



일본에서의 화재폭발 연구 동향



이 군원

한국산업안전공단 산업안전보건연구원

1. 들어가는 말

화학공장의 각종 공정설비의 규모가 커지고 복잡화됨은 물론 사용되는 화학물질의 다양화 및 사용량의 증대로 화재·폭발의 위험성이 잠재하고 있다. 이러한 중대 산업사고를 예방하기 위해 세계 각국에서는 화재폭발에 관한 연구가 수행되고 있다. 본고에서는 최근 일본에서 화재폭발에 관한 연구동향을 일본 소방청 소방연구소와 산업안전연구소의 연구과제를 중심으로 소개하고자 한다.

2. 화재 폭발 연구동향

가. 위험물 판정 시험법에 관한 연구

(1) 목적

위험물의 위험성에 관한 판정 시험은 일본 국내에서 소방법령에 따라 해상 및 항공 수송시 국제 규약에 정해진 방법에 따라 행해지고 있다. 따라서 시험법에 관해서 국내법령과 국제적 규약의 종합성을 구하고 있다. 위험물질의 인화현상, 자기 반응현상 및 산화성 물질에 따른 연소현상에 대해서 기초적 현상을 도모할 필요가 있다. 거기에 국내의 시험법을 통일한 보편적인 시험법을 규정하는 것이 바람직하다. 본 연구는 인화성 위험물 및 자기 반응성 위험

물의 인화 발화 및 분해성에 관한 연구에 병행하여 위험성을 판정할 종류의 위험법의 개발 및 개량에 관한 연구를 하고 있다.

(2) 연구기간

1999. 4 - 2001. 3

(3) 개요 및 경과

① 인화성 위험물 : 동식물유, 윤활유, 원유등의 다성분 물질 및 고인화성 물질에 대하여 이러한 인화점 및 발화점의 측정결과와 콘카로리미터(Cone Calorimeter) 등의 시험법에 따라서 얻은 연소속도 등의 자료를 종합하여 위험성 평가를 행하고 있다.

현재까지 연구결과는 인화성 위험물에 대하여 콘카로리미터 등의 시험법에 따라 화재 위험성 평가를 행한 결과 대부분의 동식물유 연소속도와 화재길이, 인화점으로부터 기준이상으로 크며 화재시 저인화점 같은 위험성이 크다고 판단하였다.

② 자기 반응성 물질 : 자기가속분해온도에 관해서 “Dewar” 시험법을 실시하여 시료내부의 온도변화를 측정하여 자기가속 분해거동을 해석한다. 개량형 밀폐식 압력용기시험에 대해서 국제 기준화를 위해 “Round Robin Test”로 표준시험 매뉴얼 작성의 기초자료를 얻는다. 자기 반응성 물질에 대해서는 계면 반응기에 의한 완만 반응에 기반한 자기가속 분해온도의 기구에 관한 연구를 행하여 ARC 열분석

계와 반응열량계 결과에 따라 예측 상위점 원리에 대해 검토했다.

③ 산화성 위험물 : 산화성 고체 시험법에 대해 시험조건의 영향을 찾아내기 위해 점화전의 형상, 시험조건 등의 변화에서 연소시험을 행한다. 산화성 액체 위험성 평가방법에는 “Time Pressure”법에 관해서 시험조건의 영향을 찾아내기 위하여 사용 세루로즈의 종류, 점화현상 등을 변화시켜 실험을 행한다. 그 결과 문제점에 대해서 상세히 조사하였다.

산화성 위험성에 대해 국제 연합이 정한 시험법에 따라 시험을 끝냈고 시험환경(온습도 설정), 시험방법(니크롬선 점화방법)등에 문제가 있다. 이것은 시험에 사용한 세로로즈의 흡습성에 기인한 것으로 판단된다. 향후 국제연합 시험법의 개선이 필요하다.

나. 연소억제 기구에 관한 연구

(1) 목적

하론 대체 신소화제로 사용되고 있는 불화 탄화 수소 화합물은 하론 소화제와 같은 화학적 소화제로 종래 하론 소화제에 비해 현저하게 소화능력이 떨어진다. 본 연구는 불화탄화수소에 대체한 차세대 신소화제를 개발하기 위한 단계로서 화재중 효과적인 촉매 연소억제 사이클을 보여주는 것을 목적으로 하고 있다.

(2) 연구기간

1997. 4 - 2000. 3

(3) 개요 및 내용

상세 반응모델을 포함한 화염의 시뮬레이션을 행함에 따라 각종 화염의 소화에 효과적인 반응을 나타내고 연소억제 기구와 관련성에 대해서 검토하였다. 하론 1301을 포함한 불소원소에 다른 촉매연소 반응을 억제 가능한 활성 화학종에 요구되는 화학적 성질을 조사하여 연소억제 효과를 하론 소화제 및 하론 대체 소화제의 연소억제 효과를 비교하였다.

대표적인 하론 소화제로는 하론 1301과 불화탄화 수소계 신 소화제의 한가지인 HFC23에 대해서 양자의 연소억제 반응의 성질을 비교하는 것에 따라 효과적인 가연연소 억제를 달성하기 위한 필요조건을 탐색했다. 부촉매 연소억제 반응사이클 성능을 정량적으로 견적된 지표로서 “총괄 활성화 에너지 변화”를 제안했다. 여기까지 화학적 연소억제 효과를 얻었다고 생각하며 각종 화합물에 대해서 연소억제의

주 요인이라 생각되는 중간 화학종의 열화학 물성과 각 화합물 연소억제 효과의 연관성을 조사했다.

① 하론 1301과 HFC 23 연소억제 반응에 관한 연구 : 하론 1301은 화염온도가 낮고 정억제효과가 큰데 대해 HFC 23의 억제효과는 화염온도 영향을 받지 않는다. 소화제 둘다 연소억제 효과에 대해서 화염온도 의존성이 다르며, 유효한 촉매연소억제 사이클 유무에 의한 것을 알았다.

② 총괄 활성화 에너지 변화 (-) 촉매억제 사이클 성능의 정량적 지표 : 각종 소화제의 비촉매적 라디칼 보충효과와 (-)촉매효과의 분리 정량화 하여 이론 모델의 타당성을 확인하였다.

③ 각종 화학종의 열화학 물성과 연소억제 효과에 관한 연구 : 화학적 연소억제 효과를 갖고 있다고 생각되는 철, 인, 질소, 황 및 알카리 금속 등의 화합물에 대해서 연소억제 주요인으로 생각되는 중간화학종과 수소원자 또는 OH 기와의 결합, 결합해리 에너지를 비교한 연소억제효과와 상관이 인정된다.

다. 음향방출법에 의한 구조부재의 부식 모니터링 기술에 관한 연구

(1) 목적

음향방출(Acoustic Emission, AE)법은 종래 비파괴 검사기술의 결점을 보완하여 검사의 정력화와 간편화를 도모하기 위하여 대형 구조물의 적용에 기대된다. 구미에서는 석유탱크 등의 부식에 의한 경과연수 열화도의 평가검사기술에 조업을 중지 시키지 않고 상시 가능한 검사 기술로서 사용되고 있다. 이것은 오래 사용된 탱크 부식과 AE의 데이터베이스 구축에 따라 실용화한 기술이다. 따라서 일본에는 부식과 AE법에 관한 기초적 연구가 적고, 법의 규제 등의 이유로 석유탱크 등의 경과연수 열화 진단 기술로서 AE법을 사용하고 있지 않고 있다. 본 연구는 구조 부재에 있어 부식 진행과정의 AE법에 의한 모니터링을 행하여 부식부위의 위치 지표와 부식도 평가에 적용성을 검토하는 것이 목적이다.

(2) 연구기간

2000. 4 - 2003. 3

(3) 개요 및 내용

AE 방생원 위치 표정 기법 확립을 위해 Neutral Network의 패턴 인식 기능을 사용해서 탱크 바닥판으로부터 발생할 AE발생원의 위치 표정을 정하였

다. 부식에 따라 발생할 AE 검출 방법과 부식 진행과 AE발생 구성 및 AE 사상수와 관계검토에서는 센서수 및 AE과 감쇄, 환경소음 등에 기인한 AE과 도달시간을 읽을 때 오차 영향에 대해 실용상 문제가 없는 정도의 오차 내의 위치 표정이 행해지는가를 알아보았다.

부식부위의 위치 표정과 부식도 평가에 적용성 검토에서는 유럽의 데이터베이스를 사용해서 AE법에 따른 용량 3만kl 납사 탱크의 저부 부식 검사를 실시하여 과거 개방검사 결과로부터 저판이면의 부식이 탱크에 있는가를 AE 파형에 관한 데이터를 얻었다.

라. 위험물 평가 시험법에 관한 연구

사업자는 우선적으로 화학물질 등의 위험·유해 원인을 제거하거나 저감 시키기 위하여 취급하는 화학물질 등의 위험성 평가 시험이 필요하며, 특히, 화재 또는 폭발 위험성이 큰 화학플랜트에 “화학플랜트에 대한 위험성 평가”가 필요하다. 취급하는 화학물질의 위험성을 정량적으로 평가함으로써, 플랜트의 위험성에 대해 순위를 매기고, 위험순위가 높은 화학플랜트에 대해서는 HAZOP(hazard and Operability Study), FTA(Fault Tree Analysis), FMEA (Failure Mode and Effects Analysis) 등의 안전성 평가를 행하도록 되어 있다. 또한 PL법의 대응, MSDS의 작성에 있어서도 위험성 평가 시험을 행할 필요가 있다. 그러나, 이와 같은 시험법에 대해서는 ①어떤 시험을 행할 것인가, ②시험의 구체적인 방법, ③시험결과의 평가 방법, ④ 시험시설 등의 구비해야 할 요건 등을 정의

해 두지 않으면, 데이터의 호환성과 재현성이 적어져 사업장에서 활용하기 어려워지며, 또한, 법령 등의 적용(예, 위험물질의 판정여부가 필요한 경우)에 있어서 공정성이 떨어질 수 있다.

한편, 최근의 신규화학물질 및 새로운 기술개발의 진전, 그리고 위험물질의 다양화와 이용범위의 확대가 급속히 이루어지고 있으며, 위험물 규제에 관한 재검토가 각국의 행정 및 기업으로부터 이루어지고 있다. 이러한 규제는 모든 나라가 그 나라의 사정에 따라 개별적으로 이루어지고 있지만 국제간의 위험물 수송에 관해서는 국제적으로 통일된 규제가 필요하다. 그 규제는 국제연합의 경제사회이사회의 하부조직인 위험물운송 전문가위원회에 의한 국제연합 권고(통칭 Orange Book)에 따라 시행되고 있다. 이와 같은 위험물 수송에 관한 국제연합의 원고는 각국의 전문가의 의견에 기초하여 권고되고 있기 때문에 여기서 채택된 시험법은 합리적인 것으로 각국의 위험물의 취급에 관한 국내법으로 채택되고 있다. 일본의 경우, 위험물 규제의 재검토에 대한 주된 방침은 종래의 품목지정으로부터 과학적인 판정에 의거한 품목선정예의 이행, 국제적 적합성, 국내관련 법규간의 조정 및 산업기술 진보와의 조화 등을 들 수 있다. 그 결과로서 위험물의 정의를 명확히 하고, 위험성을 시험에 의해 판정하려고 하는 경향이 일반화되어 가고 있는 실정이다. 소방법에서는 이미 이 방침에 기초한 개정이 이루어지고 있다.

최근 일본 산업안전연구소에서 수행하고 있는 화재폭발 연구분야는 가연성 가스 분진 및 프로세스의

표. 일본 산업안전연구소의 화재 폭발 분야 연구과제

년도	과제명	비고
1998년	<ul style="list-style-type: none"> o 가연성가스 분진 등의 폭발 위험성 <ul style="list-style-type: none"> - 미립자 분체의 발화폭발 위험성 o 화학물질 분해위험성과 그 방지 <ul style="list-style-type: none"> - 자기 발열성 물질의 경시온도 변화예측 수법 개발 - 방전 플라즈마 화학반응을 이용한 위험유해 물질의 안전처리 기술 개발 o 반응위험 방지 기술 <ul style="list-style-type: none"> - 반응액의 물성이 발열속도에 미치는 영향의 실험적 평가 o 화학프로세스에 있어 폭발재해 방지기술에 관한 종합 연구 <ul style="list-style-type: none"> - 화학프로세스 폭발위험성 평가 수법 개발 - 화학프로세스 안전제어와 폭발 방호기술 개발 - 폭발재해 방지 지원 시스템 개발 - 폭발 연소반응 거동 해명 - 정전기에 의한 미분체 착화위험성 평가 기술 개발 	
1999년	<ul style="list-style-type: none"> o 가연성 가스 증기 가온 가압하에서 최소착화에너지 <ul style="list-style-type: none"> - 가스폭발 구동식 화염 억제 장치 개발 - 화학물질의 분해위험성과 그 방지 	

폭발재해 방지 기술과 화학물질의 위험방지 기술에 초점을 맞추고 있으며, 이들 세부연구과제는 <표>에 나타내었다.

3. 맺음말

본고에서는 일본의 소방연구소와 산업안전연구에서 수행하고 있는 화재 폭발에 관한 연구동향을 소개하였다. 이들 기관에서 연구하고 있는 내용과 세

계 각국에서 수행하고 있는 연구분야를 참고하여, 화재폭발 분야의 연구가 능동적이고 적극적인 수행과 함께 국제교류가 이루어지기를 바라마지 않는다.

참고문헌

- 1) 일본 소방청소방연구소, 소방연구소연보, 1999.
- 2) 일본 산업안전연구소, 연구연보, 1999.
- 3) 한국산업안전공단, 한일 산업안전연구 기술협정1주년 기념 강연집, 2000.