

난연 플라스틱 파렛트의 도입에 관한 사례 연구

A Case Study on the Introduction to Fire Retardative Plastic Pallet

정 의 수* · 강 성 우** · 강 경 식***

요 약

2008년 1월과 12월의 경기도 이천시에서의 창고화재는 재산상의 피해보다도 방재대책이 허술함과 인명피해에 대하여 사회적인 문제가 제기되었으나 건축자재, 입고 화물 이외에 화재하중 등을 가중시키는 플라스틱 파렛트에 대한 거론은 없었다. 그러나 일본의 소방청 소방연구소에서는 1995년의 자동화창고의 전소화재시 화재조사를 실시한 후 방재대책으로서 플라스틱 파렛트의 화재하중 경감, 발연량 및 유해가스감축을 위한 후속대책으로 난연 파렛트에 대한 연구를 수행하였다. 그 결과 수산화마그네슘 또는 적린과 수산화마그네슘을 난연제로 사용한 플라스틱 파렛트 난연화에 성공하였다. 본고에서는 시험시설 등의 연구환경의 한계로 일본의 연구사례를 조사하고 우리나라의 난연 플라스틱 파렛트 도입방안에 대해 살펴보기로 한다.

1. 서 론

2003년부터 2007년까지 최근 5년간 우리나라의 소방대상물중에서 창고화재는 적게는 642건(2007년), 많게는 801건(2006년)이 발생하였다. 연평균으로는 해마다 735건의 화재로 2.6명이 사망하고 21.2명이 부상을 당하며 약 88억원의 재산피해가 발생하였다.

그러나 2008년도에는 1월의 경기도 이천시의 코리아냉동창고의 화재로 40명이 사망하고 10명의 부상을 당하였으며 재산피해는 약 79억원의 재산피해가 있었으며, 같은해 12월에는 같은 지역의 물류창고에서 용접부주의로 화재사고로 7명이 사망하고 6명이 부상을 당했으며 재산피해는 약 531억원에 달하였다.[1] 일본의 창고화재 발생건수는 우리와 유사하여 2001년~2003년 사이에 연평균 789건의 화재가 발생하였다.

본 논문은 명지대학교 안전경영연구소 협력에 의해 이루어진 논문 임.

* 우당화재연구소

** 명지대학교 산업경영공학과

***명지대학교 안전경영연구소

1997년 11월 교토(京都)의 양말공장 창고화재로 5,989㎡가 소실되어 약 12억엔의 재산피해가 있었고, 같은 시기에 기후(岐阜)에 있는 일반창고의 화재로 18,497㎡가 소실되어 약 41억엔의 손실이 있었다. 특히 1995년 11월에는 사이다마(埼玉)현에 있는 동양제관(주) 제관공장에서 인프라 팩기계의 부적합에 의해 캔 파렛트의 폴리에틸렌 시트와 전열히터의 접촉이 일어나 폴리에틸렌 시트에 착화한 상태로 무인반송차에 실려 래크식 창고로 입고된 후 화염이 성장, 연소확대되는 화재가 발생하여 스프링클러가 설치되었음에도 자동화창고(창고크기 : 높이30m×가로84m×세로33m, 3,051.49㎡)가 전소하고 사망 3명, 부상 6명, 약 16억엔(화물포함)의 재산피해가 있었다. 심지어 1991년에는 증축중인 창고의 4층에서 용접불티로 인한 화재발생으로 3층~4층 6,165㎡의 화재발생시부터 화재진압까지 무려 4일간(약 100시간) 소화작업을 실시한 경우도 있었다.[2] 독일에서도 1977년 10월 65,000종류의 자동차 부품을 보관중이던 래크식 창고에서 화재가 발생하여 연면적 120,000㎡가 전소하였다. 특히 이 창고는 손해보험업계에서 고도의 방재시설이 설치되고 예상손실액이 다른 창고에 비하여 적다고 예상되는 우량 고도방호위험(HPR, Highly Protected Risks)물건이었다.[3]

이와 같이 창고화재는 일단 화재가 발생하면 건축물의 특수한 구조, 즉 무창건물, 소화 작업을 위하여 외벽을 파괴하기 어려운 구조, 방수작업을 하여도 소화수가 화점에 도달하는데 방해가 되는 화물집적, 보관화물 자체의 공기접촉 연소면 보유, 내부의 고열과 연기를 배출하지 못하여 소화활동장애 발생한다. 또한 하역장을 기준으로 출입구를 배치하여 화재진압을 위한 소방대의 현장진입 어려움이 많을 뿐만 아니라, 다량의 화물과 입고가연물, 특히 가연성 포장재료, 가연 파렛트로 인해 화재하중은 더욱 높아지고 화재초기진압은 어려운 실정이다.

언급한 제관공장 래크식창고 화재도 화물자체는 불연성의 캔이나 유니트로드화를 위한 포장재가 폴리에틸렌 시트가 제1착화물이 되었으며, 플라스틱 파렛트가 화세확대에 커다란 요인이었음을 알 수 있었다. 이와같은 관점에서 플라스틱 파렛트의 불연화 또는 난연화는 래크식 창고의 방화대책으로서 중요한 포인트가 될 수 있다.

2. 창고업 현황과 파렛트의 사용

2.1 창고현황

물류정책기본법에서 물류사업은 화물운송업, 물류시설운영업 및 물류서비스업으로 나누고 있으며, 창고업은 물류시설운영업으로서 한국표준산업분류(통계청 고시 제 2007-53호, 2007년 12월 28일)상의 창고업은 H 운수업(대분류), 52 창고 및 운송관련 서비스업(중분류), 521 보관 및 창고업(소분류), 5210 보관 및 창고업(세분류), 52101 일반 창고업, 52102 냉장 및 냉동 창고업, 52103 농산물 창고업, 52104 위험물품 보관업, 52109 기타 보관 및 창고업(세세분류)으로 분류하고 있다. 2007년 통계청에 조사된 보관 및 창고업은 제2차 또는 제3자물류로서 등록된 영업로서 그 수는 1,153개 업체에

불과하지만 실제 창고업은 12,943개로 추정되고 있으며 면적비중으로는 일반창고 31%, 냉장 및 냉동창고 39%, 농산물창고 25%, 위험물품창고 5% 등으로 구성되어 있다.[4]

창고면적별로는 500㎡미만의 창고가 약 5,900개, 500~1000㎡가 약 2,300개, 1,000~5,000㎡가 약 2,200개, 5,000㎡이상이 약 2,500개로 구성되었다. 따라서 1,000㎡미만이 소규모 수동식 창고가 약 63%를 차지하고 있음을 알 수 있다.

창고의 지역분포를 「소방시설 설치유지 및 안전관리에 관한 법률」에 의한 소방검사대상 기준으로 살펴보면 총 16,881개 창고가 표 1과 같이 전국에 분포되어 있으며 화재에 취약하여 대형화재 위험이 있는 창고도 88개소에 달하고 있다.[3]

[표 1] 지역별 창고현황

지역별	계	서울	부산	대구	인천	광주	대전	울산	경기	강원	충북	충남	전북	전남	경북	경남	제주
창고현황	16,881	297	480	741	537	263	434	123	3,561	657	491	1,959	1,316	1,589	2,242	1,624	567
대형화재	83	2	16	2	2	0	0	1	45	0	1	2	4	1	1	6	0

주 1 : 대형화재 취약대상 :

대형화재취약대상은 대형건축물, 가연성 물질을 대량으로 저장·취급하거나 다수의 인원이 출입·사용하는 대상물로서 화재가 발생할 경우 많은 인명 및 재산피해의 발생우려가 높아 특별한 관리가 필요한 소방대상물을 말하며, 대형화재 취약 창고는 하나의건축물로서 연면적 15,000㎡이상이고 샌드위치 판넬조 물류 또는 냉동·냉장창고에 한한다.

2.2 파렛트 사용현황

물류산업에서 창고는 부지활용의 효율화, 창고보관효율의 향상, 관리인력과 에너지의 절감, 관리수준의 향상을 통한 비용절감 등은 물론이고 창고시설에서 스택커 크레인의 주행속도, 주행길이, 승강속도, 표준 파렛트의 사용 및 적재하중 향상을 발전하고 있다. 생산지에서 포장모듈로 규격포장되어 유니트화된 팩을 도착지에서 포크리프트를 사용하여 쌓거나 납입랙의 X, Y, Z 좌표상의 지점까지 무인반송하는 파렛트 로드(Pallet load)는 규격화된 파렛트가 절대적인 역할을 한다. 파렛트에 의한 유니트화는 상·하역 시간단축, 수송효율(적재율,회전율) 증대, 창고보관효율 제고, 화물의 보호, 도난과 파손방지, 물류정보처리 간편 등을 지향하며 파렛트의 역할을 강화하기 위해서는 규격, 강도, 구조, 재질등의 표준화가 필요하여 1995년부터 T-11(1,100mm×1,100mm, KS A2155) 일관수송용 파렛트 표준화를 지속적으로 도입하고 있다. 건설교통부(2004) 조사에서 포장단계에서 T-11 단위포장은 28.7%이고, 박스단위는 40.1%이다. 보관창고에서의 입출고 단위로 박스단위는 44.1%, 파렛트 단위는 33.3%이며, 적재단위로서는 박스단위 32.5%, 파렛트 단위 42.2%로 파렛트 취급량이 50%에 미달되는 것으로 나타났다. T-11의 사용률은 39.4%(2006)에 이르고 있으며 매년 약 1,400만 매가 생산되고 내구연한을 5년을 기준으로 본다면 현재 약 7천만 매가 사용중에 있다. 파렛트의 재질면으로 보면 표 2와 같이 출고용이나 보관용 파렛트에 사용하는 플라스틱의 비율이 각각 약 51%를 넘고 있어 화재안전측면에서 이에 대한 관심이 필요하다.[5]

[표 2] 출고용 및 보관용 파렛트의 사용현황

(단위: %)

구분	규격	목재	플라스틱	철재	종이재	합계
출고용 파렛트 사용비율	1,100×1,100	6.41	18.65	0.31	0.60	25.97
	1,200×1,000	2.82	13.81	0.26	0.06	16.95
	기타	23.44	19.15	14.38	0.11	57.08
	소계	32.67	51.61	14.95	0.77	100.00
보관용 파렛트 보유비율	1,100×1,100	9.79	21.18	0.06	0.30	31.33
	1,200×1,000	4.62	13.17	0.12	0.00	17.91
	기타	28.01	16.76	5.93	0.06	50.76
	소계	42.42	51.11	6.11	0.36	100.00

주1 : 전체 파렛트 사용비율+보유비율에서 차지하는 비율을 나타낸 것임

주2 : 일본의 경우(2005년) 임대 파렛트 1,4,65만 매 중 플라스틱 파렛트는 551만 매(37.6%)이고 목재 평파렛트는 858만 매(58.6%)임[6]

3. 플라스틱 파렛트의 난연화

3.1 일본에서의 플라스틱 파렛트의 난연화 추진

1995년의 동양제관 래크식 창고의 전소사고 이후에 플라스틱 파렛트가 창고화재 확대 원인 중의 하나로 지목되고 창고화재안전의 방화상 과제로 부각됨에 따라 플라스틱 파렛트의 난연화가 추진되었다. 플라스틱 파렛트는 목재 파렛트와 비교해서 내구성, 규격의 통일성, 경량화, 위생 및 리사이클 등 여러 가지 장점이 있고, 사용량은 매년 증가하는 경향이 있지만, 착화하기 쉽고 발열량도 목재의 약 3배이 이르는 등 화재안전상의 결점을 갖고 있다. 일본 소방청 소방연구소에서는 1998년에 (사)일본파렛트협회 및 민간기업과 공동으로 실용적인 난연화 플라스틱 파렛트의 공동개발을 하여 왔다.[7]

플라스틱 난연화에 관한 메커니즘은 플라스틱 베이스와 난연첨가제 사이의 물리적 작용으로 흡열반응에 의한 냉각효과(Cooling effect), 가연성분 희석효과(Dilution effect), 열, 산소, 가연성기체의 차단을 위한 보호막 형성(Formation of protective layer)과 화학적 작용으로 연쇄적 연소과정에서의 활성라디칼기의 포획(Radical interceptor), 첨가된 난연제에 의한 화합물 층을 형성하여 보호막 형성(Formation of char), 연소시 방출되는 기체에 의한 발포성 차르형성으로 연소면을 차단하는 팽창 차르형성(Formation of intumescent)이다.

난연제는 기본적으로 첨가형난연제와 반응형난연제의 2가지 종류로 나눌 수 있다.

첨가형은 다시 유기계와 무기계로 나누고, 유기계에는 인계, 할로젠계로, 무기계는 수산화알루미늄($Al(OH)_3$), 수산화마그네슘($(Mg(OH)_2$), 삼산화안티몬(Sb_2O_3) 등이 사용된다. 반응형난연제로는 비닐기, 카르복실기, 수산기, 에폭시기를 갖는 화합물이 사용된다. 할로젠계난연제는 취소계와 염소계로 나뉘어지며 사용실적은 난연화 효과가 크

고 비용절감이 좋은 취소계가 압도적으로 많다. 할론계 난연제는 내열성향상, 내후성향상, 수지와와의 상용성(相溶性)상향, 비용절감 등 개선은 되고 있지만 연소시의 발연이나 할로겐화수소의 발생 등 인체에 유해한 물질의 발생문제는 해소되지 않았다. 이런 이유로 유럽의 경우 2003년 2월에 WEEE(Waste Electrical and Electronic Equipment)의해 제정 공포되고 2006년 7월 1일부터 발효된 RoHS(유해물질 제한지침, Restriction of Hazardous Substances Directive)에 브롬계난연제가 포함되어 있어 사용제한 되고 있다. 삼산화안티몬(Sb_2O_3 , CAS NO 1309-64-4)은 난연보조제로 염소, 취소의 화합물과 병용되며 물질안전데이터(MSDS)상에 급성 독성물질로 분류되었고 LD50이 경구-쥐에서 34,600mg/kg 수준이며 인체에는 발암성물질로 분류되어 있어 사용량은 매우 적은 편이다.

난연 플라스틱 파렛트의 개발에는 수산화마그네슘($Mg(OH)_2$)과 적린이 단독 또는 적정배합의 비율로 이용되었으며 다음과 같은 연소성시험에 의해 실용적인 난연 파렛트를 구하였다.

(1) UL94연소시험

HB : 수평연소시험으로 연소속도가 일정이하의 경우 시험편의 두께에 따라 다르지만 비교적 두꺼운 시험편(a)의 경우 1.5인치(38.1mm/분)이하로 규정되어 있다.

V-0 : 수직시험으로 어떤 시험편도 접염 후의 연소시간은 10초이내. 5개 1조에 10회 접염 후의 연소시간으로 평가

V-1 : 연소시간은 30초 이내. 5개 1조에 10회 접염 후의 연소시간은 합계 250초이내. 불꽃연소(그로잉)시간은 60초 이내. 탈지면을 태우는 적하물(滴下物)은 없음

V-2 : 연소시간은 30초 이내. 5개 1조에 10회 접염 후의 연소시간은 합계 250초이내 불꽃연소(그로잉)시간은 60초 이내.

(2) 붐베열량계에 의한 연소열측정

원리적으로는 정확히 칭량한 시료를 붐베중에서 고압산소를 가하여 완전연소시키는 것에 의해 붐베 주위에 넣은 물의 온도를 상승시켜 그 온도상승으로부터 연소열을 구한다.

(3) 산소지수식 연소시험

연소통은 내부에 시료를 수직으로 설치하고 주위에 산소와 질소의 혼합가스를 흘려 연소확대 한계에서 연소통내를 흐르는 공기의 산소농도를 산소지수로서 표현하는 방법이다. 이 산소지수는 재료의 연소성을 정량적으로 표현가능하다.

(4) 콘칼로리미터시험

재료의 연소성은 그 재료의 형상, 유지자세 또는 외부로부터 가열상황에도 많이 의존하게 된다. 특히 화재시에는 강한 외부열을 받기 때문에 화재시 재료의 연소성위험을 파악하고 외부방사 가열하의 연소상황을 아는 것이 필요하다. 이 시험에서는 산소

소비량에 의해 가열조건하에서의 발열속도를 거의 실시간으로 측정가능한 연소시험장치이다. 최근 10년정도 ISO 5660 으로 표준화된 이후 국제적인 연소시험방법으로서 전파되고 있다.

***산소소비량**

물질의 단위질량당 연소열은 물질의 재질, 구조식등에 따라 다르지만 연소시의 단위 산소소비량당 연소열은 거의 일정한 13.1kj/gO2 로 ±5%이내에서 물질의 재질, 구조식등에 의존하지 않는다.

(5) 실규모시험(피니처 칼로리미터, 톱칼로리미터)

실규모의 시험방법으로서는 피니처 칼로리미터, 톱칼로리미터라고 불리는 장치가 사용되고 있다. 어떤 경우도 외부방사가 없으며 원리적으로는 콘칼로리미터와 같다. 산소소비량에 따라 발열속도가 추정된다. 후자의 톱칼로리미터는 ISO 9705에 규정되어 있고, 실내 특히 코너부분에 배치된 건자재의 연소시험방법으로서 개발된 것이다.

3.2 플라스틱 파렛트의 난연화 시험

3.2.1 제1단계 난연제 선정을 위한 시험

이 단계에서는 플라스틱 팔레트로서의 성형성, 물리적 특성, 연소성의 관점과 실용가능성에서 할론계, 비할론계 시험제작재를 연소시험을 하고 비난연처리 PP재료와 비교검토를 하였다. 물리적 특성을 제외한 결과는 표 3과 같다.

(표 3) 제1단계 작성자료 리스트와 주요 시험결과 (선정된 난연제의 종류)

난연화팔레트검토용시험편			베이스	적린계난연제				할로젠/비할로젠계난연제		
시험항목	시험법	단위	J-750H P	EX696	EX697	EX698	EX699	EX168S	EX187	8200R
			(비교용 PP)	적 린 (8.3)+ 폴리인 산멜라 민(8.3)	적 린 (4.3) +Mg(O H)2(8.7)	적 린 (4.5)+ 멜라민 (5.4)	적 린 (9.1)	M g (OH)2 (10.0)	논디카계난 연제+삼산 화안티몬 (20)	논디카계난 연제+삼산 화안티몬 (20)
UL94내염 시험	UL94	1/8"	HB	V-2불 합격	V-2불 합격	V-2상 당	V-2 상당	V-2 상당	V-1상당	V-0상당
산소지수	JIS	O2%	17.9	22.7	22.2	19.6	20.3	24.3	29.4	30.3
발열량		kJ/g	46.6	41.7	31.0	43.7	44.5	20.6	40.7	41.1

주 : ()는 난연제 W%

3.2.2 제2단계 난연제 성분배합비율 선정을 위한 시험

제1단계에서 얻은 결과를 기초로 비할론계(수산화마그네슘 첨가)를 대상으로 성분배합비율이 연소성상 및 물리적 성상에 미치는 영향 및 적린을 첨가한 경우의 난연효과에 대해 시험하여 물리적 특성을 제외한 결과는 표 4과 같다.

(표 4) 제2단계 수산화안티몬과 적린의 배합비율 선정 시험결과

난연화파렛트검토용시험편			베이스	적린계난연제						비할로겐계난연제	
시험항 목	시험 법	단위	PP	EX745	EX746	EX747	EX748	EX749	EX750	EX751	EX752
			(비교용PP)	적린(4.8)	적린(9.1) (=EX699)	적린(4.6) Mg(OH) ₂ (25)	적린(4.6) Mg(OH) ₂ (50)	적린(9.1) Mg(OH) ₂ (25)	적린(9.1) Mg(OH) ₂ (50)	Mg(OH) ₂ (25)	Mg(OH) ₂ (50)
UL94내 염시험	UL94	1/8"	V-2불합격	V-2불합격	V-2상당	V-2불합격	V-0상당	V-2불합격	V-0상당	V-2불합격	V-2불합격
산소자수	JIS	O2%	17.7	19.5	20.2	22.3	26.5	23.4	28.8	19.8	22.9
발열량		kJ/g	46.6	45.5	44.5	33.7	22.9	33.1	22.0	35.0	23.7

주 : ()는 난연제 W%

3.2.3 제3단계 플라스틱 파렛트 실대규모시험

제2단계에서 시험결과 역학적 특성 및 난연성의 관점에서 유망한 3개의 난연화 플라스틱으로 EX-752(수산화마그네슘 50w%), EX748(수산화마그네슘 50w%+적린5w%), EX-750(수산화마그네슘 50w%+적린10w%)를 선정하여 실물크기 1/4로 플라스틱 파렛트를 성형하고 반실대실험으로 그 연소성상을 착화성, 착화후의 연소확대성의 측면에서 방화안전상의 유효성을 실증적으로 확인하였다.

4. 난연 플라스틱 파렛트의 도입에 관한 검토

4.1 문제점

플라스틱 파렛트의 화재시 본질적인 위험은 파렛트의 원료인 PP, PE 등이 100℃ 전후의 열변형온도를 지나 지속적으로 수열되면 빠르게 용융되고, 용융상태에서 적상낙하(滴狀落下)하거나 용융착화된 상태로 흘러내려 발화점 하부의 유니트로 연소확대시킨다는 점이다. 창고건축물이 내화(불연)구조이고, 수납화물이 불연품일지라도 가연포장재 및 플라스틱 파렛트로 말미암아 화재위험특성은 고위험군으로 분류된다. 고위험군의 창고에는 스프링클러소화설비의 설치가 의무화되며, 실제상황에서도 설치효과는 증명되고 있다. 미국의 FM(Factory Mutual)에서 1989년부터 1993년까지 발생한 254건의 창고화재를 분석한 결과 스프링클러소화설비를 설치한 106건의 창고는 평균 26만 4천달러의 손해가 있었으나 미설치 창고는 평균 133만1천 달러의 손해가 있어 약 5배의 손해차이가 있었다.[3] 국내소방법에서도 창고는 건축물의 층과 면적을 감안(무창층, 지하층 또는 4층이상의 층으로 바닥면적이 1천제곱미터 이상인 층)하거나, 특수가연물의 저장·취급량이 지정수량의 1천배 이상(플라스틱의 경우 지정수량 3000kg의 1,000배이상, 즉 플라스틱 파렛트의 자중을 30kg/매로 가정시 공파렛트 100,000매를 저장하는 창고)으로 규제하고 있어 창고현황에서 보듯이 면적기준으로 대략 63%의 창고가 스프링클러를 설치하지 않아도 될 것으로 유추할 수 있다. 일본에서는 UL94 V-1 급 등 난연성 플라스틱 파렛트가 PPE(Polyphenyleneether) 등을 원료로 제작, 판매되고 있으나 우리나라에서는 난연성 원료로 UL94 V-0급, V-2급의 PP로 생산될 뿐 파

렛트로 높은 고가의 생산원가(일반 파렛트의 2배 이상 가격을 예상)의 사유로 수요가 없어 제작되지 못하고 있는 실정이므로 기술적인 문제보다는 제도적인 관점에서의 문제점이 크다고 하겠다.

4.2 대책

따라서 일본의 규제강화방안과 같이 높이가 10m를 넘고 연면적이 700제곱미터 이상인 랙식 창고이거나 특수가연물로서 연소열량이 34kJ/g(8,000cal/g) 이상이고, 불꽃을 접촉한 경우 용융하는 성상의 물품을 ‘고열량 용융성 물품’으로 정하여 지정수량의 100배 이상의 수납물 또는 지정수량의 10배 이상의 수납용기 또는 포장재를 사용하는 경우 등을 스프링클러설비 설치대상으로 규제할 필요가 있으며 이러한 규제를 보완하는 방안으로 난연성 포장재 또는 플라스틱 파렛트의 도입은 불가결한 것이다.

따라서 결론으로서 난연 포장재, 플라스틱 파렛트의 도입을 촉진하기 위한 제도개선 방안으로 파렛트 풀단위에서의 공동구매와 회수, 유지관리, 정보처리를 시행하고, 화재 위험경감을 위한 소방행정상의 홍보와 아울러 정책지원을 통하여 도입시기를 앞당길 필요가 있다.

5. 참고 문헌

- [1] 소방방재청(2009), “소방행정자료 및 통계”
- [2] 折原武男(1999). “鎮火まで長時間(約100時間)を要した倉庫火災”, 建築防災, No. 256, P25~26
- [3] 植松憲司,(1999). “倉庫火災の傾向と課題”, 建築防災, No. 256, P15~18
- [4] 박선현, 정귀수, 이경진(2008), “물류창고업의 환경변화와 투자여건 분석” 산업연구 시리즈 제21호, 하나은행
- [5] 국토해양부 외(2008), “ULS 표준파렛트 합리화방안”
- [6] 권안식(2007), “물류 경쟁력 강화를 위한 한·중·일 파렛트 공동이용시스템 구축 방안에 대한 연구”, 박사학위논문, 명지대학교
- [7] 自治省 消防廳 消防研究所(2000), “プラスチックパレットの難燃化に関する研究開発” 消防研究所 消研輯報 第53號, P20~26