

特輯

“제2세대 페놀 컴포지트”(PC)의 실용화의 길 - 시리즈 (총7편) 中 - 제7편

“페놀 컴포지트”의 실용화 검증기술 기초데이터와 수분과의 관계

(주)한국화이하복합재료연구소

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 7)

### How Phenolic Composites were chosen - In Case of England (7)

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

#### ABSTRACT

Beside fire resistance, for Phenolic Composites(here-in-after PCs), in actual, moisture resistance are also needed when they are applied to components in wet uses such as in Naval vessels and in off-shore operations where direct water contact may be expected. PCs have so-called “Micro-porous” when they are made by normal GRP manufacturing techniques, which causes much larger amounts of water absorption in them to higher level of around 7%. So, this figure, which indicate impending disaster in a polyester matrix laminate, has made some specifiers suspicious of the effect of the water on mechanical performance of PC in “wet” service. To solve this problem, a large amount work has been carried out by workers in UK and US. This paper is an attempt to explain that the effect of the high water absorption of PCs is not the disaster that some “prophets” may foretell. Let’s open our next door for better society much safetyfied by our own efforts with PCs. like in UK.

#### 초 록

페놀 컴포지트(이하 PC라 약칭)의 실용화에 대해서, 세계에서 가장 빠르게 실용화한 「영국의 경우」에 대해서 본 보고서를 포함해서 함께 7편을 보고했다. 제1~2편은 런던 지하철 화재사고 대책을 중심으로 세론과 행정 측의 민첩하고 신속한 대응이 시민에게 「검은 연기와 유독가스의 화재사고」를 일어나지 않도록 하는 「안전」을 보장한 이야기를 2회 보고했다. 제3~4편은 선박주정, 해상 오일리그 등 역시 「화재가 발생하면 도피하기 어려운 장소」에서의 실용화 상황, 제 5편은 그 응용으로써 「건설」 특히 「건축」용도에서의 실용화에 대해서 영국사회의 노력을 서술했다. 그리고 제 6편과 본편에서는 그 실용화 과정에서, 지금까지 겪은 시행착오의 기술적인 기초 데이터의 수집과 초기 실적과정에서의 어려웠던 이야기를 서술한다.

#### 1. 서론

PC를 세계에서 가장 빨리 실용화한 영국의 당시 프로젝트 리더인 Ken L. Forsdyke 씨가 본 협회지에 본 보고서에서 7회 기고한 대로, 「영국의 경우」에 대해서 꽤 잘 알 수 있게 되었다고 생각한다. 전회에 이어서 금회도 실용화를 지탱하는 기술적 기초 데이터의 숨은 이야기, 어려운 이야기, 그리고 초기의 실적 예를 Ken씨가 코멘트를 붙여서 소개한다.

전회는 당초의 기초 데이터에서 일부 실용화를 위한 데이터를 소개하였지만, 금회는 실용상, 재료의 문제가 되

는 수분과의 관계에 대해서 검토한 데이터를 집중적으로 보고한다.

Ken 씨는 「PC의 수분 흡수와 기계적 특성」의 논문의 머리말로 다음과 같이 서술하고 있다.

「PC는 방화용과 내열용으로서 그 위치를 구축하고 있다. 일반적으로 수분-온기가 적은 곳에 이용하는 때는 도료를 칠하는 정도면 충분히 좋다. 그러나 선박주정과 해상 오일리그 등, 물과의 접촉이 있는 경우에 대해서는 PC가 7 중량%정도 흡수한다고 말하고 있기 때문에 설계자는 이 재료의 채용은 위험하다고 말한다.

이것이 종래 FRP 였다면, 큰 문제라고 생각되어지지

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

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

않기 때문이다. 이 때문에 흡수 시의 PC재료의 기계적 특성을 여러 가지 각도에서 검토하고, 데이터를 구하고 실증할 필요가 있다. 대서양을 끼고 있는 영국과 미국에서는 많은 기초 데이터의 집적(集積)이 되고 있다. 그러나 이런 데이터는 모두, 담당자가 회사 내에서 자자들 개발 업무를 위한 것이기 때문에, 가능한 공통의 이야기를 정리해서 많은 방법으로 참고가 될 수 있도록 해야 한다. PC의 흡수 현상은 「마이크로 포로시티」(微少한 구멍)에 따른 것이지만, 이것보다 다른데도 흥미가 있을만한 특성이 있는 것 같다.」 이 기초 데이터의 끝 부분에서 Ken씨의 의견을 진술한 영국 초기의 실적 예를 개관한다.

## 2. 상온에서의 흡수와 PC 특성

여기서 상온이란 실온 혹은 동계와 한지 등의 저온의 영역의 것으로 이해하는 것으로 한다.

### 2.1 PC에 응력이 걸리지 않는 경우.

수년 전, 영국 기계연구소는 「산 경화형」의 PC의 기초 데이터 축적을 위해, 먼저 「주형품」에 대해서 검토했다. 이 판상의 「주형품」에는 「PC」(FRP)의 경우와 동일한 형상의 「미세한 구멍」(마이크로 포로시티)가 포함되어 있다.

이것은 (A) 원료의 페놀 수지중의 「수분」 및, (B) 이 수지가 경화한 때, 방출한 축합수에서 나온 「수분」, 그리고 (A)와 (B) 양쪽의 「수분」에서 생기는 「구멍」이다. 이처럼 「구멍」은 앞의 보고서에서 논의해 오고 있는 「제 2세대의 페놀 수지」 특유의 것이고, 종래의 「제 1세대의 페놀수지」(100℃ 이상에서 가열경화)의 경우에는 거의 보이지 않는 것이고, 따라서 이 거동, 특성에 대해서 기초적 연구가 필요한 것이다.

이 연구결과를 정리한 것이 Fig. 1 이다. 시험편의 두께는 2.5mm이지만, 실험실 상온 공기 중에서 방치하면 약 12%증량 감소하고 있다. 그리고, 수중 침침한 것은 동일 시간으로 약 0.35%증량이 증가하고 있다. 이처럼 방출한 수분량은 많지만, 수중에서의 흡수량은 비교적 적다.

다음에 한가지 더 실험을 하였다(Fig. 2). 일정한 시험편을, (i) 증량감소가 없어질 때까지 「100℃ 감압건조」했다. 다음에 (ii) 증량감소가 없어질 때까지 「상온(25℃) 수중 침침」한 것이다. Fig. 2에서처럼 100℃ 감압에서는 이론치의 약 24%의 증량감소가 보인다. 또 흡수(재흡수)에서는 약 21%증량도 있는데, 이것은 이 재료의 실측치이다.

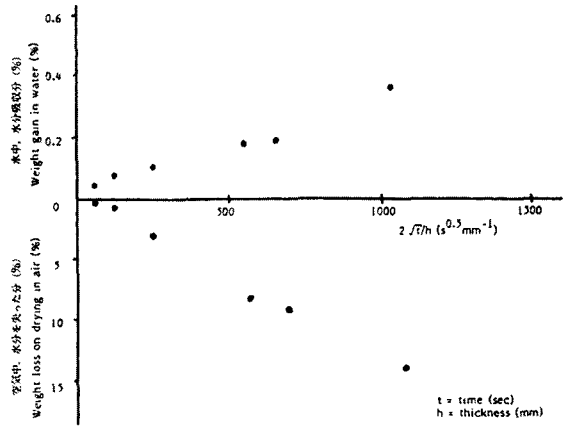


Fig. 1 페놀수지 시험편을 수중에 보존시 수분 흡수량(%) (중양선 위)과 공기 중에 보존시 수분 상실량(%) (중양선 아래).

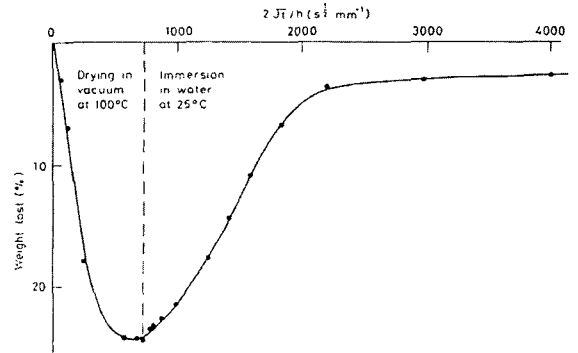


Fig. 2 페놀수지 주형품을 시험편으로 해서, 이것을 100C 진공 하에서 건조 후 수중 침침한 경우, 증량변화를 플로트한 그림.

「흡수」 및 「수분의 방출」은 이 경우도 명확하게 소위 「확산 현상」으로써 이해된다. 그리고 여기서 「수분 이외의 또 무엇이 3증량%의 것이 시험편에서 없었다.」라고 말하는 결과와 원료수지-축매-시험편 제조방법과 감압 건조조건 등과의 관계도 논의해야 하지만, 여기에서는 이 데이터의 소개에 그친다.

이후 「PC로의 물의 침투확산에 대해서 정량적 검토」는 하지 않았지만, 한편 수지 제조회사가 「PC에 대한 수증기 확산속도」에 대해 검토를 하고 있다.

Fig. 3에서처럼 시험편의 수증기 확산량은 유리함유율(증량) 0~100%의 사이로 이론적으로 생각했다. 유리 함유율 0 일때, 수지 자체만의 투과율인 100%에서 투과율 제로로 될 것이다. 수증기 투과율은 각각의 방법으로 여러

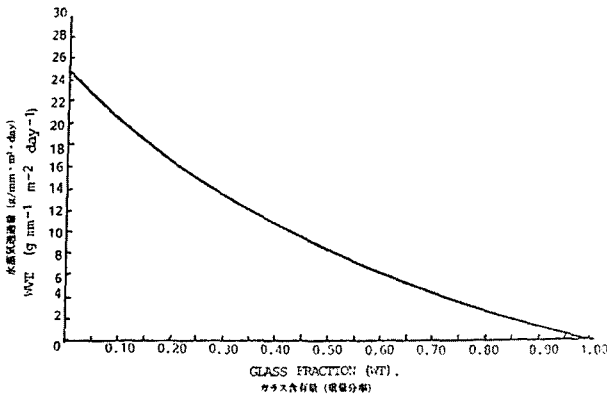


Fig. 3 페놀수지/유리섬유의 적층판의 경우, 유리섬유 함유량(중량 비율)과 수증기 투과량과의 관계.

가지 플라스틱 재료에 대해서 측정 가능하고, 각각 측정치에 대한 보고도 있다.

예를 들면 「경질 폴리 염화 비닐」은 61.4[g·mm-1·m-2·day-1], 저밀도 폴리에틸렌은 8.5[g·mm-1·m-2·day-1]이지만, PC의 경우, 유리 함유율 40중량%의 것은 10[g·mm-1·m-2·day-1]이었다. 이 수치에서 보면 PC는 생각한 정도보다 수증기 투과율은 높지 않고, 걱정은 적다고 말할 수 있다.

먼저 「PC의 상온흡수」의 문제에 대해 이야기를 돌리면, 포드 모터사에서 2개의 보고서가 나와 있다. 이것은 Table 1에서처럼 유리 구성은 동일한 모양으로 5종류의 매트릭스 레진에 대해서 「300시간 흡수에 따른 영향」을 기계적 특성을 측정·평가해서 비교하고 있다.

이런 5종의 수지의 「흡수량 곡선」을 Fig. 4에 표시했다. 예상한 대로, 시험편 D (PC)의 흡수량은 5종 중, 가장 많지만 다른 3종의 비닐 에스테르 수지, A, B, E는 그 정도 동일수치를 나타내지 않고, 오히려 넓은 폭이 나타난다.

Table 2에 300시간 수증 함침 후의 인장강도와 압축강도의 감소율을 보인다. 여기서 300시간이라는 것은 각 시험편이 충분하게 흡수한 시간이라고 생각해서 실험을 하고 있다. PC는 인장강도의 초기치에 대해서 감소율이 16%로서 최하위으로써, 이 정도 수준의 감소율이라고 말할 수 있는 것이다.

“PC의 실용화된 용도는 반드시 침적된다” 라고 국한하지는 않지만, 포드 모터사는 「염수분투 시험」 결과를 발표했다.

Table 1 시험에 사용한 수지 및 그 기호와 내용, 시험편

시험에 사용한 수지의 기호와 내용	
기호	내용
A	비닐 에스테르 수지, 저점도 그레이트, 내부 이형제 첨가제.
B	비닐 에스테르 수지, 상기 A와는 다른 제조회사 제품이지만, 강도 동일
C	코포리마 형 하이브리드 수지, 이소시아네이드/포리올 형
D	페놀수지, 산 경화형, 저점도 그레이트
E	비닐 에스테르 수지, 고성능 그레이트, 내부 이형제 첨가제

주1) 어느 경우도, 성형법은 RTM을 선택하기 때문에, 저점도 그레이트를 이용하고 있다.

주2) PC로 하는 때의 유리구성은 다음과 같다.

서페이싱 매트 층 : 0/90/CSM (츙드 스트랜드 매트) 콤비네이션 매트.

수지량은 200g/m<sup>2</sup>, 시험편의 양측에 배치.

내부의 츙드 스트랜드 매트 층 : 소위 일반의 CSM 층을 2층 만들었다.

따라서 전체로 해서, SMMS의 구성으로 했다. 시험편 치수는 1/8인치 3.2mm두께, 유리함유율은 47-53중량%

Table 2 300시간 수증 침적 후의 기계적 특성 보존율의 저하분(%)

Matrix Resin 수지	%wt. Water Absorption 수분흡수량 (중량%)	Tensile Ranking 인장강도의 랭킹		Tensile 인장강도		Compressive 압축강도	
		Orig. 초기	After 침적후	Strength 강도	Modulus 탄성율	Strength 강도	Modulus 탄성율
A	ca. 0.2	1	1	2	2	12	ca. 4.
B	1.8	3	3	7	Nil	23	Nil
C	ca. 0.5	5	4	6	Nil	3	ca. 4.
D	5.5	4	5	16	1	15	Nil
E	ca. 0.4	2	2	4	Nil	3	Nil

(주1) 표안에 Ca는 약(대략), Nil는 「없음」의 의미.

Table 3 25℃에서 24일간 방치후의 PC의 기계적 특성 보존율의 저하분(%)

Property 특성	Percent Reduction 보존율 저하분(%)
Tensile Strength 인장강도	6
Tensile Modulus 인장탄성율	4
Compressive Strength 압축강도	6
Compressive Modulus 압축탄성율	3

Table 4 동결 용해시험(-26℃~상온반복 15회)후의 기계적 특성 보존율의 저하분(%)

Property 특성	Percent Reduction 보존율 저하분(%)
Tensile Strength 인장강도	Nil
Tensile Modulus 인장탄성율	Nil
Tensile Elongation 인장파단시 연신율	14
Compressive Strength 압축강도	8
Compressive Modulus 압축탄성율	8

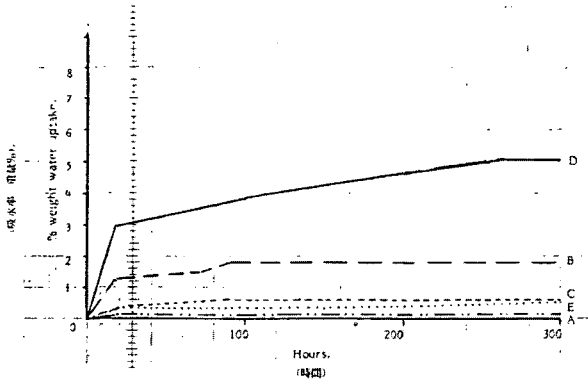


Fig. 4 5종류의 수지/유리섬유의 PC를 실험실내 상온에서 수증 침적한 경우의 흡수율.

이처럼, 데이터는 꽤 좋은 결과를 보이고 있다. 유리 재료와 구성, 성형법의 선택이 PC에 중요하다.

자주 받는 질문으로 「PC 중의 수분이 동결 시에 PC를 손상하지 않느냐?」라고 듣는다. 이것은 특히, 북극남극의 시설과 자동차에 있어서 중요한 문제이다. 이 답은 「괜찮다」이다.

포드 모터사에서는 -40℃까지 온도를 낮추어, 그 온도에서 인장강도와 압축강도를 측정하였지만, 거기서 「손상」같은 것은 보이지 않았다.

실제, Table 4와 같이 상온에 비교해서 인장강도 14% 증가, 인장 탄성율 1% 증가, Table 4에는 없지만, 압축강도 17% 증가, 압축 탄성율 5%증가란 결과가 있다. 이처럼 저온에서의 기계적 특성은 의외로 좋다는 것을 알았다.

## 2.2 PC에 응력이 걸리는 경우

영국 기계연구소에서는 꽤 일찍부터 이 연구를 해왔고, PC를 불포화 폴리에스테르 수지 FRP와 동일한 유리 구성으로 「장기 응력파괴 비교」의 측정·검토를 하고 있다. 결과를 Fig. 5에 표시한다.

이 측정치의 플로트는 최소 2승법을 적용, Fig. 5중의 곡선을 얻었지만, 이것은 다음의 식(1)의 관계로 나타냈다.

여기서 말하는 것은 「수중에서 약 10 주(0.32년)까지는

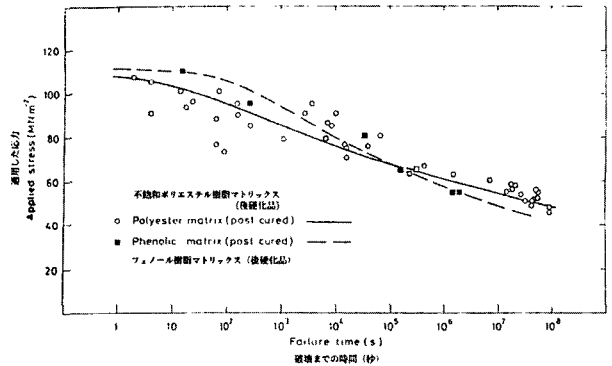


Fig. 5 탈 이온수 중에서 CSM FRP의 응력파괴.

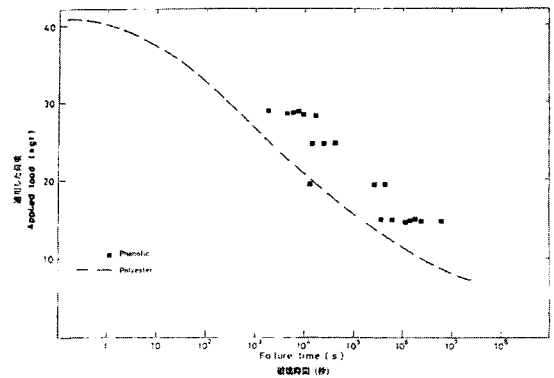


Fig. 6 탈 이온수 중에서 E 글라스 스트랜드에 수지를 함침한 적층판의 응력파괴.

$$tf = \frac{K}{S_n^n} [1 - (S_0 - S_{max})]$$

여기서,

tf = 파괴까지의 시간

Sa = 적용 응력

Smax = 시간 제로에서의 파괴응력

k = 정수

n = 정수

PC도 불포화 폴리에스테르 수지 FRP도 충분히 경화하면 거의 차이가 없다.」라는 것이다. 이것은 유리 함유율 35 중량%, 핸드레이업 성형법에 따른 것이다.

이 외, 현재 입수 가능한 유리 재료 자체에서 기인된다고 생각되는 비교적 복잡한 문제에 대해서 검토하고, 수중에서의 응력 시험에서는 양자 사이에 거의 차이가 보여지지 않는다(Fig. 6). 오히려 PC가 대부분 좋은 쪽의 경향조차 보인다.

2.3 상온에서의 흡수와 PC 특성에 대한 결론

상기와 같이 유리 재료 자체가 반드시 페놀 수지에 최적이라고는 단정할 수 없는 상황 아래 특정의 시험·평가가 있었지만, 상온에서의 흡수가 PC의 특성, 특히 기계적 특성에 악영향을 미치는 것처럼 보이지는 않는다고 결론 내릴 수 있다.

3. 고온에서의 흡수와 PC의 특성

3.1 비등수 침적시험

이 시험은 2개의 예로써, 글루브 바스 대학 Tavakoli 씨와 포드모터 사에서 했다.

이것에는 각각 다른 이유가 있었다. Tavakoli 씨는 수지와 유리의 상대적 성질을 조사하고, 포드모터 사는 「비등수 침적(沸騰水 浸漬)」을 일종의 상온에서의 수명예측의 촉진시험법이라고 생각하고 하였다.

Tavakoli 씨는 당시 시판의 6종의 유리를 「수지가 빨리 새는 프레스」로 성형하고 그것을 15시간 비등수 침적하고, 그 가운데서 가장 좋다고 생각한 흡드 스트랜드 매트를 선택했다. 그렇게 선택해서 빼낸 유리를 이용한 시험편을 48시간 비등수 침적하고 그 층 사이 전단강도(ILSS)를 측정했다(Table 5). 유리 함유율은 약 35중량%이다.

Table 5 형에서 수지가 새는 것처럼 완전한 성형법에 따라 페놀 수지와 흡드 스트랜드 매트에 따른 적층판의 비등수 침적의 영향

Boil Time (hours) 침적시간	ILSS (MPa)	% Loss ILSS	Weight Gain (%) 중량 증가(%)	Volume Expansion (%) 용적증가(%)
0	16.6	-	-	-
4	13.6	18	3.6	1.5
8	13.4	19.3	5.2	1.7
16	12.9	22.3	6.4	2.3
24	12.8	22.9	6.8	2.3
48	11.8	28.9	7.6	1.2

중량과 체적의 변화를 Fig. 7에 표시한다. Fig. 7에서 8-16시간의 사이에서 흥미 있는 변화가 보이고 있다. 이것에 대해서 동서는 이것의 중량·체적의 변화는 직접 관계하고 있는 것을 시사(示唆)하고 있다. 이 논문은 또 이 수지 특유의 「마이크로 포로시티」와 관련한 흥미가 있는 관찰도 보고 되고 있다.

이 「관찰」이라는 것은 48시간 비등 후의 수지/유리의 경계면에 생긴 크랙(균열)을 「위상차 현미경」으로 본 것이지만, 유감스럽게 이 실제 개발 중일 때는 이것에 주목하지 않

았던 것은, Fig. 7의 선의 불연속의 변화에서 「균열발생」이라는 것을 결부시켜 고찰할 틈이 없었기 때문이다.

그러나, Tavakoli 씨는 다음과 같은 것을 서술하고 있다. 「파괴의 조작은 수지/ 유리 경계면이 지배적일 것이다. 그 증거로써 16시간 비등수 침적 후 5종의 시험편으로 그 ILSS가 10.6에서 17.1MPa로 분산되어 있어 25%저하로 꽤 일정한 값의 감소가 보여지는 것은 수지가 크게 영향을 받는 탓이다.」

정작, 포드모터 사의 쪽은 전기와 동일한 5종의 수지를 이용해서 150시간 비등수 침적하고, 인장강도와 압축강도를 측정했다(Table 6). PC (수지D)는 6.7중량%도 흡수하고 있지만, 인장강도·압축강도의 수치는 양호하다.

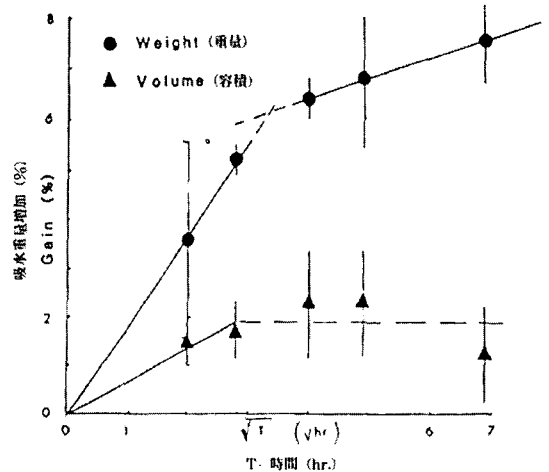


Fig. 7 비등수 중 침적에서 페놀수지/CSM 적층판의 흡수중량 증가와 팽창.

인장 탄성율은 12%저하는 이해하기 어렵지만, 필시 조금이라도 부분적인 유리와 수지의 친화성 부족 때문에 일어난 것은 아닐까? 흥미 있는 것은 수지A는 흡수율은 가장 작은 것으로 인장강도는 가장 저하해 버린 것이다.

5종의 수지의 흡수량 데이터는 Fig. 8에 표시한다. 150시간이라는 시간은 「기계적 특성평가」에도 충분히 긴 시간이라고 판단된다. 전기의 상온에서의 흡수의 때도 Fig. 4와 같이 150시간은 충분한 시간이다.

3.2 침적 고온 습윤한 때의 PC의 특성

포드모터 사는 전기 5종의 수지의 비교시험으로 82℃, 95%RH의 조건으로 500시간의 시험도 했다(Table 7).

이 결과는 150시간 비등수 침적보다 엄격한 결과이다. 특히 수지 A라든가 E는 인장강도도 눈에 띄고 있다.

Table 6 150시간 비등수 증 침적 후의 기계적 특성 보존율 저하분(%)

Matrix Resin 수지	%wt. Water Absorption 수분흡수량 (중량%)	Tensile Ranking 인장강도 랭킹		Tensile 인장강도		Compressive 압축강도	
		Orig. 초기	After 침적후	Strength 강도	Modulus 탄성률	Strength 강도	Modulus 탄성율
A	0.4	1	2	47	4	26	1.6
B	3.6	3	3	39	3	28	5
C	1.2	5	5	44	1	29	11
D	6.7	4	4	39	14	30	4
E	1	2	1	33	+1	31	Nil

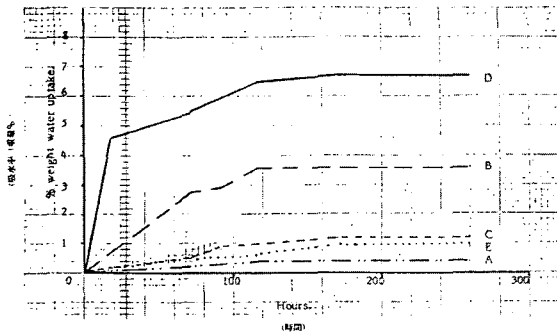


Fig. 8 5종류의 수지/유리섬유의 PC를 비등수 침적한 경우의 흡수율

Table 7 82°C, 95%RH에서 500시간 처리후의 기계적 특성 유지율 저하분(%)

Matrix Resin 수지	%wt. Water Absorption 수분흡수량 (중량%)	Tensile Ranking 인장강도 랭킹		Tensile 인장강도		Compressive 압축강도	
		Orig. 초기	After 침적후	Strength 강도	Modulus 탄성률	Strength 강도	Modulus 탄성율
A	0.4	1	1	42	2	17	2
B	3	3	5	51	+1	36	+5
C	1	5	3	28	+1	20	2
D	6	4	4	37	9	19	2
E	0.5	2	2	41	1	37	Nil

PC의 특성에 대해서 말할 수 있는 것은 「흡수율이 다른 수지의 5배에 가까운 것이고, 기계적 특성 평가에서는 대체적으로 동등에 가깝다.」는 것이다.

### 3.3 고온에서의 PC의 특성

PC의 내열성은 좋다고 알려진 대로, 자동차 제조회사에서는 히트실드(열 보호막)에 이용되고 있다. 고온에서의 성능 시험법으로써는 미국 자동차 복합재료 콘소시움(American Automotive Composite Consortium)이 작성한 ACC-T-001A가 있다. 이것은 수지의 Tg(유리 전환점)보다도 10°C 아래의 온도에서 인장강도를 측정하는 것으로 규정되어져 있다.

전기 5종의 수지의 Tg는 100°C 이상이라고 생각하고 있기 때문에, 수분은 거의 없을 것이다. 그러나 수분이 잔류할지도 모르고 「마이크로 포포시티」인 PC에서는 어떻게 될까? 측정결과를 Table 8에 표시한다.

Table 8을 볼 때, 수지에 따라 시험온도가 다르게 나타나기 때문에, 폭을 넓게 고찰할 필요가 있다. 이와 같은 고려를 해보면 수지D(PC)의 특성은 좋은 것이다. 이 데이터에서 PC는 100°C를 넘을 때, 수분을 방출하지만, 그 후 온도가 올라가도 수지는 어떤 손상을 받지 않을 것이다. 다른 수지가 온도만으로 좌우되는 것에 대해 PC는 조금 다른 거동을 나타내는 것 같다.

### 4. PC의 실용화-각 분야의 실적 예

PC의 실용화 - 특히 세계에서 가장 빨리 실용화 한 영국에서는 제1보고서에서 설명한 것처럼 「연기와 유독가스의 화재대책」이라는 「사회적 요청」과 한편에서는 「실질적인 기술적 기초 데이터의 축적·시험제작」이라는 양면에서 추진되어지고 있다.

Table 8 고온에서의 인장강도 측정결과

Matrix Resin 수지	Test Temp(°C)* 측정온도(°C)	20°C Tensile 인장강도		Test Temp. Tensile 측정온도에서의 인장강도		% Loss 저하분(%)		% Loss/10°C 10°C마다 저하분(%)	
		Str. 강도 (MPa)	Mod 탄성률 (GPa)	Str. 강도 (MPa)	Mod 탄성율 (GPa)	Str. 강도	Mod 탄성율	Str. 강도	Mod 탄성율
A	107	271	17.6	241	16.5	16.5	11	1.3	0.7
B	162	214	13.4	165	11.6	11.6	36	2.5	0.9
C	131	185	11.4	147	9.4	9.7	21	2.1	1.4
D	300	193	15.2	141	13.8	13.8	27	1.0	0.3
E	163	249	15.6	235	13.3	13.3	6	0.4	1.0

주: \*(측정온도)는 매트릭스 수지(A-E)의 각각의 Tg보다 10°C 낮은 온도로 했다.

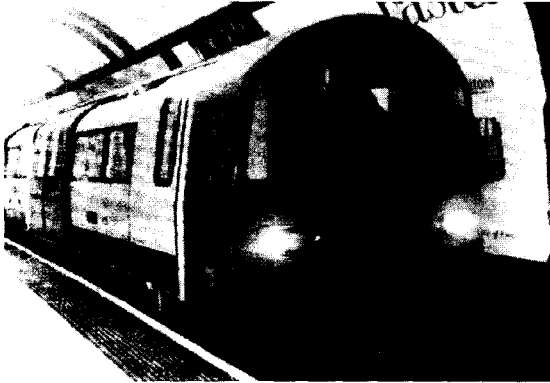


Fig. 10 런던 지하철 차량 선두부 운전실(전부 PC로 제작 됨).

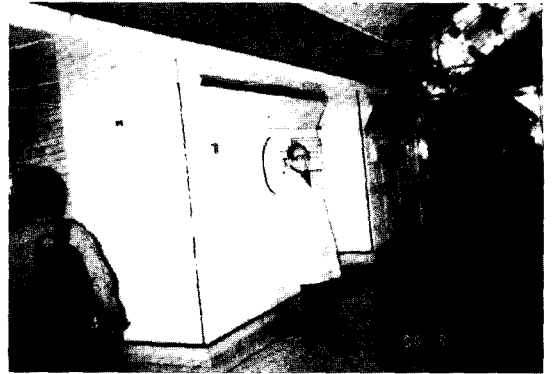


Fig. 12 런던 지하철(리버풀 역) 구내 플랫폼 홈 연결통로 내벽을 PC로 클래딩한 모습(서 있는 사람이 필자 임).



Fig. 11 윈도우 마스크 제작 모습(다듬질 공정).

실용화도 「실적의 위에 실적을 쌓는다」라는 소박한 노력의 연속이었다. 영국에서도, 세계에서도 실적 예를 모은 문헌은 적다. 본 보고서는 Ken L. Forsdyke 씨가 모은 영국의 실적 예 중에서 운송분야에 관련하여, 영국 및 영국의 영향을 받은 미국의 철도차량 등에 대해서, 이하 Ken L. Forsdyke 씨의 이야기를 모았다.

#### 4.1 영국의 철도차량에서의 PC의 실용화- 주된 실적 예를 정리

##### 4.1.1 런던 지하철의 차량과 역구내 내장재

이것에 대해서는 제1편과 제2편에서 보고하고 있지만, 거기에 기술하지 않았던 사항을 여기에 추가한다.

전기한 바와 같이 런던 지하철 당국(London Underground Limited., 약칭 LUL)의 「내장재 규정(연기와 내연성)」에 합격하는 복합재료는 PC만 이었다.

그를 위한 한 예로, PC로 핸드 레이업으로 성형한 캡(Cap)이라고 말하고 있지만, 차량의 선두부(운전실) (Fig. 10) (중량 200파운드, 90kg)가 제작되었지만, 설계에서는 비교적 저속의 미사일 (비석(飛石))의 임팩트에서 운전수를 보호하는 검토가 되고 있다.

캡 외의 PC로 도어 프레임, 차량 내장 판넬 (Fig. 11), 그 외의 PC 성형품, 전기절연성의 필요한 Switchgear Housing, 전기계 제어반 장치상자가 제작조립되고 있다.

런던 지하철의 전 역구내, 플랫폼, 연결통로, 에스컬레이터 홈, 터널에는 PC의 라이너 (Liner, 혹은 Cladding, 기존의 벽 등에 안쪽 붙임, 내화성능을 부여한다)를 붙인다 (Fig. 12). 이 당시 차량용 PC성형품 제조회사는 영국의 6-7사 이고, 1990년 경 가장 활약하고 있다.

그 가운데서 미국 하르스코 (Harsco)사의 일부분인 영국의 인슐레슨 이큅먼트(Insulation Equipment)사가 있는데, BP 케미컬 사의 페놀수지 (Cellobond)를 사용하여 멜라폼 (Melaform)이라는 상품명으로 판매하고 있다.

캡 외의 PC로 도어 프레임, 차량 내장 판넬 (Fig. 11), 그 외의 PC 성형품, 전기절연성의 필요한 Switchgear Housing, 전기계 제어반 장치상자가 제작조립되고 있다.

런던 지하철의 전 역구내, 플랫폼, 연결통로, 에스컬레이터 홈, 터널에는 PC의 라이너 (Liner, 혹은 Cladding, 기존의 벽 등에 안쪽 붙임, 내화성능을 부여한다)를 붙인다 (Fig. 12).



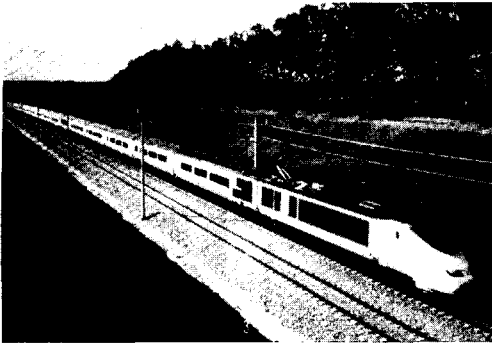


Fig. 13 유로스타 열차 전경(영국제 차량은 PC로 제작했음).

이 당시 차량용 PC성형품 제조회사는 영국의 6~7사 이고, 1990년 경 가장 활약하고 있다.

런던 지하철 관계는 보수개수가 계속 진행 중이고, PC에 따라 화재대책을 계속하고 있다. 또 이 런던 지하철의 영향을 받아, 이탈리아의 철도차량의 제조회사로써 유명한 브레다(Breda)사는 영국에서 이 멜라폼 PC 성형품 각종류를 수입해서 로마 지하철(로마 메트로)의 차량 내장재의 화재 안전화를 꾀하고 있다.

4.1.2 영국 국철(British Rail)

영국에서는 화재대책을 국가보다도 런던 시가 앞장서서 선행하고 있다. 이 점으로 런던 시는 사회의 리더쉽을 얻었고, 화재대책에 대해서 시민으로부터 강한 신뢰를 받고 있다. 영국 국철은 전 보고서에서처럼 침대차량과 지하주행이 많은 열차에서 PC화를 추진하고 있다.

또 동해안 지방의 간선의 전철화(電鐵化)의 경우, 신형 전기기관차를 제작하였지만, 운전실은 핸드 레이업 성형의 멜라폼으로 제작해서 화재대책을 진행하고 있다. 이 실적이 드디어 영불간의 유로스타(Fig. 13)에 적용되어 세계적인 주목을 받은 것이 유명하다.

4.1.3 캐나다 온타리오 철도

동 철도에도 「노스 라인즈 온타리오 선」의 차량의 윈도우 마스크를 저압 성형한 PC로 제작 실용화 하고, 화재대책을 실시하고 있다.

4.2 영국의 영향을 받은 미국의 철도차량 등

미국 운송 관계자는 행정적 입장에서 영국의 움직임에 대해서 끊임없이 공부하고 있고, 「화재대책」에 대해 늦은 것을 염려하고, 종래의 사고방식을 탈피하고 조속하고도 현명한 강력한 시책을 실시하고 있다.

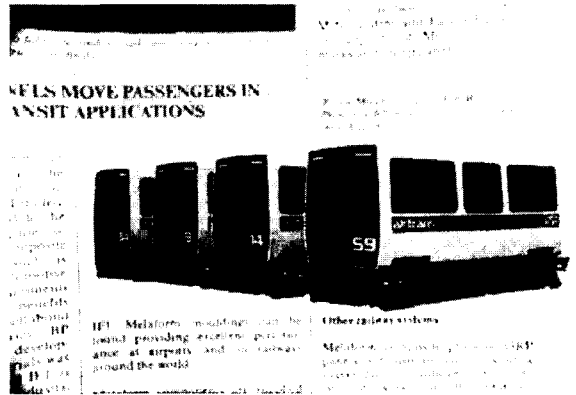


Fig. 14 달라스 포트워스 공항의 에어 트랜스(AIR TRANS).

이것은 차량 내장부재 등의 화재 시, 단 시간 내의 「화염 표면전파 특성」과 「검은 재 연기의 발생속도」 「유독가스 발생」 등의 인간으로의 치명적 위험성을 충분히 이해하고, 그 방지대책에 대해 행정측으로써 강한 책임과 사명을 느끼고 있다.

따라서, 미국 도시 운수국 (Urban Mass Transit Administration, 약칭 UMTA)는 다수의 인간을 태우고 움직이는 차량 (미국에서는 Mass transit, 매스 트랜지트)의 재료에 대해서 가이드 라인(기준)을 발효하고, 「화염전과 지표(인덱스)」(ASTM E162)와 「발연량」(ASTM E662)를 규정했다. Table 8에 그 요구 성과와 시험결과를 나타냈다. 영국제 멜라폼이 각 항목에 합격하고, 미국의 매스 트랜지트의 재료에 채용되었다.

4.2.1 공항 내 전차 등

미국 달라스-포트워스(DFW) 공항은 많은 터미널이 있다. 그 사이에 이동에는 일종의 공항 내 전차(에어트랜스, Airtrans)를 운행하고 있다.

이것을 여기에서 에어포트 피플 무버즈(Airport People movers)라고 약칭하고 종래부터 운전하고 있지만, 초기에는 열가소성 수지를 이용했다. 이것이 열화하고 있는 것도 있고 해서, 1980년도 초에 61량 전부를 영국제 멜라폼으로 개수했다 (Fig. 14).

종래의 것은 텍사스의 엄격한 환경 등에 따라 스트레스 크랙킹과 담뱃불에 의한 그을림이 있고 해서, 내열성의 PC에 절연한 것으로 교체하여 「방화대책」으로 전환하여 좋은 평을 받고 있다.

이 제작에 대해서 차량 제조회사 「바드(BUDD) 사」가 정리한 것으로 PC의 성형은 형틀도 비교적 싸고, 핸드레이업 방식으로 차량 전후와 측면부 외판, 내장재도 전부 PC

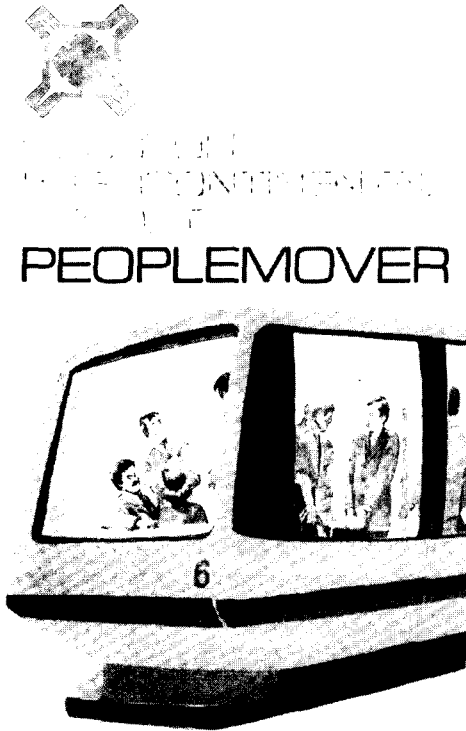


Fig. 15 휴스턴 국제공항의 피플무버(PEOPLE MOVERS) (2-3량 연결, 리니어 구동방식).

이다. 지붕은 PC의 샌드위치 판넬(페놀 발포체를 심재로 사용)이고, 스프레이업 방식으로 성형하고 있다. 중량은 약 400 lb(180kg)이었다.

바드 사는 이 DFW 공항 이외에도 메릴랜드 주와 플로리다 주(마이애미 시)의 운송국에도 PC를 이용한 차량을 납입하고, 그 때의 PC는 영국 벨라폼(저압 성형품)을 윈드마크(창틀커버)와 도어 주변부, 그 외 내장부품에 사용하고, 미국은 방화대책을 추진했다(Fig. 15).

Fig. 9는 휴스턴공항의 콩코스 연결전차이다. 일종의 리니아 모터 방식을 채용하고 있고, 무인운전이다.

### 4.3 그 외의 운송관계 용도

PC를 무엇보다도 많이 이용하는 것은 항공기 관련 분야이지만, 이것은 후일 정리하는 것으로 하고 여기에서는 생략한다. 다음으로는 선박주정 관련 분야이지만, 다음의 일례를 소개한다.

#### 4.3.1 카리브 해저관광 사 납입 잠수정

동사는 카리브해의 해저 관광용 잠수정 2척을 영국에서 건조할 것을 의뢰해 왔으며, 1988년에 납입하였다. 이 관광 잠수정은 카리브해의 버진 제도에서 운행하고 있다.

이 관광 잠수정도 화재대책을 위해, 내장은 거의 PC를 사용, 예의 벨라폼의 판넬을 사방에 붙이고 있다. 락커, 화장실, 창틀커버, 천정 등 핸드레이업으로 성형한 것이다.

이 관광 잠수정의 방화 상의 법규는 카리브 해에서는 미국 연안 경비대 본부가 시행하는 「화재대책 규정」이고, 이것을 위해 PC 내장부재가 채용되어지고 있다.

#### 4.3.2 자동차 관계

##### (1) 버스

미국의 버스 제작회사의 예를 들면 질링(Gilling)사 등은 공조용 탱크, 엔진룸과 객실 사이의 벽과 그 외의 판넬 류에

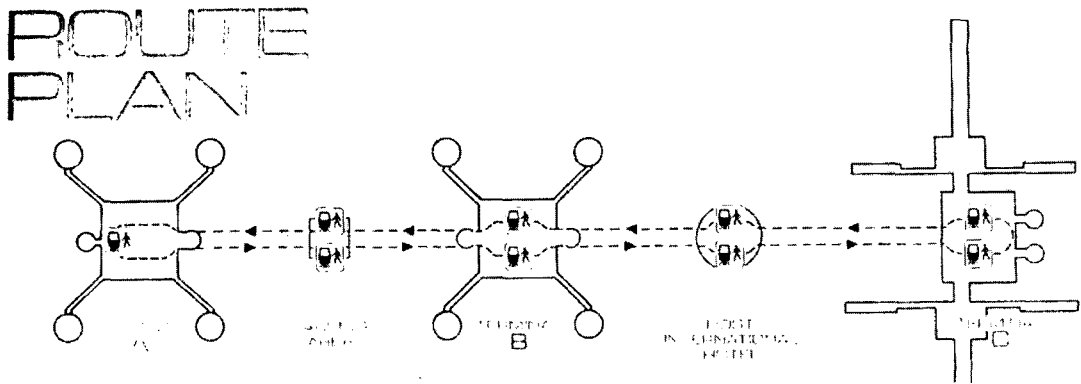


Fig. 9 휴스턴 국제공항 콩코스 연락용 “피플 무버” 배치도.

PC를 지정하고 있다.

PC를 채용하는 이유는 엔진룸의 고온에 견디는 경량 고강도 단열부재로 「방화대책」에 합치하는 것이고, 덕트도 이것을 통해서 화재확대의 위험이 있기 때문에 내열성 PC를 지정하고 있다.

#### (2) 자동차의 히트 실드(차열판)

유럽, 특히 영국계의 자동차 제조회사, 예를 들면 자가사, 롤스로이스사, 랜드로버 사, 포드 유럽사, 루브 바카즈사 등은 PC를 히트실드(차열판)으로서 지정하여 사용하고 있다. 이것에 대해서는 전호에 상세히 보고하였다.

### 5. 후 기

이상으로 본 호의 보고서를 마친다. 금회는 전장에 PC의 실적 예를 정리하는 것에 뜻을 두었지만, 건설 특히 건축에 대해서는 전호에서 서술하고 있기 때문에, 본 호에서는 중복을 피했다.

먼저 금회는 전호에 이어서, PC의 재료 기초 데이터에 관한 것이고, 특히 「PC의 흡수」에 관한 검토를 중심으로 조사를 한 결과를 정리했지만, 이것이 일본의 PC성형품 관계자의 도움이 된다면 좋겠다.

「PC와 수분」의 관계를 생각하면 우리에게 이미 하나의 기본적인 데이터가 있다. 그것은 페놀 수지가 경화하는 때(탈수 축합반응)의 수분 문제, 이미 하나의 원재료로써 사용한 페놀수지 중에 포함되어진 점도 저하를 위해 넣은 수분(제조회사와 제품의 종류에 따라 다르다)의 문제이고, 이 두 개의 문제는 통상적으로 크게 생각되어지지 않는다.

이것은 수분이 경화 중 PC에 어느 정도 잔류하는가는 경화 조건(경화온도와 시간)에 따르고, 또 경화 후 PC 성형품이 어느 정도 시간을 경과하는 것에 따르는가 라고 말하고 있다.

PC 성형품의 내부, 특히 표면보다도 깊은 부분에 소량의 수분이 잔류하고 있는 것과 이 PC 성형품을 가열하거나 「내열성 시험」을 하거나 할 때, 「폭열」(영국에서는 여러 가지 표현이 있지만, Punking 이라고 말하고 있다.)이 일어나기도 하고, 경화 공정 중에 수분을 빼는 배려를 하면 해소된다. 물성상은 수분을 방출시키고, 완전 경화시키는 것이 이상적이라고 생각되지만, 영국에서는 잔류 수분의 기공의 형상을 현미경으로 관찰하고, 원형인 것과 크랙킹(균열)의 진전성을 방지 가능한 것인가의 고찰을 해야 되고, 「수분을 제거하면 약하게 된다.」라는 견해도 있다.

### 6. 결 론

7회에 걸쳐서 일영 공동 집필한 「PC 실용화의 길」- 「영국의 경우」에 대한 사례연구를 보고해 왔다. 지금 일본과 한국에서 「검은 연기와 유독가스 화재사고 대책」의 점에서 이 재료의 이용이 신중하게 검토되고 있다. 이 문제는 세계속의 문제이지만, 영국은 이것을 확실하게 하는 민, 산, 학이 일체가 되어 기술개발을 하고, 사회자산을 만들어 「시민의 안전」을 확립하는 것이다. 본 보고서에서 정리한 결론은 다음과 같다.

- (1) 실용상 여러 가지 문제가 있지만, 모두 협력하면 길은 열릴 것이다. PC의 흡수 등이 좋은 예이다.
- (2) 실용화에는 기술적 기초 데이터만으로는 확립할 수 없다. 리스크가 있지만 파일럿드 시제품제작도 필요하다.
- (3) 완전한 것은 가능하지 않아도, 사람들에게 위험하지 않고, 사회에 도움이 되는 재료와 기술을 개발하여, 과학기술 입국을 지향하는 것이 현명한 길이다. 일본 사회도 영국과 같이, 뛰어난 소질을 가지고 있기 때문에 한다면 할 수 있을 것이다. (총 7편 끝)

## 연재 기사 총 7 편의 대 결론

“비극이 일어나지 않으면 개선되지 않는다”

그러나, “비극이 일어나더라도 고쳐지지 않는다”

라는 것은 인간 사회의 우둔함에 기인하고, 그리고 반복되고 있는 역사적 사실이다. 영국 런던 지하철(KING'S CROSS역) 화재사고(1987년/31명 사망), 이탈리아 선박 ‘모베이 프린스호’ 화재사고(1991년/140명 사망), 대형건물인 서울의 대연각 호텔 화재사고(1971년/167명 사망), 그리고 대구 지하철 사고(2003년/192명 사망) 등, 역사적으로 대형 화재사고는 계속 반복되고 있고, 앞으로도 그럴 것이며, 따라서 소중한 인명의 희생은 계속되고 있다.

따라서, 「인간 생명 제일 우선의 장소」를 만들고, 「안전한 사회」의 실현을 위한 노력은 끊임없이 이어져야 한다. 즉, 철도차량 및 지하철, 선박 해양 그리고 대형 공공건물, 지하철 역구내를 비롯하여, 학교, 호텔, 병원, 일반 지하상가 등, 인간 주변의 기존의 불에 타는 위험한 재료에서, 화재가 발생하더라도 불에 타지 않고, 연기도 나지 않고, 독성가스도 발생되지 않는 불연성의 “제 2세대 페놀 컴포지트”로 대체하여야 하며, 이러한 화재에 안전한 기본재료의 보급과 확산을 위해 정책당국과 관련 기술자 등 많은 사람들의 노력과 희생이 요구되고 있는 것이다.

연재 기사 제5편 중에서

(출처) “일본 월간 전문잡지 ‘강화플라스틱’ 2002.7월 호에서 2003.10월 호까지 총7회 연재 기사”를 마감하면서.