

## 特輯

“제2세대 페놀 컴포지트”(PC)의 실용화의 길 - 시리즈(총7편) 中 - 제6편

## “페놀 컴포지트”의 실용화 검증기술 확립과 “안전한 사회”의 실현

(주)한국화이바복합재료연구소

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 6)

### How Phenolic Composites were chosen - In Case of England (6)

Kanemasa Nomaguchi\*, Ken L. Forsdyke\*\*

#### ABSTRACT

As the first modern industrialized country in the world, so England UK was safetyfied from "SMOKE FIRE DANGER" at London Underground as the first country also. Indeed, the quick decision maker of Grate London Metropolitan must be serious, while the technology developing people also so eager in rebuilding safer composite system for public security accumulating basic data at their laboratories. Mr. Ken L. Forsdyke, one of co-authors of this paper, who was the project leader at BP Chemicals International Company at that time, is now telling you some key points adding to the stories he mentioned before in this series, "How Phenolic Composites were chosen". Now, with another article of the basic data, our tales of "In Case England" will be closed. May God save people from "Horror SMOKE FIRE".

#### 요 지

페놀 컴포지트(PC)의 실용화에 관하여 「영국의 경우」에 대한 사례를, 지금까지 5회 본지에 보고했다. 이 이야기는 1987년 11월 18일 런던 지하철의 화재사고의 대책 끝에 채택한 「착화·연소 방지와 화재의 검은 연기·유해가스 발생 방지」에 관한 규정을 강화 시행함으로써 위험으로부터 시민을 지키는 혁신 정책이었다. 런던 지하철 당국의 「단호한 실행」은 영국시민의 지지를 얻어 런던지하철, 영국 국철을 시작으로 지하철 역구내, 선박, 학교, 병원 등 「인간 생명 제일의 장소」에 PC를 차례로 적용해 가는 상황을 보고했다. 이 「PC의 적용」에는 많은 「검증」이 필요했지만 필자의 한사람인 Ken L. Forsdyke 씨는 프로젝트 리더로서 약 10인의 협력자와 함께 「기초 테마의 축적」을 행했다. 이번 회는 그 일부를 소개하고 「영국의 경우」를 최종 정리했다. 그 후 그는 협력한 사람들과 미국으로 옮겨 PC에 따른 「안전한 사회」의 실현에 노력하고 있다. 그의 협력으로 英·美·日의 정보 교환은 더욱 진전되고 있다.

#### 1. 시작

본 보고에서 그 요점을 소개하겠다.

前 보도(1회-5회)와 같이 런던 지하철에서 PC가 안전 재료인 것을 「실증」 혹은 「검증」하기 위해, 기초적인 자료를 제시하고, 더욱 「실용적 면에서의 자료」를 축적하지 않으면 안 된다. 즉 기초가 된 것은 「기본 물성자료」와 「실용 응용 자료」이다.

그는 당시 BP 케미칼 社의 실험실을 중심으로 관계하는 다른 회사와 협력해서 이러한 자료로 수집 정리하고 그것을 순서대로 보고했다. 그 사이 기본적 자료의 많은 것은 본지에서 이전에 소개되었지만, 응용 상 필요한 자료에 대해서는 아직 보고하지 않았다. 「PC 실용화」를 위해서는 이러한 자료와 그것에 대한 이해도 필요하다.

#### 2. PC의 기본 물성 자료

런던 지하철 화재사고(1987년 11월)의 다음 해부터 다음해인 1988-1989년 자료를 정리하여 보고하였기에 상당히 빠른 대응을 한 것이었다. 여기에는 다음과 같은 배경이 있다.

PC의 연구는 실제 이전부터 했으며, 사실은 1982년 (타운톤 寢臺열차 화재 1978년 7월의 4년 후), 「PC의 응용기술 개발」에 관하여 블라이튼에서 발표했다(Table 1). 하지만 이 때는 꼭 이 재료의 시장에서의 위치가 매우 미미하

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

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

Table 1 세계의 대형사고 일지와 PC의 응용기술 개발 경과

(2003. 12. 현재)

	년 도	내 역	비 고
1	1910.03.22	(영국) 스코틀랜드 열차사고 (227명 사망)	충돌, 화재
2	1955.03.02	(한국) 부산역 구내 객차 화재사고 (42명 사망, 48명 부상)	화재
3	1966.09.01	(영국) 여객기 유고에서 추락사고 (95명 사망)	추락, 화재
4	1970.04.08	(일본) 오사카 지하철 화재사고 (79명 사망, 38명 부상)	가스폭발, 화재
5	1971.12.25	(한국) 서울 대연각 호텔 화재사고 (167명 사망, 64명 부상)	화염, 유독가스
6	1972.11.06	(일본) 북 티널 내 급행열차 화재사고 (30명 사망)	화재
7	1978.07	(영국) 타운톤 침대열차 화재사고	
8	1982	(영국) 블라이튼에서 「PC 기술개발」 논문보고	
9	1983	(영국) 해군 NES 기준설정	
10	1987.11.18	(영국) 런던지하철(KING'S CROSS역) 화재사고(31명 사망, 다수 부상자 발생) * BS6853 규정 강화 실시 계기가 됨.	담배 실화
11	1988	(영국) 핀스베리역 PC로 개선. 화재대책 시행 강화.	
12	1989	(일본) 영국으로 PC 사정조사 (OSU 규격 강화)	
13	1990	(영국) 런던 지하철 PC 채용 차량 운전 개시	
14	1991	(일본) 강화플라스틱협회 PC특집 게재. 成田 EXPRESS에 PC사용	
15	1994	(일본) 협회에서 영국의 FORSDYKE 씨 초청 세미나 (2회)	
16	1994.10.27	(한국) 충주호 유람선 화재사고 (29명 사망, 33명 부상)	엔진과열, FRP선체
17	1995	(일본) 협회 PC의 철도차량에의 적용에 관해 집중토론	
18	1996	(일본) JR 동일본 상반성 후렛시 히타치호 일부 부재에 PC 채용	
19	1998	(한국) 홍콩 지하철에 아시아 최초로 BS6853 적용 (*한국화이버)	
20	1999.06.03	(한국)경기도 씨랜드 청소년수련원 화재사고 (23명 사망, 3명 부상)	화염, 유독가스
21	1999.08.02	(인도) 서벵골 주 열차사고(약250명 사망, 1000여명 부상)	충돌, 폭발 화재
22	1999.10.30	(한국) 인천 호프주점 화재사고(56명 사망, 81명 부상)	화염, 유독가스
23	1999.12.03	(한국) 노량진역 객차 화재사고 (새마을호 2량 내장소손)	방화 추정
24	2000.02.19	(인도) 마하라 슈트라 열차 화재사고(18명 사망, 20명 부상)	성냥 실화
25	2000.11.12	(오스트리아) 관광열차 화재사고 (172명 사망, 8명 탈출)	화염, 질식
26	2001.01.17	(한국) 백령도 여객선 화재사고 (테모트라시 2호선 전소 침몰)	기관실발화, FRP선체
27	2002.02.20	(이집트) 열차 화재사고 7량 소손(373명 사망, 65명 부상)	화염, 질식
28	2002	(일본) 미쓰비시 중공업(주) 나가사키에서 건조 중에 선박 화재	
29	2003.02.18	(한국) 대구 지하철 화재사고 (192명 사망, 116명 부상) * 본 사건을 계기로 BS6853 규정 강화 실시 계기가 됨.	방화

게 보이기 시작하고, 수요도 용도도 제한되었다. 하지만 그 후 6년간의 사이, 1988년까지는 PC의 시장개발의 노력이 성행해지고, 英·美·남반구 지역에 실질적인 실적 만들기의 노력을 하기 시작했다. 따라서 런던 지하철 화재사고의 대응은 「기다림」의 태도로 가능하다고 말할 수 있다.

이하의 자료는 지금과, 1980년대의 역사적인 고전적인 자료이며, 어떤 것은 약간의 시험방법·조건도 그 후 변하고 있지만, 그래서 그는 공표를 주저했지만, 여기에 개진하기로 한다. 연구개발이라는 것은 탐색의 연속이기에

처음부터 완전한 것은 거의 없다. 하지만 자료는 거기에 불만스러운 점이 있어도, 진실을 나타내고 있기에 개발자에 있어서는 보물이다.

## 2.1 PC의 내연성

재료에 관하여 기준의 내연성 시험(연소상황, 발연량, 독성가스의 발생)은 「일반 연소시험」과 각각의 사업 분야별·용도별에서의 「특수한 시험」과 분리되어 다양한 구분의 시험이 있다.

2.1.1 일반 연소시험

이 시험에서의 PC의 연소 거동은 Table 2와 같이 잘 알려져 있다. 관련 사항을 정리해서 나타낸다.

Table 2 PC (CSM 사용, 유리 함유율 35중량%, 핸드레이 업)

TEST(시험)	Method(시험방법)	Classification(등급)
Fire Propagation Test (연소 시험)	Building Regs.B2,3,4/ BS 476 pt.6	Class 0
Surface Spread of Flame (화염전파 시험)	BS 476, PT.7, NFP 92-501 DIN 4102 NEN3883	Class 1 M 1 B 1 class 1
Oxygen Index (산소 지수)	ASTM 2863	45-80%

2.1.2 일반 발연량 시험

소위 NBS SMOKE CHAMBER에서 여러가지의 FRP가 연소 시 발생하는 발연량의 최고 농도(광학적 투과량)의 측정에 따라 평가하고 있다(Table 3). 한층 더 고려를 한다면, 「발연량」의 발생속도가 최고 농도보다도 더 중요하다. 화재 초기의 대피와 관련되기 때문이다. Fig. 1과 Table 1은 FRP 연소 시 발연량의 발생속도를 나타낸다. 이 그림은 오늘날 상당히 알려진 그림이지만 새롭게 여기에 넣도록 한다.

Table 3 각종 FRP의 NBS CHAMBER에 따른 발연량 비교

Material(각종 FRP)	Smouldering (발 연)	Flaming (화염)
Fire retardant polyester to BS 476 Pt.7, Cl.1/33% wt csm	500	750
Phenolic resin/35% wt csm	40	75
Epoxy resin/35% wt csm	-	885
Phenolic resin /53% wt woven roving	-	5
Acrylic/ATH System	-	99-109

2.1.3 특수한 연소시험, 발연량 시험

2.1.3.1 BS 6853, 1987

이것은 영국 기준의 하나로 「철도 여객차량의 설계·제작의 시공 기준」이다. 런던 지하철 당국에서 개발한 「2단계」, I 과 II(1급과 2급에 해당)의 재료를 시험결과에 따라 등급 분류를 하고 있다.

등급의 I의 재료는 다음의 여객차량에 적용하는 것으로 한다. 예시하면 지하 혹은 고가를 주행하는 것, 寢室차량, 각종 무인운전 열차 등이다.

이 기준 BS 6853에 따른 재료의 시험결과를 Table 4에 나타낸다. 이 결과와 같이 런던지하철의 새로운 규정에 PC는 적합하고 이 재료를 이용한다면 좋은 것은 명백하다.

Table 4 BS 6853(1987년) 시험결과

Material (재료)	3m cube smoke test (A)		Flammability temperature
	OFF	ON	
Category I requirement for London Underground Interior Exterior	<1.5	<1.0	>350°C <50 mm travel
	<3.0	<2.0	
Phenolic GRP (60% resin)	0.98	0.68	>350°C nil travel
Painted Phenolic GRP	1.5	1.0	
Typical FR polyester GRP	ca.100		-
Best Polyester DMC (ca 20% resin)	ca.12	ca.10	-

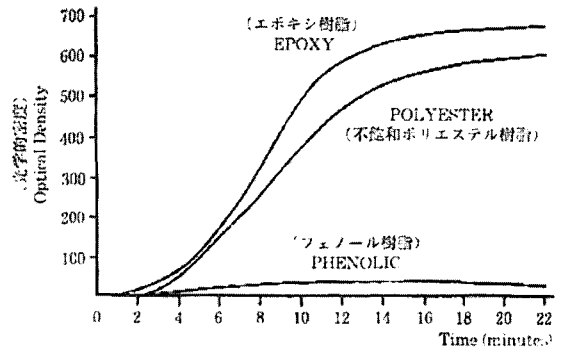


Fig. 1 NBS 발연량 CHAMBER (발연).

2.1.3.2 해군 공창 기준(NES)

영국 해군에는 HM 함선에 사용하는 재료등급 분류기준이 있다. 이것은 NES 705 「연소 특성에 따른 재료의 선정」(1983년 5월 2일 발행)이며, 이중에서 「특급 A」는 가장 엄격한 내화성능의 것으로 되어있다.

Table 5에 특급A 요구성능과 PC 시험결과를 나타낸다.

2.1.3.3 항공기용 부재 기준

AIRBUS 기준(ATS 1000.001) 오하이오 주립대학 시험법

Table 5 PC의 NES 내연성 시험 결과 예

Test(시험)	Unpainted Phenolic GRP	Painted Phenolic GRP	NES 705 Cat.A. Spec
NES711 Smoke Index	1	4	<50
NES 713 Toxicity Index	3.9	4.7	<5
NES 714 Oxygen Index	80.2%	68.8%	>30%
NES 715 Temperature Index	>420°C	>420°C	>200°C

Table 6 ATS 1000.001에 의한 PC(도장품)의 시험결과

Test (시험)	Phenolic Panel	Requirement
Flammability, Vertical	0.24"	<6"
Smoke Generation : 1.5min	5	<100"
: 4.0min	25	<200

Table 7 PC의 OSU 시험 결과

Laminate (시험편)	Test (시험)	Result(결과)	Requirement (요구성능)	
			1988	1990
Plain (미도장품)	Total Heat Release (KW.min. m-2)	25.7	<100	<65
	Peak Heat Release (KW. m-2)	48.2	<100	<65
Painted (도장품)	Total Heat Release (KW.min. m-2)	26.0	<100	<65
	Peak Heat Release (KW. m-2)	39.3	<100	<65

(OSU)에 따른 PC의 시험을 행하고 있다. FRP 성형 재료의 조성·배합 등이 미묘하게 결과에 영향을 미치지만 「헬리콥터 창 주변부」의 부재에 대한 시험결과 자료를 정리하였다.

(1) ATS 1000.001 시험결과

본 건에 관하여는 동 기준 제4항 「가연성, 발연량 농도」에 규정이 있으며, 재료는 PC로 육박 경량십재 유리 로빙 직물 표면에 도장 완성한 것이다. 결과를 Table 6에 나타낸다

(2) OSU 시험 결과

동일한 세부 규칙의 FAR 25.853 para. a-1에 따라 실시했다. CAA의 비교적 새롭지만 엄격한 요구 성능으로 「항공기용 적격 재료규정」 제 61호에서는 「화재 시 항공기 부재의 발연량」을 구분하고 있다.

Table 7에 항공기 내장부재(1988년 사양 및 1990년 사양)로써의 요구 성능에 대하여 PC(도장품, 미도장품)의 시험결과를 나타내었다. 이와 같이 PC 도장품은 CAA 요구 성능(1990년 사양)에 용이하게 적합한다.

Table 8 NBS 연기시험에서의 가스분석 결과

Gas detected (검지 가스)	Without Flame (ppm)	With Flame (ppm)
CO <sub>2</sub>	300	5000
CO	50	100
HCL	0	0
SO <sub>2</sub>	25	100
NO <sub>2</sub>	0	0
NO	0	0
NH <sub>2</sub>	0	0
HCN	0	0
Formaldehyde	0	0
Phenol	0	0

2.1.4 화재 시의 연소 생성물

유기물질이 연소하면 이산화탄소, 일산화탄소, 수분 발생이 있다. 이 사이 산소가 부족하면 이산화탄소 대신 일산화탄소가 생성하고 이것을 사람이 흡입한다면 혈액의 산소 호흡기능을 방해하기에 독성을 나타낸다. 일산화탄소는 극히 적을 때만 사람이 피난 가능하지만 일정량 이상은 치명적이다.

통상 화재가 발생한다면 매트릭스 수지의 연소에 따른 독성 가스가 퍼지면서 위험해지기에 그 방지를 위해 「난연제」로써 할로젠 화합물과 안티모나를 재료에 가하기도 한다. 하지만 이것도 강한 화재 때문에 「난연제」가 연소한다면 할로젠 화합물은 할로젠의 산과 여러 가지의 산화물이 되며, 안티모나도 산화물이 되어 전부 사람에게 대하여 유해 성분으로 변화하여 위험이 있다.

또 더 나쁜 것은 이와 같은 경우로 인해서 다량의 발연이 발생되는 것이 많기 때문이다.

이 점, PC는 상기 항목(2.2.1~2.2.3)의 기준에 대하여 「난연제」를 첨가하지 않고 합격하기에 좋은 것이다.

결국 본인도 함께 수행했던 시험에서 Table 8의 결과와 같이 PC에서는 독성 가스의 생성은 아주 적었다. 이산화황은 PC의 수지 경화촉매의 유기 설폰산의 분해 생성물이지만 문제는 적다.

前記 항목(2.2.3.2)의 NES 713의 독성지수 Table 5는 가스농도와 독성계수의 합산하여 지수를 산출하고 있지만, 이 산출에서 가장 독성이 강한 것을 「중첩」하게 된다. 이 NES 705라는 엄격한 기준에도 PC는 충분히 합격하고 있다.

2.2 PC의 기계적 특성

이것에 관하여는 이미 많은 보고가 있으며, 본 보고에서는 이것을 반복하지 않고, 정리하자면 PC는 불포화 폴리에스테르 수지 FRP와 통상의 온도 범위(상온)에서는 기계적 특성은 비슷한 거동을 나타내낸다.

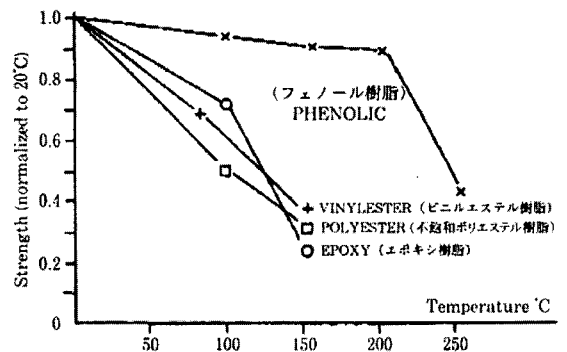


Fig. 2 고온(상온-250°C)에서의 굴곡강도.

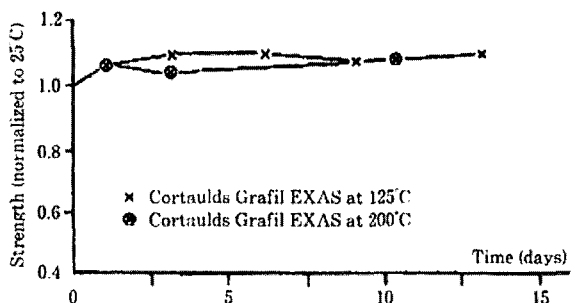


Fig. 3 125°C, 200°C 유지 후 굴곡강도(25°C 측정, 초기값을 1.0 기준).

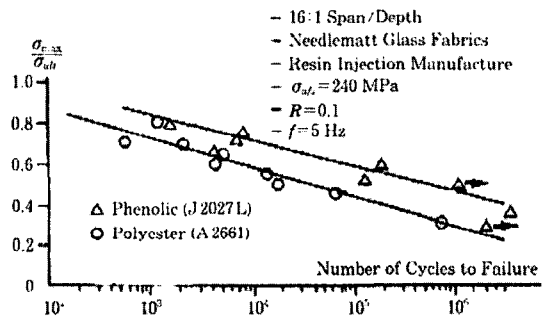


Fig. 4 굴곡강도와 피로시험(3점 굴곡시험).

2.2.1 고온 영역에서의 기계적 특성

고온 영역(상온에서 180~200°C까지의 범위)에서의 PC의 중요한 기계적 특성은 대부분의 타 종의 열경화성수지 FRP에 비교해서 확실하게 우위이다(Fig. 2).

또 Fig. 3에서는 CFR로 된 PC의 125°C, 200°C 고온 장기간 침지결과를 나타낸다. 최근 다른 200°C 유지 시험에서 최초 1시간에서 굴곡 강도 유지율이 30% 저하한 경우가 있지만, 이 경우도 그 후는 그대로 그 이상의 저하는 없고 장시간 그 온도에서 그 유지율을 유지했다.

2.2.2 장기 기계적 특성, 피로특성

굴곡강도의 피로 특성시험은 5Hz로 10<sup>7</sup>회 행하고 있다(Fig. 4). 대체로 불포화 폴리에스테르 수지 FRP와 같은 성능을 나타내고 있다. 또 국립 기계연구소에서 탈 이온수 중에서의 응력파괴 시험을 했지만 PC와 불포화 폴리에스테르 수지 FRP 각각의 측정치 사이에 10<sup>7</sup>초(3년 62일)의 범위로 큰 격차는 보이지 않았다(Fig. 5). 최근 공기 중 및 수중에서 같은 시험을 바스대학에서 행하고 있으나 결과는 같다.

2.2.3 유리섬유와의 친화성

상기와 같이 PC의 시험결과가 충분히 받아들일 수 있는

것이며, 타의 FRP와 비교해서 손색이 없는 것으로 되었는데 대하여 현실의 시장에서 이 산 경화형 PC용의 특수한 유리섬유 강화재는 입수가 가능하지 않았다.

시험과 시제 작업에서는 수작업으로 했다. 그 사이 어떤 유리섬유는 에폭시 수지용과 불포화 폴리에스테르 수지용에 sizing과 마무리를 하고 있는 것의 중간에서 좋은 것이 발견되었다. 하지만 가장 좋은 것은 아직 발견되지 않았다, 만약 가장 좋은 유리섬유가 발견된다면, 더욱 더 좋은 PC의 성능 자료가 보고 가능할 것이다.

2.3 PC의 내환경성 시험결과

본 절에서는 주요한 결과를 다음에 서술하겠다. PC는 철도 차량과 선박, 항공기 등, 일반의 FRP와는 다른 용도에 사용되어 보통 필요로 하지 않은 특성 자료도 정리하고 장기간 성능을 확인 할 필요가 있다.

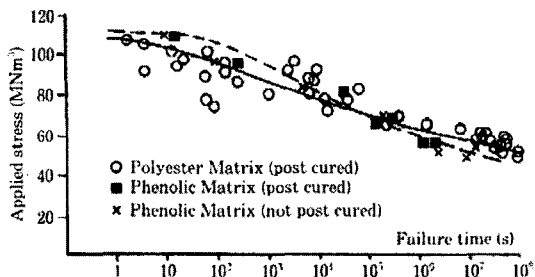


Fig. 5 탈 이온수 중에서 PC(CSM)의 응력 파괴시험 결과.

2.3.1 내약품성(탄화수소 화합물)

운송 분야에서 이용하는 각종 액상물질에 1년간 침지하고 굴곡강도와 굴곡 탄성률의 유지율을 구했다(Table 9).

강도 유지율 자료는 PC를 상온 경화한 경우보다도 후경화(post cur)한 방법이 좋은 것으로 나타나고 있다.

Table 9 운송분야에서 이용하는 각종 액상물질 중에서 1년간 침지

Fluid (각종 액상물질)	% Retention after 1 year (1년후 유지율)	
	Flexural Strength (굴곡 강도)	Flexural Modulus (굴곡 탄성률)
Petrol	97.5(a)	95(a)
Lubricating oil	80(a)	81(a)
Fuel oil	97(b)	94(b)
Kerosene	94(b)	91(b)
Saturated salt soln	85(a)	100(a)

[Note] (a) Samples cured at ambient only  
(b) Samples cured using recommended cycle

2.3.2 저온 특성과 동결 용해 특성

CSM의 PC를 온도 -26°C에서 1달간 유지하고 그것의 굴곡강도와 인장 도를 상온에서 측정했다(Table 10).

**Table 10** 온도 -26℃에서 한달 간(4주) 유지 후의 기계적 특성 유지율 (측정: 상온)

Property (특성)	% Retention of Original Value (유지율 %)
Flexural Modulus (굴곡 탄성율)	96
Flexural Strength (굴곡강도)	90
Tensile Modulus (인장 탄성율)	114
Tensile Strength (인장강도)	108
Tensile Elongation at Break (인장 파단시 신장률)	105

**Table 11** 온도 -26℃~상온의 동결 용해(15회) 시험결과

Property (특성)	% Retention of Original Value (유지율 %)
Flexural Modulus(굴곡 탄성율)	92
Flexural Strength(굴곡강도)	92
Tensile Modulus(인장 탄성율)	101
Tensile Strength(인장강도)	104
Tensile Elongation at Break (인장 파단시 신장률)	86

측정치는 초기치의 측정 오차 내에 있음 더할 나위 없다. 그리고 3mm 두께의 PC시험편을 다음과 같이 처리했다.

- 30분 전면 수증 침지.
- 1시간, 온도 -26℃ 냉동 유지.
- 상온에서 용해.
- (a)에서 (c)까지를 합계 15회 반복.

이 처리의 결과를 Table 11에 나타낸다.

### 2.3.3 내염수 분무 특성, 내습성, 내후성

3mm 두께의 CSM 적층판을 BS 3900의 조건에 따라 염수분무, 내습시험기, Weatherometer에 넣고 유지한다.

**Table 12** 내염수 분무 특성, 내습성, 내후성 시험결과(BS 3900)

Hours (유지시간)	% Retention of Original Value (유지율 %)					
	Salt Spray		Humidity		Weathering	
	S	M	S	M	S	M
500	103	107	98	112	-	-
1000	86	98	84	100	95	109

500시간 후, 1000시간 후 시험편을 꺼내어 굴곡강도를 측정한다. 1000시간 조사는 옥외폭로 약 2년에 상당한다 (Table 12).

이상과 같이, 본 절의 PC의 내환경성 시험결과에서 이 PC재료는 철도차량과 도로 주행의 자동차 등의 바닥재료로도 사용 가능하다. 그리고 내열성도 충분하기에 엔진에

가까운 부품과 엔진 룸 내의 적용도 충분히 가능하다.

## 3. PC의 실용화 상의 문제점과 대책

본 절에서는 앞 장(2)에서, 앞 보고까지 서술한 PC의 기본물성 자료를 보충하며, PC 실용화 추진 결단의 기초가 된 자료를 정리하여, 협회 독자의 편의를 도모하려고 한다. 이 기초 자료로부터 영국에서 실용화를 발전했을 때와 마찬가지로 일본에서도 나타난 문제점을 도출했다.

그 하나는 「표면가식」이고, 다른 하나는 「변형」이다. 「변형」은 성형 현장의 숙련 작업자의 노하우로 해결되어 가고 있지만 「표면가식」은 특별한 배려가 필요하다.

### 3.1 표면 가식

운송 분야의 예를 들어 철도차량 등은 여객이 심리적으로도 쾌적한 기분이 들도록 표면가식이 필요하다. PC는 원래 적갈색이며 염료를 넣어도 「밝은 색을 장기간으로 안정하게 유지한다」는 것은 불가능하다. 결국 PC의 위에 도료를 도장해야 하는데, 이것이 PC의 내연성의 원활한 진행을 방해하는 결과가 되는 것이다. 하지만 현재로서는 이것을 없게 바른다면 우선 해결한다고 말하는 것으로 지금 실용화하고 있다.

#### 3.1.1 성형 후의 PC 표면의 후 도장

이 방법은 주로 영국의 트리마이트.페인트社에서 개발된 것으로 런던지하철 차량 내장용으로 BS 6853(1987)의 요구항목(내연성, 발연량, 독성가스)에 적합한 것으로 설정되어있다.

PC 성형품 표면의 작은 구멍을 충전제로 봉인하고 다음에 2액형 에폭시 수지계의 프라이마를 35-55 마이크로 두께로 칠하고, 건조 후 2액형 아크릴 수지계 Top coat를 24-25 마이크로 메타 도장한다. 이렇게 해서 도장, 가식의 PC성형품의 성능특성을(Table 13-15)에 나타낸다. 내후성 자료는 미국 달라스 포트워스 공항내 에어트랜지트 시스템 (공항 내 터미널 연락전차)의 차체외판에 적용했으며, 표년 수치는 5년 사용 후의 자료이다.

이 도장제로 상기의 런던 지하철차량 내장의 BS6853은 물론 BS476 Pt.7 의 Class1, 그리고 또 BS 476 Pt.6 (영국 건축 기준법의 Class 0 화재시험)을 충분히 합격했다.

#### 3.1.2 인 몰드 도장

“현재 이 방식은 개발 중이다” 라고 1988-1989년 당시의 보고서에 적혀져 있다. 그 후 필자들은 이 방식으로 PC 성형품을 성형하고 있지만 상세한 것은 다음 기회에 보고하기로 한다.

Table 13 PC에 트리마이트 페인트 社의 도장계에서 도장한 시험편의 내후성과 내마모성

TEST (시험)	METHOD (시험방법)	RESULT(결과)
2000 h weatherometer	BS 3900 F.3	No colour change, chalking or loss of gloss
250 h 100% humidity	BS 3900 F.2	No blistering or gloss change
500 h warm salt spray	ASTM B 117	No blistering or gloss change
500 h cold salt spray	BS 3900 F.4	No blistering or gloss change
500 h fresh water immersion		No blistering or gloss change
500 h salt water immersion		No blistering or gloss change
Emmaqua, Arizona 3 months		Result equivalent to aircraft quality two pack urethane CS 17 wheel, 1kg load loss 0.1g after 100 revs
Abrasion resistance(Taber Abrader)	BSAU 148 Pt.4	Excellent
Adhesion test, cross hatch	BSAU 148 Pt.3	Excellent
Chipping resistance	BSAU 148 Pt.15	Excellent
Scratch hardness	BSAU Pt.E.2	Passes 2000 g
Pencil hardness	BSAU 148 Pt.6	ZH-3H

Table 14 PC에 트리마이트 페인트 社의 도장계에서 도장한 시험편의 내약품성 시험결과

Resistance to (내약품성)	No effect after (결과)
MEK	20 rubs
Acetone	20 rubs
Coffee	24 hours contact
Cola	24 hours contact
Mineral oil	24 hours contact
Ink	24 hours contact
Petrol	24 hours immersion
10% Hydrochloric acid	24 hours contact

Table 15 PC에 트리마이트 페인트 社의 도장계에서 도장한 시험편의 포트모타 社 시험결과

Test(시험)	Description (시험조건 설명)	Result (결과)
Ford EU. B17-2	16 h humidity at 30°C 4 h freezing at -30°C 2 h ambient 2 h at 65°C	No film degradation after 20 cycles
Ford EU. B17-3	Thermal shock test 4 h Water immersion at 35°C 4 h freezing at -30°C 15sec, steam jet at 40mm distance, giving temp 75-80°C	No degradation of film

#### 4. PC의 실용화-실적 예

1988-1989년 당시의 보고서 기재분 만 하더라도 상당히 많다. 어떤 것은 이미 전에 보고했지만 당시의 보고서에는 한 층 상세한 실적 예의 배경에 관해서도 접촉하고 있었지만, 본 보고서에서는 지면상 문제로 「기초 자료」 정리에 한정했다. 따라서 다음 보고 기회가 주어지면 가능한 범위에서 보고하겠다.

#### 5. 맺는말

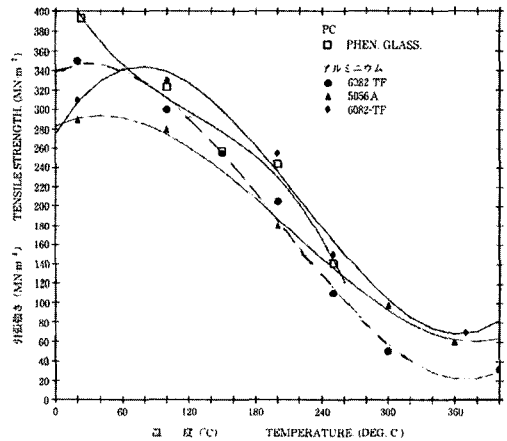


Fig. 6 알루미늄과 PC의 온도에 따른 인장강도.

이상 6회에 걸쳐 PC의 실용화에 관하여 「영국의 경우」에 대한 사례연구를 보고해 왔다. 이와 같이 영국은 「인명존중」을 제일로 하는 관점에서 이렇게까지 노력하고 있으며, 그것은 지금도 계속되고 있다.

FRP는 「가볍고 강함」이라는 특징이 있지만, 세간에서 「내열성은 알루미늄에 떨어진다」든지 「리싸이클 성이 떨어진다」든지 하는 이야기가 있다. 하지만 구미일본도 「리싸이클」에 관해서는 일단 결론을 내어 현실적으로 「리싸이클」을 공업적으로 실시하고 있다. 이것은 더욱 더 홍보해야만 할 것이다.

또 「알루미늄보다 내열성이 낮은 것은 아닌가?」하는 의문에 대하여 Ken L. Forsdyke 씨는 자료를 보내왔다(Fig. 6). 과연 240°C 정도까지 손색이 없다. 그리고 240°C 이상은 PC도 알루미늄도 모두 같은 거동이다. 거꾸로 알루미늄은 열전도율이 높기에 방화용에는 부적합하다. PC 넓게는 FRP는 열전도율이 낮고 단열성이 있으며 따뜻하며 따라서 인간의 주변 재료로써 목재와 같이 적합하기 때문이



다. 그리고 PC는 「타기 어려운 목재」와 같은 목재로 활용되고 있는 것을 기다리고 있는 것은 아닐까?

본 보고서를 정리하여 다음의 결론을 내린다

- (1) 영국 다운톤 寢臺열차 화재사고(1978년 7월)에서 약 25년, 런던지하철 화재사고(1987년 11월)에서 약 15년 경과하고, 철도 특히 지하철의 차량화재 대책에 관해서는 영국을 시작으로 미국, 일본의 대책은 진행 중이며, 올해 한국 대구 지하철 화재사고의 반성에 따라 이후 더욱 더 추진될 것이다. 여기에는 영국의 실용화 노력의 성과가 크게 공헌하고 있다.
- (2) 선박과 항공기, 그 외 다른 해상의 오일 리그 설비 등에서도 영국의 실용화 노력이 세계 각국의 관계 업계에 좋은 영향을 주고 있다.
- (3) PC는 착화하기 힘들어, 예를 들어 착화하더라도 「발연량」이 작고, 「독성가스」도 미량이기에 안전한 경량 단열재료이며, 목재 대신 인간 주변재료인 것을 영국은 1988~1989년쯤에 검증 하였다. 그리고 이 PC가 천천히 신뢰성이 인식되어, 실용화의 길이 넓게 개척되고 있다. 영국의 공헌은 컸다. (제 6편 끝)