

일본에서의 폴리머 모르터 및 콘크리트 이용사례 Current Status of Polymer Mortar and Concrete in Japan



연 구 식*

1. 서 론

콘크리트 폴리머 복합체는 폴리머 시멘트 콘크리트 (polymer cement concret : PCC), 폴리머 콘크리트 (polymer concret : PC) 및 폴리머 함침 콘크리트 (polymer impregnated concret : PIC)로 구분된다.

일본에서는 30여년전부터 이 분야에 대한 연구개발이 활발히 전개되어 왔다. 물론 이 기간 동안에 미국과 유럽의 여러나라에서도 꾸준한 연구가 계속되어 왔다. 근년에 이르러서는 PCC 및 PC에 대한 연구에 관심이 높아진데 비해 PIC는 다소 주춤하는 상황에 있다.

콘크리트-폴리머 복합체에 관한 세계적인 수준을 살펴보면 미국과 일본이 가장 앞섰으며, 독일, 영국, 소련 등 여러나라가 그 뒤를 쫓고 있다. 특히 일본은 우리나라와 근접한 나라이며, 여러가지면에서 유사성이 많아 이들에 대한 기술수준 및 이용사례를 파악하는 것은 대단히 중요하다고 생각된다. 따라서 여기서는 3가지의 콘크리트 폴리머 복합체 중 폴리머 모르터와 콘크리트에 대한 일본에서의 이용사례를 조사분석하여 봄으로써 우

리나라의 건설재료 분야의 기술발전에 다소나마 도움을 주고자 한다.

2. 관련기구 및 기업의 활동

현재 일본에서는 JSMS(Society of Materials Science, Japan)와 JTTAS(Japan Technology Transfer Association)가 콘크리트 복합체의 사용에 있어 선구자 역할을 하고 있는데, JSMS는 1985년에 폴리에스터 콘크리트 구조물에 대한 설계지침을 발행한 바 있다. AIJ(Architectural Institute of Japan)에서는 1989년에 폴리머 시멘트 모르터와 폴리머 모르터에 대한 표준시방서를 발행하였으며, JCI(Japan Concrete Institute)는 1987년과 1989년에 폴리머 시멘트에 관한 시험방법과 시공지침을 마련하였다. 일본에서는 시험방법에 대한 표준화 작업도 이루어져 표I에서와 같은 폴리머 콘크리트에 대한 7개 항목이 JIS(Japanese Industrial Standards)에 제시되어 있다.

프리캐스트 폴리머 콘크리트를 생산하는 회사로서 일본 레진 콘크리트 공업회에 소속된 회원사는 18개사에

* 정회원, 강원대학교 농공학과 교수

Table 1. JISs for polymer concretes

JIS A 1181	Method of making polyester resin concrete specimens
JIS A 1182	Method of test for compressive strength of polyester resin concrete
JIS A 1183	Method of test for compressive strength of polyester resin concrete using portions of beams broken in flexure
JIS A 1184	Method of test for flexural strength of polyester resin concrete
JIS A 1185	Method of test for splitting tensile strength of polyester resin concrete
JIS A 1186	Measuring methods for working life of polyester resin concrete
JIS A 5350	Fiberglass reinforced plastics mortar pipes

달한다. 이외에 NTT 납품을 전문으로 하던 Chuo Kozai, Meihan Resin Concrete Industrials 및 Nishinihon Kozai가 1991년 1월 1일 합병하여 (주) SUNREC를 창립하였다. 이 회사의 생산 품목은 맨홀, 핸드홀, 주택용 지하창고, 수도용 밸브박스, 공작기계용 받침 등 12종으로서 합병후 제품 생산의 다양화를 기하였다.

3. 사용재료 및 제조방법

폴리머 모르타르용 결합재는 에폭시 수지, 불포화 폴리에스터 수지, 비닐에스터 수지 및 MMA 모노머인테 폴리머 콘크리트용으로써 일반화된 결합재는 불포화 폴리에스터 수지이다. 그러나 최근에는 MMA 모노머를 사용한 모르타르나 콘크리트는 양호한 워커빌리티와 저온 경화성을 갖기 때문에 상당한 관심을 끌고 있다.

중질탄산칼슘, 실리카 및 플라이 애쉬와 같은 충전재는 증량과 골재의 미세한 부분을 채우기 위해 사용된다. 폴리머 모르타르나 콘크리트에 사용되는 조·세골재는 강자갈이나 모래 또는 부순돌 등인데, 이는 깨끗하고 견고하며 수분 함량이 낮아야 한다고 AIJ사용 안내서에

제시되어 있다. 일본에서는 시멘트 콘크리트용 철근이 폴리머 콘크리트 보강용으로 이용되고 있으며, PC 강봉도 폴리머 콘크리트 보강용으로 사용되고 있다.

폴리머 콘크리트나 모르타르에서 결합재인 폴리머의 양은 대략 9-25 wt.%이다. 폴리머 콘크리트나 모르타르의 성질은 폴리머 결합재의 종류와 골재의 성질에 크게 좌우된다. 결합재의 종류에 상관없이 일본에서 널리 쓰이는 전형적인 중량 배합비는 폴리머 모르타르의 경우 결합재 : 충전재 : 세골재의 비가 1 : (0-1.5) : (8-8.5)이다. 이와 관련된 것으로써 레디 믹스드 폴리머 콘크리트에 대한 배합 설계법이 보고되어 있다.

일반적으로 폴리머 모르타르나 콘크리트는 강제식 믹서에 의해 믹싱하며, 시멘트 콘크리트와 동일한 방법으로 기푸집이나 몰드에 타설한다. 폴리머 모르타르는 표면부 코팅이나 라이닝용 재료로서 이용되고 있다.

폴리머 콘크리트 및 모르타르의 현장 타설은 프리 팩트 타입과 프리 패키지 타입이 널리 이용된다. 폴리머 모르타르나 콘크리트의 중합과 경화는 경화제와 촉진제에 의해 이루어지며, 양생법에는 상온 양생법과 고온 양생법이 이용된다. 실리콘 그리이스, 오일과 에멀존, 파라핀 왁스나 폴리에틸렌 슈이트가 몰드 박리제로 이용된다.

근래에는 폴리에스터 콘크리트 생산에 있어 페플라 스틱을 이용하는 방법이 자원 절약을 목적으로 연구되고 있다. 그리고 프리캐스트 폴리머 콘크리트나 모르타르용으로 일본에서 사용되고 있는 결합재의 생산량은 표2와 같다.

Table 2. Production of major precast polymer mortar and concrete products in Japan

Type of Precast Product	Type of Binder	Number of Manufacturer	Annual Productions (t)
Manhole for cable lines and pipelines	UP	4	20,000-30,000
FRP-reinforced pipe	UP	4	40,000-50,000
Artificial marble	UP and MMA	Ca.25	30,000-35,000

4. 폴리머 모르터의 이용사례

일본에서는 폴리머 모르터용 결합재로서 주로 에폭시 수지, 불포화 폴리에스터 수지, MMA 모노머가 쓰이고 있다. 이 가운데 불포화 폴리에스터 수지는 값이 싸고, 우수한 성능을 가졌기 때문에 콘크리트용으로 가장 많이 쓰인다. 최근에는 워커빌리티가 좋고, 저온 경화성인 MMA 모노머가 큰 관심을 끌고 있다. 그리고 일본에서는 에폭시, 폴리에스터 및 PMMA 모노머가 바닥, 포장, 방식 라이닝, 접착, 방수, 자동 설드 터널이나 슛크리트 시스템에 이용되고 있으며, 파이프나 패널과 같은 몇가지 프리캐스트 제품 제조에도 사용되고 있다.

Taisei사에서는 철근콘크리트 보수용 에폭시 모르터 슛크리트 시스템의 개발에 성공했으며, 1986년 미국에서는 이 시스템이 LNG탱크 시설의 단열용으로 이용되기도 하였다. 수중경화 에폭시 모르터를 사용하여 교각이나 항만에 이용한 예도 있다.

샌드위치 구조를 갖는 FRP-보강 모르터 파이프는 거의 강관과 같은 강도 특성을 갖는다. 이것은 Kubota 사 등 4개사에서 연간 30,000-40,000톤을 생산하고 있다. 최근에는 지름 5.2m의 대형 FRP-보강 파이프도

개발되었다. Zenitaka사에서는 노후된 하수 및 관개용 시멘트 콘크리트 터널에 동일한 단면의 파이프를 사용하여 복구하는 방법을 개발하였다. 특히 NTT에서는 속경성 초조강 폴리머 모르터를 이용한 통신 케이블 선로용 소단면(내경 1,200mm) 굴착공법의 개발에 성공하여 세계적인 관심을 끌고 있다.(그림1 참조) 또한 NTT에서는 경질 폴리우레탄폼을 사용하여 내경 1,200mm인 선로 터널을 뚫는 소단면 자동굴착 시스템도 개발하였다. 이밖에 일본에서의 폴리머 모르터의 주된 사용에는 표3과 같다.

5. 폴리머 콘크리트의 이용사례

일본에서는 폴리에스터 콘크리트가 구조 및 비구조용 프리캐스트 제품제조에 널리 이용되고 있으며, 종종 현장 타설에도 이용된다.

폴리에스터 콘크리트 맨홀이 일본에서 만들어진 첫번째 프리캐스트 구조물이다. 이것은 중량 감소(시멘트 콘크리트 맨홀 중량의 1/3), 운반비 절감, 신속한 시공을 장점으로 하고 있다. Meihan Resin Concrete Industries, Hakusan Resicon, Chuo Kozai, Nishinihon

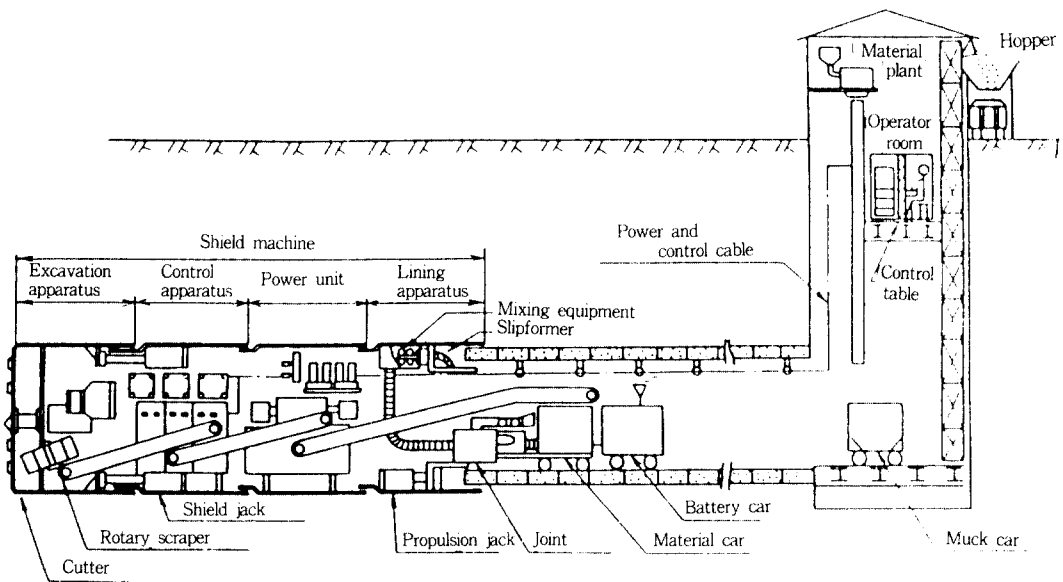


Fig.1 Outline of automated shield tunneling system for telecommunication cable line

Table 3. Applications of polymer mortars in Japan

Application	Location of work
Floorings (including decorative finishings)	Floors for houses, warehouses, offices, schools, hospitals, factories, shops, toilets, passages and stairs, garages, railway platforms, train floors, etc.
Pavements	Roads(footways and traveled ways), bridge decks, foot-bridge decks, parking lots, airport runways, etc.
Anti-corrosive linings	Effluent drains, chemical and machinery floors, grouts for acid-proof tiles, floors for chemical laboratories and pharmaceutical warehouses, septic tanks, electrolytic baths, hot spring baths, offshore structures, e.g., piers and sea berths, etc.
Adhesives	Adhesives for floorings, walling materials and heat-insulating materials, tile adhesives, adhesives for joining new cement concrete or mortar to old cement concrete or mortar, embedment of anchor bolts, etc.
Repair materials	Grouts for repairing cracks and delaminations of concrete structures, patching materials for damaged concrete structures, protective coatings for corroded reinforcing bars, etc.
Integral waterproofings	Concrete roof-decks, mortar walls, concrete blocks, water tanks, swimming pools, septic tanks, silos, etc.
Small-diameter automated shield tunneling system	Telecommunication cable lines, etc.
Precast products	FRP-reinforced polymer mortar pipes for sewage and irrigation systems, FRP-reinforced polymer mortar panels, vibration isolators, artificial marble tiles and panels, etc.

Kozai 등에 의해 연간 15,000-20,000톤 정도가 생산되고 있다. 이들 회사에서는 연결박스(헨드홀)도 동일한 목적으로 생산하고 있다.(현재는 Hakusan resicon을 제외한 3개사가 합병운영되고 있음)

최근에 관심을 끄는 것은 기계설비용 폴리머 콘크리트의 개발이다. 1970년대 후반 일본 기계산업진흥협회의 기술연구소에서 첫번째 개발이 이루어진 이래 이에 대한 연구에 박차를 가하고 있다. 1981년에는 10개 선진회사의 협력에 의해 에폭시 콘크리트 받침을 갖는 원형 연마기를 개발했으며, 이와 유사한 연구는 다른 기관에

서도 수행되고 있다.

폴리에스터 콘크리트를 이용한 테라조 타일이나 패널과 같은 건물의 장식 마감재가 생산되고 있다. 그러나 근년에는 PMMA를 이용한 인조 대리석과 패널이 경쟁적으로 개발되고 있다. 약 25개 회사에서 그것들을 생산하고 있으며 연간 PMMA타일은 2,500-3,000톤, 폴리에스터 타일은 300톤 정도이다.

이밖에 파이프나 패널과 같은 프리캐스트 제품이 공장에서 제조되고 있으며, 폴리머 콘크리트를 이용한 LNG 탱크에 대해서도 연구되고 있다. 그리고 산성수가 유입되는 수력발전소 도수 터널용 방식 라이닝으로서 폴리에스터와 PMMA로 도포된 PS콘크리트판의 개발이 시도되고 있다.

근래에 일본에서 응용되고 있는 주된 폴리머 콘크리트의 사용에는 표4와 같다.

6. 결 론

이상에서 살펴본 바와같이 일본에서는 폴리머 모르타와 콘크리트에 대하여 많은 연구개발 실적을 가지고 있고, 현재도 표5와 같은 내용의 연구개발이 활발히 이루어지고 있다. 그것은 각급 관련기관 및 기업의 체계

Table 4. Applications of polymer concrete in Japan

Application	Location of work
Structural precast products	Manholes and handholes for telecommunication cable lines electric power cable lines and gas pipelines, prefabricated cellars, tunnel liner segments for telephone cables and sewerage systems, piles for port or hot spring construction, machine tool structures, e.g., beds and saddles, FRP-reinforced frames or panels for buildings, etc.
Non-structural precast products	Gutter covers, U-shaped gutters, footpath panels, terrazzo tiles and panels and large-sized or curved decorative panels for buildings, partition wall panels, sinks, counters, washstands, bathtubs, speakers for stereophonographs, etc.
Cast-in-place applications	Spillway coverings in dams, protective linings of stilling basins in hydroelectric power stations, coverings of checkdams, foundations of buildings in hot spring areas, etc.

Table 5. Interesting research and development activities of polymer mortar and concrete in Japan

Topic	Outline
1. Mix design systems of PM and PC	(1) Mix design systems for polyester mortar and concrete (2) Mix design systems for polymethyl methacrylate mortar and concrete (3) Development of ready-mixed polyester concrete
2. Fiber reinforcement of PM and PC	(1) Steel fiber reinforcement (2) Glass cloth reinforcement
3. Use of wet aggregates for PC	Use of wet aggregates having a moisture content of up to 3.0% with silane coupling agent, moisture absorbent and steel fibers, providing improvements in strength and freeze-thaw durability
4. Low temperature durability of PC	Low temperature cure of polymethyl methacrylate concrete at 0 to -20°C
5. Long-term durability of PM and PC	Long-term durability of polyester mortar and concrete under water
6. Automated application systems of PM and PC	(1) Small-diameter shield tunneling system using quick setting polyester mortar or hard-foamed polyurethane (2) Shotcreting system using epoxy mortar
7. Artificial marble tiles and panels	Development of artificial tiles and panels made with polymer pastes with flame-retarding fillers such as aluminium hydroxide and magnesium hydroxide
8. Applications of PM and PC to machine tool structures	Examination on dynamic performance and thermal deformation, and trial production of machine tools

적이며, 부단한 연구활동으로부터 얻어진 결과라고 하겠다.

여기서는 다른 국가의 연구개발 실태를 비교분석하지 않았지만 폴리머 모르타 및 콘크리트의 개발이나 이용에 있어서 일본은 분명히 세계의 상위에 수준에 있다. 우리도 이들 수준에 근접하기 위해 보다 적극적인 사고방식을 갖고 체계적인 연구개발이 이루어지도록 노력해야 할 것이다. 더욱이 다른 산업분야에서는 다양한 첨단 신소재가 개발·생산되고 있음에 비해 건설산업분야에서는 상대적으로 그 개발의 후진성을 느끼게 된다. 이제까지 주종을 이루던 목재, 강재, 시멘트를 이용한 건설 재료의 범주에서 과감히 벗어나기 위해서라도 최근 건설분야의 새로운 재료로서 대두되고 있는 폴리머를 이용한 소재 개발에 적극 나서야 할 것이다.

참 고 문 헌

1. "Polymers in Concrete", SP-40, American Concrete Institute, Detroit, 1973.
2. "Polymers in Concrete", SP-58, American Concrete Institute, Detroit, 1978.
3. "Applications of Polymers in Concrete", SP-69, American Concrete Institute, Detroit, 1981.
4. J.T. Dikeou and D.W. Fowler, "Polymer Concrete-Uses, Materials and Properties", SP-89, American Concrete Institute, Detroit, 1985.
5. AIJ Plastics Concrete Committee, "Guide for Use of Concrete-Polymer Composites(in Japanese)", Architectural Institute of Japan, Tokyo, 1987.
6. AIJ Plastics Concrete Committee, "Research and Development of Concrete-Polymer Composites, State-of-the-Art Report(in Japanese)", Architectural Institute of Japan, Tokyo, 1987.
7. JCI Composite Materials Committee, "JCI Standards for Test Methods for Polymer-Modified Mortars(in Japanese)", Japan Concrete Institute, Tokyo, 1987.
8. JSMS Synthetic-Resins-for-Concrete Commi-

-
- tee, "Recommendation for Design of Polyester Resin Concrete Structures(in Japanese)", Society of Materials Science, Japan, Tokyo, 1985.
9. Y.Yamagishi, H.Tsuruda, S.Sugimoto and S. Anan, "Design of Computer Controlled System for Small Diameter Shield Method and Results of Its Experiments(in Japanese)", Proceedings of the Japan Society of Civil Engineers, No. 361 /vol.2, Sept. 1985, pp.69-78.
 10. Y.Ohama, "Recent Research and Development of Concrete-Polymer Composites in Japan", ICPIC 84 Proceedings, 1984, Damstadt, Germany, pp.21-28.
 11. K.Okada, Y.Ohama, "Recent Research and Applications of Concrete-Polymer Composite in Japan" ICPIC 87 Proceedings, 1987, Brighton, England, pp.13-21.
 12. K.Okada, Y.Ohama, "Current Status and Trend of Concrete-Polymer Composites in Japan", ICPIC 90 Proceedings, 1990, Shanghai, China, pp.28-35.
 13. Y.Ohama, "Worldwide Industry Activities, Standardization Work and Recent Trends in Japan with Concrete-Polymer Composites", ICPIC Working papers, North American Workshop, Sept. 1991, San Francisco, California.