

화재실험을 근거로 개발된 운반물상자(tote boxes)의 방호개념

Protection concepts for tote boxes (KLT ⁽¹⁾)

DIPL.-ING. JÖRG WILMS-VAHRENHORST 외

□ 개요

지난 10여 년간 제품과 포장을 위한 플라스틱 물질의 사용은 상당히 증가해왔다. 플라스틱 물질의 사용으로 제조업체와 사용자들이 많은 혜택을 누린 반면에, 화재방호 관점에서 는 문제점이 많다. 플라스틱 물질을 제조 및 저장하는 기업에서의 사고는 중대한 재산손실 을 가져오며, 충분히 방호되지 않은 플라스틱 물질의 화재는 소방대(fire brigade)가 제어하 기 어렵다는 사실을 명백히 보여준다. 더욱이, 적합한 소화설비의 개발은 여러 가지 다양한 요인들이 고려되어야 하는 특별한 도전이다. (예를 들면, 플라스틱 물질의 종류와 수송 컨 테이너의 크기 및 배치)

이미 1991년에 VdS Schadenverhütung⁽²⁾와 Association of the German Automotive Industry⁽³⁾에서 운반물상자 창고의 적합한 소화개념을 개발하기 위한 첫 번째 화재실험을 수행했다. 그 당시 관련된 지침서에 따르면 비발포(unfoamed) 플라스틱으로 만들어진 저장 컨테이너는 화재위험 BG⁽⁴⁾ 4.2로 분류되었다.

그러나 새로운 물질(modern material)과 관련 기술의 발달로 VdS 2092 스프링클러설비 지 침서(Guidelines for Sprinkler Systems VdS 2092)에 따른 전반적인 위험분류는 반드시 적 정하게 적용되는 것은 아님을 첫 번째 화재실험을 통해 증명되었다.

그 당시 수행된 실험에 근거하여, 랙크 개념이 발전되어 화재위험분류(fire hazard class⁽⁵⁾ 4.4)로 분류되었다. 또 다른 요건은 랙크 가까이 배치된 조기반응형 스프링클러헤드(fast response sprinklers)이었다.

플라스틱 컨테이너 블록창고의 방호개념을 알아내기 위해 VdS 스프링클러설비 지침서 개

(1) Klein-Ladungs-Träger (=small charge carrier) 작은 하중의 운반물상자

(2) Verband der Schadenversicherer, 독일 손해보험자협회

(3) Verband der Automobilindustrie, 독일 자동차산업협회, 독일 자동차 산업 및 제조업체를 대표하는 조직

(4) Guidelines for Sprinkler Systems VdS 2092에 따른 위험분류, VdS CEA 4001 위험분류에서 HHS(High Hazard Storage)에 해당 한다.

(5) 창고용도에 대한 적재형태와 높이에 따른 스프링클러 설계를 위한 VdS 세부 위험분류로 건물 내의 가연물질의 양과 가연 성의 정도에 따라 분류된다.

정판(amendment) S1/93에 포함된 추가 실험을 수행했다.

그 당시, 블록적재물을 위한 설계요소는 다음과 같이 정의되었다.

- BG 4.4에 따른 분류
- 적재물의 최대 높이 3m
- 적재물 상부의 포용
- 조기반응형 스프링클러헤드
- 살수밀도 17.5mm/min (포 혼합)
- 금속팔릿(6)에 놓인 적재물

VdS CEA 4001(7)에서는 VdS 2092에 열거된 PP(polypropylene)/PE(polyethylene), PS(polystyrene) 물질 보관에 관한 요건이 상세히 기술되어 있다. 그러나 3m로 제한된 블럭 적재물의 최대 높이로 인해 상부 저장높이의 범위 및 금속팔릿의 사용(use of metal support)은 실질적으로 제한되었다.

이러한 제한 요인들로 인해 적재공간의 효율적인 사용을 위한 새로운 방호개념이 요구되었다. 새로 방호개념은 2006년 5월과 2007년 5월에 VdS Schadenverhütung, FM Global(8) 및 보험사에서 수행된 운반물상자 블럭적재물의 실물크기 화재실험(full-scale fire tests)에 근거를 두고 있다.

□ 실험 배치

플라스틱 컨테이너의 방호개념 개발에 주요한 문제는 물질의 매우 높은 가연성이다. 폴리프로필렌(PP)과 폴리에틸렌(PE)은 고온에서 인화성 액체와 같이 작용한다.

화재와 같은 고온의 상황에서 플라스틱 물질은 액화되어 소위 pool fire(9)로 발전하여 적재물의 하부에서 연소하며, 소화수는 그 영역에 쉽게 도달할 수 없기 때문에 동적 화재성장(dynamic fire development)을 야기할 가능성이 있다.

추가적인 문제는 소화수가 컨테이너 표면을 타고 흘러 내려 플라스틱 컨테이너는 판지용기와 같이 흠뻑 젖지 않기 때문에 pool fire와 같은 화재는 진화되기 어렵다는 것이다.

(6) 창고나 공장 등에서 물품을 운반 및 저장할 때 사용하는 운반대

(7) VdS CEA 4001 Guidelines for Sprinkler Systems, Planning and Installation, 건물 및 산업공장에서 스프링클러설비의 설계, 설치, 유지관리에 관한 조건 및 권장사항을 기술한 지침서

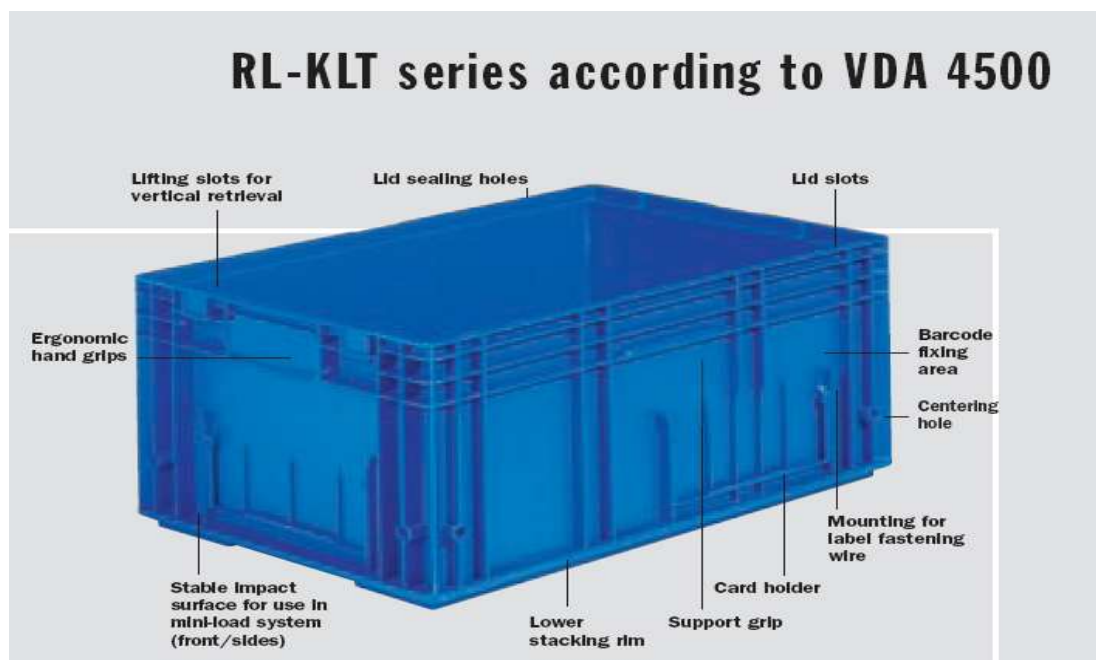
(8) 산업 모든 분야에서 포괄적인 보험상품 및 재산 손실 방지 엔지니어링 서비스를 제공하는 미국 보험회사로 화재예방을 위한 각종 장비 및 설비 및 물질에 관한 인증 서비스를 제공한다.

(9) 인화성 액체의 표면이 대기 중에 노출, 착화되었을 때 일어나는 화재, 인화성 액체가 저장탱크나 배관으로부터 누출될 때 액체 pool이 형성되며, pool이 형성되면 액체 중의 일부는 증발하게 되고 증기화하는 인화성 물질에 연소하한계 상에서 점화원과 접촉하면 화재가 발생한다.

따라서, 3m 이상의 적재높이를 허용하기 위해 연소 확대와 열의 영향이 제한된 다음의 두 가지 설계 요소로 화재실험은 수행되었다.

- 살수밀도 30mm/min의 1% 포 혼합 설계된 스프링클러설비
- 살수밀도 30mm/min의 소화수 전용으로 설계된 스프링클러설비

FM Global Research Campus⁽¹⁰⁾는 실험을 위해 VDA Recommendation 4500⁽¹¹⁾에 따른 뚜껑이 없는 빈 운반물상자를 사용했다.



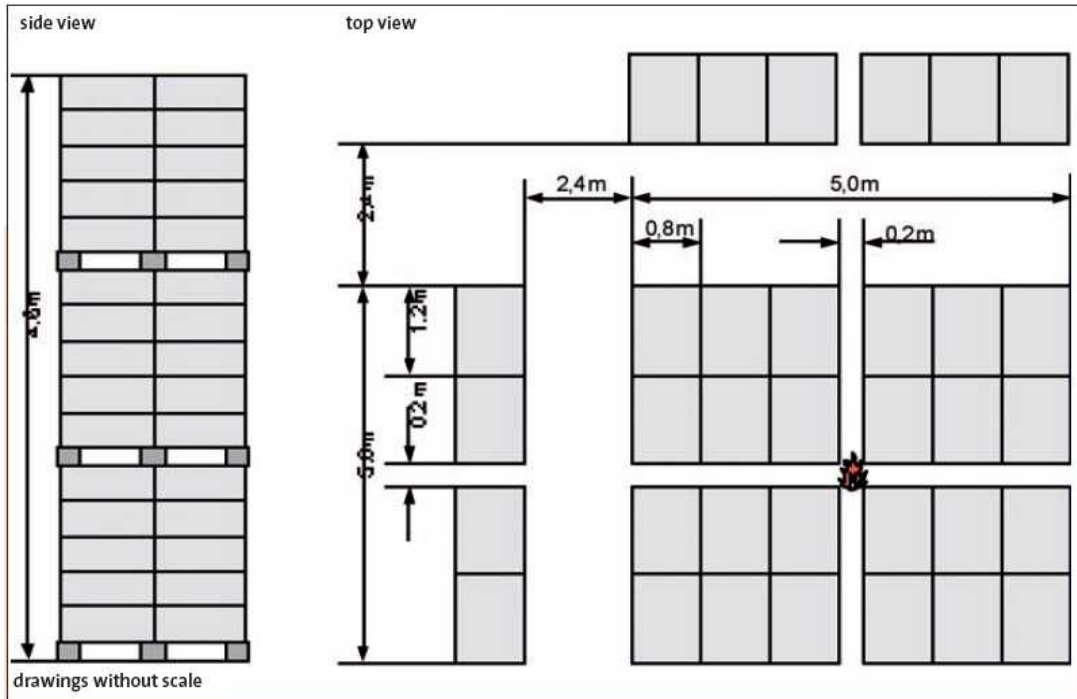
VDA Recommendation 4500

실험에 사용된 폴리에틸렌(polyethylene)컨테이너는 이중벽(double-wall) 구조로 용적은 400mm x 600mm x 280mm 이며, 목재팔릿 위의 실험배열은 [그림1]과 같다. 인접한 블록 창고 구역의 재현을 위해 상대적으로 낮게 적재된 컨테이너를 실험배치 중심에서 2.4m 이격하여 배치하였다. 또한 VdS에서 승인된 RTI⁽¹²⁾ 50이하인 k160 조기반응형 스프링클러헤드가 사용되었고, 10.5m의 천장 높이에 3m 간격으로 배치되었다.

⁽¹⁰⁾ 화재, 폭발, 자연재해 등 재산손실 방지를 위한 연구와 제품 테스트를 수행하는 미국 FM Global의 연구센터

⁽¹¹⁾ VDA(독일 자동차산업협회)의 small load carrier "KLT" system (하단그림 참조)

⁽¹²⁾ 반응시간지수, 화재 시 기류의 온도, 속도 및 작동시간에 대한 스프링클러헤드의 반응을 예상한 지수
표준반응형: RTI 81초과~350이하, 특수반응형: RTI 51초과~80이하, 조기반응형: RTI 50 이하



[그림1] 실험배치 형상

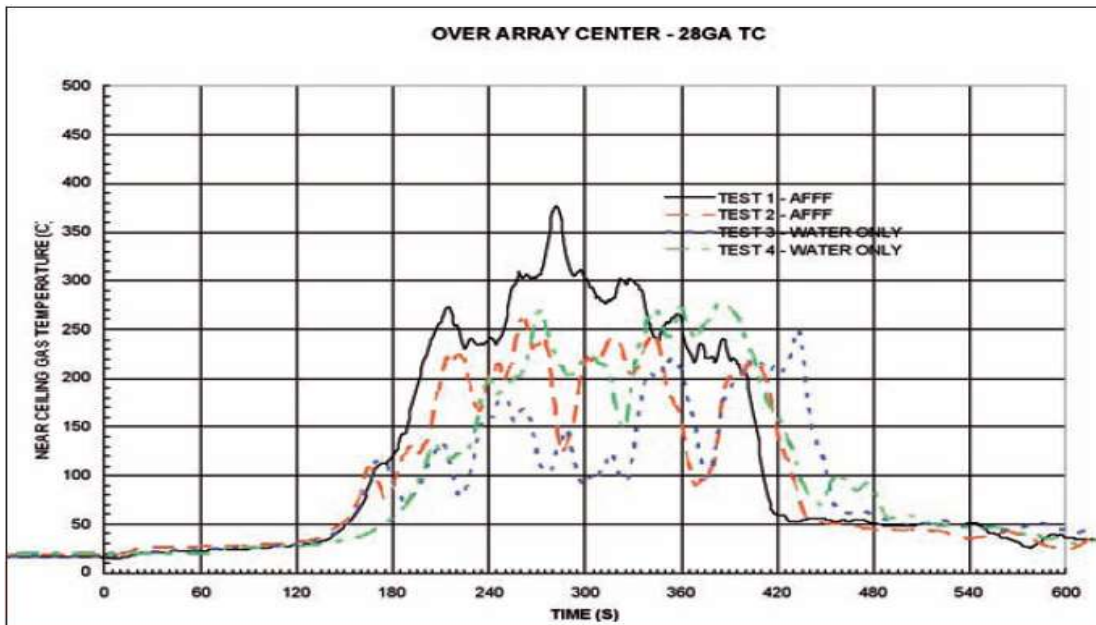
□ 실험 관찰

플라스틱 컨테이너는 실험배치 중앙에서 발화되었다. 모든 실험에서 최초 스프링클러헤드는 3분 미만에 개방되었다. 이후 스프링클러헤드는 대략 5~7분 사이에 개방되었고, 모든 실험에서 최대 19개가 개방되었다. 포혼합설비 및 소화수를 이용한 각 실험에서 개방된 스프링클러헤드의 위치와 순서는 [그림4]에 나타내었다.

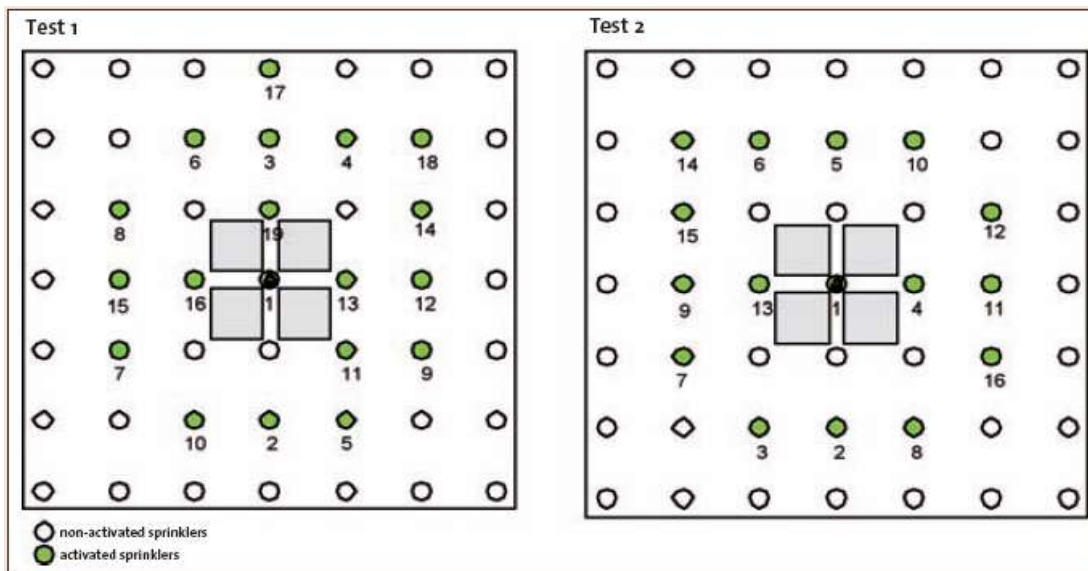
우선, 몇몇 스프링클러헤드의 작동은 별다른 효력을 나타내지 않았다. 화염 높이는 대략 5분 후에 감소되었는데, 이것은 포 혼합 실험에서 약간의 잔존화염이 스프링클러설비가 정지된 후 진화되었기 때문이다. 소화수만 사용한 실험에서 광대한 화염은 실험 끝부분에서 계속 관찰되었고, 포 혼합 실험에 비해 수동으로 진화하기 위해서 상당한 노력이 요구되었다.

이런 화염의 관찰결과는 [그림3]과 같이 천장 부근의 온도에도 반영되었다. 모든 실험에서 광대한 열 발달로 인해 실험 더미의 일부가 붕괴되었다.

플라스틱 화재의 또 다른 전형적인 특징은 매우 강렬하고 자욱한 연기의 축적으로 일정한 시간이 지난 후에는 더 이상 가시적인 관찰이 불가능하다는 것이다.



[그림3] 천장부근 온도



[그림4] 포 혼합된 스프링클러헤드의 작동 순서

□ 화재실험 결과

포 혼합설비를 사용한 실험의 결과로 포 혼합 스프링클러설비 설계는 화재 제어가 가능하다는 것이 증명되었다. 그러나 두 가지 실험 모두 비교적 쉽게 잔존화염을 약하게 할 수는 있었지만, 화재가 완전 진화되진 않았다.

소화수만 이용한 실험의 결과 역시 화재 제어가 가능하다는 것이 증명되었다. 비록 포 혼합 실험에 비해 소화설비 정지 후 상대적으로 큰 손실이 발생하고 넓은 범위에서 잔존화염

이 발생되었지만, 수집된 데이터에 근거한 방호개념은 만들 수 있었다.

[표 1] 실험결과

구분	실험1	실험2	실험3	실험4
날짜	2006/5/1	2006/5/4	2006/5/8	2007/5/8
압력(flooding pressure) [bar]	3.2		3.2	
소화약제	물 / 포1%		물	
최초 스프링클러헤드 작동 [min]	02:48	02:43	02:48	02:19
최후 스프링클러헤드 작동 [min]	05:29	07:01	05:31	06:00
작동 스프링클러헤드 수	19	19	16	16
평균 스프링클러 방출 [ℓ/min]	288	288	288	288
최대 기체온도 [°C]	432	306	285	322
실험 지속시간 [min]	20	12.5	25	30



[그림 5] 소화설비 정지 후 피해

□ 운반물 상자 창고의 방호개념

화재실험에 근거하여 운반물상자 창고에 관한 두 가지 새로운 방호개념이 개발되었다. 방호개념은 VdS CEA 4001 지침서 2008년 개정판(2008 edition of the VdS CEA 4001 guidelines) k7.3, k7.4에 설명되어 있다. k7.1, k7.2의 내용은 1990년대에 개발된 운반물상자 창고의 방호개념에 관한 것이다.

□ 최대 적재높이 4.6m의 독립형(free-standing) 적재물의 방호개념

VdS CEA 지침서 k7.3에서는 플라스틱 적재물의 위험에 관한 스프링클러설비 설계에 대해 기술되어 있는데, 이것은 소방대의 화재 진압작전이 가능하게 하기 위한 초기화재의 효과적인 제어에 관한 내용이다.

스프링클러설비의 설계요소 외에도 조직적인 대책 및 화재방어조건 역시 필수적이다.

방호개념은 큰 하중의 운반물상자(GLT⁽¹³⁾)와 같은 특별한 유형의 플라스틱 자재에도 적용 가능하다. 화재방호 관점에서 침투성(water-permeable), 단일벽(single-wall) 구조의 큰 하중의 운반물상자는 실험에서 사용한 작은 하중의 운반물상자와 같은 방식으로 제어 가능하다.

실험에 근거한 스프링클러설비는 다음과 같이 설계되었다.

- 습식전용 설비로서 설계(design as wet pipe system only)
- 최대 천장높이 10.5m
- 최대 적재 높이 4.6m
- 스프링클러 설치 넓이 300m²
- 스프링클러헤드 당 포용면적 9m²
- 살수밀도 30mm/min
- 반응분류 "Fast"의 k160 스프링클러헤드
- 수성막포 소화약제 사용 권장

상기 설계요소로 살수밀도 25mm/min, 적재높이 3.8m까지는 충분히 방호 가능하다.

그러나 상기 언급된 소화설비 설계에 관한 세부사항 외에도 완전한 화재방호 개념의 조건을 만족시키기 위해 추가적으로 조직적인 손실방지대책이 반드시 행해져야 한다. 다음의 제시된 방법들은 개별적으로 기술되고 계획되어야 하며, 보험자의 동의하에 위험의 형태에 따라 특별한 고찰이 필요하다.

□ 소방대

소화설비의 작동은 화재를 제어할 뿐, 화재를 진화할 수는 없기 때문에 소방대의 활동은 자동식 소화설비의 동작과 동시에 이루어져야 하며, 소방대는 플라스틱 물질의 화재 시나리오에 훈련되어야 한다. 따라서 다음의 화재방어 조건이 적용된다.

- VdS 2034⁽¹⁴⁾의 세부사항에 따르면, 소방대의 집합시간은 언제든지 10분을 초과해서는 안 된다.

⁽¹³⁾ Groß-Ladungs-Träger (=big charge carrier) 큰 하중의 운반물상자

⁽¹⁴⁾ VdS 2034 Non-Public Fire Brigades, Leaflet for Assessment, 임무 완료된 소방대 평가를 위한 지침카드

- 최초의 소활활동에는 호흡장비를 갖춘 최소 6명의 인원이 참여해야 한다.
- VdS 2034의 세부사항에 따라 소방대의 평가는 FK4이거나 그 이상이어야 한다.
- 스프링클러설비 작동 후에도 오랜 시간동안 화재확산이 감소되지 않는 상황에서 포괄적인 기본훈련과 정기적으로 교육을 받은 소방대는 방호개념을 위해 필수적이다.

□ 소화용수 공급

German Industrial Buildings Regulation(IndBauR)의 조건에 따르면 소화용수 공급은 스프링클러설비 유형에 관계없이 1.5bar의 방수압으로 2시간 이상 이용가능한 최소 192m³/h가 필요하다. 또는 400m³의 소화수조가 충분한 용량의 소방펌프와 함께 갖춰지는 것도 가능하다. 추가적으로, 건물에 적어도 3개의 DN80 소화전이 최대 50m 거리 이내에 위치하여야 한다.

□ 연기 및 열 배출 환기설비(Smoke and heat exhaust ventilation)

공장 및 제품 보관창고에서의 플라스틱 물질의 화재는 상당한 연기를 발생시키므로 연기 및 열 배출 환기설비(SHEV)가 필요하다. 연기 및 열 배출 환기설비는 스프링클러설비의 동작에 영향을 주지 않기 위해서 수동으로 작동되어야 한다.

또한, 연기 및 화재 구획실의 크기는 보험사의 평가에 따라 5000m³를 초과하지 않아야 한다.

□ 저장계획

실험에 근거하여, 플라스틱 화재위험을 방지하기 위해 저장구역은 150m²를 초과하지 않아야 하고, 각각의 저장구역은 최소 2.4m의 방화대(fire breaks)로 구획되어야 한다.

또는 대안으로서, 방호개념은 소규모 저장구역의 넓이를 25m²까지 제한한다. 이 공간은 최소 너비 1.2m의 방화대로 구획되어야 한다.

비록 현재 실험은 보호 패널(cover panel)없이 수행되었지만, 보험사는 잠재적인 손실을 최소화하기 위해 컨테이너 상부 가까이에 보호 패널을 설치하는 것을 권장한다.

□ 생산지역에서의 적재물 방호개념

많은 산업 공장에서 플라스틱 컨테이너는 생산지역에 보관된다. VdS CEA 지침서 개정판 7.4의 방호개념은 생산지역에 보관된 컨테이너의 경우 값비싼 스프링클러설비의 부분적 변경을 피하기 위한 HHP-protected risks⁽¹⁵⁾를 위해 개발되었다. 이 방호개념은 운반물상자의 적재높이가 1.2m를 초과하는 경우에만 적용 가능하다.

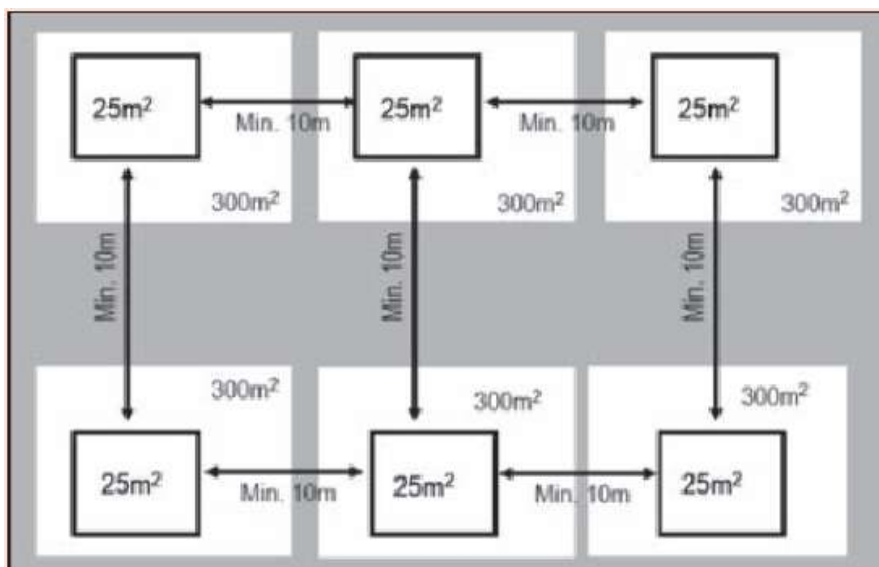
(15) HHP(=High Hazard Production)

방호개념에서는 전체 저장구역의 합계가 150m²를 초과되지 않도록 하며, 25m²의 소규모 저장구역을 6개 설정한다. 저장구역은 최소 너비 2.4m의 방화대로 구획되어야 하며, 측면 길이는 10m 이내이어야 한다.

아래 기술한 스프링클러설비 설계서에 따른 스프링클러가 설치된 생산지역에 보관된 적재물은 화재를 거의 제어할 수 없고, 저장구역은 300m²의 바닥면적 중 25m²를 초과해서는 안 된다.

설계요소는 화재위험 분류 HHP1~HHP3의 7.5mm/min ~ 12.5mm/min까지의 살수밀도에 근거를 두고 있다. 다음의 결과는 살수밀도에 따른 적재높이 이다.

- HHP1 설계서
 - 살수밀도 7.5mm/min
 - 적재물의 최대높이 1.6m
- HHP2 설계서
 - 살수밀도 10.5mm/min
 - 적재물의 최대높이 2.0m
- HHP3 설계서
 - 살수밀도 12.5mm/min
 - 적재물의 최대높이 2.3m



[그림 6] 생산지역에서의 저장구역 배치

□ 요약

화재실험에 근거한 운반물상자 적재물의 방호개념은 기술적, 유기적인 방법을 포함한 특정유형의 플라스틱 컨테이너 창고에 관한 두 가지의 효과적인 방호개념에 대해 설명하고

있다.

그러나 화재 시 상당한 연기발생으로 인한 건물 및 저장물자의 막대한 연기 피해는 방지될 수 없다. 현재 창고의 유형은 변하고 있고 컨테이너의 용적과 재질은 향상되고 있다. 그 결과, 플라스틱 창고의 방호개념은 이와 같은 변화요소에 따라 적절히 개발시켜 나가야 할 것이다.

참고문헌

- VdS 2092 Guidelines for Sprinkler Systems, Planning and Installation
- VdS CEA 4001 Guidelines for Sprinkler Systems, Planning and Installation
- VdS 2034 Non-Public Fire Brigades, Leaflet for Assessment
- VDA Recommendation 4500 for Plastic Containers
- VdS/FM Fire Tests May 2006 and May 2007

📁 참고자료

VdS Schadenverhütung (=Verband der Schadenversicherer)

독일 손해보험자협회, 1948년 독일의 손해보험업자가 설립한 위험관리기관으로서 독일 전역에서 영업을 하고 있는 외국사를 포함한 200여개의 손해보험사가 출연하여 운영하고 있다. 주요업무는 화재, 도난, 수손, 농업분야 등 20여개의 손해보험종목과 관련된 실험, 인증, 검사 및 기준 제정뿐만 아니라 교육훈련 업무도 담당하고 있다. 또한 기술지원업무로서 건축방재, 전기안전, 위험평가 및 환경관리 등 다양한 분야의 업무를 수행하고 있다. 본부는 쾰른에 위치하고 있다. (website: <http://www.vds.de>)

CEA VdS 4001과 VdS 2092의 위험분류 비교

LH (Light Hazard)	→ BG1
OH (Ordinary Hazard)	→ BG2
HHP (High Hazard Production)	→ BG3
HHS (High Hazard Storage)	→ BG4

출처 : S+S Report (2009.4, VdS Journal)

번역: 부산경남지부 이해원