

特輯

“제2세대 페놀 컴포지트”(PC)의 실용화의 길 - 시리즈 (총7편) 中 - 제5편

건설 건축 분야에서의 “페놀 컴포지트”의 구체적 응용기술 개발현황

(주)한국화이버복합재료연구소

大邱 地下鐵 火災事故와 흡사한 16년 전 英國 地下鐵 火災事故에 따른  
嚴格한 BS 規定 強化와 제2세대 “페놀 컴포지트”(PC)의 實用化의 길

|| 목 차 ||

- [제1편] 런던 지하철(KING'S CROSS) 화재사고에 따른 FST 규정(BS) 강화와 불연성 신소재(제2세대 페놀 컴포지트)의 출현  
(강화플라스틱 2002. 7월호 / 2003. 3. 7 번역 배포)
- [제2편] 철도차량의 기존 내장재 (난연성 폴리에스터)와 불연성 신소재(제2세대 페놀 컴포지트)의 설계기술 관점에서 특성비교 분석연구  
(강화플라스틱 2002.10월호 / 2003. 4.15 번역 배포)
- [제3편] 선박해양 분야에서의 “페놀 컴포지트”의 응용기술 개발현황  
(강화플라스틱 2002.12월호 / 2003. 6.15 번역 배포)
- [제4편] 선박해양(오일 리그)분야에서의 “페놀 컴포지트”의 구체적 응용사례  
(강화플라스틱 2003. 4월호 / 2003. 9.15 번역 배포)
- [제5편] 건설건축 분야에서의 “페놀 컴포지트”의 구체적 응용기술 개발현황  
(강화플라스틱 2003. 5월호 / 2003.10.15 번역 배포)
- [제6편] “페놀 컴포지트”의 실용화 검증기술 확립과 ‘안전한 사회’의 실현  
(강화플라스틱 2003. 6월호 / 2003.12.15 번역 배포)
- [제7편] “페놀 컴포지트”의 실용화 검증기술 기초데이터와 수분과의 관계  
(강화플라스틱 2003.10월호 / 2004. 1.15 번역 배포)

|| 번역 배포에 즈음하여 ||

본 자료는 대구지하철 참사 이전, 일본의 전문기술 월간지 “강화플라스틱”의 2002년 7월호부터 2003년 10월호까지 총7회에 걸쳐 연재된 조사연구 보고서를 번역한 것이다

## 페놀 컴포지트 실용화의 길 - 영국의 경우 (CASE STUDY 5)

### How Phenolic Composites were chosen - In Case of England (5)

Kanemasa Nomaguchi\*, Ken L. Forsdyke\*\*, Denver E. Brown\*\*\*

#### ABSTRACT

Other than in the fields of rolling stock and marine, in England, UK, Phenolic Composites (herein after, PCs) have been significantly utilized to fire protecting panels in construction, in particular, in architectures. In general, indeed, so-called “Plastic” or “Synthesized Resins” have been applied successfully in our societies all over the world, however, once, when ignited from somewhat reason, they burn much easily generating large amount of “SMOKE” from their nature of petroleum-borne materials as a matter of fact, people have forgotten about it.

“SMOKE” caused many fire accidents horror tragedies as everyday people know today. The experts in this field such as PC engineers, researchers and others can take their responsibilities to explain it, persuade it and realize “Safer Environment for People” with well-experienced and technology innovated PCs.

In this paper, the co-authors, collaborating UK and Japan, are making efforts to report how the PCs work good jobs to our societies showing some successful track records in construction or architecture fields in UK. How about on this matter in Japan? “SMOKE fire” is always waiting for us. We should stop smoking and SMOKE fire, in our public places.

#### 요 지

페놀 컴포지트(PC)의 실용화에 관해서 세계에서 가장 발전한 영국의 철도차량, 선박주정과 해양 유전시설 등에서의 실적과, 관련한 상황을 조사하고 日英 공동의 집필로 지금까지 4회 본지에 보고해 왔다. 본 보고에서 어떤 재료라도 실용화가 비교적 어렵다고는 것을 알 수 있었다.

금번 호에서는 「건설·건축분야」를 중심으로 영국에서의 「PC 실용화」의 현상을 정리하여 개설한다. 이 분야는 일본 뿐만 아니라 영국, 프랑스, 미국에서도 신 재료가 시장에 진입하는 것은 어렵고, 각 국의 PC 관계자의 교통도 모두 마찬가지이다.

최 선단을 가는 영국의 「PC 실용화」도, 건축으로는 런던 지하철역 구내 화재 사망사고 이래, 지하철역, 학교, 병원, 시영 아파트 등에 「PC」 화재대책으로써 시설이 뛰어나게 보강되어 「세계의 모범」이 되었지만, 지금도 대 지하철가에서 검은 연기 화재에 대한 걱정을 배제할 수 없다.

#### 1. 서 언

이 제목으로 지금까지 본 협회지에 4회, 영국(UK)에 관해서, 영국의 여기저기와 협력해서 조사보고를 해왔다. 앞의 2회는 주로 「철도 차량」, 뒤의 2회는 「선박·주정 해양관계」였다.

이번에는 주로 「건설」과 그 외에 관해서 접근, 영국 관련 사항(영국 복합재료 성형협회,CPA)을 정리해서 보여 드리겠다.

이번에도 Ken L. Forsdyke 씨(Fig. 1)가 본 협회지에 대하여 기고한 주제로 되어 있지만, 그는 이 PC의 영국에서의 「건설」특히 그 중에서도 「건축 용도」에 관해서

\* 플라스틱 사이클링 학회, The Japan Society of Plastics Recycling

\*\* 원 B.P. 케미칼 社, Formally, B.P. Chemical Co.

\*\*\* Formally, GEC Alsthom-Metro-Cammell Limited



Fig. 1 Ken L. Forsdyke.

다음과 같은 견해를 갖고 있다. 과연, 영국은 「런던 지하철의 화재사고」를 계기로 세계에서 처음으로 PC의 실용화를 각 용도로 전개하고 성공하고 있는가? 그 예는 이미 독자가 알고 있는 대로이다. 즉, 「화재 원」이 된 지하·지상의 역구내, 및 차량에서는 철저한 화재 대책과 PC의 이용이 이루어

지고 있다.

하지만 「건축용도」에서는 이하, 본 보고에서 소개할 수 있는 꽤 유명하게 된 PC 실용화 실적의 예는 있다고 해도, 실용화에 관하여 충분하다고 말할 수는 없다.

「건축」에 관해서 「건축의 방화 규정」이 개선되어 왔다고 말하더라도 현실은 지금 PC의 실용화가 진행 중이며, 건축 관계의 「일종의 보수성」은 꽤 간단하지 않다는 견해다. 하지만 사태는 천천히 진전되고 있다.

그의 약력은 잘 알려진 것과 같이, BP 케미칼 사의 PC 실용화의 프로젝트 리더로, 하나의 전 영국프로젝트 = 「PC 실용화」를 추진하고, 지금도 당시의 협력자와의 공동 활동을 수행하고 있지만, 현직은 영국의 FRP협회에 상당하는 「복합재료 성형협회(The Composites Processing Association, CPA)」의 사무국장으로, PC 협회의 운영도 겸직하고 있다. 이하, 그의 기고를 가능한 한 충실하게 번역하였지만, 그의 원문에는 실제로 깊은 의미를 품고 있으며, 장소에 따라서 일언일구도 중요하며, 행간을 읽는 의미도 있으며, 회원 독자의 PC 관계자로 시사에 풍부, 혹은 결정적 정보가 있기에 흥미가 있다.

## 2. 영국에서의 PC 실용화 추진 상황 조사 방법

### 2.1 CPA에 따른 조사

CPA는 1989년에 개조 신 발족한 정부 인정(일본의 사단법인에 상당)의 영국을 대표하는 FRP의 협회이며, 「시장 확대」가 슬로건이다. 회원은 약 200사, 물더가 중심이지만 수지·유리섬유, 그 외의 재료와 성형기·설비·관계대학·연구 기관도 입회하고 있다. PC 물더는 15사 로써 Table 1과 같다. 다른 입회하지 않은 PC 물더도 많이 있다. 본인 역시 그 제조회사에서 여러 가지 정보를 듣고 조사하고 있다.

### 2.2 PC 물더와 조립회사의 조사

일본과 비슷하게, PC 물더는 성형(Processing)전업이 많고,

Table 1 영국의 PC 물더 (15社)

Member No.	Company Name
6	Beard & Cornall Limited
28	W.L.Cunliffe(Southport)Limited
52	Engineering & Glassfiber Developments Limited
60	Combined Composites Technologies Limited
63	Permal Gloucester limited
65	Brecknell Willis Limited
80	Ex-press Plastics Limited
82	Econosto Limited
117	Creative Pultrusions International Limited
155	Tufnol Limited
156	Mitras Composites Limited
177	Hepworth Composites Limited
185	Alderley Materials Limited
193	Composite Fibreglass Moulding Limited
199	Precision Cast Components(Mouldings)Limited

소규모는 두 명에서 대규모는 100단위도 있지만, 일반적으로 성형품을 조립, 회사에 납입하고, 그리고 조립 제작(manufacturing)을 해서 사용자에게 납입하고 있다. 이 조립 회사는 CPA에 입회하지 않았지만, 창조 회원으로써 협력은 하고 있는 것 같다. 이들의 조립 회사는 마지막 사용자와의 교섭에서 마케팅 트렌드에 민감하며, PC실용화에 관해서도 종합적 정보를 갖고 조사에 응해 가고 있다.

## 3. 제2세대 PC 개사(概史)와 현상 - 건축 용도에서의 실용화

### 3.1 제2세대 PC 개사

PC 페놀수지로 말하자면 「합성수지」의 제1호라는 것은 누구라도 알고 있다. 초기에는 송지(松脂)등의 천연수지와 셀룰로이드, 에보나이트라 하는 인조 수지밖에 없었다.

이 페놀수지가 19세기 말에 우선 독일에서 성대하게 개발되어, 지금까지도 유명한 배크라이트 사(Bakelite GmbH)에서 1910년에 시판되었다. 이 수지의 성형품은 지금도 잘 알려져 있는 「배크라이트(bakelite)」라 호칭하며, 이 회사는 지금 세계 최대급 페놀수지 회사가 되어있는 것이다.

시대의 흐름과 함께, 이 수지의 화학적 연구와 응용기술은 점점 발전되어, 오늘날 그 용도·사용량은 적어도 넓은 범위·대량의 것으로 된 것은 알고 있는 대로이다.



Fig. 2 런던 지하철(엘리베이터 홀을 PC 판넬로 시공한 예).

이 수지의 특징으로서, “내열성이 있고, 내연성도 있다”라는 것이 있지만 이것이 최근 1970년대가 되어, 이 특징을 더욱 더 이용하는 연구가 진행했던 것이다.

그것은 즉 유리/페놀 컴포지트(fiber glass) (유리가 주체)라는 제품이다.

이것은 화염에 대하여 적어도 좋은 내성이 있다. 페놀수지 자체는, 강제적으로 불 태울려고 하면 타지만, 꽤 타기 어려운 특징이 있으며, 뭔가 무연제 들을 가하지 않아도 좋다고 하는 점에서 탁월하다.

한편, 불포화 폴리에스테르 수지 등은 경우에 따라 유독한 난연제를 필요로 하며, 이 수지가 얼마나 흥미를 돋을지는 상상이 가능하다. 그리고 최근에 와서 PC 내연성을 충분히 발휘시키는 것은, 유리를 주체로 구성하는 것이 효과적이라고 생각하게되었다.

이것이 오늘날에 있어서도 「내연성 PC제품」 개발의 최대의 포인트이다. 하지만 대부분의 사람이 그것에 그다지 신경 쓰지 않고 있다. 그것은 「이 수지는 어떻게 강제 연소를 해도 타지 않는다」라는 잘못된 생각을 하고, 하나도 그것을 의심하지 않고 맹신해 버렸던 것에서 온 것이다.

바라건데 그것을 뿌리치고, 정확한 이해로 PC제품을 성형하는 것이 중요한 것이다.

그는 이 생각으로 프로젝트를 추진하여, 런던지하철 당국의 내연성 신 규격에 합격하고, PC로 된 엘리베이터 홀 등, 그 외의 공사를 완성시켰다(Fig. 2).

이것이 PC를 건축 용도로 실용화한 실적 제1호이다. 그 후, 건축 용도의 PC에 관하여, 치수 변화와 균열, 표면 장식 없이 도장, 두꺼운 물건의 성형품의 연소시험 시 (Fig. 3-4)의 착화와 폭열 등 여러 가지 문제를 해결하고 PC 실용화에 필요한 기술의 축적을 행했다. 이것의 내용은 BP케미칼에서 공개된 것도, 공개되지 않은 것도 있을 것이다. 수분관계의 연구도 그 하나이다.



Fig. 3 영국 성형공장의 연소시험 예(1). (토치 버너로 케이블 코드를 부착한 PC 판넬)



Fig. 4 영국 성형공장의 연소시험 예(2). (케이블 코드는 타고 PC판넬은 검게 그스름)

당시, 같은 회사 제품의 페놀수지는 상품명 셀본드(Cellbond)라 칭하고, 실용화 가능한 신뢰성 있는 수지로써 소개되었지만 지금도 그 기술력은 세계에서 가장 우수한 것으로 계승되고 있다고, 그는 말한다. 셀본드(Cellbond)는 그 후, 영국 블라그덴(Blagden)사로 이동, 그리고 지금은 미국 보덴(Borden)사로 이동, 동 회사 재래의 Durite와 함께 셀본드로써 판매되어 이어지고 있다.

그리고, 당시의 셀본드를 이용한 건축용 PC로는 유명한 상품명 Phenclad라는 판매가 상시 전시되어 있다(Fig. 5).

영국에서는 잘 알려진 이 「Clad 재료」 또는, 「클래딩 재료」 등이 있다. 클래드(clad)는 「꾸미다」라는 의미로, 보호를 위해 피복하는 것이며, 여기에서 「화염에서 지하를 보호하는 피복재료(도장 보다는 두꺼움)」라는 상품이다.

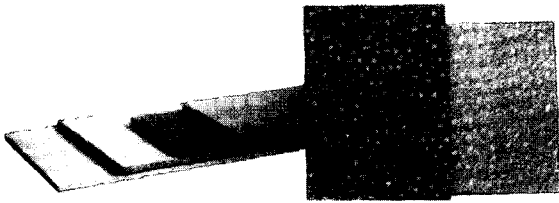


Fig. 5 PHENCLAD 판재의 예.  
(PHENCLAD사의 카타로그에서 발췌)

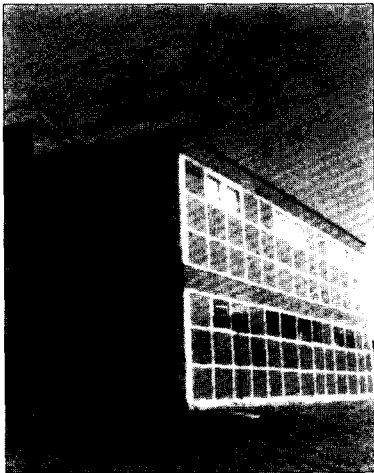


Fig. 6 PC의 건축분야 실적 예.  
(45mm 두께의 샌드위치 판넬의 학교 교사)



Fig. 7 PC의 건축분야 실적 예.  
(고층 아파트의 창문 아래 부분이 PC 판넬)

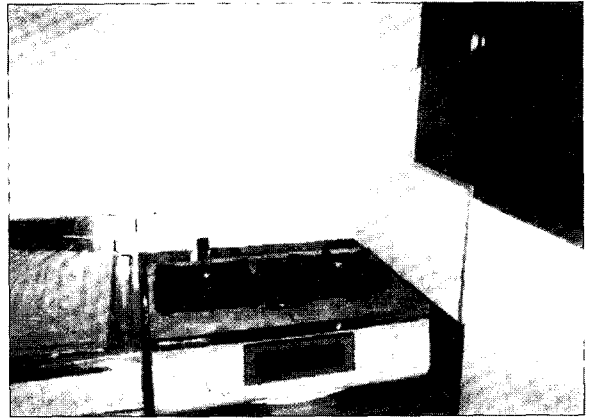


Fig. 8 PC 판넬을시영 고령자 아파트의 방화 목적으로 응용한 예  
(일본).

참고를 위해, 이 재료의 용도, 타 재료와의 특성 비교, 내연성 주제 예를 각각 동사(同社)에서 공개한 카타로그에서 인용하여 Table 2~4에 나타냈다. 또 같은 동사의 카타로그에 제시한 실적 예 사진을 나타낸다(Fig. 6~7).

동사(同社)는 이것에 이어서 Clad판 2장의 사이에 페놀 발포제를 끼우고 샌드위치 재료도 상시하고 있지만. 건축 등에서 「내연성」을 목적으로 하는 경우는, 이 PC제 Clad판이 기술의 기본이 되었다. 이 Clad판의 이용은 일부 일본에서도 시험적으로 행해지고 있다. (Fig. 8)

### 3.2 현장-건축 용도에서의 실용화

제2세대의 페놀수지는 오로지 유리섬유를 이용한 PC 성형용으로 개발되어, 1980년대 초기에 시판되어 당초, 그 용도는 철도차량용, 특히 런던 지하철의 화재 대책용으로 이용되었다는 것은 앞에서 말한 대로이다.

전 보고와 같이, 런던 지하철의 화재사고는 차량화재가 아닌 지하철의 엘리베이터 홀에서 발화한 것도 있고, 역의 지하 구내 및 지하 구내의 건축 재료로서 실용화 되고 있는 것은 주목된다.

이와 같은 과정에서, 영국에서는 오늘날까지, BS476 시험이 건설관계의 기준으로서 움직임이 행해져 왔지만, 최근 이것을 EU 전체로서 검토하고 있는 「연소시험 방법의 일반화」(single burning item, SBI : prEN 13823)와 그 관련 시행규칙(측정방법)의 도입으로 영국도 협력하는 것으로 되어있다.

그리고 영국 PC관계자 그룹은 그 관련 법규인 「prEN 1350-1」의 시험법의 확립에 적극적인 협력을 하기로 결정했다. 이 일련의 일은, 장래 건설사업에 이용할 재료 성능의 양부를 결정하는 중요한 시험법이기때, 충분히 신중하게 검토하지 않으면 안 된다고 판단하고 있기 때문이다.

Table 2 PHENCLAD의 용도

분 야	용 도	내 용
운 송	선 박	객실/승무원실의 내화벽 내장재 알루미늄제 선박의 벽의 내화벽재 기타 선박안의 공통 공간
	철 도	차량 내장판넬, 역의 제 시설
	자동차	보냉차, 콘테이너/박스 적재차, 버스
	항공기	화물 입구의 내장, 객실내 내장재
터널라인	철 도	지하철로선, 역
	철 로	산악지대 터널, 언더패스, 지하통로, 다리
일반산업	식 품	위생관리상 안감과 그레이팅 등, 창고, 도살장, 생선과 가금의 PLANT로 이용
건 설	건 축	그레이트, 파티션 도아, 도아, 단열설비, 벽,천장의 안감
앞바다(근해)	채 굴	거주 모듈, 그레이트, 파티션, 비상탈출로, 보행로, 로카시스템, 저장 지역
기 타	-	사무용 및 개인용 재산보관창고, 발전소, 광산, 레저시설

중래, 영국에서 건설 재료는 BS476의 part 6과 7에서 시험을 하고 그 결과는 건축 기준법(UK Building Regulation) "Class 0"을 항상 합격하지 않으면 안 되었다. 그리고 거기에는 일단계 상위의 철도 차량용으로서는 BS6853 시험이 있고, 그 규정의 "Class 1"에 항상 합격하지 않으면 안되며, 그 때문에 각 회사의 특수 사의 비밀 기술과 노하우에 따라 PC가 설계·성형·제작되어진 것이다. 여기에 영국의 PC기술의 중요한 기술 축적이 있다

EU 통일의 신「연소시험」의 평가 기준은 기대한 대로 제정하면서, 이에 따라서 PC재료가 「인명을 화재 위험에서 지킨다」라고 하는 점에서 중요한 장소의 건설 재료로서 타 재료를 물리치고 대표하는 계기가 되도록 기대하고 있다.

Table 3 PHENCLAD의 특성 예(PHENCLAD사 \*:동사 상표 명).

PROPERTY (특성)	PHENCLAD	FLAME RETARDANT POLYESTER GRP (난연성불포화 폴리에스테르 FRP)		MILD STEEL	ALUMINIUM
		Unfilled	Filled		
density (g/cc) (밀도)	1.4-1.5	1.4-1.5	1.6-2.3	7.8	2.7
Tensile Strength (MPa) (인장강도)	100-150	100-140	30-75	410-480	80-430
Tensile Modulus (GPa) (인장 탄성률)	5.5-7.5	6-7.5	7-19	210	70
Elongation at Break % (인장 신장률)	1.8-2.5	1.8-2.5	0.4-1.7	20-35	3-18
Flexural Strength (MPa) (굽곡 강도)	150-200	150-200	100-125	200 (yield)	65-220 (yield)
Flexural Modulus (GPa) (굽곡 탄성률)	6-8	6-8	6-15	210	70
IZOD Impact Strength notched (kJ/m <sup>2</sup> ) (IZOD 충격강도, notch있음)	65-75	50-60	20-50	-	-
Coeff.Thermal Expansion (. C×10E-6) (열팽창률)	10-15	25-35	18-25	11-14	22-24
Coeff.Thermal Conductivity (W/m℃) (열전도율)	0.20-0.24	0.20-0.23	0.22-0.30	46	140-190
Temp. Index (BS6853) (내온도지수)	>420℃	-	<365℃	>420℃ (Painted)	>420℃ (Painted)
Building Regs (BS 476) (건축기준법등급)	Class I/O	Class I/O	Class I/O	Class O (Painted)	Class O (Painted)
3 Metre Cube Smoke Test (BS 6853) (발연량시험)	Cat.1	FAIL	Cat.2	Cat.1 (Painted)	Cat.1 (Painted)

Table 4 PHENCLAD의 내연성 DATE 예 (PHENCLAD 社).

STANDARD (기준)	GENERAL DESCRIPTION (약칭)	LIMITS(상한)	TEST RESULT (시험결과)	REMARKS (비고)
BS 476 Pt. 7.1987	"Surface Spread of Flame" (표면화염전파)	165 mm in 1.5 mins	NIL SPREAD	CLASS 1
BS 476 Pt. 6.1989	"Fire Propagation" (연소성)	l<12	l=6.1	CLASS 0 overall with Pt.7 (모든 용도 가능)
BS 6853 1987, B.5.2	"Smoke Density" (연기농도)	$A_0(ON)<1$ $A_0(OFF)<1.5$	$A_0(ON)=0.86$ $A_0(OFF)=1.15$	Category 1- suitable for high risk railway rolling stock (높은 위험의 철도차량에 적합)
NES 713	"Toxicity Index" (독성지수)	-	2.02	Category A- suitable for high risk areas (높은 위험의 지역에 적합)

#### 4. 건설(특히 건축)에 PC를 선택한 이유는?

##### 4.1 PC의 가식은 현실적으로 가능하고 문제는 적다

모두 알고 있는 것과 같이 PC는 외관이 본래 「적갈색」이라는 점 이외는, 다른 일반의 FRP와 특히 다른 점은 없다. 그리고 기계적 특성도 불포화 폴리에스테르 수지 FRP와 정적으로도 크게 유사 경향을 나타내고 있으며, 내후성도 기계적 특성의 열화 경향에 관하는 한, 같은 경향을 나타내는 것으로, 총합적으로 우수하다고 말할 수 있다. 또 PC의 색상의 경우, 도장을 하지 않을 경우, 시간의 경과와 함께 산소와 태양광 조사에 따라 진한 갈색으로 변색한다.

종래의 전형적 건자재라 말한다면. 목재, 석고보드, 콘크리트, 철강과 알루미늄 등 이것들을 대체하여 그것 자신의 원래의 색으로 통하고 있으며, 도장도 하고 있기에 PC도 같은 모양, 희망의 색으로 도장한다면 좋을 것이다.

PC 전용의 도료도 개발되어, 이것을 도장했다고 해서 별로 PC제품의 내화성능을 저하시키는 것은 아니다. 각종의 색상, 광택도의 도료가 실제 입수 가능하다. 가장 일반적으로 이용되고 있는 것은 폴리우레탄 수지 Base의 도료로 이것은 「낙서」를 유기용제로 닦을 때, 도막은 그 유기용제에 침투하지 않는 이점이 있다. 또, 아크릴수지 Base 것도 판매되고 있다. 이러한 우레탄 수지계, 아크릴 수지계의 도료는 내후성이 충분히 우수하며, 옥외 도장용 도료와 같은 충분한 내구성이 있다.

PC의 특성을 말하자면, 「성형작업도 용이」하고, 「경량」이고, 「제반 특성도 양호」하고, 「우수한 내화성능」이 일체가 된 재료로써, 이러한 요구조건을 필요로 하는 성형품을 설계·지정하는 입장에서는 알맞은 재료라 말할 수 있으며, 이와 결합할 재료는 우선은 없다고 말할 수 있다.

PC는 종래의 불포화 폴리에스테르 수지 FRP 성형 제조회사의 지금까지 여러 가지 기술을 그대로 사용할 수 있으며, 그 협력을 얻을 수 있는 건축 설계자의 측에서는 큰 설계상의 자유도가 얻어진다는 이점이 있다. PC가 본래 내화성이 있기에 다른 난연제와 충전물을 가할 필요가 없기에 그것만으로 경량이 되며, 또 기계적 강도의 저하도 피할 수 있기에 타 수지에 대하여 유리하다. 그리고 「경량화」 특성은, 구조상 PC 판넬의 지지체도 경량화가 가능하며, 시공 시의 중량 경감화가 가능하다.

또 구조부재의 프레임과 파티션 등의 경우, 예를 들어 알루미늄과 같이 인발 성형법으로 PC도 가능하다. 그리고 PC의 경우, 금속에 비교해 저 열전도율이며, 내화성능도 좋기에 화재연소의 위험성이 비교적 적게되는 점은 이미 언급한 바와 같다.

도장에 관해서도 한가지 더 언급하면, 만약 도료의 도막보다는 더욱 더 확실히 두꺼운 막의 도장을 하고 싶은 경우는 특별한 배합의 불포화 폴리에스테르 수지 Base의 젤 코트를 성형 시의 형태로 도포해서 적층하는 것이 가능하다. 이것 때문에 약간, 「연기」의 발생은 증가하지만, 그래도 비교적 소량이기때문에, PC제품 전체로서의 내화성능에는 큰 영향은 없다.

##### 4.2 내화 성능 데이터

EU 신기준(prEN 1350-1)의 시험 제출용의 시험편에 관해서 다음에 살펴보기로 한다. 보통, FRP는 여러가지의 재료구성으로 자유롭게 만들어져 있다.

이 시험의 경우, 예를 들어 「기계적 특성과 기타의 특성을 일정」 기준으로 해서 시험편을 만드는 것은 별도의 미가 없다. 유리강화 섬유유 FRP는 연소시험에서 타는 것은 수지 만이며, 필라와 같은 충전물 이외의 무기물 분을

Table 5 EU 규격 prEN 13501-1에 따른 도장 PC 시험편 시험결과

Property (특성) (prEN13823)	prEN 13501-1 Requirement for Class B (prEN 13501-1 Class B 요구특성)	Result* (시험결과)
FIGRA (W/s) (연소속도)	~120	36
THR <sub>600</sub> (MJ) (10분당의 발열량)	~7.5	1.6
Flame spread (mm) (화염전파속도)	<1.000	zero
SMOGRA (m <sup>3</sup> /s <sup>2</sup> ) (발연량 증가률)	optional	0.0
Flaming droplets (화염적하)	optional	none
Small flame test (소규모 화염시험) (prEN ISO 11925-2)	~150mm/60s	zero

## [NOTE]

- \* All results are the average of 3 tests.(시험결과는 n=3 의 평균치)
- \* FIGRA = Fire Growth Rate (延焼速度)
- \* SMOGRA = Smoke Growth Rate (발연량 증가율)
- \* THR<sub>600</sub> = Total Heat Release at 10 minutes (10분 간의 전 발열량)

증량하더라도 그것만 타는 것은 어렵게 되는 것은 충분히 알고 있다. PC의 경우, 페넬수지는 본래 내화성이 있기에 대량의 충전물을 첨가할 필요가 없고 무기물은 유리섬유 보강재 만이다.

그래서 「최악의 경우」의 시나리오로 유리섬유와 수지를 2대1로 한 경우를 고려하기로 한다.

이러한 종류의 재료의 경우, 이것은 통상 유리함유량이 최소량에 가까운 경우이다. 시험편 두께는 공칭 4mm, 면적당 중량은 4.57kg/m<sup>2</sup> 이다. 명확하게, 이것보다 유리 함유량이 높다면 내화성능은 좋을 것이다. 이에 이용한 페넬수지는 영국 시장에서 일반적으로 입수 가능한 것을 선정, 핸드레이 업 성형법으로 성형하는 것으로 했다. 실제, 사용한 페넬수지는 페넬-포름알데히드의 레졸형의 수지로 변성하지 않는 것으로 유리 섬유는 스프-스트랜드-매트를 이용했다. 경화 후, 실제 이용 된 것과 같은 도장을 하고 그것을 시험으로 맞추었다. 시험 결과를 Table 5에 나타낸다.

Table 5와 같이 EU의 기준 B에 쉽게 합격하며, EU 각국에서 여전히 건축 기준법의 「연기」와 「화염적하(滴下)」의 규정에 충분히 조정 가능한 결과이다. 실제 「화염적하」가 0 이고, 이 EU 시험방법은 「발연량」도 0 이기에 문제가 없는 것으로 된다.

그리고 비교를 위해, 같은 모양의 시험편으로 BS476 Part 6,7 의 시험을 반복했지만, 영국 건축 기준법의 "Class 0"급에 합격하는 것으로 확인 되었다.

## 5. 영국에 있어서 PC건설(특히 건축)에서의 실적

건축에서의 PC의 실적은 역시 화재에 따른 인명 위험도가 극도로 높은 영역에 한해 있다. 학교, 병원, 역 등이

다. 그렇지만, 영국에서도 아직 범의 준비가 충분하다고 말할 수 없으며, 범규상 내화성능을 강하게 요구하지 않는 영역에서는 불충분한 재료가 계속 사용되어, 화재가 일어나면 결과는 대량의 「발연량」의 공포가 존재하고 있는 것이 현재의 모습이며, 이는 매우 한탄스럽다

“비극이 일어나지 않으면 개선되지 않는다” 그러나, “비극이 일어나더라도 고쳐지지 않는다”

라는 것은 인간 사회의 우둔함에 기인하고, 그리고 반복되고 있는 역사적 사실이다.

영국은 이점에서 그 어느나라 보다 더 한층의 노력을 한 셈이다. 행정 당국 측의 대응의 정도와 책임감이 있었기에 가능했다. 실적으로서는, 첫째로 런던 지하철 「Finsbury Park 역」의 플랫폼 홈과 터널의 천장-측벽에 PC 판넬을 Line (내장재료)로서 교체한 것, 그리고 「리버풀 역」의 에스컬레이터 터널(Fig. 9)의 예가 있으며, 이것은 이미 15년 사용하고 있다. 이외에도 많은 다른 지하철과 철도의 역에도 실용화 하였으며, 그 예는 일일이 열거할 여유가 없을 정도이다.

병원의 실적으로는, 「Saint-Merry 병원」(Portsmouth시)의 두 개의 빌딩의 Bridge Corridor(건너는 통로)로 3층의 높이에 설치되어 있다. 이것은 빌딩에서 화재가 일어났을 시 이 Bridge를 통해 잠든 환자를 긴급 피난하는 통로이다.

PC 이기에 화재가 연소되지 않는 것도 하나의 목적이 다(Fig. 10). 이러한 실적이 영국에서 옆 나라 프랑스에 전해져, PC Clad를 이용한 학교의 개선과 공공시설에 이용되며, 또 미국에서도 공항시설, 해군시설에 실용화하고 있다. 영국 해군도 PC를 군함-잠수함에 이용하며, 특히 잠수함에 「연기」는 중대한 문제이다. PC는 또 고속의 페리와 크루저에도 이용하고 있다.





Fig. 9 런던 지하철(리버플 역) : (에스컬리터 천장의 내장 판넬).

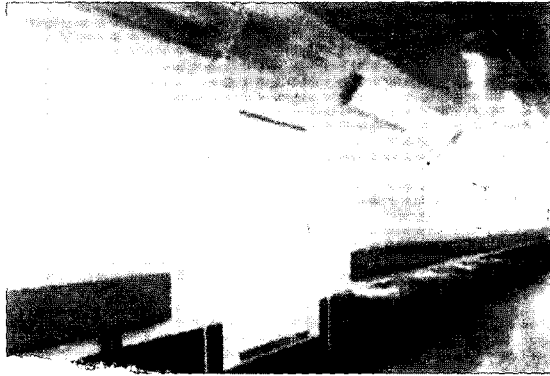


Fig. 10 세인트 메리 병원(포트마우스 시)의 브릿지 코리도어 (상하 전체).

탄광에는 대량의 PC가 FW 공법으로 성형한 환기 덕트로 사용되고 있다. 근래에는 오일과 가스의 채굴사업에서 핸드레일(난간)과 Grid상(그레이팅) 그리고 방폭장치(Blast Protection장치)로 이용하고 있다. 바로 위에서 서술한 응용예, 실적은 실재는 지금 세계에서 넓게 이용되고 있는 철도차량의 PC 판넬 기술이 기초가 되어 있음에 틀림없다.

미국 달라스 포트워스 공항의 「피플-무버즈」는 1980년대 초기에 모두 PC 판넬로 제작되었다. 텍사스 주의 고온과 자외선이 많은 기후에도 장기간 운영이 가능하다. 이것은 페인트 도장한 것이지만 외관도 좋다.

영국에서 개발 제작한 PC 판넬 제품의 열차부품이 런던 지하철에서 시작되어 이탈리아, 독일, 홍콩, 일본, 미국으로 그 실적이 세계로 확대되고 어떠한 문제도 없이 활약하고 있으며, 일단 화재가 발생하더라도 「안전」을 확보하는 것이다.

여기에서 「안전」이라 하는 것은 「저 검은 매연을 대량으로 방출하고, 문개문개 뿜어 되면서 사람을 죽이는 연기」가 거의 나오지 않는 것이다.

## 6 영국에서의 건설 분야에 있어서 PC 실용화의 장래

Ken L. Forsdyke 씨는 이 원고의 끝에서 다음과 같이 서술하고 있다. “PC 재료는 최근 새로운 EU 기준의 시험에도 좋은 성능을 나타내고 있기에, 건설 분야에서 특히 건축 관계의 설계자, 재료 선정자가 공동 시설을 위해서 내화성능의 재료를 신중하게 검토하는 경향이 강해지고 있는 것과 PC는 설계상 자유도가 높고 내화성이 있기에 의장성, 미려한 형상의 조형물과 준 구조부재 혹은 본격적 구조부재로서는 충분히 사용할 수 있다고 보여지고 있는 것이고, 더우기 충전물을 넣지 않고 경량으로 운반이 용이하고, 시공도 그것 만으로 유리하며, 설계 상 경량이며 지지구조의 비용도 적게 해결된다는 이점도 있다. 따라서 PC는 가까운 장래, 건설 건축업계에 큰 영향력을 줄 것이라 믿고, 동시에 사회에 안전의 혁명을 가져오며, 그리고 원가 절감의 잠재력이 숨어있다고 생각된다.”

## 7. 영국에서 PC를 실용화 한 그 외의 화제

필자는 이전, 영국에서 체재하고, Ken L. Forsdyke 씨와 함께 철도차량용 PC 제품을 중심으로 실용화 기술을 연구하고 있었지만, 당시는 각 PC 몰더 사 Table 6의 용도가 주로 철도 차량용이 중심이었다고 생각한다. 하지만 지금 그것을 기초로 해서 선박 건설 등 각 분야에 실용화를 도모하고 있다.

JEC의 COMPOSITES 2003에서 영국의 CPA 협회도 부스를 건설, Beardsworth씨(현 영국 Composit Fiberglass Moulding Limited)도 참가하고 있다(Fig. 11).

그의 말로는 지금까지 보고한 이외에 PC로 Trailer Container 등도 만들고, 또 방탄 판넬(아라미드 섬유 PC)도 늘린다고 말한다. 은행의 카운터 등의 Pistol과 총의 탄알이 관통하지 않는 판넬이 요구되어 안전 비즈니스의 하나가 되고 있는 것이다(Fig. 12).

종래, 철도차량 한 분야만을 전담해 온 「Beard & Cornall Limited」도 건설 분야에 PC를 실용화하고 있다(Fig. 13). 그 하나의 예가 「지붕(기와)」이며 SMC 기와를 했다면 훨씬 재미있을 것이라고 말한다. PC의 방화 칸막이도 상품성이 있다(Fig. 14).

Table 6 영국의 PC 몰더의 예 (철도차량 부품)

Beard & Cornall Limited, W.L. Cunliffe (Southport)Limited, Engineering & Glassfiber Development Limited, Permal Gloucester Limited, Composite Fiberglass Moulding Limited.
--



Fig. 11 David Beardsworth 씨(우)와 필자.

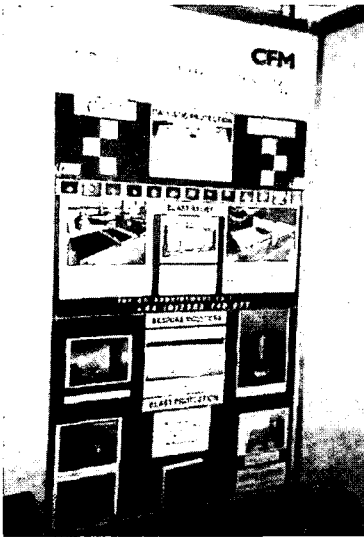


Fig. 12 영국 컴포지트 화이버 글라스 몰딩사'의 BOOTH (JEC COMPOSITES 2003).

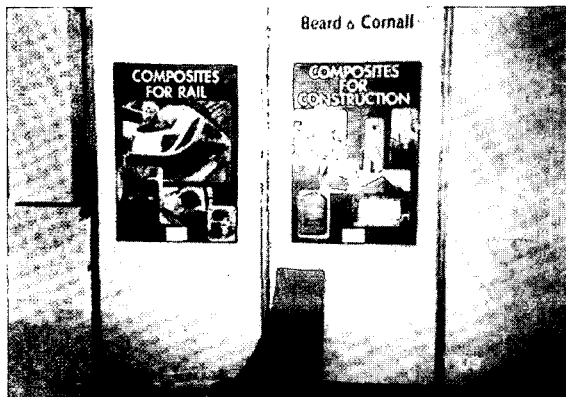


Fig. 13 Beard & Cornall 사의 Booth (JEC COMPOSITES 2003).

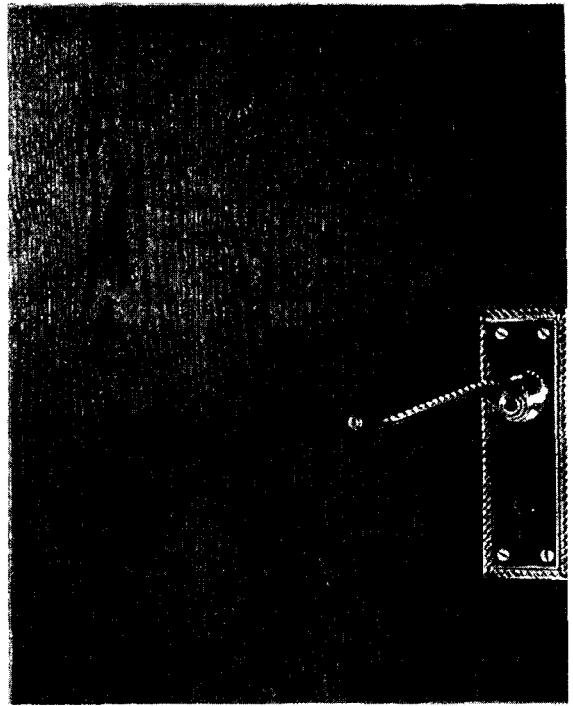


Fig. 14 PC로 만든 방화문의 예(PHENCLAD 사).

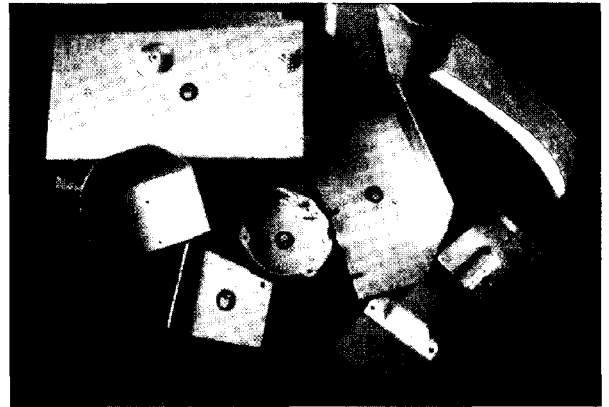


Fig. 15 자동차의 HEAT SHIELD의 예.

영국과 구미에서 실용화하여, 미국 일본에서 사용하지 않는 제품이 있다. 자동차의 「열 보호막」이다(Fig. 15, Fig. 16). 이것은 엔진과 배기계 주변의 차열을 목적으로 하는 제품이며 형상은 다양하다. 이 설계사상은 군용기 등에서 왔다고 말하고 있다. 본지에서는 아직 접촉하지 않았지만 PC의 항공기 용도의 이용도 많으나 여기에서는 지면 관계로 생략한다.

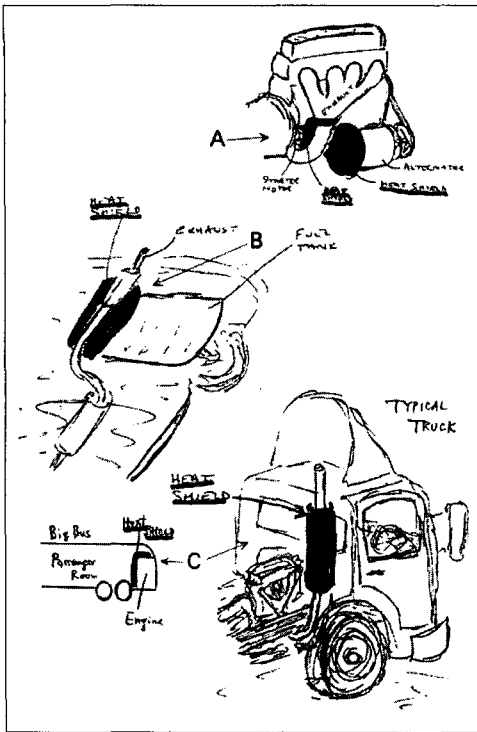


Fig. 16 자동차의 heat shield의 예(forsdyke씨의 설명).  
 A: 엔진 주변부의 전자부품을 열에서 보호  
 B: 연료탱크를 엔진 배기가스의 열에서 보호  
 C: 트럭 및 버스의 응용 예

### 8. 결론

「PC 실용화의 길」을 주제로 필자는 5회에 걸쳐 분야별로 영국의 과거 약 20년 정도(1980년대 초기부터) 간의 진전 상황에 관하여 조사 보고서로 정리해 왔다. 일본은 「PC실용화」에 관하여 사실은 세계에서도 영국 다음으로 꽤 빠르게 (1987쯤) FRP 관계의 식자는 관심을 갖고, 1989년에 당 협회가 조사팀을 영국으로 보내 영국 PC개발의 최고 리더로부터 많은 실적 소개를 받고 견학도 하고 왔다. 그리고 이 영국의 최고 리더가 그 후 2회 일본을 방문하고, 동경에서 상당히 상세하게 설명회를 행하고 많은 참가자가 있었기에 일본에서도 「PC 실용화」는 훨씬 빠르게 진전되어 왔다.

당 협회는 특히 「PC 실용화」 추진의 구조를 산,관,학 간에서 만들어 상당히 활발한 활동을 계속 해 왔다. 대학 연구실에서의 기초 테마의 축적, 중간규모 시제 제작과 그 내열성 시험의 실시, 실제 규모의 제작과 규격안의 검토까지 이루어졌으며, 상당한 시간과 노력이 걸리는 것을

관계자는 잘 알고 있을 것이다. 「PC 실용화」에 관하여 항공·우주 분야에서는 이미 거의 실시 마무리되었지만 이것은 구미의 선단 재료기술 개발의 영향에서 구미 항공기 메이커의 재료지정에 따라 행해진 것이다. 하지만 여기에서 일반 용도로의 실용화 촉진의 영향은 아직 어디에서도 볼 수 없다.

따라서 일본에서의 일반 용도의 「PC 실용화」는 「빨리 착수하더라도 늦게 실행」하는 패턴이 되는 것 같이 보여 PC가 있더라도 실용화는 되지 않고 끝날지도 모른다.

「맹렬한 검은 연기에 따른 인명의 손실·비극」을 동경 시를 시작으로 많은 지역에서 반복, 반복해도 계속 질리지 않는 우행(愚行)을 계속하고 있을지도 모른다. 이 원인은 도대체 어디에 있을까?

일부, 철도차량에서 PC의 채용을 행하고 있지만, 영국과 같이 전면적은 아니다. 건축 관계도 아직 특수한 예이다. 대도시의 대 지하상가에서 화재가 일어나면 어떻게 할까? H英 공동 집필자의 결론은 이렇다.

- (1) 영국에서도 그렇지만 「재해·인명 손실·비극」이 일어나지 않으면 「인간은 일을 착수하지 않는다」는 것을 단호하게 혁신한다.
- (2) 그 때문에 PC 관계자는 「망설임 없이 이 재료가 「국가사회」에 필요하며, 재료업계의 이익과 관계 없이 행정당국 측과 사용자 측 모두를 설득 한다.
- (3) 인간은 “老若男女” 시만·공중이 모이는 장소에서 화재가 일어났을 시 「지독한 검은 연기」 즉, 「매연」이 거의 「연막」이 되는 재료는 빨리 사용을 중지해야 한다.

바로 「자동차의 배기가스 규제」와 유사한 문제이다. 실행하고 모범을 만들어야 하는 것은 아닐까?

(제5편 끝)