

## 特輯

“제2세대 페놀 컴포지트”(PC)의 실용화의 길 - 시리즈(총7편) 中 - 제4편

(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

特輯

페놀 콤포지트 실용화의 길 - 영국의 경우 (CASE STUDY 4)

How Phenolic Composites were chosen - In Case of England (4)

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

ABSTRACT

In applying phenolic composites in the marine market, Mech-Tool Engineering Ltd. U.K., for instance, they developed, based on their fire approval certificated technologies, many products such as bulkheads for boats, firewalls, blastwalls, blastrelief, escape route or tunnels, small modules, or safety hevens and so on.

These are one of very best applications with phenolic composites which may inspire you another fire protecting tools of your new products for our societies as well as those products.

요 지

영국의 경우, 세계에서 최초로 선박·주정의 격벽과 상부구조에 선구적으로 페놀 콤포지트를 실용화한 과정을 지난번 호에서 보고했다. 그리고 해양 관계에서도 해상 유전의 소위 오일리프의 화재·폭발 사고대책에 강철/로코울 등과 함께 페놀 콤포지트를 적용하는 계획이 영국에서 추진되어 실용화 되었다.

이번 호에서는 그 하나의 예로써, 메크 툴-엔지니어링 사의 활동에 대해서 당시 이 사업을 추진한 데이비드 비어스 워드씨의 협력을 얻어 공동 집필자의 한 사람으로 하고, 그 내용을 본지 상에 소개한다. 본 내용은 단순히 이 재료의 용도만이 아니라, 「화재」, 「폭발」의 사고 대책 방법의 하나로써 일본에서 응용하는 것도 함께 고려하고, 재해 대책 신제품 착상의 단서에도 도움이 될 것이라 생각한다.

1. 서 언

영국과 프랑스의 탄광 지방을 가면 「페놀 콤포지트(PC)가 탄광의 광도 보강 재료로써 예전부터 사용되었다.」라고 하는 이야기를 자주 듣게 된다. 탄광 화재는 광부에 있어서 「절체 절명」으로써, 「화재 안전성」의 면에서 PC가 매우 적합한 재료이기 때문이다.

항공기, 특히 대형 여객기의 내장 재료로 PC를 이용한 것도, 광도에 이용한 것과 같은 이유로 「화재가 일어나면 더는 도피할 곳이 없는 상태」로 되기 때문이다.

지하철과 터널 내를 달리는 열차 혹은 야간 침대차량도 동일하고, 철도 차량내의 승객은 「이제 도피할 수 없는 상태」로 되어버리게 된다. 선박·주정의 경우도 동일하다.

앞 호에서 필자는 영국의 선박·주정의 화재 대책으로서, 「PC」를 부재로 선택한 경위의 개요를 서술했다. 이번 호에서는 가능한 범위를 조금 구체적으로 그 실용화 예를 들어서 독자의 참고가 되기 위해 정리한다.

그 이유는 「PC는 세계적으로 여객기와 철도차량에 이용하는 것은 이제 꽤 상식화되고 있다.」는 것에 반해서, 「선박, 주정에서는 아직까지는.....」, 하는 것이 일반의 상식이지만, 여기에 더해서 또 어제 오늘 세계에서 「선박·주정」의 화재사고가 많기 때문에 이 PC를 이용·보급할 필요성을 통감하고 있기 때문이다.

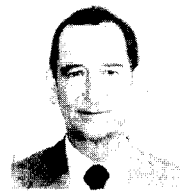


Fig. 1 David Beardsworth.

\* 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

특히 대형 여객선은 해상, 하천을 항해하는 「큰 호 텔」이고, 많은 인명이 타고 있다. 배의 경우, 화재발생에 도 반드시 「절체절명」일 뿐 아니라, 매우 위험하다. 화 재방지는 물론이지만 만일 발생한다면 어떻게 해서도 승 객·승무원을 화재 속에서 보다 안전하게 피난시킬 수 있 을까? 그 통로는? 어쨌든 안전한 장소를 만들고, 거기에 유도해서 인명을 보호할까?

이것은 「배」만이 문제가 아니라, 「인간사회의 거의 대부분의 시설도 동일하다.」라고 필자는 믿어 의심치 않 는다.

FRP산업은 유럽, 미국, 일본에서 다 같이 장기 경제불 황 속에서 「신제품」 「신시장」을 개척하기 위해 활발한 개발활동을 계속하고 있는데, 「선박」과 「건설」분야가 그 대상이지만, 그 중에서도 PC의 역할은 매우 크다. 이 러한 배경에서 필자는 독자 및 관련 생산업자 들에게 「신 제품」 개발·착상의 일조되기를 생각하고 본 자료를 정리 했다.

금번 호에서는 Forsdyke 씨와 새로운 PC부재 제조회사 의 한사람인 윈 맥틀-엔지니어링 사(현재, 컴포지트·화이하 글라스·몰딩 사)의 Beardsworth(Fig. 1) 씨도 필자와 함께 해서, 영국에서의 PC 실용화 제1선의 이야기를 들을 수 있게 되었는데 당 협회 회원 및 볼너 관계자의 참고가 되 기를 바란다.

## 2. 선박관계 부재 제조회사가 PC를 선택한 이유

맥틀-엔지니어링 사(Mech-Tool Engineering Limited)는 영국 동북부 뉴캐슬(Newcastle)시의 인근에 위치하고, 조 선업 관련사업도 많이 취급하고 있다. 동사는 선박용 부 재, 해상유전(오프쇼어·오일·리그, Off-Shore Oil Rig)용 부 재를 제작하고 있다. 이러한 부재는 종래, 강철과 락크울 과 알루미늄을 이용했는데, 문제점은 「화재」와 「폭발」 에 있다.

배의 연료와 해상 유전의 원유가스(탄화수소)의 인화·폭발 사고에 의해 영국주변, 특히 북해 방면에서는 큰 사 고가 발생하였고, 존중되어야 할 인명의 많은 피해가 있었 다. 주로 사망사고의 원인은 급격한 열에 의한 화상 혹은 폭연, 독성가스에 따른 즉사였다.

이 대책으로 동사는 강철/락크울의 맞춤 등 이외의 PC 를 단독 혹은 병용해서 안전도를 향상하는 방법을 채택하 였다.

### 2.1 FRP 컴포지트의 장점

M 사는 강철 등의 금속과 비교해서 컴포지트를 다음 과 같이 평가하고 있다.

- (1) 원가 저감
- (2) 노무비 저감
- (3) 유지비 저감
- (4) 제품 중량 경량화
- (5) 고온 가공작업 저감 (기다리는 시간이 적게 된다.)

그리고 다음에 컴포지트의 대표로써 Table 1의 내용을 검토하고, 장섬유/합성수지 컴포지트를 채택하였다.

Table 1 컴포지트의 대표 예

컴포지트의 종류	컴포지트의 내용	응용 예
금속/금속 컴포지트	철강 중에 티타늄 섬유를 성장 시킨 것	제트엔진 부품
C/C 컴포지트	탄소섬유를 고행탄소 블록으로 봉입한 것	원자력 기기 등의 부재 2000℃까지 충분히 견딘다.
장섬유/합성수지 컴포지트	탄소섬유와 에폭시 수지	레이싱 카, 스텔스 전투기
	유리섬유와 불포화 폴리에스테르 수지	방탄용 장갑차 부재
	유리섬유와 페놀수지	화재 배리어, 지하철 차량
강화재는 컴포지트의 기계적 강도를 받고 있고, 한편 매트릭스는 형상, 색조, 강성 등을 분담하기 때문에 이용하고 있다.		

한편, 합성수지로써 Table 2와 같이 검토하고, 결국 페 놀수지를 결정했다. 장섬유에 대해서는 중량 당 높은 인 장강도를 가지고 있기 때문에 유용하다고 판단했다. 섬유 상이 아닌 것은 성형성도 낮아서 사용하지 않았다. 6~15 마이크론의 가는 섬유는 굴곡강도가 높게 된다.

원재료도 포함해 많은 섬유를 검토하고, 여러 가지 것 이 사용될 수 있다고 판단되었다. 섬유도 적절한 것이기 때문에 너털너덜해질 때까지, 그리고 상이한 타입의 섬유 를 혼합해서 최적의 특성을 갖도록 하는 것도 가능하다. 이상의 기초 검토 결과 최종적으로 PC를 선정했다.

PC의 특징은 다음의 4가지로 생각할 수 있다.

- (A) 고온 하에서의 굴곡강도 유지율이 양호.
- (B) 수 침적 후의 모든 특성 보존율도 양호.
- (C) 발연량과 독성가스가 적은 점은 다른 합성수지에 비해서 뛰어난 성능이다.
- (D) 열전도율이 낮은 점으로 화재 시 유효한 재료이다.

### 2.2 PC의 데이터 예

2.1의 결론을 뒷받침하는 데이터를 동 사에서는 여러 가 지로 정리했지만, 그 한 가지 예를 Fig. 2와 Fig. 3에 표시했 다. Fig. 2는 고온 하(200℃ 정도)에서의 굴곡강도를 비교한 것으로 PC가 우수하다. Fig. 3은 NBS 방식의 발연량 측정

**Table 2** 검토한 매트릭스 레진의 종류 (맥틀 엔지니어링 사의 견해)

No	매트릭스 레진의 종류	검토 내용
1	나이론	열가소계, 강인(強韌), 저강도, 성형이 어렵다.
2	폴리에스테르 수지	열가소계, 중위 강도, 열경화계는 성형성 양호.
3	비닐에스테르 수지	열경화계, 강인, 중-고위의 강도, 성형성 양호, 내약품성
4	에폭시 수지	열경화계, 강인, 고강도, 성형이 어렵다.
5	페놀 수지	열경화계, 중위강도, 성형성 중위의 용이성.
6	아크릴 수지	열가소계, 저강도, 성형이 어렵다. 착색 용이.
7	우레탄 수지	열경화계, 저강도, 가요성, 강인, 착색이 어렵다, 성형속도 매우 빠르다, 내약품성

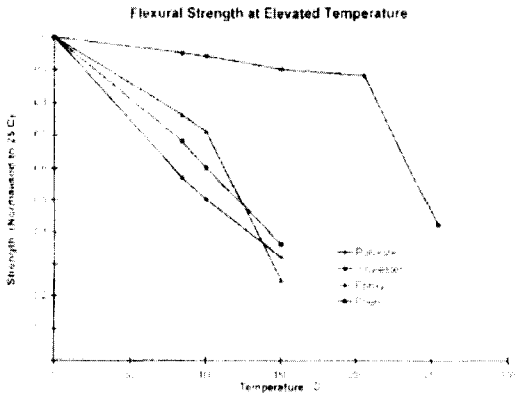


Fig. 2 고온(200 °C)하에서의 굴곡강도 비교.

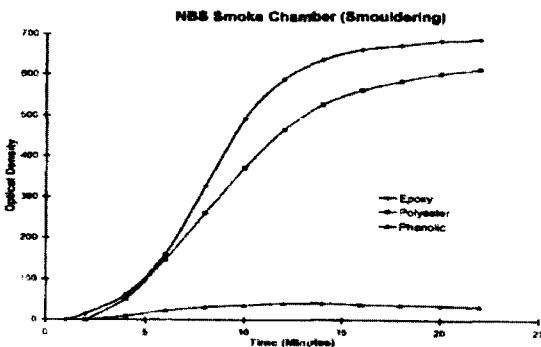


Fig. 3 NBS 방식의 발연량 측정 데이터 예.

테이터 에이지만, 역시 PC가 뛰어나고 있다. 이것은 Fig. 2, Fig. 3의 테이블에서 PC를 실용화하는 길의 밑거름이 되었다.

### 3. 선박용 PC 부재 인증을 위한 실증시험

동 사에서는 선박의 격벽(bulk head)용으로써, 동사 상품명 “Composite Fire Walling System”(FRP 방화벽)의 2종(두께 35mm 및 75mm, 밀도는 어느 쪽도 400kg/m³)의 인증을 받기 위해 IMO(국제 해상협회)시험규격 A.754 (18)의 방법으로 수행하였다.

내화성능 평가는 60분과 120분의 2단계(A60, H120 이라고 각각 호칭)두께도 35 mm와 75 mm로 하고 있다(Table 3).

Table 3에서처럼 60분, 120분에 전부 합격하고, 코이트 레지스타 사에서 내화 인정증서 (Fire Approval Certificate)가 수여되었다. 인정시험 중의 상황을 Fig. 4에 표시했다. 이 시험관은 10개의 관을 집합하고, 그 집합부분의 내화성능도 뛰어나고 있다는 것을 나타내고 있다.

이 인증시험의 성공을 기초로 동 사는 해상용 PC부재의 상품화를 개시하고, 상품명도 특별히 일반화해서 메크라이트 120 (Mechlite 120)이라고 이름을 붙여 판매하고 있다.

### 4. 선박-해양 관계로의 응용 예

#### 4.1 맥크라이트 120의 내용

동사의 맥크라이트 120의 주요 제품을 Table 4에 표시했다.

이의 특징은 다음 9 항목이다.

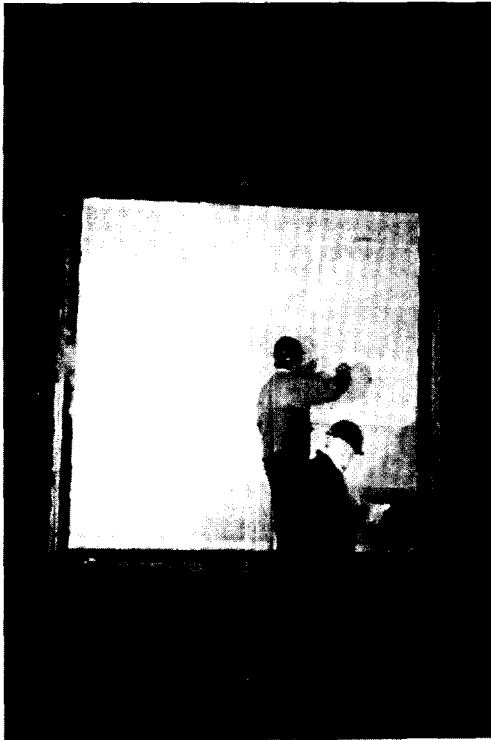
- (1) 경량 (종래의 금속재에 비해서 40% 경량화)
- (2) 발연량/독성가스 (극히 미량, BS476, NES711에 적합)
- (3) 모지라 시스템 (4.5m×1.5m 사이즈 등 조합, 용접 등 고온작업 없음)
- (4) 설계/공사의 자유도 크다.(설계 변경 등 대응 자유)
- (5) 유지 관리 (부식이 없어서 관리, 보수 필요 없음)
- (6) 차음-단열 (음음 흡수, 장기 태양광의 단열도 유효)
- (7) 표면 도장 (PC부재 제작 시에 표면도장 가능하다.)
- (8) 넓은 용도 (방화방폭벽, 폭발 피난설비, 제어실, 엔진 주변 방화방폭벽, 방화문 등)

Fig. 5에 맥크라이트 부재를 제작하고 있는 상황을 나타냈다.

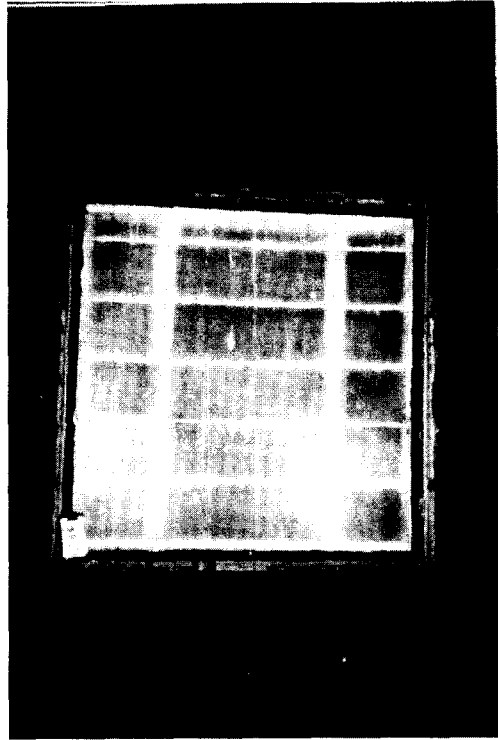
#### 4.2 선박-해양 관계로의 응용 예

- (1) 선박

Mech-Tool H60 Fire Test



(a) Panel after 5 minutes



(b) Panel after 60 minutes

[Note] The test panel incorporated 10 joints which performed successfully

Fig. 4 Mech-Tool Engineering 사의 내화 인정시험.

Table 3 벡툴 엔지니어링 사에 따른 PC제 방화벽의 내화성능 평가결과

Mech-Tool Engineering Limited Abstract From F.R.C Fire Test Report				
Fire Rating	Panel Thickness(mm)	Max Cold Face Temperature(deg. C)	After Time (Minutes)	Reason Test Terminated
A60	35	85	70	Test Discontinued
H120	75	140	125	Test Discontinued

Table 4 방화벽 용 PC판 매크라이트 120시리즈

MECHLITE SYSTEM			
CODE	RATING	THICKNESS	WEIGHT
F 60 A	A 60	35 mm	22.5kg/m <sup>2</sup>
FA 0	A 0	35 mm	22.5kg/m <sup>2</sup>
F 60 H	H 60	50 mm	25kg/m <sup>2</sup>
FH 0	H 0	50 mm	25kg/m <sup>2</sup>
F120 H	H 120	70 mm	35kg/m <sup>2</sup>

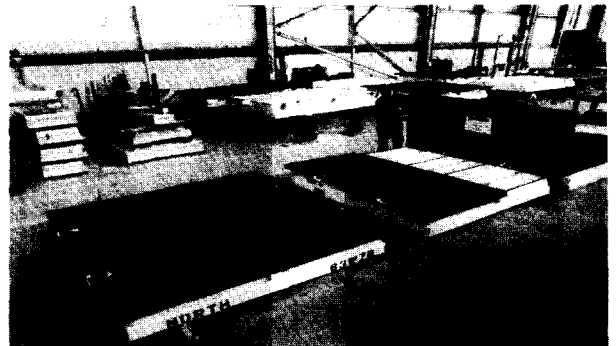


Fig. 5 Mechlite 제작 장면(Mech-Tool Engineering 사).

선박의 격벽 등 선실 내에 이용하는 것 외, 화재 시의 피난통로(에스케이프 루트 혹은 터널), Fig. 6, Fig. 7와 피난

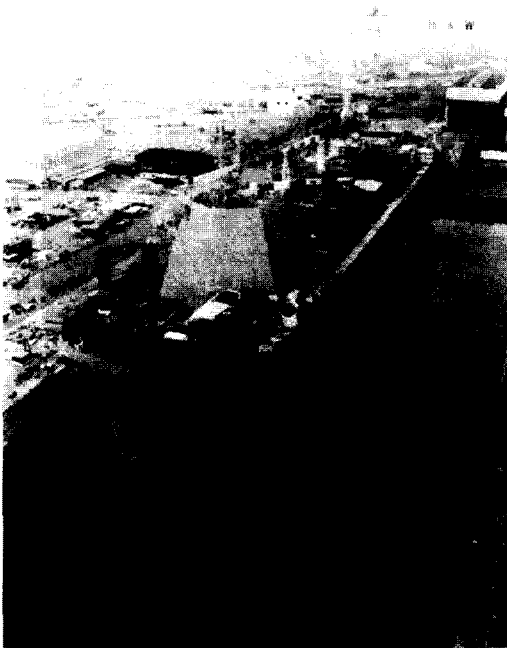


Fig. 6 영국북부에 설치된 FPSO대형채광선.  
(갑판 우측 끝단의 긴 복도가 에스케이프 루트)



Fig. 7 FPSO대형채광선의 에스케이프 루트(터널 내부).

집합장소(세이프티-헤븐)를 PC 단독 혹은 타 재료와 조합해서 제작하고 있다. 이 에스케이프 터널은 주변이 화재 시에도, 그 터널을 통과한 사람들은 대피, 혹은 세프티 헤븐에서 화재사고가 수습될 때 까지 대기할 수 있도록 구상한 것이며, 이 구상은 다른 유사한 경우에도 응용 가능한 수 있을 것이다.

(2) 해양-해상 유전시설

해양 유전시설(오일 리그)에서는 Fig. 8에서처럼 일종의 큰 플랫폼을 짜서 그 위에서 사람이 상주하며 탐광채굴을 하고 있다.

이러한 환경에서 가솔린 등 원유성분(탄화수소계 물질)이 항상 주변에 있기 때문에 인화폭발의 위험도 항상 있다. 이에 필요한 것은,

- (A) 방화벽 (FIRE WALL) (Fig. 9)
- (B) 폭발 예방설비 (BLAST RELIEF) (Fig. 10)
- (C) 방폭벽 (BLAST WALL) (Fig. 11)
- (D) 작업자의 거실 (SMALL MODULE) (Fig. 12)
- (E) 바닥 부재(MODULAR FLOOR) 등이다.

동 사에서는 이러한 것들을 제작 납입하고 있는데, 1990년 이래 다수의 석유회사에 납입하고 있고, 켈시 세계 제일의 실적이라고 생각된다.

동 사는 PC부분을 독립하여, 부근지역에 새로운 회사로 "컴포지트-하이바-글라스-몰딩"사를 설립, 현재 켈시의 한사람인 Beardsworth 씨가 경영을 맡고 있다. 그리고 양사는 긴밀히 협력해서 대 프로젝트를 성사시키고 있다.

5. PC 실용화로의 길

맥클 엔지니어링 사는 방화-방폭에 지금까지 약 25년 이상 경험이 있고, PC의 실용화에 대해서 약 1억 엔의 개발비로 A60, H120 규격시험에 합격, 로이드의 인정을 받아, 배의 격벽부재 외 많은 제품개발에 성공했다. 이것을 기초로 북해 주변의 오일리그 이외도 해상유전 오일리그 설비에 계속 진출하고 있다.

그 대표적 예로 영국 스코틀랜드 북부의 Schiehallion 해상 유전(1993년 발견)의 경우는 1998년부터 영국의 BP 사가 채광을 하고 있는데, 채광 방식은 FPSO(Floating Production, Storage and Off-loading, 해면 채광(유), 저장·출하)라고 하는 종래의 고정식 오일리그를 대신하여 거대한 FPSO 선이 유전 해상에 정박하여 채광하는 것으로, 이때에는 방화-방폭설비가 많이 이용되고, 그 중에 PC가 많이 채택되고 있다.(Fig. 6, Fig. 7)

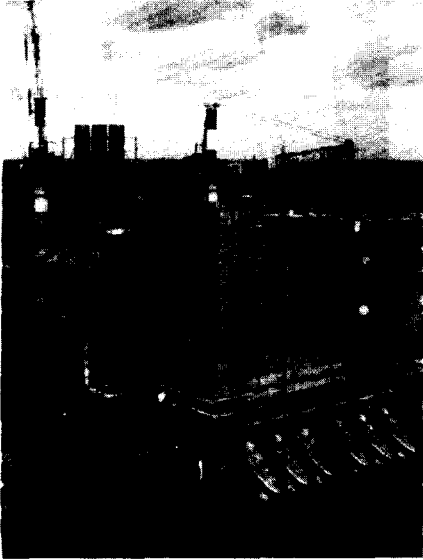


Fig. 8 해상 유전시설(OIL RIG).

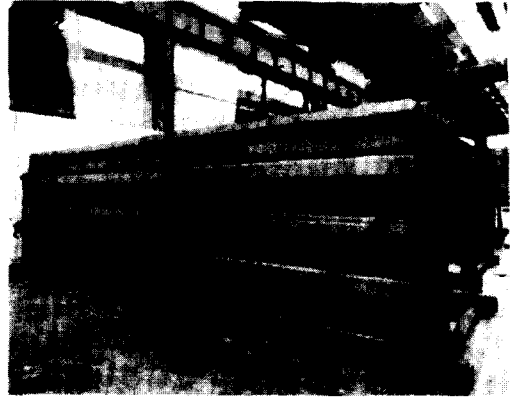


Fig. 11 Blast wall.

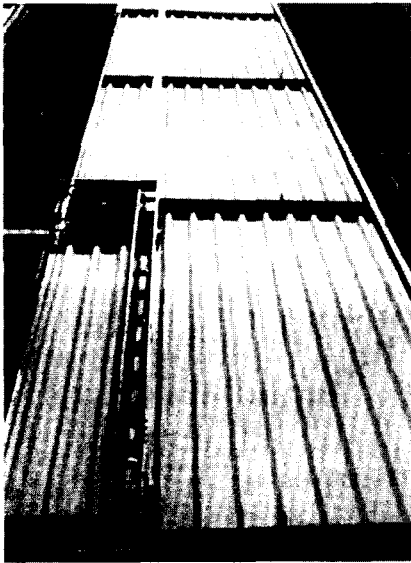


Fig. 9 Fire wall .

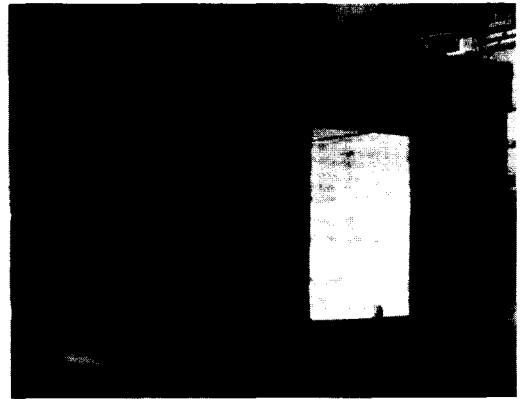


Fig. 12 Small module.

## 6. 맺는말

이상으로 결론을 정리하면 다음과 같다.

- (1) 선박주정의 격벽·내장, 상부구조 부재의 외에도 영국에서는 해상유전(오일리프)의 모든 방화·방폭 설비에 PC가 종래의 강철/목크 울과 함께 유효하게 사용되어지고 있다.
- (2) 그 장점은, 재료 자체가 방화성, 내열성, 저열전도율, 저발연성, 저독성 가스, 그리고 경량으로 시공 작업도 용이하고, 용접 등의 고온작업도 없고, 내식성도 있기 때문이며, 또한 리사이클 성도 낙관적이다.
- (3) 이와 같은 영국의 실용화의 예는 그대로 일본에서도 활용도가 기대 되지만, 특히 해안·만안에 석유 공장·화학 공장이 많은 일본에서는 그 설비의 응용 가능성이 크게 기대된다.

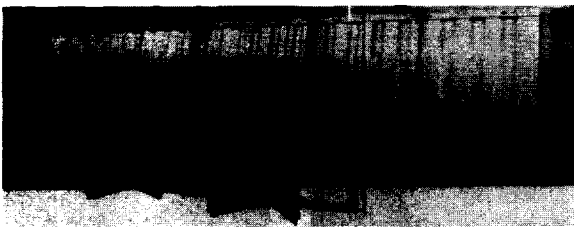


Fig. 10 Blast relief.

예를 들어 계단과 바닥에 인발 성형부품, 그레팅, 기타 방화문 등 많은 실용화가 요구되고 있다. 일본에서도 이미 검토되고 있지만, 우리는 좀더 이러한 실적을 엔드 유저에게 알릴 필요가 있다. (제 4 편 끝)