

特輯

“제2세대 페놀 컴포지트”(PC)의 실용화의 길 - 시리즈(총7편) 中 - 제2편

**철도차량의 기존 내장재(난연성 폴리에스터)와 불연성 신소재
(제2세대 페놀 컴포지트)의 설계기술 관점에서의 특성 비교분석 연구**

(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

Ⅱ 목 차 Ⅱ

- [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)

Ⅱ 번역 배포에 즈음하여 Ⅱ

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

特輯

페놀 컴포지트 실용화의 길 - 영국의 경우 (CASE STUDY 2)

How Phenolic Composites were chosen - In Case of England (2)

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

ABSTRACT

“Phenolic composite”, one of safety composites was chosen to build rolling stock in England while it was applied to building materials in London Underground facilities. This paper was written by Mr. Denver E. Brown. He emphasizes, from visibility and toxicity points of view, phenolic is the best and Mr. Forsdyke says, there is no question, passenger's lives are No.1 issue, material recycling is not No.1!

요 지

철도차량의 객실 자체는 많은 부분이 예전엔 목재 등으로 만들어져 있다고 기억하는 사람이 많다. 목재는 가벼우며 단열성과 흡습성이 있어서 사람이 만졌을 때, 온기가 있어서 좋은 느낌을 준다. 또 재료가 가공하기가 쉬운 점도 장점이다. 목재를 사용할 때는 목수 작업으로 했기 때문에, 철도 차량 부재의 용어에도 「키세」(키세루=입히다=cover) 등의 단어가 남아있다.

일본에서도 전쟁 전 그리고 전쟁 시에도 목재 차량이 사용 되었지만, 전쟁 후 「사쿠라 키조 사건」 등, 큰 차량 화재로 많은 인명을 잃었던 적이 있었기 때문에 불연화의 노력이 힘쓰고 있다. 그러나, 1971년 10월 6일, 山陽本線에서 급행열차 「山仙3號」의 10호차 세면장 부근에서 화재가 발생하여 10호 차량 전소, 11호 차량 일부가 소실되고 인명사고도 있었다. 그 때문에 현재의 「A-A 기준」이 실시되고, 지금까지 오랫동안 이 방법에 따르고 있다.

영국에서는 옛날에 「A-A 기준」과 비슷한 방법이 있었지만, 이미 앞의 보고서에서처럼 「다운톤 침대열차사고」 「런던 지하철사고」를 거치며, 특히 철도차량에 대해서는 BS6853의 적용이 시작됐다. 그러나 이것을 지키기 위해서는 많은 문제가 있었다. 이 문제에 관하여 지금도 국가적 프로젝트로 노력을 하고 있지만, 당시 그 중심에 있었던 두 사람, Forsdyke 씨와 Brown 씨가 지난 날을 회상하면서 다음과 같이 말하고 있다. 이번 호에서는 철도차량 설계 부문의 재료 선정 책임자였던 Brown 씨의 기록을 중심으로 소개한다. 이 분야의 관계자 여러분에게 참고로 된다면 좋겠다.

1. 서 언

영국에서 철도차량에 페놀 컴포지트(PC)를 선정했던 사람들은 앞에서 언급한 Forsdyke와 Brown 씨 등이다. 그 때문에 영국 국철(British Rail, 이하 BR)과 런던 지하철(London Underground Limited, LUL), 유로스타 등 많은 철도회사가 그 사양(specifications)을 채용하고 있다. 그리고 이 설계 사상과 사양은 지금도 일본을 포함한 전 세계에 영향을 줄 가능성이 많다.

그들은 BR의 연구소(1975-1985년), 엔지니어링 부분에서 신규 프로젝트 개발부장(1985-1989년)을 거쳐, 알스톰 트랜스포트 사(1989년-2001년)에서 많은 개발을 직접 다루고 있다. 그리고 2001년부터 오늘까지는 더.엔지니어링.링 크 사에서 재료부문, 특히 화재 등의 총괄부장의 역할을 역임하고 있다.

필자가 그들을 방문했던 때는 알스톰 시절에, 버밍엄의 공장을 Forsdyke 씨와 2차례 견학했지만, 공장은 매우 크고, 수십 개의 라인이 제작 중의 철도차량으로 가득 차 있었고,

* 플라스틱 사이클링 학회, The Japan Society of Plastics Recycling

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

*** Formally, GEC Alstom-Metro-Cammell Limited

중설 계획 중이었다. 여기는 조립공장이고, PC부품은 영국 내 몇 개 공장, 스페인 등의 해외공장에서 조달되고 있었다.

2. 페놀 컴포지트

-재료 선정자의 견해-

Glass Reinforced Phenolic Mouldings - A Specifiers View.

Denver E. Brown, AMIM Senior Materials Engineer, GEC ALSTHOM Metro-Cammell Limited.

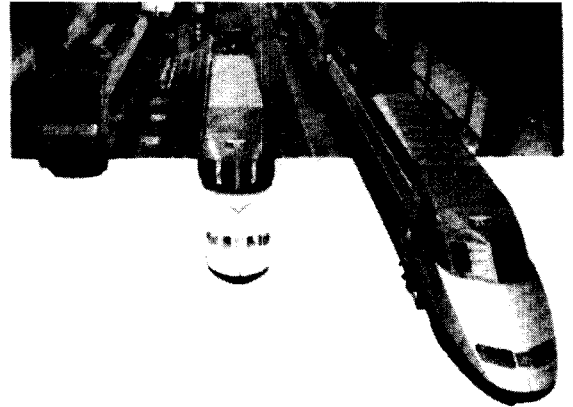


Fig. 1 버밍햄 시의 GEC ALSTHOM-MTRO-CAMMELL 사 현장.

2.1 철도 차량에 PC를 선택한 Brown 씨

이하, Denver Brown 씨의 논문을 게재하며, 이것은 그들이 당 협회지를 위해 작성한 것이기 때문에 역자도 진심으로 그들에게 감사를 표시한다. 그들이 이 논문을 집필했을 때는 앞서처럼 구미에서 유명한 GEC:알스톰:메트로:카멜사 Fig. 1의 재료담당 기사장이었고, 더욱이 그들이 PC를 차량 제조회사의 설계 책임자로서 선정, 그것을 부품으로 해서 납입하고, 버밍햄 시의 조립공장에서 노력하고 있을 때이다. 그는 확신을 가지고, 이와 관련한 종류의 논문을 세계에 알리고 있다. 이하, 전문을 소개한다.

「0급」 합격에는 그 재료가 BS476:Part7 시험에 「1급」 이라면, 그것은 BS 476: Part6(2) 시험에서 합격의 가부판정을 인정해도 좋을 것이다. 즉, 재료의 연소열의 시험내용에서 유도된 요구사항과 일치하도록 하는 것이다.

2.2 Denver E. Brown 씨의 논문 (전문)

요 지

비참한 화재사고가 연속되고 있고, 철도차량에 이용되었던 재료의 연소성 뿐 만 아니라, 연소 시의 연기, 유독가스에 대해서 문제시 되어지고 있다. 이것은 특히 지하철과 침대차량에 대해서는 더욱 중요시 다루어지고 있다.

“유리섬유 강화 페놀 성형품”은 이처럼 엄격한 조건하에서 뛰어난 성능을 가지고 있고, 종래 FRP가 가진 「경량화」, 「원가절감」, 「복잡한 형상에 대한 자유도」의 장점이 있어 유용하다.

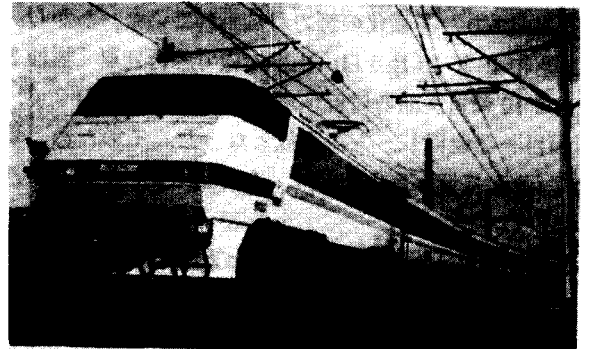


Fig. 2 영국 국철 특급열차 “인터 시티”.

2.2.1 머리말 - 12명 사망사고는 규격 개선에 반영되었나?

GRP(Glass-fiber Reinforced Plastics)는 25년 이상, 지하철과 지상주행의 철도차량에 이용되어 왔다. 그 대표적인 예로써, 영국 국철 특급 「인터시티」(Fig. 2)는 전두부(CAB)가 GRP이고, 이것은 돌 팔매질에도 내충격성(내 미사일 성)이 있다. 도어, 좌석, 연결복도와 객차 승강구의 발판, 화장실 그리고 객실 내장 판넬 등도 GRP이다.

이것들의 「내 연소성」은 규격 BS 476:Part7(1)의 「화염 전파성」의 시험에서 「2급」합격이 필요하였다.

그러나, 1978년 「다운튼 시에서의 침대열차 화재」의 사고를 거울삼아, 이 규격은 엄격하게 되었고, 침대열차에서는 「0급」, 지상주행 열차는 「1급」으로 끌어올려졌다.

그러나, 그 당시에는 연소 시의 「발생하는 연기량」과 「유해가스 발생량」에 대해서는 전혀 고려하지 않았던 것이다. 이것은 중대한 문제로 「다운튼 시 침대열차 화재사고」에서의 인명사고(승객 12명 사망)의 치명적인 주요인인 「유해가스와 연기의 호흡기 계로의 흡인」이 사망 원인이 입증 되었고, 그 가스는 특히 「일산화 탄소 가스」, 「시안가스」였던 것이다. 이러한 사실에서 규격 설정이 실상과는 어긋나 있었다는 것이 밝혀졌다.

2.2.2 GRP를 이용했던 난연화 대책의 한계

GRP를 이용해 규격에 합격하는 것은 난연제의 첨가량을 증가하는 것이 일반적인 방법이다. 이 때의 난연제라

고 하는 것은 삼산화 안티몬, 브롬 등 몇 종류의 할로겐 화합물이다. 이것은 유감스럽게도 착화하면 지극히 유해한 연기를 대량으로 발생하는 것이다. 그 연기를 흡입한 승객의 가장 첫 번째 눈에 띄는 현상과 최초의 경향은 생리적 혼란이 발생하고, 그리고 검은 연기가 짙어지면, 눈으로 볼 수 있는 범위를 막아버리게 되어, 대피 통로를 확인하는 것이 불가능하게 된다고 말하는, 소위 「카타스트로피」가 되는 것이다.

2.2.3 런던 지하철(LUL)의 대책은?

LUL은 영국에서 최초로 이와 같은 것을 검토 규정했던 철도회사이다.(Fig. 3) 그것은 「난연성의 규정」, 「발생 연기량의 제한규정」, 「연소시의 지극히 유독한 생성물을 발생하는 화합물」에 대해서 엄격한 규제 기준값을 정해 제한을 했던 것이다.

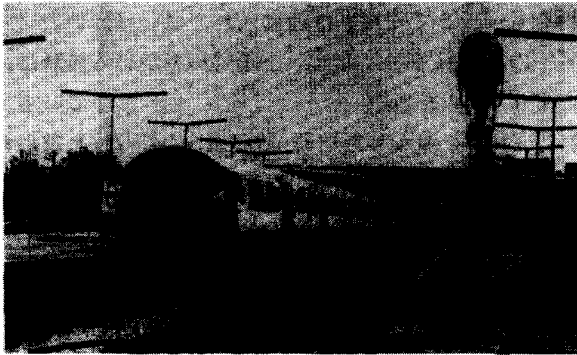


Fig. 3 런던 지하철(LUL).

이 사양에서 최초로 「1990년형 시작(試作) 열차」로써 3 편성이 1985-86년, 영국 철도차량 사(British Rail Engineering Ltd.)와 메트로-카멜 사(Metro-Cammell Ltd.)에서 제작되었다.

그러나, BS6853:1987(3)의 「난연성」과 「발생하는 연기량」의 규정, 카테고리 1에 기초해서 그 규정을 포괄적으로 적용해 놓았지만, 역시 「LUL 규정」은 실제로 엄격하게 적용되어지지 않았고, 「유해가스」대책에 대해서도 강력하게 실행하지도 않았다.

2.2.4 유리섬유 강화 페놀(PC)의 검토

페놀수지는 아주 오래전부터 사용해 오던 열경화성 수지재료 중의 하나로서 초기에는 목분(木粉)등을 충전재로 교반해서 일정한 금형(matched metal tools)에 주입한 후 가열·가압하여 성형품을 만들었으며 베이크라이트(Bakelite)라는 이름으로 널리 알려졌다.

그 후 1980년대 초부터 저압·저온 성형의 페놀수지가 개발되고, 유리섬유에서 강화 가능한 것도 알게 되었다. 유리섬유 강화 페놀 성형품은 화재에 대해 매우 뛰어난 성능을 인정받았으며, 곧 종래의 GRP를 대체할 수 있는 소재로 여겨졌으나, 유감스럽게도 실용 성형 제작기술이 완전하게 개발되기를 기다리지 못하고, 서둘러 조금하게 사용했기 때문에 이러한 것이 오히려 압박이 되어 순조로운 발전에 걸림돌이 되었다.

예를 들면, (1)용도에 맞는 유리섬유(바인더 처리 등)의 공급, (2)형틀 내 표면 마무리(촉매로써 산을 이용하기 때문에 부식 발생), (3)특히 경화공정 등 신 재료를 취급할 때 발생하는 모든 문제 등이 그것이다. 이에 대해 훗날 완전하게 개발된 성형기술과 비교하여 생각해보면, 불충분한 Under Spec.의 성형품 제작의 사태를 초래하게 되었던 것이다. 이러한 유리섬유 강화플라스틱 성형물과 같은 재료는, 「한 눈에 반해서 잊어버릴 수 없다」는 환상의 재료가 되었지만, 이것이 실용화에 성공하기 까지는 시간과 노력이 아주 많이 필요했었다.

그러나, 그 후 많은 시행착오를 겪었지만 결국 영국내에서 완성의 경지에 이르렀다.

현재, PC의 성형 방식은 부분적으로는 GRP 공업에서 채용하고 있는 제작방식으로 시행하고 있는데, 핸드 레이업, 스프레이 업, 저압 저온성형, FW 방법, 그리고 여러 가지 RTM 성형법이 그것이다. 그리고, 유리섬유 강화 페놀수지 성형품을 도장하는 경우, 도장품도 연소성, 발연량, 독성가스의 규정(LUL과 BS6853, Category 1의 두개 규정 동시 만족)을 충분히 합격하여야 한다.

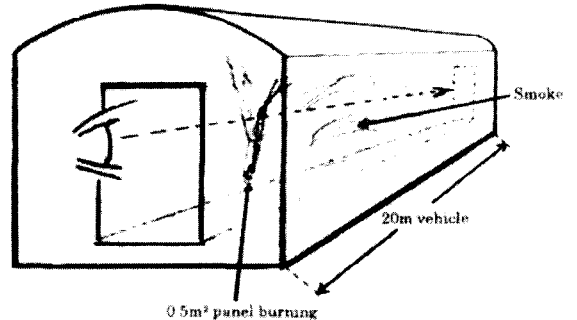


Fig. 4 철도차량 내의 연기발생 시의 시인성(視認性) [Table 1, No. 7].

(주) PC는 7m (GRP는 0.2m)이기 때문에 20m 볼 수 있으나, 일반 GRP는 불가 함.

2.2.5 PC의 내화 성능을 영국은 어떻게 보는가?

Table 1은 영국 철도차량 규격에서 일반적으로 시험하고 있는 연소성과 발연성 시험으로 측정했던 비교 데이터

예를 표시한다. 전형적인 GRP 적층판(1급)과 유리섬유 강화 페놀 적층판(PC)과의 비교를 하고 있다.

유리섬유 강화 페놀수지 적층판은 그 내부에 수분을 보유하고 있기 때문에, 수분이 비점에 도달하면 그것이 내뿜어지게 된다. 그리고 부풀어 오른다. 그것이 일종의 단열층을 형성하는 것도 된다. 시험 시, 수지층의 화로 쪽은 연소되어 없어진다. 그러나 원래의 형상은 유리섬유 강화재와 전체의 적층판의 형상에 따라 보존되어지기 때문에 문제는 없다. 원래의 형상의 보존시간은 적층판의 두께에 따라서 정해진다.

2.2.6 설계상의 주의 사항

어느 정도의 기초이론에 근거하여, 그것에 따라 목적하는 부품에 잘 적용하는 것이 가능하다. 설계 관점에서 섬유강화 플라스틱 성형품(FRP)은 이미 잘 알려진 것이고, 수지는 에폭시수지, 불포화 폴리에스테르수지, 페놀수지 등이라고 말할 수 있다.

(1) 기초 이론

「어떤 특정의 재료」로써 설계 완료했다면, 선정된 재

료 외의 재료를 쉽게 사양에 넣어서는 안 된다.

많은 성형품에서의 실패는 금속재료를 이용한 설계에 그대로 FRP를 적용하려고 한 것에서부터 있다. 이것은 FRP를 도입했던 초기의 시대에 설계를 쉽게 하기 위해서였다. 주로 현장 설계자, 기술자, 성형업자가 이것에 대해 우려하고 있는 것이다.

(2) 제작 방법

설계의 초기단계에서 제작 방법을 충분히 검토 항목에 넣어두면 매우 유익하다. 계약의 수량, 생산 납입량/기간, 어떤 특별한 고객의 요구사항 등 충분히 주의해서 적절한 형태로 「기록」을 정확하게 해 두어야 한다.

제작공정의 선정과 그 특실·한계를 잘 이해해서 설계를 정리한다면, 생산가격의 저감이 가능하다.

(3) 여유 정도 및 접합

여유 정도, 연결, 접합에 대해서도 설계단계에서 검토하고 있지만, 이것은 특히 주의를 할 필요가 있다. 특히 의외의 불필요한 하중이 작용하지 않도록 내측 접촉면에 대해서 세밀한 배려가 중요하다.

Table 1 GRP와 PC와의 내화성 성능 비교

No	시험 항목	재 료		시험 방법
		GRP	PC	
1	표면화염전파성 (surface spread of flame)	전파 안됨	전파 안됨	BS 476 : Part 7 Class 1 (1)
2	착화성과 연소성 (Ignitability and heat release)	I<12 i<6	I<12 i<6	BS 476 : Part 6 Class 0 (2)
3	산소지수 (Oxygen index)	31%	45-80%	BS 2782 : Part 1 : Method 141 (4) 상온에서 연소를 계속하는데 필요한 산소 량
4	온도지수 (Temperature index)	<350℃	>420℃	(BS 6853 : Appendix A) (3) 표준상태(21% O ₂)에서 재료가 연소하는 온도
5	독성지수 (Toxicity index)	난연제의 종류와 그 양에 따라 (일반적으로 20)	<5 CO ₂ : max 5000ppm CO : max 100ppm SO ₂ : max 100ppm	NES 713 (5)
6	발연성	>100*	<1	3 m 입방시험 (BS 6855 Appendix B 60° panel test) (3)
7	시인성 (Visibility-approximation)	0.233 m	7.35 m	20 m 철도차량 내에서 0.5x0.5m 판넬의 연소 테스트 데이터.
8	프랑스 국가 규격 (French national standard)	M2 F3-Dm >800 CIT >50	M1 F1-Dm <40 CIT <20	NF 16-101 (6)
9	Fire Barrier 성능 (BS 476 : Part 20의 heating curve 데이터집 등)	AL(OH) ₃ 를 사용하면, 적층작업이 나쁘고, fire barrier성능도 좋지 않음	PC는 함수량 보다는 확산하여, fire barrier성능이 좋음.	BS 476 : Part 21 (7) BS 476 : Part 28 (8)

(주) 시험방법 난의 ()는 2.2.15 절의 참고문헌 번호. * : 측정한계.

2.2.7 제작 상의 주의 사항

(1) 기본 원리

성형품이 성형되면, 재료 특성과 성형품의 구조 본체는 결정적으로 정해져 버린다.

(2) 세부에 대한서의 배려

성형품 전체를 통해서 특성을 유지하는 것에는 다음과 같은 특별한 고려가 필요하다.

(a) 형 설계에서 세세한 점의 주의가 부족하면, 강화재의 붙이는 방식이 서툴거나, 움직여져 버려서 부분적으로 수지가 많아지게 되기 때문에 이것을 피 할 수 있어야 한다.

(b) 수지가 많은 부분은 기본적으로 2개의 결과가 생긴다. 하나는 강도 부족이 되고 균열의 우려가 있다. 또 하나는 변형하기 쉽게 된다.

2.2.8 페놀 수지의 성형

(1) 장 치

페놀수지는 산 촉매로써 경화시키기 위해 혼합장치(Fig. 5)와 형틀, 그리고 그것에 삽입이 필요하고, 산에서 부식하지 않는 것을 이용해야 한다. 스텐레스 스틸은 원래 알루미늄과 탄소강을 이용했던 것을 대체하여 이용하고 있다. 탄소강은 부식 방지 도료를 칠해서 사용해야 한다.

(2) 적층품의 균형 맞추기

본질적으로 모든 적층품은 균형 맞추기가 필요하다. 균형 맞추기를 하지 않으면 적층품은 표면 스트레스가 생기고 변형의 원인이 된다.

균형 맞추기를 잘한 적층품이란 중심 축에 대해서 강화재(타입과 중량)를 대칭적으로 균일하게 적층한 것으로, 그리고 또 수지가 많은 쪽 층과 표면층을 균형 맞추기를 위해 인몰드(In-mold)표면 도장의 반대쪽에 설정적층한다.(Fig. 6)

(3) 경화

GRP는 수지와 촉매와의 발열 반응이 적층품의 내부에서 일어나기 때문에 경화가 된다. 페놀수지의 상온 경화의 경우는, 수 시간(5-7시간)이 걸리고, 그리고 일반적으로 80℃ 정도의 가열이 필요하다. 처음은 형틀 내에서 가열 경화시키고, 그 후 탈형한 것을 치구(治具)에 고정해서 포스트 큐어(Post-Cure)를 하고 있다. 핸드레이 업 성형에 있어서 큐어 사이클은 특히 미묘하고, 후에 변형이 일어나지 않는다면 탈형까지의 시간을 가능한 한 단축하는 것이 필요하다. 열은 적층품 쪽에서 그 중심을 통과하는 형틀의 표면으로 전달되어 가기 때문에 이 점을 잘 생각해서 큐어를 한다.

맞춘 형에 따라 성형(적압 혹은 RTM 등)에서는 열이 보다 균등하게 배분되어지기 때문에, 일반적으로 적층품의 변형은 크지 않다고 생각된다.



Fig. 5 혼합장치.

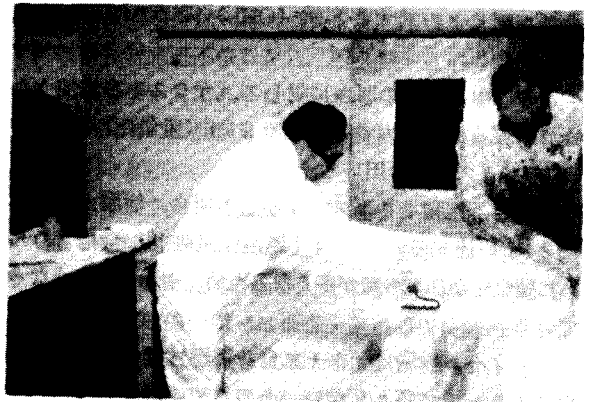


Fig. 6 필자의 페놀 수지의 적층 모습.

(4) 건강안전

건강안전은 엄격하게 지킬 필요가 있다. 그것은 산(酸)촉매를 이용하는 것, 그것에 프리의 페놀과 포름 알데히드의 최대 허용치(OEL)이하로 작업하는 것이다. 이 이유는 일정 두께에 대해서 유리섬유를 많이 사용하기 때문이다.

페놀 수지의 경우는 수지와 유리섬유는 통상 2:1(중량비)이고, CSM 유리섬유를 주로 사용한다.

난연성 불포화 폴리에스테르 수지의 경우는, 수지와 유리섬유는 3:1에 도달한다. 이것은 「연소성 시험」에 합격하기 위해 난연성 첨가제의 양을 증가 시켜야 하기 때문이다. 따라서 수지 량이 많게 되어 중량이 증가할 뿐만

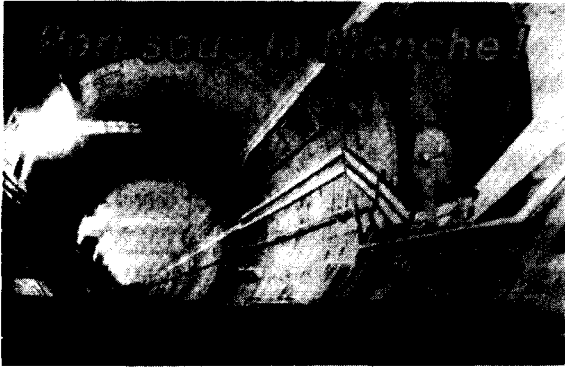


Fig. 7 모달을 이용한 인발성형품의 예(유로 터널 내의벽면의 케 이블 용 방식 트로).

아니라, 화재 시 연기와 유독가스 발생량도 증가하게 되기 때문에 페놀 수지와는 달리 근본적 대책이 될 수 없다. 페놀 수지는 원래 그 자체가 난연성이기 때문에, 난연제와 충전제를 필요로 하지 않는다. 그 때문에 성형품의 기계강도는 향상되고, 굴곡강도, 내충격성 등이 같은 강화재를 이용해도 좋은 결과가 나온다.

2.2.9 전기적 특성

유리섬유 강화 페놀수지 성형품의 트랙킹 하기(표면에 전류가 흐른다)현상이 있어, 전기 부품의 용도로, 특히 아크 방화벽에서는 사용하지 않는다.

이 용도에서는 다른 종류의 수지, 즉 불포화 폴리에스테르 수지, 에폭시 수지 그리고 모달(Modar, 변성 아크릴 수지, 원래 영국 ICI사에서 개발되어, 현재 미국 알슈란도 스페살티 케미칼 사와 일본 ICI 사에서 판매)등이 개발되어 있다. 이 방식은 수화(水和) 알루미늄($Al(OH)_3$)를 난연성 충전제로써 이용한 것으로, 이것이 연소시의 발생 연기량을 감소하고 독성물질의 발생을 적게 하고 있다.

불포화 폴리에스테르 수지계 재료는 2종의 형태로 공급되어지고 있다. 하나는 BMC의 형태로 열 프레스로 성형한다. 다른 하나는 핸드레이 업용으로 복합 형상의 성형품에는 좋지만, 충전제 양이 많고 잘리기 때문에 성형하기가 어렵다.

일반적으로는 충전의 불포화 폴리에스테르 수지계 재료는 무겁고, 물리적 특성은 좋지 않고, 장식 용도의 미적 관점에서 그다지 좋지 않다. 그래서 이 재료에서는 성형성과 물리 특성 향상을 위해 긴 스트랜드 강화재를 이용하고 있다.

모달계는 현재 「인발 성형」에 한해서 이용하고 있다.(Fig. 7) LUL의 화재와 연기 대책용의 인발 성형품으로는 이것밖에 없다고 생각한다. RTM 용의 모달도 있지만, 이것은 LUL의 엄격한 규격에는 불충분하고, 조금 더 완화된 규격의 용도라면 사용할 수 있다.

2.2.10 표면 가식(塗裝)

표면 가식(塗裝)이 페놀 부품에서 필요한 경우는 도장하는 방식으로 한다. GRP 방식에서는 형틀 내에 착색 겔코트를 이용해서 유리처럼, 미려하고 평활한 표면이 얻어진다. 또 수지에 직접 안료를 착색하여 전부 착색하는 방법도 있다.

한편, 페놀수지는 UV 안전성이 좋지 않고, 형상 면은 평활하지만, 적갈색이 되는데, 이것이 원래의 색이다. 이 때문에 도장이 필요한 것이다.

페놀수지를 기초로 해서 착색 겔코트를 개발 시도 했지만 실패했다. 그러나, 도장 방식에는 어느 정도 이점이 있다. 이것은 GRP의 겔코트 보다 내구성이 뛰어나고 피복력도 좋기 때문이다. 또 고객이, 예를 들면 「스테인/세미 클로스의 내면의 마무리」라고 말했다면, 도장만이 유일한 해결 방안이다. 그리고 GRP에 도장하기가 용이하기 때문이기도 하다. 결국 폴리우레탄 수지계 도료(2액체)가 화학적 내식성이 좋고, 극성이 강한 유기 용제에도 강해서 「감쪽같이 지우기」에도 충분히 유효한 것이기 때문에 이용되고 있다. 최근에는 「인몰드 서피스」를 이용하여 도장 전 처리의 작업을 극히 단축시켰다. 예전에는 표면의 핀 홀(구멍)을 막아서 충전제로 이용하거나, 샌딩을 하거나 하는 노력이 많았었다.

2.2.11 원 가

형틀을 제외한 원가를 비교하면 GRP와 PC와의 가격은 대체로 비슷하다. 페놀 수지는 거의 염가이고, 가열 큐어하는 공정의 경비가 추가로 필요하지만 거의 비슷한 가격이다.

그러나 페놀수지에서는 GRP 겔코트와 동일 레벨의 마무리하기와는 달리 도장 공정이 플러스가 된다. 그러나 이것은 GRP에 경우도 도장한다면 동일하게 될 것이다. 실제로 철도 차량의 외부(옥외)용 GRP 성형품은 전두부처럼 다른 부분과 외관 미장을 위해 동일 색 페인트로 도장하는 것이 일반적이기도 하다.

2.2.12 철도 차량에서의 용도

PC의 실용 예를 들면 다음과 같다.

- (1) 내장 및 전두부 등의 외장 판별(Fig. 8, 9)
- (2) 차체 하부와 차체 단부의 화재 방호벽
(BS 6853 적격의 것, BS 476 : Part 21(7)과 22(8)에 시험 합격할 것.)
- (3) 좌석의 셀
- (4) 공기 조절기의 송풍관

2.2.13 실적

유리섬유 강화 페놀 성형품(PC)은 상용 운전 열차의 경우, 철도차량의 내·외장재에 사용된 실적이 이미 10년이



Fig. 8 내장 판넬(운전실 내장 계기판 전부가 PC 임.-영국).



Fig. 9 전두부의 외장 판넬(자동차 운송 전용 열차 "르 샤틀"호-영국).

되었다. 그리고 고도의 내구성과 내 환경성이 필요한 부분에서 지금까지도 어떤 불량의 징후도 나타나지 않고 있다. 실적의 한 예로써 미국 그라스포트워스 항공의 지하철「피플 무버즈」, 이탈리아 로마 시의 메트로(지하철)와 철도 및 버스의 차량의 실적 등이 그것이다. 「피플 무버즈」는 현재 개선 중이지만, 다만 샌딩해서 재 도장하는 정도이다.

2.2.14 Brown 씨의 결론

(1) 기본적으로 유리섬유 강화 페놀 성형품(PC)은 우수한 내구성과 연소 시의 발생 연기량과 독성가스 발생량이 낮은 수치인 것이 확인 되었다.

(2) 개발 초기에는 이 기대감이 일종의 과도한 압력으로 작용하여, 개발 신소재에 대해서 익숙하지 않은 상태에서, 또 내구성과 변형의 실제적인 문제에 대해서 이해가 불충분해서 시행착오가 많았다. 그러나 이 개발 단계에서 꾸준한 경험을 쌓은 결과, 오늘에 와서는 충분히 좋은 성능을 보여주는 신소재를 갖게 되었다.

(3) 그리고 이후, 수치 시스템과 성형 테크닉에서 얻었던 지식과 경험으로 그 성형품의 성능의 개선이 계속되어지고, 사양과 사용의 면에서 큰 자신이 생기게 되었다.

(4) 철도 관계 당국에서는 승객승무원의 화재 시의 안전 확보의 중요성을 더욱 인식하게 되었고, 그리고 PC가 종래의 GRP에 비교해서 월등하게 뛰어나고 유용한 것이라고

확신하게 되었다. 그 이유는 특히 지하철, 침대차량 등에서 연소 시, 발생 연기량과 독성이 중요 쟁점이기 때문이다.

그리고 PC에 대해서도 종래의 GRP의 특징인 「경량화」, 「복잡한 형상의 용이성」 그리고 「비교적 저렴한 원가」라고 말하는 동일한 장점이 있다는 것도 확인되었다.

참고문헌

- 1) BS 476 : Part7 : 1987 - Method for classification of the surface spread of flame of products.
- 2) BS 476 : Part6 : 1989 - Method of test for fire propagation for products.
- 3) BS 6853 : 1987 - British Standard Code of Practice for Fire Precautions in the design and construction of passenger rolling stock.
- 4) BS 2782 : Method 141 : 1986 - Determination of flammability by oxygen index.
- 5) Naval Engineering Standard 713 : Issue 3 : 1985 - Determination of the Toxicity Index of the products of combustion from small specimens of materials.
- 6) French National Standard NF F16-101 : 1988 - Railway Rolling Stock : Fire Behaviour : Choice of Materials.
- 7) BS 476 : Part21 : 1987 - Methods of determination of the fire resistance of loadbearing elements of construction.
- 8) BS 476 : Part22 : 1987 - Methods of determination of the fire resistance of nonloadbearing elements of construction.
- 9) Control of substances hazardous to Health(COSHH) Regulations, 1988 - Guidance Note EH 40.

3. 역자의 후기

이상 Brown 씨의 논문 전체를 소개하였지만, 이에 관해서 Forsdyke 씨, Brown 씨와 필자가 PC에 관해서 무엇이 가장 중요한가를 토론했기에 이하 조목 별로 써서 정리하였다.

(1) 무엇이 가장 중요한가?

영국에서는 "인명 제일이 우선" (Passenger's lives are No.1 issue!)이다. PC는 아직, "재 사용할 수 없지만" (Material recycling is not No.1!), 계속 연구가 진행되고 있으며 전망도 있다. 따라서 현재의 기술로는 「인명 우선」에 가장 적합한 신 재료라고 생각하고 있다.(Forsdyke 氏)

(2) 왜 PC일까?

PC 채용의 이유는 「발생하는 연기량이 극히 적기 때문에 시인성(視認性)이 우수하여 사람들이 안전하게 탈출구

등 대피로를 찾는 것이 용이" 하고, 또한 「독성가스 발생량이 적다」는 것과 함께 「최대의 이유」이다. 이것을 잊지 않기를 바란다.(Brown 氏)

(3) PC 성형품의 변형은 괜찮은가?

Brown 씨 논문에 있는 것처럼 걱정은 없다. GRP의 기본 원리에 따라 설계·제작을 행한다면 「변형」에 관한 한 시끄러운 문제는 나오지 않는다.(Forsdyke 氏)

(4) PC 성형품의 폭열(爆裂)은 괜찮은가?

Brown 씨 논문에서 알 수 있듯이 「잔류 수분」에 따라 일어나는 것이기에, 이것을 저감하는 처리를 한다면 좋다. 2-3mm 두께의 PC 적층판의 경우, 이미 충분히 수분이 빠져있기에 폭열은 거의 없다. 5-10mm 두께 이상이 되면 폭열이 있을 수 있지만, 시간을 길게 하면 수분이 빠져게 되며, 공정 중에 수분을 빨리 휘산(揮散)시키면 더욱 좋다. (Forsdyke 氏)

(5) PC 성형품의 가식(加飾)(도장)은 괜찮은가?

Brown 씨 논문에서 언급했듯이 「핀홀(구멍)」을 확실하게 봉인해서, 전용의 PC 성형품 용 도료를 주의 깊게 도장한다면 문제가 없다. 충전제로 핀홀(구멍)을 막을 때, 손가락 끝으로 확실하게 힘을 주어 누르도록 한다. 도료는 우레탄 수지든지, 아크릴 우레탄 수지든지, 확실하게 마감할 수 있는 극성 유기 용제(케톤 계와 에스테르 계)에 견뎌내는 것이면 좋다. 단지 막 두께는 얇게 할 것.(Forsdyke 氏)

이번 호에서는 영국의 철도 차량 재료 설계의 권위자인 Brown 氏가 자신의 헌신적인 노력과 경험의 정수(精髓)를 요령 있게 잘 진술해 주셨고, 당시의 수지 개발 리더인, Forsdyke 氏도 귀중한 코멘트를 해 주셔서 본 협회지에 기고할 수 있었다. 본 원고가 관계자의 참고가 되어 발전의 원동력이 되기를 바라는 바이다.

4. 결 론

이하 본 보고서의 결론을 정리하면 다음과 같다.

(1) 철도 차량 등의 신규 불연성 재료의 개발은, 지금도 전 세계에서 열심히 하고 있지만, 그것이 실용화되는 데는 아직 5-10년이 소요될 것으로 예상된다. 그러나, PC는 실용화 자료도 축적되어 있으며, 현재의 기술 수준에서는 충분히 안심하고 사용할 수 있는 소위, 유일의 불연성의 「안전한 GRP」이다.

(2) PC는 현재의 기술 수준에서 볼때, 「부품에서 원래의 부품으로 리사이클링 할 수 없다.」는 이유 때문에 사용할 수 없다고 말하는 것은 일리가 있으나, 그것은 지나친 경우이기도 하다. 그러한 것은 지극히 사소한 일이다. 향후 5-10년이 지나면 플라스틱도 케미컬 리사이클

(chemical recycle) 기술이 개발될 것이며, PC도 그 중에 해당될 가능성이 충분하다. 따라서 영국에서 말하고 있듯이 「인명 제일로 이것은 지금 당장 할 수 있는 문제」, 「재 사용은 장래 가능하고…」라는 말은 충분히 일리가 있다.

(3) PC의 안전위생성과 가공성·법규 적합성의 검토는 거의 해결이 가능하다. 단지 수지 배합 방법에 따라, 각각 재료도 다르기에 「연소 특성의 자료」, 특히 「발생가스의 미량 분석자료」는 각 회사가 책임을 지고 내 놓아야만 하고, 그 때, 「경화 조건」과 「경화제(혹은 촉매)의 자료」도 필요하다. 그리고 「잔류 수분과 폭열 방지의 기술 서비스 자료」등을 확립하고, 몰더와 최종 사용자가 안심하고 사용하도록 하고, 관계 법규도 정비되면 실용화를 더욱 촉진할 수 있을 것이다. (제 2편 끝)