 건조수축이 발생하는 원인은 다양하지만, 기본적으로 시멘트 페이스트의 수축에 의한 것이다. 보통 콘크리트의 건조수축은 6 ~ 8 × 10⁻⁴이고 이 수축이 구속을 받으면 응력이 발생하며 콘크리트의 인장강도를 상회하면 균열이 발생한다.

건조수축은 장시간 경과 후 발생하지만 공장제품의 경우 대부분이 초기에 많이 발생한다. 이에 영향을 미치는 요인은 단위수량, 시멘트량과 품질, 공기량, 양생방법 및 부재의 형상과 크기 등을 들 수 있으나, 크게 영향을 미치는 것은 단위수량이다. 건조수축에 의해 체적의 변화가 일어나면 구조물에 균열이 발생하게 되어 내구성의 저하를 일으킨다.⁽¹⁷⁾

2.2 유지관리

사용재료가 시멘트 콘크리트이므로 위에서 기술한 내구성 저하의 원인에 의하여 피복 콘크리트가 손상됨으로써 내부 보강철근의 부식으로 제품의 성능 및 내구수명이 급격히 떨어진다. 그러나 지하매설용 콘크리트 제품은 개보수를 통한 유지관리가 실제적으로 불가능한 실정이다. 현재, 비굴착 유지보수를 위한 여러 공법들이 개발되고 있으나 비용이 많이 들어 널리 이용되지는 못하고 있는 실정이다.

위에서 기술한 이외의 문제점으로서 자중이 크므로 설치 및 운반이 어렵고, 운반비용이 많이 소요되고 현장시공에 있어 여러 가지 문제점을 가지고 있다.

표 1. 폴리머 콘크리트의 물리적 특성¹⁸⁾

물리적 성질	폴리머 콘크리트(PC)의 종류						비교	
	퓨란 콘크리트	폴리에스터 콘크리트	에폭시 콘크리트	폴리우레탄 콘크리트	페놀 콘크리트	아크릴 콘크리트	아스팔트 콘크리트	시멘트 콘크리트
단위중량(kg/m ³)	2200 ~ 2400	2200 ~ 2400	2100 ~ 2300	2200 ~ 2400	2200 ~ 2400	2200 ~ 2400	2100 ~ 2400	2300 ~ 2400
압축강도(kgf/cm ²)	700 ~ 800	800 ~ 1600	800 ~ 120	650 ~ 720	500 ~ 600	800 ~ 1500	20 ~ 150	100 ~ 600
인장강도(kgf/cm ²)	50 ~ 80	90 ~ 140	100 ~ 110	80 ~ 90	30 ~ 50	70 ~ 100	2 ~ 10	10 ~ 50
휨강도(kgf/cm ²)	200 ~ 250	140 ~ 350	170 ~ 310	200 ~ 230	150 ~ 200	150 ~ 220	20 ~ 150	20 ~ 70
탄성계수($\times 10^4$ kgf/cm ²)	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

3 폴리머 콘크리트의 특성

폴리머 콘크리트는 시멘트 콘크리트의 시멘트 수화물 결합재를 대신해서 폴리머만을 사용하며, 폴리머 결합재는 시멘트 콘크리트의 결합재와 다른 특성을 갖는다. 폴리머 콘크리트의 특성은 폴리머 결합재의 종류, 결합재의 조성, 배합비 및 양생조건에 의해 다르게 나타난다. 폴리머 콘크리트가 갖는 일반적인 장점을 나열해 보면 다음과 같다.

- ① 응결이 몇 분내에도 일어나게 할 수 있어 많은 양의 제품을 빠르게 제작할 수 있다.
- ② 다양한 거푸집을 이용할 수 있고 성형도 용이하다.
- ③ 시멘트 콘크리트에 비해 표면의 질감이 좋다.
- ④ 각종 강도가 시멘트 콘크리트의 4 ~ 5배 정도로 매우 높다.
- ⑤ 우수한 내약품성과 내마모성을 갖는다.
- ⑥ 불투수성이어서 동결융해 저항성이 우수하다.
- ⑦ 철재나 콘크리트에 대한 부착성이 우수하다.
- ⑧ 전기절연성이 양호하다.
- ⑨ 동등한 시멘트 콘크리트 제품에 비해 중량과 크기를 줄일 수 있다.
- ⑩ 진동 흡수율이 크다.

그러나 폴리머 콘크리트는 결합재의 성질 때문에 고온에서 크리프를 크게 발생시키고 시멘트 콘크리트에 비해 가격이 높다는 단점을 갖고 있다.^{18), 19), 20), 21)}

〈표 1〉은 폴리머 콘크리트의 물리적 특성을 나타낸 것이다. 폴리머 결합재는 높은 강도를 가지고 있고 골재와의 결합력 또는 부착력이 우수하므로 폴리머 콘크리트의 강도는 골재의 강도에 의해 결정된다고 할 수 있다.

대부분의 폴리머 콘크리트는 불투수성 미세구조를 갖고 있어 물, 습기, 공기 또는 가스 침투에 대하여 뛰어난 저항성을 지니고 있으며 폴리머 콘크리트는 내부에 물을 함유하지 않고 물의 침투가 거의 없기 때문에 폴리머 콘크리트의 동결융해 저항성은 〈표 2〉에서와 같이 매우 우수하다. 또한 폴리머 콘크리트는 〈표 3〉에서 나타난 바와 같이 시멘트 콘크리트에 비해 매우 우수한 내약품성을 갖는다. 이와 같이 우수한 동결융해 저항성 및 내약품성은 폴리머 결합재의 성질과 양, 골재의 특성, 사용된 혼화제의 성질에 영향을

표 2. 폴리머 콘크리트의 동결융해 저항성²⁾

PC 종류	동결융해 사이클 수	중량변화 (%)	동탄성 계수 ($\times 10^4$ kgf/cm ²)	휨강도 (kgf/cm ²)
에폭시 콘크리트	0	-	28.3	173
	100	0.04	28.1	170
	300	0.07	25.6	170
폴리에스터 콘크리트	0	-	33.6	227
	100	0.06	33.6	224
	200	0.14	33.6	-
	300	0.15	33.1	-
폴리우레탄 콘크리트	400	0.18	32.7	217
	0	-	18.3	193
	100	0.09	17.4	184
	300	0.18	16.9	179

표 3. 폴리머 콘크리트의 내약품성²⁾

PC 종류	평가치(포인트*)				
	산	알카리	염소	솔벤트	중유
폴리에스터 콘크리트	8 ~ 9	3 ~ 4	9 ~ 10	4 ~ 6	7 ~ 9
에폭시 콘크리트	9 ~ 10	9 ~ 10	10	6 ~ 7	9
퓨란 콘크리트	9 ~ 10	9 ~ 10	10	7 ~ 8	8
아크릴 콘크리트	8 ~ 9	8 ~ 9	9 ~ 10	5 ~ 6	7 ~ 9
시멘트 콘크리트	1	8 ~ 10	1 ~ 7	5 ~ 7	7 ~ 10

* 내약품성 평가 기준으로 10에 가까울수록 우수함

표 4. 다른 재료들과 폴리머 콘크리트의 역학적 성질 비교

종류	밀도 (lb/cu ft)	강도		탄성계수 ($\times 10^6$ psi)	강도 밀도비 (psi-cu ft/lb)	
		인장	압축		인장	압축
폴리머 콘크리트	140	1,400	20,000	5.3	10	143
시멘트 콘크리트	156	250	5,000	3.6	1.6	32
폴리머	62	7,000	15,000	0.4	113	242
알루미늄	165	30,000	25,000	10	182	152
강재	470	70,000	42,000	30	143	86
유리	137	7,000	300,000	10	51	2,190
강화 플라스틱	86 ~ 100	9 ~ 18,000	15 ~ 25,000	8 ~ 18	143	212
화강암	160 ~ 190	-	13 ~ 55,000	4 ~ 16	-	195
대리석	165 ~ 179	300 ~ 1,700	8 ~ 27,000	5 ~ 12	6	102
세라믹	150	5,000	40 ~ 60,000	10	33	333

받는다. <표 4>는 다른 재료들과 폴리머 콘크리트의 역학적 성질을 비교하여 나타낸 것이다.

3. 프리캐스트 제품의 국내외 개발현황

폴리머 콘크리트의 성질은 플라스틱과 시멘트 콘크리트의 중간 정도이다. 폴리머 콘크리트는 값이 비싸고 30°C 이상의 온도에서 크리프가 크게 일어나기 때문에 구조상의 적용에서 시멘트 콘크리트를 대신할 수는 없다. 그러나 폴리머 콘크리트 특유의 특성을 충분히 이용한다면 새로운 분야를 열 수 있다고 생각한다.²²⁾

폴리머 콘크리트의 대체 사용은 콘크리트가 적절한 필요조건을 얻을 수 없거나, 일부분에서만 조건을 만족할 수 있는 경우에 효과적이다. 폴리머 콘크리트는 시멘트 콘크리트보다 높은 강도, 우수한 내약품성과 불투수성, 빠른 응결, 성형성과 착색의 용이성, 동결융해에 대한 저항성, 빠른 몰드의 회전성 등 건설재료로서 유리한 특성을 가지고 있다. 또한 폴리머 결합재는 GFRP, 아스베스토스 시멘트, 강철, 알루미늄, 나무, 대리석, 화강암 등과 같은 물질과 잘 부착되는 장점도 있다. 프리캐스트 제품에서 폴리머 콘크리트의 국내외 적용 예는 <표 5>와 같다.

이 가운데 현재 국내외에서 개발 이용되고 있는 대표적인 폴리머 콘크리트 공장제품은 다음과 같다.

3.1 폴리머 복합관

폴리머 복합관은 오·폐수 처리를 비롯한 각종 배수 시스템에 적합한 하수관이다(그림 2). 이것은 원심력 공법이나 필라멘트

표 5. 폴리머 콘크리트 프리캐스트 제품의 적용 예^{18),19),20),21),22),23),24),25),26),27),28),29)}

<p><환경, 수리 설비용></p> <ul style="list-style-type: none"> · 하수관(산이나 알칼리) · 방사성 폐기물 보관탱크 · 중독성 폐기물 보관용기 · 상수도 및 도시가스 계량기용 프레임 · 투수관, 플룸 · 산성물질 보관 탱크 	<p><전력 통신 시설용></p> <ul style="list-style-type: none"> · 맨홀 및 핸드홀 · 전선용 암거 · 애자 · 전주
<p><고속도로, 철도, 항공시설용></p> <ul style="list-style-type: none"> · 고속도로 중앙 분리대 · 교통안전 시설물 · 터널 라이닝 세그먼트 · 철도용 케이블 트로프 · 철도건널목 바다판 	<p><공원 및 거리 시설물></p> <ul style="list-style-type: none"> · 공원 의자 · 화훼 상자 · 휴지통 · 경계석 · 보도블록 · 안내판
<p><건축용 설비></p> <ul style="list-style-type: none"> · 싱크대와 카운터 · 의장재와 벽체 · 벽체 패널, 온돌 패널 · 창과 문틀 · 공장용 바닥재 · 평면 지붕재 	<p><기계 설비></p> <ul style="list-style-type: none"> · 기계 받침대 · 컨베이어 드럼 · 기계 프레임
	<p><기타 시설></p> <ul style="list-style-type: none"> · 가축 먹이통 · 해안이나 화산지대용 파일 · 조명장치 · 영구 거푸집

와인딩 공법에 의해 제조되며 지름이 0.3m부터 2m 정도까지 생산된다. 관체는 FRP 층을 내·외측에 갖는 샌드위치 형식이며, 강관에 근접하는 외압강도를 갖는다. 뿐만 아니라 산이나 염에 강하며, 시멘트 콘크리트 하수관이나 플라스틱관의 약점을 보완한 관이라고 할 수 있다.

3.2 케이블 트로프

철도용 폴리머 콘크리트 제품으로서 통신 및 전기 선로용 케이블 트로프가 개발되어 있다(그림 3). 이 제품은 표면부가 FRP로 보강되어 있어 내충격성, 방수성, 전기 절연성 등이 우수하다. 그리고 시멘트 콘크리트 제품에 비해 중량이 1/4 ~ 1/5 정도로 운반·설치가 용이하고 유지·관리비가 적게드는 장점이 있다.

3.3 맨홀

전기·통신용 제품으로서 맨홀을 들 수 있다(그림 4). 폴리머 콘크리트 맨홀은 고강도이기 때문에 단면축소에 의해 지중을 1/3 정도로 줄일 수 있어 운반·설치가 용이하다. 뿐만 아니라 완벽한 방수성과 내부식성을 확보할 수 있는 장점을 갖고 있다. 일본에서는 1971년부터 대량 생산되기 시작하였으며, 한국에서도 1996년부터 생산·판매되고 있다.

3.4 건축물용 패널

폴리머 콘크리트 관련 건축물용 제품은 비구조용으로 한정되어 있다. 그 이유는 내열성이나 내화성이 비교적 약하기 때문이다. 대표적인 것이 외장용이나 칸막이용 패널이다(그림 5). 중심부에는 단열재가 들어가며 내·외부에는 폴리머 콘크리트나 모르타르를 부착시킨 샌드위치 패널이 주로 이용된다. 이때 표면에 장식

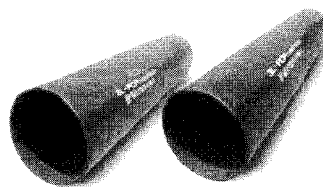


그림 2. 폴리머 복합관

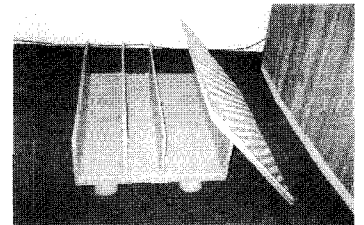


그림 3. 케이블 트로프

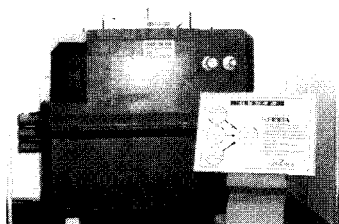


그림 4. 맨홀



그림 5. 저온 저장고

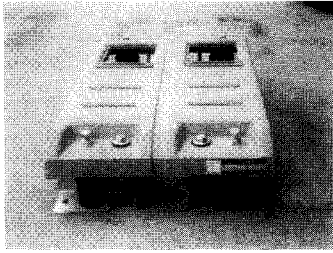


그림 6. 기계 받침대

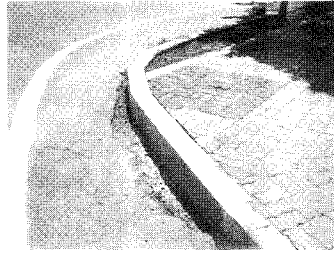


그림 7. 도로 경계석

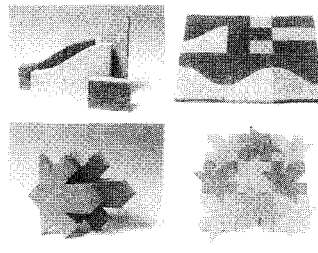


그림 8. 보도블럭

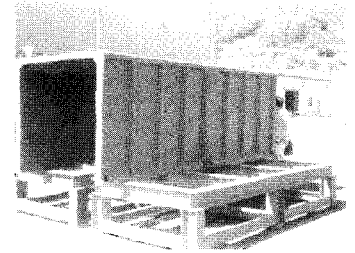


그림 9. 플룸

용 골재를 붙이거나 컬러 무늬를 두어 자연적 질감이 나게 할 수도 있다. 천연석은 비싸고 가공이 어려운데 비해 이것은 다양한 모양으로 제작할 수 있고, 무게가 가벼워 시공이 간편한 장점을 가지고 있다.

3.5 기계 설비용 제품

폴리머 콘크리트는 기계 설비용 부품으로도 이용되고 있다. 폴리머 콘크리트는 압축·인장·휨강도가 높고, 진동감쇄 성능이 우수하다. 또한 열팽창이 작고, 팽유 등에 의해 변질이 잘 안되며, 제작이 쉽고, 값이 강재보다 싸기 때문에 기계설비용으로서 유리하다. 결합재로서는 불포화 폴리에스테르 수지보다 에폭시 수지가 많이 이용된다.

주로 기계설비에 이용되는 부품으로서의 기계의 기초(그림 6), 컨베이어의 드럼, 연마기나 선반의 프레임 등을 들 수 있다. 이 분야는 독일, 일본 등에서 많은 연구개발 및 실용화 실적을 가지고 있다.

3.6 가로용 제품

가로용 제품으로서의 경계석(그림 7), 보도블럭(그림 8), 안내판 등이 있다. 경계석은 가운데 부분을 비게 할 수 있어 경량이고, 가격 경쟁력도 있다. 보도 블럭은 다양한 무늬와 색상을 낼 수 있어 아름답고 내구성도 우수하다. 안내판 역시 다양한 디자인을 연출할 수 있으며 철재보다 내구성이 우수하여 각광을 받고 있다.

3.7 수로용 플룸

폴리머 콘크리트 플룸(그림 9)은 고강도이기 때문에 단면축소에 의해 자중을 1/3 정도로 작게 할 수 있어 운반·설치가 용이하다. 더욱이 방수성과 내식성이 우수하여 반영구적으로 사용이 가능하므로 유지보수에 필요한 비용을 절감시킬 수 있다.

4. 21세기 폴리머 콘크리트의 전망

폴리머 콘크리트는 현재 시멘트 콘크리트와 비교하여 높은 기

능성과 우수한 물리·역학적 특성 때문에 신건설재료로서 많은 관심을 끌고 있다. 즉 폴리머 콘크리트는 다양한 분야에 사용이 가능하고 여러 가지 제품을 제조할 수 있어 주목을 받고 있다. 뿐만 아니라 콘크리트 구조물의 보수·보강분야에서 폴리머 콘크리트의 사용은 지속적으로 증가하고 있고 소재도 계속적으로 개발되고 있다. 이는 폴리머 콘크리트가 시멘트 콘크리트와 같은 기존 건설재료가 갖지 못하는 성질을 갖고 있기 때문에 발생하는 필연적인 사항인 것이다. 특히 폴리머 콘크리트는 시멘트 콘크리트나 섬유 보강재와 복합적으로 사용할 수 있는 지속 가능한 건설재료(sustainable construction materials)로서 매우 중요한 신소재 중의 하나이다. 폴리머 콘크리트의 이용기술은 30여 년간 꾸준히 발전하여 최근 건설분야의 기술혁신에 크게 기여를 하고 있다. 초고층 건물, 심층 구조물, 해양과 우주개발 등의 새로운 건설사업 분야의 재료로서도 주목받고 있다. 특히 건설산업이 환경에 미치는 영향에 대해 관심이 더욱 증대됨에 따라 친환경적인 건설재료로서의 역할도 크게 기대되고 있다.

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

참고문헌

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, Mar. 1986, pp.167~170.
2. 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, 1987, pp71~74.
3. Fukuzawa, K., Numao, T., Yoshimoto, M. and Tsukamoto, H., "Flexural Behavior of Pretensioned Prestressed Resin Concrete Beams Reinforced with Fiber Reinforced

- Plastic Rod", Transactions of the Japan Concrete Institute, Vol.10, Dec. 1988, pp.417~424.
4. Koyanagi, W., Rokugo, K., Muraiand, M. and Hayashi, F., "Evauiation of Toughnerr of Resin Concrete and Its Improvement by Steel Fibers, Polymers in Concrete". Proc. of the 4th International Congress on Polymers in Concrete, Technische Hochschule Darmstadt, Darmstadt, Sep.1984, pp.93~98.
 5. National Rearch Council Canada, IMRI, "Polymer Concrete-A Technological and Economic Study", 1986, pp.34~78.
 6. "폴리머 복합체를 이용한 케이블 트로프 개발", 강원대 석재복합 신소재 제품연구센터, 연구보고서, 1999, 12.
 7. 山岸康利 ら, "小断面シールド掘削を対象とした集中自動制御システムの設計とその試験結果", 土木學會論文集, No.361/IV-2, Sep. 1985, pp.69~78.
 8. Fontana, J. J., "Polymerbeton-Beschichtungen, Tiefbau, Ingenieurbau, Strassenbau", Vol.27, No.1, Jan. 1985, pp.34~36.
 9. Ohama, Y., "Recent Research and Development of Sustainable Concrete-Polymer Composites in Japan", Proceedings of the Tenth ICPIIC, Hawaii, Paper No.88, 2001.
 10. Thornton, H. and Alexander, A., "Development of Impact/ Resonant Vibration Signature for Inspection of Concrete Structures", ACI SP-100, Vol.2, 1987, pp.665~680.
 11. Sim, J. and Kim, C. H., "Repair of a Reinforced Concrete Reactor Structure in a Chemical Plant", ACI SP-28, Vol. 2, 1991, pp.1309~1319.
 12. Schiessl, P., "Influence of the Composition of Concrete on the Corrosion Protection of the Reinforcement", ACI SP-100, Vol.2, 1987, pp.1633~1650.
 13. Sidney, M. J., "Deterioration, Maintenance, and Repair of Structures", Mcgraw-Hill Book Co., 1965.
 14. Arthur, P. D., John, C. E. and Trevor, H., "Corrosion Fatigue in Concrete for Marine Applications", ACI SP-75, 1982, pp.1~24.
 15. Nixon, P. and Page, C., "Pore Solution Chemistry and Alkali Aggregate Reaction", ACI SP-100, Vol.2, 1987, pp.1833~1862.
 16. Fujiwara, T., "Deterioration of Concrete used in Road Bridges due to Freezing and Thawing", ACI SP-100, Vol.1 1987, pp.165~175.
 17. Torben, C. H. and Alan, H. M., "Influence of Size and Shape of Member on the Shrinkage and Creep of Concrete", ACI, Vol.63, No.2, 1966, pp.267~290.
 18. Chandra, S. and Ohama, Y., "Polymer Mortar and Concrete", CRC, 1994, pp.94~101, 137~144, 189.
 19. Fowler, D. W., "United States and World Applications", Proceedings of the ICPIIC Workshop on Polymers in Concrete, Bled, Slovenia, 1996, pp.17~20.
 20. Fowler, D. W., "PC Materials, Properties and Applications", International ICPIIC Workshop on Polymers in Concrete, Bled, Slovenia, 1996, pp.37~44.
 21. National Research Council Canada Polymer Concrete, "A Technological and Economic Study", Industrial Materials Research Institute(IMRI), 1986, pp.14~15, 47~48, 117~120.
 22. Ohama, Y., "Recent Progress in Polymer Mortar and Concrete in Japan", Proceedings of the Second EASPIC, Koriyama, Japan 1997, pp.21~25.
 23. Yeon, K. S., Choi, J. D., Jang, T. Y., Joo, M. K. and Choi, D. S., "Physical and Mechanical Properties of Polymer Concrete Using Coal Mine Waste", Proceedings of the Second EASPIC, Koriyama, Japan 1997, pp.217~227.
 24. Yeon, K. S., "Research and Development Trends of the Concrete-Polymer Composites in Korea", Proceedings of the Third ASPIC, Shanghai, China, 2000, pp.64~66.
 25. Omata, F., Tokushige, H., Kawakami, M., Shinoe, O. and Okamoto, H., "Study on Centrifugal Reinforced Polymer Concrete Pipe", Proceedings of the Second EASPIC, Koriyama, Japan, 1997, pp.253~262.
 26. Prusinski, R. C., "The Potential Use of Polymer Concrete in the Long Term Storage of Low Level Radioactive Nuclear Wastes", Proceedings of the ICPIIC Workshop on Polymers in Concrete, Bled, Slovenia, 1996, pp.133~136.
 27. Yeon, K. S., "Development Trends and Present Tasks of Precast Products Using Polymer Concrete", Proceedings of the Third ASPIC, Shanghai, China, 2000, pp.45~63.
 28. Yeon, K. S., Kim, K. W., Choi, D. S. and Kim, K. S., "Research Trends of Concrete-Polymer Composites in Korea", Proceedings of the Second EASPIC, Koriyama, Japan, 1997, pp.13~15.
 29. Kawakami, M., Tokuka, H., Kagaya, M. and Nasu, R., "Precast Reinforced Concrete Pipe Lined with Polymer Mortar", ACI SP-137, 1993, pp.1~20.