

프리캐스트 폴리머 콘크리트의 개발동향

Development Trends of Precast Polymer Concrete Products

연구석* 이봉학** 김광우*** 김태경**** 김관호****
Yeon, K.S. Lee, B.H. Kim, K.W. Kim, T.K. Kim, K.H.

Abstract

There is a limit in manufacturing precast products for the construction industry using conventional cement concrete and precast iron due to many reasons. Therefore, precast product technologies using polymer concrete are widely developed across the world because using polymer concrete can overcome this limitation. This study reviewed and analyzed the trends of development and practical usages of polymer concrete precast products in foreign countries based on selected literatures. It was observed that polymer concrete precast products have been widely used as utility structures, wall and slab members, decoration products, traffic products, hydraulic structures and industry equipments.

1. 서론

세계적으로 볼때 폴리머 콘크리트는 1950년대에 개발되었으며 이는 인조대리석의 제조로부터 시작된다. 건설분야에는 1970년대에 비로소 적극적으로 이용되었으며, 이때는 도로 및 교량의 시멘트 콘크리트 덧씌우기용이나 보수용에 제한적으로 이용되었다.

그러나 그 이후 폴리머 콘크리트의 용도가 다양해져 근년에는 프리캐스트 제품 제조에 널리 응용되고 있으며, 앞으로는 이 분야에서 비약적인 발전이 있을 것으로 전망되고 있다. 19)

이같이 예상되는 근거는 이미 잘 알려져 있듯이 구조물에서 중요한 강도, 기상작용에 대한 내구성, 내약품성, 피로강도, 충격저항성등이 시멘트 콘크리트에 비해 훨씬 우수하기 때문이다.

프리캐스트 폴리머 콘크리트가 활발히 연구 개발 이용되고 있는 나라는 미국, 일본, 영국, 독일을 비롯한 몇개의 국가이며, 우리

나라는 아직 초보적인 수준에 있다.

따라서 이 연구에서는 외국의 프리캐스트 폴리머 콘크리트 실용화 사례를 수집 분석하여 봄으로써 앞으로 우리나라에도 밀연적으로 닥쳐올 프리캐스트 폴리머 콘크리트의 개발을 위한 기초 자료로 제공코져 한다.

2. 개발동향 및 사례

2.1 공공 설비

2.1.1 전기 통신용 맨홀 (6.7.8)

NTT(일본전신전화국)는 1955년부터 구조재료로서 폴리머의 사용에 대한 연구가 진행되어오고 있다. NTT의 Musashino Electrical Communication Laboratory에서는 1960년대에 폴리머 콘크리트에 대한 연구를 시작했다. 다양한 성능 시험, 제품연구, 제조기술개발 등 폴리머 콘크리트와 관련된 모든 것을 일관성있게 수행해왔다.

어러가지 제품들이 실험실에서 기초실험을 통해 만들어졌으며, 폴리머 콘크리트는 1964년 맨홀 구조물에 처음 사용되었다. 많은 NTT의 연구요원, 교토대학, 그리고 제조업체가 공동 노력한 결과 폴리머 콘크리트 맨홀의 공장제품화가 1967년에 이루어졌다. 몇가지의 추가 시험과 상업화 검토를 거쳐 폴

* 정회원 강원대학교 농공학과 교수
** 강원대학교 토목공학과 부교수
*** 정회원 강원대학교 농공학과 조교수
**** 강원대학교 대학원 석사과정

리머 콘크리트 맨홀이 본격적으로 이용되기 시작한 것은 1971년 4월부터이다. 이 폴리머 콘크리트 맨홀은 시멘트 콘크리트 맨홀보다 외부 치수를 20 - 30cm 줄일 수 있고 무게도 1/2 - 1/3정도 작게 할 수 있어 이는 생산, 이동, 보관 및 시공에 유리한 점을 제공해 준다. 즉, 경화 및 양생기간이 짧아 거푸집의 회전율을 높일 수 있고 강도가 조기에 발현되며, 운반비용도 시멘트 콘크리트 맨홀의 1/4 - 1/3이면 된다. 시공시간도 소형크레인을 이용할 경우 30분이면 된다.

이밖에도 폴리머 콘크리트 맨홀은 온천지나 공장부근등 부식성 액체를 접하는 곳에 유리한 것으로 되어 있다. (Fig. 1)

2.1.2 핸드홀 20)

핸드홀은 지하에 배치되는 구조물의 연결용으로 사용된다. 이러한 연결시설은 광섬유 통신선로, 전화서비스 선로나 지하 동력선을 배치하는데 이용된다. 핸드홀은 보통 길이가 30x60cm, 평면이 30x60cm - 75x120cm정도이다. 대규모 핸드홀은 광섬유 간선 연결용으로 사용된다. 폴리머 콘크리트 핸드홀은 일반적으로 그 무게가 동일한 용량을 갖는 시멘트 콘크리트 핸드홀의 1/3 - 1/5정도이다. (Fig. 2)

2.1.3 배수 시스템 16)

폴리머 콘크리트 배수 시스템은 시공현장에 직접 설치할 수 있는 조립식으로 제작된다. 수로는 약 0.65%의 기울기를 갖도록 되어 있다. 이러한 설계요소는 현장설치와 마무리 작업시 필요한 사항이다.

이 시스템은 동결용해와 염해에 대해 우수한 저항성을 가지고 있으며 두사람이 한 조가 되어 짧은 시간에 설치할 수가 있다. 이것은 자동차 정비공장, 농업시설 및 산업시설등에 응용되나 주차장, 테니스코트, 도로 등의 시설에도 이용이 가능하다. 이 시설의 장점은 경사를 정확히 하여 효과적인 배수를 할 수 있고, 배수로 단면을 둥글고 매끈하게 하여 유속을 최대화 할 수 있다. (Fig. 3)

2.1.4 계량기 박스 20)

계량기 박스는 가정용 수도 계량기 또는 가스 계량기에 사용된다. 이것의 크기는 핸드홀과 비슷하다. 계량기 박스에 설치된 뚜껑을 들어 올리면 내부에 장착된 계지를 쉽게 읽을 수 있도록 되어 있다. 계량기 박스는 주거지역이나 상업지역에서 보도, 정원, 대로와 인접된 부분에 설치된다.

2.1.5 수로용 파이프 17)

폴리머 콘크리트 파이프는 마모 및 부식저항이 큰 장점을 가지고 있다. 영국에서는 연간 약 70km의 수로 및 하수관이 이것으로 시공되고 있다. 폴리에스터와 유리섬유를 사용한 보강 플라스틱 파이프가 고압 및 저압 파이프로 제작되고 있다. 일본에서는 시멘트 콘크리트와 폴리머 콘크리트를 사용하여 제조한 복합관에 관해 연구되고 있다. 21) 연구 결과 이와 같은 복합 파이프의 내측은 높은 균열 및 파괴하중에 견딜수 있는 것으로 나타났다.

2.1.6 케이블 채널 및 트렌치 7.20)

폴리머 콘크리트로 만들어진 채널은 무게가 가볍고, 철근으로 보강된 덮개를 사용하며, 손쉽게 설치할 수 있다. Hamburg 철도당국에서는 약 10,000채널정도의 대규모 시설의 시험시공을 하여 이것의 유리성을 확인한 바 있다. 폴리머 콘크리트로 제조된 길이 1m, 벽두께 2cm인 케이블 채널의 무게는 47kg인데 비해 두께 8cm를 갖는 같은 용도의 시멘트 콘크리트 채널은 217kg에 달한다. 3개월에 3,700개의 폴리머 콘크리트 케이블 채널을 생산할 수 있는 시설이 갖추어져 있다.

한편 일부에서는 전력용 케이블 트렌치를 생산하고 있는데 60x90cm, 30x45cm의 단면을 갖는 트렌치가 이용되고 있다. 이는 경량이고 시공이 편리할 뿐아니라 내구적이어서 그 이용이 날로 증가하는 추세이다. (Fig. 4)

2.2 벽체 및 슬래브

2.2.1 샌드위치 패널 9)

샌드위치 패널은 원래 표면부에 베이너판 코어부에 허니콤재를 사용하는 것이 일반적이다. 그러나 최근에는 새로운 재료들이 개발되어 이용되고 있다. 이 가운데 하나가 폴리머 콘크리트를 이용한 샌드위치 패널의 제조이다. 폴리머로 표면부와 코어부를 전부 만들 수 있으나, 코어부는 경질 폼으로, 표면부는 폴리머로 하는 경우가 많다.

이같은 샌드위치 패널의 성질은 표면부 및 코어부의 두께비, 폴리머의 종류, 제작방법 등에 따라 크게 좌우된다. 샌드위치 패널에 있어서 표면부의 기능은 인장, 압축, 휨 및 충격 작용에 저항하는 것이다. 이밖에도 표면부는 내후성, 방수성, 난연성, 낮은 열전도성을 갖어야 한다. 이러한 샌드위치 패널

의 주된 용도는 조립식 건물, 방의 분리벽, 커튼 월, 이동식 방공호등으로 되어 있다.

2.2.2 경량 단열 폴리머 콘크리트 10)

Brookhaven National Laboratory에서는 경량단열 폴리머 콘크리트를 개발하였다. 이것의 밀도는 $480-960\text{kg/m}^3$ 이고, 열전도율은 $95-200\text{ joules}$ 이며, 압축강도는 $7-41\text{ Mpa}$ 이다. 결합재로서 적합한 수지는 폴리에스터, 비닐에스터 및 에폭시이다. 이 재료는 시멘트 콘크리트로 된 천연가스 저장탱크의 벽체나 내부표면의 덧씌우기용으로 개발되었다. 이 재료로 단열 블록이나 샌드위치 패널도 제작할 수 있다.

2.2.3 터널 측벽용 패널 16)

폴리머 콘크리트 패널은 라이닝용 현장 거푸집이나 터널 벽체 보수 및 보호에도 이용되고 있다. 이것의 장점은 고강도, 높은 탄성계수, 우수한 내충격성 그리고 염분, 화학물질, 동결 융해 사이클에 대한 저항성이 크다는 점이다. 더욱이 신속한 시공은 주요한 잇점이다. 패널의 시공은 패널을 설치 고정시키고 이음부를 충전시키며 그 뒷부분을 콘크리트로 채워 넣으면 된다.

2.3.4 슬래브 7)

산업시설 바닥의 마모저항을 높이기 위해 두께 8mm 인 슬래브가 설치되었다. 구조상 표면의 미끄럼 방지가 충분하다. 이러한 슬래브는 1975년부터 유럽에서 대량생산되고 있는데 차량에 의한 마모나 화학물질에 의한 부식이 심한 곳에 효과적으로 사용된다. DIN 52 108에 의해 측정된 마모량은 $4.32\text{cm}^3/50\text{cm}^2$ 이다. 그리고 폴리머 콘크리트로 만들어진 슬래브는 어떠한 색상도 낼 수 있는 장점도 가지고 있다.

2.3 장식재

2.3.1 인조대리석 19)

인조대리석의 제조에 적합한 폴리머는 불포화 폴리에스터와 MMA가 주로 쓰인다. 불포화 폴리에스터 수지를 사용한 인조대리석은 MMA를 사용한 것에 비해 재료비가 저렴하지만 질적인 면에서는 뒤진다. 특히 폴리머를 이용한 인조대리석은 연마나 광택내기가 쉬울 뿐 아니라 선명한 색깔을 낼 수 있고, 절단과 가공이 용이하다. 최근에는 석분이나 골재와 같은 재료의 개발이 다양화됨에 따라 새로운 형태의 인조대리석들이 제조되고 있다.

2.3.2 외장판 2)

판의 치수가 설비조건에 의하여 제한되면 아크릴 콘크리트로 외장판을 제조하는 것이 결코 쉽지는 않다. 개발된 Lechyl facade system은 견고하며, 무게는 30kg/m^2 로서 매우 가볍다. 제조 가능한 치수는 10m^2 또는 그 이상으로 할 수 있다. 이 부재는 부착용 외장판은 물론이고 벽체로서도 이용이 가능하다.

2.3.3 지붕재 15, 17)

프랑스에서는 투명성 폴리에스터 수지를 이용한 슬레이트 모양의 덮개용 패널이 제조되고 있다. 가장 인기있는 제품중의 하나는 고충저택이나 대규모 공공 건물에 사용되는 SAFAMA에 의해 제조된 Ardal cladding system이다.

그리고 최근 10여년간 관심을 끌고 있는 것은 지붕용 경량 타일과 개량 슬레이트이다. 경량 지붕재는 '84-'85년에 설립된 Redlands회사에 의해 생산되고 있으며, 근래에 그들은 Cambrian 슬레이트 타일을 생산하고 있다. 이것은 석분, 폴리에스터 수지, 유리 섬유등으로 만들어지며, 단단하고 30년 이상 방수를 보증할 수 있는 내구성을 장점으로 하고 있다. (Fig. 5)

2.3.4 외장용 패널 및 단열 패널 5)

섬유보강 폴리머 콘크리트를 이용한 외장용 패널 및 단열 패널이 제조되고 있다. 외장용 패널은 두께가 15mm 및 20mm 이며, 최대 패널 치수는 약 3m^2 , 패널 중량은 15kg 두께일때 25kg/m^2 이다. 치수는 운반과 설치조건에 따라 달라진다. 섬유보강 폴리머 콘크리트 단열 패널의 단열 성능은 두께 70mm 의 경우 $0.61\text{ W/m}^2\text{C}$, 두께 100mm 의 경우 $0.33\text{ W/m}^2\text{C}$ 이다. 패널의 중량은 90kg/m^2 으로서 동일한 두께의 시멘트 콘크리트에 비해 70%의 중량 감소효과를 가져오는 것으로 보고되어 있다. (Fig. 6)

2.3.5 벽없는 계단 시설 2)

폴리머 콘크리트로 제작된 계단은 독일에서 처음 공인받았다. 8개의 층으로 구성된 계단은 하중이 $3,320\text{kg/m}^2$ 에 달할 때까지 파괴되지 않는다. 계단의 무게와 360kg/m^2 의 통과하중을 고려해 볼때 이것의 안전율은 6.6이다. 급속으로 보강하면 파괴방지와 더불어 전체적으로 확실한 안전을 보장할 수 있다. 시멘트 콘크리트와 비교할 때 40-50%의 중량감소가 가능하고 조립하기가 쉬울 뿐

아니라 폴리머 콘크리트로 우아한 외관을 만들 수 있다. (Fig. 7)

2.4 교통시설물

2.4.1 도로 중앙 방호벽 3.16)

폴리머 콘크리트 중앙 방호벽은 코어부에 시멘트 콘크리트를, 표면부에 폴리머 콘크리트를 사용하여 만든 것이다. 그러니까 보통 콘크리트는 얇은 두께의 폴리머 콘크리트 속에 채워지는 결과가 되며, 이 표면부는 영구적인 형상을 유지하는데 기여한다. 장점은 건설공사 시간을 단축시키고, 표면이 반사되며, 유지관리의 필요성이 작아진다는 점이다.

이와 아울러 본래의 분리대와 똑같은 모양이 되도록 표피 부분을 폴리머 콘크리트로 제작하여 노후화된 분리대에 씌우므로써 보수하는 공법도 제시되고 있다. 3) (Fig. 8)

2.4.2 연석 2.7)

1974년 폴리머 콘크리트로 만들어진 연석의 Zurich의 중심가에 설치되어 도심지의 각종 악조건에 노출되어 있으나, 아직도 손상에 대한 징후가 없다. 폴리머 콘크리트 연석은 표면이 매끈하여 빗물 등에 의한 자정이 가능하고 색상을 자유롭게 낼 수 있다. 노랑색을 이용한 연석은 교통안전시설로서도 매우 효과적이다.

2.4.3 교량 배수공 7)

스위스에서는 염해를 받아 완전히 파괴된 대규모 교량의 배수공을 폴리머 콘크리트 구조로 대체한 사례가 있다. 폴리머 콘크리트로 120개의 배수공을 제작하여 시공하였던 바 아무런 피해 없이 그 기능을 수행하고 있다.

2.4.4 철도용 시설 10)

영국에서는 철도건널목용 폴리머 콘크리트 패널이 개발되었다. 밑부분에 waffle을 갖는 이 패널은 레일 사이에 놓여지며 교통하중을 전달할 수 있도록 설계되어 있다.

한편 스위스에서는 주요 철도역의 플랫폼 승차대 가장자리 부분을 미끄럽지 않고 과대하중에 견딜 수 있는 프리캐스트 폴리머 콘크리트로 제작 설치한 사례가 있는데 대규모 교통량 소봉에 매우 효과적인 것으로 나타났다.

2.5 수리 구조물

2.5.1 수로용 개거 17)

1970년대부터 유럽에서 폴리머 콘크리트는 지표 배수용 배수로 제조에 주로 이용되어 왔다. 폭 100mm, 200mm, 300mm를 갖는 조립식 수로이며 영국, 서독, 네덜란드, 프랑스, 스위스에서 제조되었다. 이러한 배수로는 동일한 단면적의 시멘트 콘크리트 개거에 비해 절반정도의 무게로 4배의 강도를 갖는다. (압축강도 100N/mm², 인장강도 20N/mm²) 뿐만 아니라 내부 표면이 매끈하여 보통 콘크리트 수로보다 많은 양의 물을 통과시킬 수 있으며, 수로 1개의 칫수를 길게 할 수 있다.

2.5.2 해양 구조물 22)

콘크리트 해양 구조물은 유해한 환경에서 반복하중을 받는 관계로 많은 문제점을 내포하고 있다. 환경조건에는 바닷물과 산소의 결합, 파도의 작용, 결빙등이 포함된다. 내구성은 필수적인데 이는 불투수성, 마모저항성, 캐비테이션등에 의해 좌우된다. 강도는 특히 해양구조물용 콘크리트의 경제성과 실용성에 큰 영향을 끼친다. 높은 압축과 인장강도는 두께와 중량을 줄여주어 수상 구조물이나 선박 제조에 긴장한 잠재력을 제공하고 있다. 뿐만 아니라 프리스트레스트 시린더 파일, 심해용 교량의 교각, 항만 구조물 등에도 응용되고 있다. 해양 구조물에 폴리머 콘크리트를 적용함에 있어서 과다한 노출, 침식, 변형등의 기술적인 문제와 단가 상승으로 인한 경제적인 문제가 존재할 것으로 예견된다.

2.6 산업용 제품

2.6.1 고속 기계 절단기의 받침 12)

독일의 Technical University of Darmstadt에서는 폴리머 콘크리트를 이용한 고속 절단기, 연마기, 선반기등의 받침을 개발했다. 여기에 사용된 폴리머는 PMMA, 에폭시 수지, 불포화폴리에스터 수지이며, 이러한 것들로 제작된 기계받침은 진동이 작고 경제적으로 유리해 27-29%의 비용을 절감할 수 있는 것으로 보고되어 있다.

2.6.2 초정밀 연마기 부품 제조 4.13)

중국에서는 폴리머 콘크리트로 우수한 기계적 성질을 갖는 초정밀 연마기의 받침을 제조하였다. 그것의 중량은 기계 총중량의 50%정도이다. 연마기의 기계적인 성능은 받침의 안정성에 좌우된다. 이를 위해 에폭시, 불포화폴리에스터, MMA를 사용한 폴리머 콘크리트로 받침을 제작하여 주철로 제작한

것과 성능을 비교하였다.

그 결과 폴리머 콘크리트로 제조한 경우 진동수가 200-800Hz로서 주철로 제조한 것보다 훨씬 작아 매우 안정적인 것으로 판명되었다. 이밖에 주철제조시 발생하는 공기오염을 피할 수 있고, 철재의 사용을 절약할 수 있으며, 제조에 소요되는 많은 양의 에너지를 절약할 수 있는 등의 잇점이 있는 것으로 되어 있다. (Fig. 9)

2.6.3 설비의 기초

폴리머 콘크리트는 충격이나 진동에 대한 흡수력이 비교적 우수하며 절연성이 좋다. 이러한 성질을 이용한 프리캐스트 제품이 각종 설비에 이용되고 있다.

대표적인 응용예가 전화장비 및 전력장비의 기초이다. 치수는 1x1 m에서 3x3 m범위에 있으며 무게는 39-45 kg정도이다. 이것은 시멘트 콘크리트 기초보다 얇게 제작할 수 있어 가벼운데 중량은 시멘트 콘크리트로 만든 것의 9-15%정도에 불과하다.

2.6.4 지하 저장고 20)

지하 저장고는 주택 건축시 프리캐스트 제품화 할 수 있는 가장 유리한 부분이다. 지하실에서 중요하게 요구되는 방수성은 폴리머 콘크리트의 특성상 충분히 만족시킬 수 있다. 뿐만 아니라 지하 저장고는 프리캐스트화 하더라도 그 내부에서 필요한 각종 장치를 얼마든지 설치할 수 있도록 제작이 가능할 뿐만 아니라 환경조절까지도 가능하다.

외국에서 이용되는 주택용 지하저장고의 규모는 대략 75x120x60 cm에서 120x250x150 cm정도이며 환경조절 시스템이 있는 경우는 3x3x15 m정도로 비교적 큰 규모도 있다.

2.6.5 화학물질 저장탱크 10)

푸란 수지로 만들어진 폴리머 콘크리트는 화학저항성이 우수하다. 푸란 수지 폴리머 콘크리트의 일반적인 응용은 화학공장 바닥의 덧씌우기용이나 화학물질 저장탱크이다.

그러나 이때는 pH 7이하의 저산성 골재를 사용하여야 한다.

2.6.6 공장 바닥용 블록 16)

바닥용 폴리머 콘크리트 블록은 과대하중을 받는 곳이나 유독한 공장폐수가 있는 곳에 사용된다. 블록의 치수는 2x4x6 inch이다. 블록은 미끄러지지 않는 특성을 가지고 있다. 그리고 바닥부 표면에는 모래로 코팅되어 있어 본래 바닥과의 접착이 양호하다.

여기에 사용된 폴리머 콘크리트의 압축강도 131 Mpa이며, 블록전체가 받을 수 있는 하중은 172 ton인 것으로 보고되어 있다.

2.6.7 가축용 구유 7)

가축의 먹이인 사일레이지는 발효시킨 것이어서 시멘트 콘크리트로 만들어진 구유를 손상시키므로 유럽등 외국에서는 폴리머 콘크리트를 이용하고 있다. 돌로 만든 것은 손상되지 않으나 요구되는 형태로 제조하기가 어렵다. 안정된 상태에서도 Ammonia-alkalin을 발생시키는 폴리에스터 수지는 구유를 제조하는데 적합하지 않으므로 MMA나 에폭시 수지를 사용한 폴리머 콘크리트가 주로 소나 돼지의 구유용으로 사용되고 있다. (Fig. 10)

3. 결론

제한된 문헌 조사를 통하여 나타난 결과를 보면 프리캐스트 폴리머 콘크리트의 용도가 매우 다양한 것으로 나타났다. 즉 공공설비, 벽체 및 슬래브, 장식재, 교통시설물, 수리구조물, 산업용 제품등 여러 부분에서 그 용도가 개발되고 있음을 알 수 있었다.

앞으로 가격이 싸고 성능이 우수한 폴리머 개발이 시도되고 있는 만큼 폴리머 콘크리트의 프리캐스트화는 더욱 활발해 질 것으로 기대된다. 이제 우리나라에서는 건설기술의 선진화를 이룩하고 우수한 성능의 구조물을 확보키 위해서는 건설분야의 신소재인 폴리머 콘크리트를 이용한 공장 제품의 개발에 박차를 가해야 할 시점이라고 사료된다.

참 고 문 헌

1. W.Kloker and E.Dolfen, "Rigid foam light weight concrete based on unsaturated polyester resins", Proceedings of the first ICPIC, London, England, May 1975, pp 378-396
2. P.Koblischek, "Synthetic resin bound concrete", Proceedings of the first ICPIC, London, England, May 1975, pp 409-419
3. J.Laliberte, "Application of polymer concrete in Canada", Proceedings of the fourth ICPIC, Darmstadt, Germany, Sept 1984, pp 45-52
4. H.Schulz, "Statical and dynamical be-

- behaviour of machine tool frames made of polymer concrete", Proceedings of the fourth ICPIC, Darmstadt, Germany, Sept 1984, pp 121-124
5. P. Van Den Berg, "Glass-fibre reinforced polymer concrete cladding panel", Proceedings of the fourth ICPIC, Darmstadt, Germany, Sept 1984, pp 185-188
 6. K. Imamura, K. Toyokawa, N. Murai, "Precast polymer concrete manhole development", Proceedings of the second ICPIC, Austin Texas, USA, Oct 1978, pp 173-186
 7. P. J. Koblischek, "Acryl-concrete", Proceedings of the second ICPIC, Austin Texas, USA, Oct 1978, pp 413-430
 8. K. Imamura, M. Nakano and K. Tsuji, "Resin concrete products in NTT", Proceedings of the third ICPIC, Koriyama, Japan, May 1981, pp 88-98
 9. D. Feldman, "Polymeric building materials", Elsevier Applied Science, pp 194-200
 10. D. W. Fowler, "Status of concrete polymer materials", Proceedings of the sixth ICPIC, Shanghai, China, Sept 1990, pp 10-27
 11. H. Kranenberg, "Worldwide application polymer concrete", Proceedings of the sixth ICPIC, Shanghai, China, Sept 1990, pp 60-64
 12. H. Schulz, "Experience with polymer concrete", Proceedings of the sixth ICPIC, Shanghai, China, Sept 1990, pp 688-696
 13. Z. Naixiong, Z. Zhongyi, C. Changming, C. Jianlong, H. Zhenbin, "The first high precision grinding machine made of polymer concrete in China", Proceedings of the sixth ICPIC, Shanghai, China, Sept 1990, pp 714-717
 14. T. J. Phillips, "A specific polymer concrete for machine structures", Proceedings of the fifth ICPIC, Brighton, England, Sept 1987, pp 127-131
 15. F. E. Spence, "Polymers in concrete Architectural and decorative application", Proceedings of the fifth ICPIC, Brighton, England, Sept 1987, pp 241-250
 16. J. T. Dikeou, "Precast polymer concrete in the United States", Proceedings of the fifth ICPIC, Brighton, England, Sept 1987, pp 251-256
 17. J. Raymond, "Overview of polymer concrete in European community", Paper presented to the 6th international congress on polymers in concrete, Shanghai, China, Sept 1990, pp 1-5
 18. U. Zanxe, "Computer-aided design of precast polymer concrete line-drainage channels", Polymers in concrete: Advances and applications, ACI SP-116, pp 15-26
 19. D. W. Fowler, "Future trends in polymer concrete", Polymers in concrete: Advances and application, ACI SP-116, pp 129 - 143
 20. A. O. Kaeding, "Precast products utility components", ICPIC working papers, ACI, San Francisco, USA, Sept 1991
 21. M. Kawarami, "Strength of polymer composite pipe", Proceedings of the fourth ICPIC, Darmstadt, Germany, Sept 1984, pp 64-69
 22. B. C. Gerwick, "Application of polymers to concrete sea structures", Proceedings of the second ICPIC, Austin, Texas, USA, Oct 1978, pp 37-43

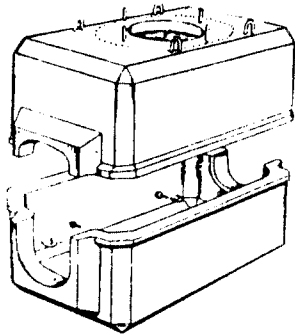


Fig.1 Precast polymer concrete manhole

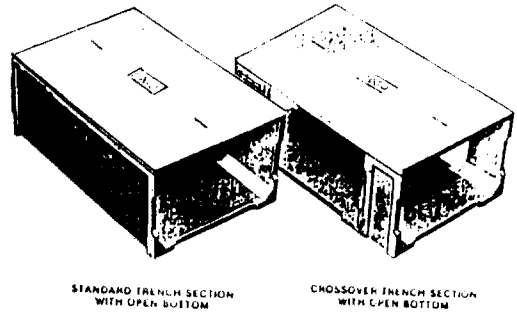


Fig.4 Cable trenches

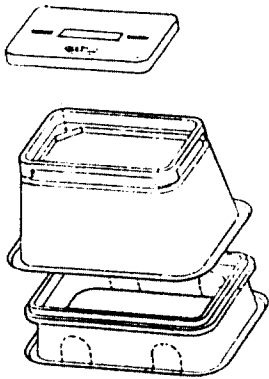


Fig.2 Precast polymer concrete handhole

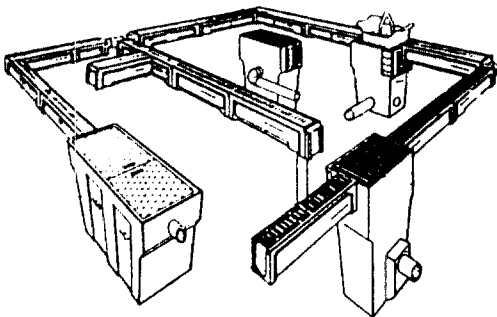


Fig.3 Drainage system

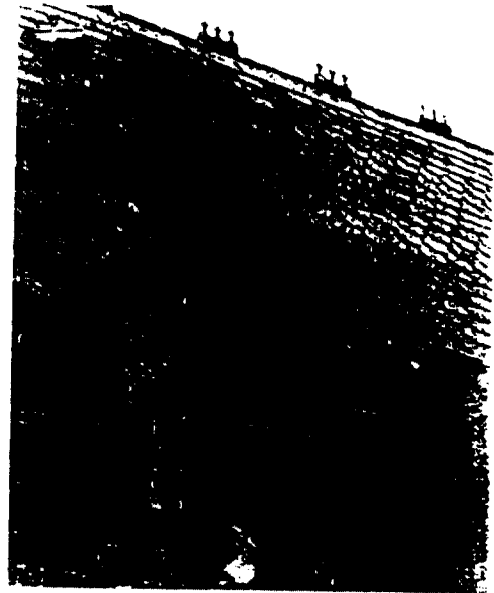


Fig.5 Polymer concrete simulated roofing slates

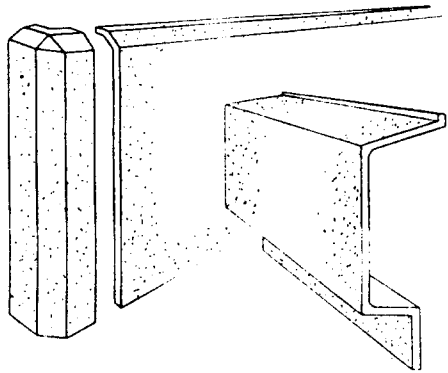


Fig.6 Insulated panels

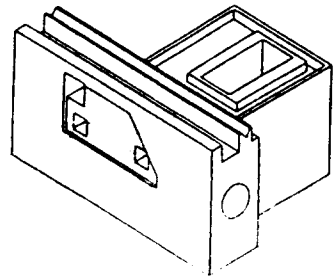


Fig.9 The bed of precision grinding machine of polymer concrete



Fig.7 Staircase units without walls

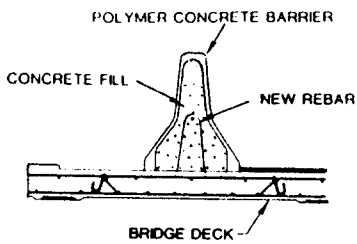


Fig.8 Polymer concrete barrier



Fig.10 Cattle feeding troughs