



공정안전관리 사업장의 열매체유 사용실태에 관한 연구

†이근원 · 이주엽

한국산업안전보건공단 산업안전보건연구원
(2014년 10월 8일 접수, 2014년 10월 26일 수정, 2014년 10월 27일 채택)

A Study on the Actual Status of Heat Transfer oils in Industries for Process Safety Management

†Keun Won Lee, Joo Yeob Lee

Occupational Safety & Health Research Institute, Korea Occupational Safety and Health Agency, Deajeon 305-380, Korea

(Received October 8, 2014; Revised October 26, 2014; Accepted October 27, 2014)

요 약

열매체유는 화학플랜트의 가열시스템, 열교환시스템, 특정한 가스공정, 사출성형 시스템 및 펄프·제지공정에 사용되고 있다. 열매체유는 열적 산화 분해에 잘 견디며 안전성이 뛰어나며, 열매체유가 누출이나 분출의 경우에는 점화원이 있을때 쉽게 점화된다. 본 연구에서는 공정안전관리 사업장의 화재·폭발 사고를 예방하기 위해서 열매체유의 사용 실태조사를 통해 안전관리 상태를 고찰하였다. 사업장의 공정시스템에서 사용된 열매체유의 사용실태는 개발된 설문지에 의해서 조사되었다. 본 연구 결과는 열매체유의 관리나, 열매체유 공정의 안전한 운전과 유지와 관련된 화재·폭발 사고 예방을 위한 안전관리 대책 수립에 활용될 수 있을 것이다.

Abstract - Heat transfer oils are used in applications such as chemical plant heating systems, refinery heat exchange systems, certain gas processes, injection molding systems, and pulp and paper processing. These oils are extremely stable and resistant to thermal and oxidative degradation. In the event of a spill or accidental release of heat transfer oils, it can be ignited easily when there is an ignition source. This study discusses the status of safety management through the actual status of the heat transfer oils to prevent fire and explosion accidents in industries for process safety management. The actual status of the heat transfer oils in process system of industries surveyed by a questionnaire developed. The results of this study can be used to help establishment of safety management to prevent fire and explosion accidents, such as the management of heat transfer oils, safe operation and maintenance in heat transfer oil processes.

Key words : heat transfer oils, actual status, fire and explosion, process safety management, questionnaire

1. 서 론

열매체유(Heat transfer oils)는 열교환기 등을 통하여 공정상의 물질을 간접적으로 가열 또는 냉각시키기 위하여 사용되는 물질로 화학 공업, 플라스틱 및 제지 공업, 의약품 공업 등에 다양하게 사용되어

지고 있다. 또한, 열매체유가 증기 또는 물의 운전온도 범위보다 넓은 운전온도 범위에서 사용이 가능하기 때문에 화학산업 뿐만 아니라 산업현장의 여러 분야에서 다양하게 공정의 간접 가열 및 냉각에 사용되어지고 있다. 물을 가열하여 발생된 증기의 잠열과 압력을 이용하는 시스템과 비교하여 열매체유는 고온에서도 안정성이 우수하고, 저압의 조건에서 사용되며 부식 방직성이 뛰어나다는 등의 장점이 있으나 인화점 이상의 온도로 가열된 상태에서 일정한

†Corresponding author: leekw@kosha.net
Copyright © 2014 by The Korean Institute of Gas

압력 하에서 운전되기 때문에 열매체유 펌프, 열매체유 이송배관, 열팽창탱크 등 열매체유 취급 장치 및 설비에서 누출이 일어나고 스파크, 정전기 등의 점화원이 존재하면 화재·폭발이 발생되어 중대산업사고로 이어질 가능성이 높다[1-2].

국내에서 열매체유에 의한 화재·폭발 사고로는 2005년에 울산광역시 OO공장 No.2 PTA Plant에서 PTA(Purified Terephthalic Acid) 플랜트를 정상운전 중 스팀 제너레이터의 튜브 파열로 인하여 밀폐시스템인 열매체유 시스템에 압력이 증가하여 Reactor feed preheater의 신축이음(expansion joint)이 파열되면서 열매체유 누출로 인한 화재가 발생되어 수개월 동안 조업이 중단되는 손실이 있었다[3]. 2009년 3월 경북 구미시의 (주)OOO 공장 열매체유 펌프의 Mechanical Seal 교체작업 중 열매유가 누출되어 원인 미상의 외부 점화원에 의해 화재가 발생하면서 소방서 추산 1,800만원의 물적 피해를 입은 사고도 있었다. 최근에는 2013년 2월 충북 진천군의 OO(주) 제막 1호기 공정에서 발생하는 휘발성 유기화합물(VOC)을 소각 처리하는 축열식소각로(RTO)의 열원을 회수하는 열교환기의 입·출구의 열매체유의 온도가 상승하면서 배관내 열매체유가 비등하여 열팽창탱크 벤트부로 분출되면서 자연 발화되어 화재가 발생하여 경찰서 추산 2,000만원의 물적 피해를 입은 바 있다[4]. 이와 같은 사고 원인은 열매체유가 플랜지, 신축이음, 배관 부속품, 펌프의 메커니컬 실 등에서 기계적 결함에 의하여 누출되어 스파크 등의 점화원에 의하여 발화되어 발생되거나, 보온재로 둘러싸인 배관, 밸브 및 플랜지에서 부식, 크랙 등의 원인에 의하여 누출된 열매체유가 보온재에 흡수되어 있다가 자연발화가 발생되어 일어나기도 한다. 대부분의 열매체유가 자체 인화점보다 높은 온도로 운전되는 공정에서 사용되고 있기 때문에 스파크 등 점화원에 의해 화재 및 폭발 사고가 발생된다.

열매체유에 관한 국내 연구로는 이근원 등이 열매체유 시스템에서 열매체유 열화로 인한 위험성 및 누출로 인한 위험성에 대한 연구를 수행하였다[2]. 이주엽은 중·소규모 및 대규모 공장에서 사용되고 있는 열매체유 시료를 채취하여 장기간 사용에 따른 열매체유의 열화 위험성을 평가하고, 열매체유 시스템에서 열매체유 누출로 인한 화재 및 폭발의 위험성과 이로 인한 사고피해 예측을 실시하여 열매체유 시스템의 위험성을 평가하여 안전관리 방안을 제시하였다[3]. 열매체유 시스템 및 열매체유의 위험성 대한 국외연구로는 Alison McKay와 Richard Franklin은 열매체유 시스템에서의 화재 및 폭발을 예방

하기 위해 최근 발생한 사고를 중심으로 폭발위험장 소구분과 이에 따른 올바른 설비 선택, 정기적인 열매체유의 교체 및 인화점 모니터링 등에 대하여 연구를 하였다[5]. Jim Oetinger는 사업장에서 열매체유 시스템 운전시 열매체유의 열분해, 산화, 오염, 낮은 유속 등으로 인하여 발생하는 문제점을 분석하고 이것을 해결하는 방법에 대하여 연구하였다[6-8]. 그러나 국내의 경우에는 열매체유 시스템에서 열매체유 열화로 인한 위험성 및 누출로 인한 위험성에 대한 연구뿐만 아니라, 이를 예방하기 위한 열매체유의 사용실태나 위험성 분석에 관한 연구가 미흡한 실정이다.

본 연구는 국내 공정안전관리(PSM) 대상 사업장을 중심으로 사용되고 있는 열매체유의 사용실태 조사를 위해 설문지를 개발하였다. 설문지 조사를 통해 사업장 규모와 열매체유 사용량에 따른 위험도 인식과 관련 안전장치의 보유현황 등 안전관리 실태를 조사하였다. 이들 연구결과를 통하여 공정안전관리 대상 사업장에서 사용되고 있는 열매체유로 인한 화재·폭발 사고 예방대책 수립에 필요한 안전자료를 제공하여 열매체유 누출 및 열화로 인한 화재·폭발 사고 예방에 기여하고자 한다.

II. 설문지 및 조사 방법

2.1. 설문지 구성

사업장에서 열매체유로 인한 화재·폭발 사고 예방을 위한 대책 수립을 위해 열매체유 사용실태 조사 설문지를 개발하였다. 실태조사 설문지를 주요 내용을 Table 1에 나타내었다. 설문지의 주요내용은 사업장의 근로자수 및 소재 등 일반사항 4개 문항, 열매체유로 인한 화재·폭발 사고 경험 유무와 열팽창탱크 등 열매체유와 관련된 안전장치에 관한 질문사항 등이 9문항, 열매체유의 사용량과 보충량 및 열매체유 누출 등의 사고발생 설비 등 열매체유의 안전관리 실태 및 인식에 관한 사항이 12개 문항으로 구성되어 있다.

2.2. 조사 및 분석 방법

열매체유 사용실태 분석을 위한 조사 대상은 안전보건공단 중대산업사고예방센터에서 관리하고 있는 PSM 관리 사업장으로 하였다. 설문조사는 2011년 기준 PSM(공정안전관리) 대상 사업장 1,080 개소 중 열매체유 사용 사업장은 약 50% 정도로 540 개소가 조사대상 사업장으로 선정하였다. 이 중 설문조사에 응답한 권역별 사업장 수를 Table 2에 나타내었으며, 고용노동부의 권역별 중대산업사고예

Table 1. Summary of main contents in questionnaire

Description	Main contents	No. of question
General items	- Number of workers etc., general aspects - Location of workplace and assignment tasks - Degree of risk in heat transfer oils etc.,	4
Heat transfer oils and relevant safety devices	- Fire fighting facilities in heat transfer oil system - Experience of fire and explosion accidents from release of heat transfer oils	9
Safety management status and realization of heat transfer oils	- Risk assessment method for heat transfer oils - Request of test certification of heat transfer oils - Amount of use and make up for heat transfer oils - Check heat transfer oils for abnormal and setting temperature - Accident occurrence equipments due to heat transfer oils	12

Table 2. Current state of answer according to the region zone

Classification	Number of companies					Sum
	below 50 workers	50-99 workers	100-199 workers	200-299 workers	above 300 workers	
Chungcheong area	13	4	5	3	6	31
Dongnam area	5	2	4		1	12
Capital area	16	8	6	2	3	35
Honam area	3	3	5		5	16
Daegyong area	6	2	3	8	5	24
Subtotal	43	19	23	13	20	118

방센터 관리 대상 사업장 118개소를 분석 대상으로 하였다. Table 2에서 보는 바와 같이 근로자수가 100인 미만인 소규모 사업장의 수가 62개소로 약 52%를 차지하며, 대기업에 속하는 300인 이상 사업장은 20개소로 약 17%를 차지하였다.

열매체유 실태조사를 위한 조사기간은 2013년 6월4일 부터 8월31일 까지이며 면접 및 집단 조사를 수행하였다. 본 연구에서 개발된 열매체유 실태조사 설문지를 공단의 권역별 중대산업사고예방센터의 협조를 받아 전자우편(e-mail)조사와 함께 사업장을 직접 방문하여 안전관리자나 담당자에게 면접조사를 실시하였다. 또한, 안전보건세미나에 참가하여 참석자를 대상으로 집단조사도 병행하였다. 설문지의 신뢰성을 높이고자 회수된 설문지의 응답이 부실

하거나 동일한 사업장에서 2개 이상의 설문지를 응답한 사업장에 대해서는 성실히 답변한 설문지 1개만 채택하였다. 회수된 설문지는 엑셀 피벗데이터로 정리하여 근로자수, 열매체유 사용량에 따른 영향 등을 각 항목별로 빈도분석을 수행하였다.

III. 결과 및 고찰

3.1. 사업장의 규모와 열매체유의 사용에 따른 위험 인식도

사업장에서 사용하고 있는 열매체유의 위험정도를 알아보기 위해 사업장의 규모와 열매체유의 사용량에 따른 영향을 고찰하였다. Fig. 1은 사업장의 근로자 수에 따른 열매체유의 사용 위험 인식도를 나

타내었다. 50인 미만 근로자를 가진 소규모 사업장에서는 약 24 % 정도가 “많이 위험하다” 이상으로 답하였고, 300인 이상 근로자를 가진 사업장에서는 약 48 % 정도가 “많이 위험하다” 이상으로 답하였다. 근로자 300인 이상 대기업에 속하는 화학공장이 근로자 50인 이하 소규모 화학공장의 경우보다 2배 이상 위험도의 인식이 높은 것으로 알 수 있다. 이는 대기업 화학공장이 열매체유의 사용에 따른 위험성을 잘 알고 있고, 사고경험이 많기 때문인 것으로 판단된다. 반면 소규모 화학공장은 열매체유 사용 취급급 위험성을 잘 알지 못하기 때문에 인식도가 낮은 것으로 사료된다.

공정 중 열매체유의 사용량(열팽창탱크 및 배관 전체 충전량)에 따른 열매체유 사용 위험 인식도를 Fig. 2에 나타내었다. 열매체유가 인화성 액체로서 고온·고압의 공정운전 조건으로 인하여 화재·폭발 위험이 크므로 열매체유의 사용량이 중요하다. Fig. 2에서 보는 바와 같이 열매체유 사용량이 5,000 kg 미만 사용하는 사업장에서 “많이 위험하다”

다” 이상 응답한 사업장이 중 11% 정도를 차지하며, 5,000 kg 이상 사용하는 사업장에서 “많이 위험하다” 이상 응답한 사업장이 17 % 정도로 열매체유의 사용량에 관계없이 위험 인식도는 비슷한 것으로 나타났다. 다만, 20,000 kg 이상 사용하는 사업장 중 50 % 정도가 “많이 위험하다” 이상으로 응답하였다. 열매체유의 사용량이 많을수록 위험 인식도가 높은 것으로 나타났다.

3.2. 열매체유 서비스탱크 보유 현황

열매체유 시스템에서 화재 등 사고 발생 시 공정 배관에 채워져 있는 열매체유를 옮길 수 있는 서비스탱크의 보유 현황을 Fig. 3에 나타내었다. 서비스탱크를 가지고 있지 않다는 사업장 수가 약 26 %을 차지하였으며, 근로자 수 50인 미만을 가진 사업장에서 열매체유 서비스탱크를 가지고 있지 않다는 응답이 50 % 이상을 차지하였다. 따라서, 소규모 사업장이 열매체유 사용에 따른 이상사태 발생 시 사고예방에 취약한 것으로 판단된다.

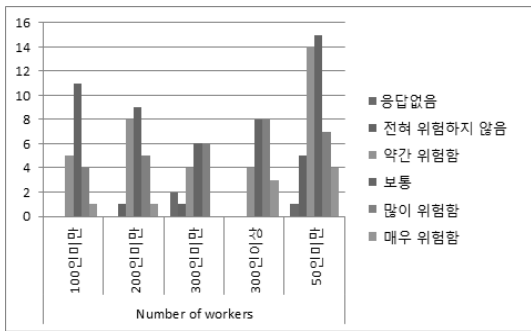


Fig. 1. Degree of risk realization according to the company scale.

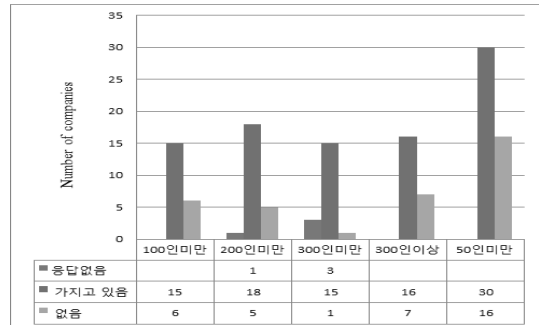


Fig. 3. Possession of heat transfer oil service tank according to the company scale.

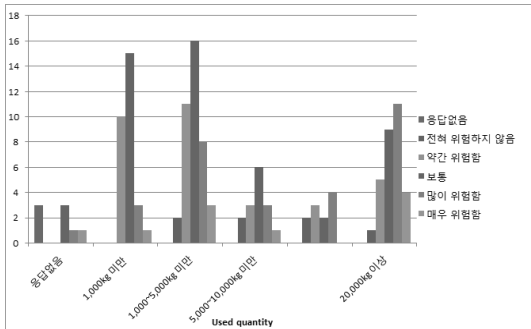


Fig. 2. Degree of risk realization on heat transfer oils according to the quantity used.

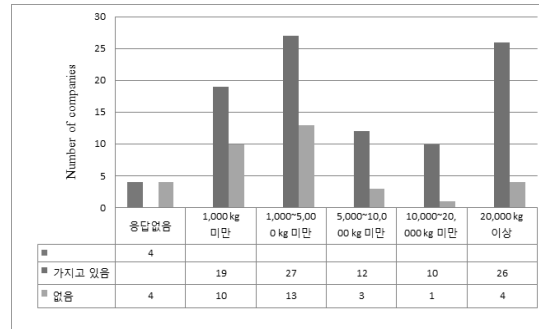


Fig. 4. Possession of heat transfer oil service tank according to the quantity used.

열매체유 사용량에 따른 열매체유 서비스탱크 보유현황을 Fig. 4에 나타내었다. 열매체유 사용량이 5,000 kg 미만을 가진 사업장 69개 사업장 중 이 약 33 %가 서비스탱크를 가지고 있지 않은 것으로 나타났다. 반면에 열매체유 사용량 기준 5,000 kg 이상 사업장 56개 사업장 중 약 14 %가 서비스탱크를 가지고 있지 않았다. 열매체유 사용량 5,000 kg 미만 사업장이 5,000 kg 이상 사용 사업장 보다 열매체유 사용에 따른 이상사태 발생 시 취약한 것으로 판단되나, 열매체유 사용량 5,000 kg 이상 사업장에도 서비스 탱크를 보유하지 않은 것으로 보아 공정안전보고서 심사 시 철저한 검토가 있어야 될 것으로 사료된다.

3.3. 열팽창탱크의 질소 밀봉(sealing) 유무

열매체유의 산화 및 열화를 방지하기 위해 질소를 밀봉하여 공기 접촉으로 인한 산화방지와 열매체

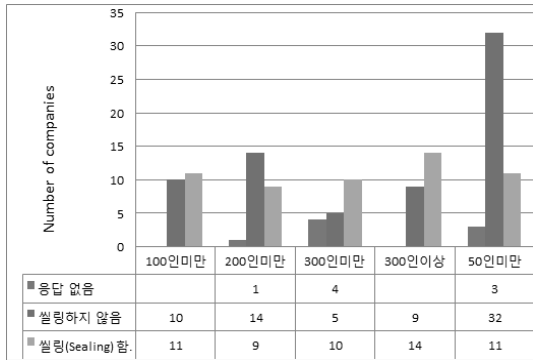


Fig. 5. Nitrogen sealing of thermal expansion tank according to the company scale.

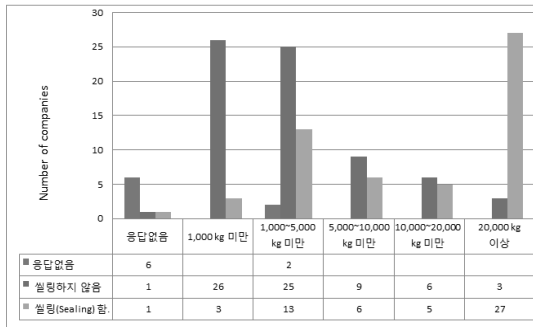


Fig. 6. Nitrogen sealing of thermal expansion tank according to the quantity used.

유의 오염을 방지해야 한다. 사업장 규모에 따른 열팽창탱크의 질소 밀봉 유무를 Fig.5에 나타내었다. 열팽창탱크에 질소를 밀봉하지 않는 사업장 수가 약 53 %로 나타났다. 근로자수 50인 미만 소규모 사업장의 경우 질소를 밀봉하지 않는 사업장이 약 75 %를 차지하고 있어 열매체유 관리가 미흡한 것으로 나타났다.

열매체유 사용량에 따른 열팽창탱크의 질소 밀봉 유무를 Fig. 6에 나타내었다. 열매체유 사용량 기준 5,000 kg 미만 사용하는 사업장의 약 38 %, 5,000 kg 이상 사용하는 사업장의 경우는 약 14 %가 질소 밀봉을 하지 않은 것으로 나타났다. 즉 열매체유 사용량 5,000 kg 미만 사업장이 열매체유의 산화 및 열화가 쉽게 일어날 수 있다는 것을 알 수 있으며 열매체유 관리가 미흡한 것으로 나타났다.

3.4. 열매체유 누출로 인한 화재·폭발 사고

사업장에서 열매체유 누출로 인하여 화재·폭발 사고가 발생한 경험이나 열매체유 관련 잇차 사고를 조사하였다. 사업장 규모와 열매체유 사용량에 따른 열매체유 누출로 인한 화재·폭발 사고 경험을 Fig. 7에 각각 나타내었다. Fig. 7에서 보는 바와 같이 화재·폭발 사고(잇차사고 포함) 경험이 있다고 응답한 사업장이 약 7 %를 차지하였다. 사업장 규모에 관계없이 열매체유에 의한 화재·폭발 사고 경험이 있는 것으로 나타났다. Fig. 8에서 보는 바와 같이 열매체유 사용량에 따른 화재·폭발 사고 경험은 사용량에 관계없이 발생하는 것으로 나타났다. 특이한 것은 열매체유 20,000 kg 이상 사용하는 사업장에서 화재·폭발 사고 경험이 많은 것으로 나타났다. 이는 열매체유의 사용량이 많을수록 공정안전 조건으로 인해 화재·폭발위험에 많이 노출되기 때문인 것

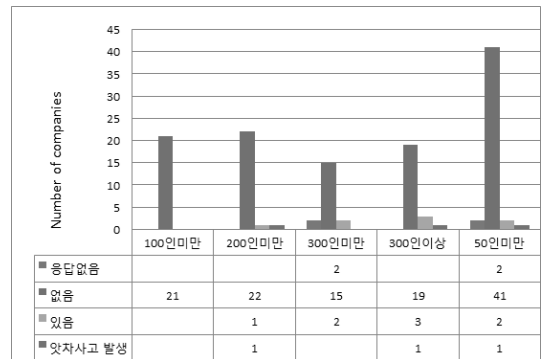


Fig. 7. Experience of fire or explosion for the oil leak according to the company scale.

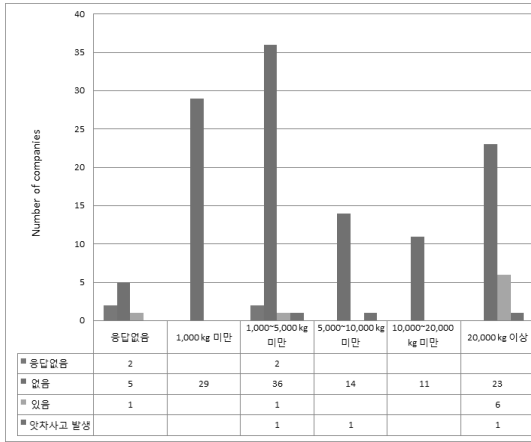


Fig. 8. Experience of fire or explosion for the oil leak according to the quantity used.

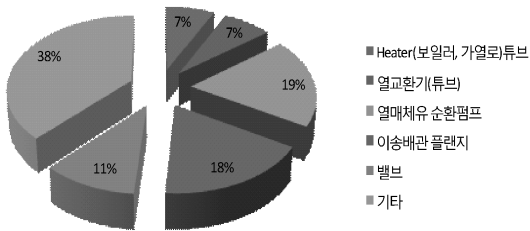


Fig. 9. Leak points from release of heat transfer oils (multiple responses).

으로 사료된다. 열매체유의 사용량이 많은 사업장일 수록 화재·폭발 사고예방을 위한 안전장치 등을 설치하고, 열매체유의 열화나 누출방지에 대한 체계적인 관리가 필요하다.

열매체유 누출 등의 사고가 가장 많이 발생하는 부위를 Fig. 9에 나타내었다. Fig. 9에서 보는 바와 같이 열매체유 순환펌프와 이송배관 플랜지 부분이 가장 많았다. 다음은 밸브, 열교환기 및 Heater(보일러, 가열로)튜브 순이었다. 한편, 기타가 약 38%로 열매체유 누출사고가 공정 내 다양한 부분에서 발생하는 것으로 판단된다.

3.5. 열매체유의 이상 유무 판단 방법

열매체유의 사용에 따른 열화나 물성변화로 주기적으로 열매체유를 보충하거나 교환이 필요한데 이에 따른 열매체유 이상 유무를 판단하는 방법을 조사한 결과를 Fig. 10에 나타내었다. 열매체유의 이상 유무를 판단하는 방법으로 약 60% 이상이 열매체

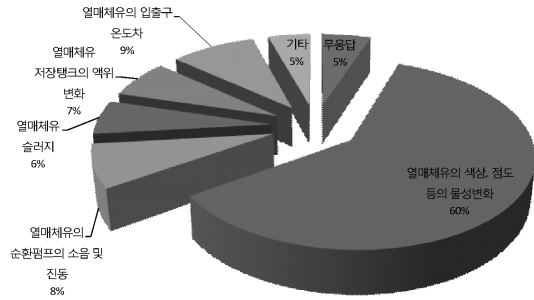


Fig. 10. Judgement of abnormality of heat transfer oils.

유의 색상, 점도 등의 물성변화를 보고 확인한다고 하였고, 다음은 열매체유의 입출구 온도차, 열매체유 순환펌프의 소음 및 진동, 열매체유 저장탱크의 액위변화 및 열매체유 슬러지의 변화가 각각 7 - 9% 정도로 차지하고 있었다. 이상의 결과로부터 대부분의 사업장이 열매체유의 색상 및 점도 등의 물성변화와, 순환펌프의 소음·진동, 열매체유의 저장탱크 등의 액위변화 등으로 열매체유 사용 공정의 이상 징후를 판단하는 것으로 나타났다. 열매체유의 이상 유무 판단방법은 제품의 종류와 성상에 따라 다양하기 때문에 특정 지을 수 없다. 그러나, 이상 유무를 판단하는 방법 중 가장 많이 활용되고 있는 방법으로 열매체유의 색상이 신유(new oils)에 비하여 진하게 변색(진한 갈색)이 되었거나, 점도가 신유의 최초 점도의 $\pm 20\%$ 이상이 차이가 발생하면 열매체유를 교환한다.

IV. 결론

본 연구는 국내 공정안전관리(PSM) 대상 사업장을 중심으로 사용되고 있는 열매체유의 사용실태 조사를 위해 설문지를 개발하였다. 설문지 조사를 통해 열매체유의 위험도 인식과 안전관리 실태를 분석·고찰한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 열매체유 사용에 따른 위험도 인식조사에서 근로자 300인 이상 대기업에 속하는 화학공장이 근로자 50인 이하 소규모 화학공장의 경우보다 2배 이상 위험도의 인식이 높은 것으로 나타났다. 또한, 열매체유의 사용량이 많을수록 위험 인식도가 높은 것으로 나타났다. 열매체유 사용량에 따른 위험을 인식하는 부분은 열매체유 사용량에 관계없이 화재·폭발 사고 등 안전사고 발생이 약 52%를 차지하였다.
- 2) 열매체유 서비스탱크와 열팽창탱크를 보유하고

지 않은 소규모 사업장이 열매체유 사용에 따른 이상사태 발생 시 사고예방에 취약한 것으로 판단된다. 열매체유 사용량 5,000 kg 이상 사업장에도 서비스탱크를 보유하지 않은 것으로 보아 공정안전보고서 심사 시 철저한 검토가 있어야 될 것으로 사료된다. 근로자수 50인 미만 소규모 사업장의 경우 열매체유 관리가 미흡한 것으로 나타났다.

3) 열매체유 누출로 인한 화재·폭발 사고는 사업장 규모나 열매체유 사용량에 관계없는 것으로 나타났다. 열매체유 사용량 20,000 kg 이상 사업장에서 화재·폭발 사고 경험이 많은 것으로 나타났다. 열매체유 누출 등의 사고가 많이 발생하는 부위는 열매체유 순환펌프와 이송배관 플랜지 부분이 가장 많았다.

4) 근로자 300인 이상 사업장에서는 대부분 주기적으로 열매체유의 점도, 인화점 및 산가 등을 점검해서 열매체유를 관리하고 있는 것으로 판단되나, 근로자 50인 미만 사업장에서는 열매체유의 열화방지를 위한 관리가 부실한 것으로 나타났다. 대부분의 사업장이 열매체유의 이상유무 판단방법으로 색상 및 점도 등의 물성변화를 통해 공정의 이상 징후를 판단하는 것으로 나타났다.

본 연구에서는 PSM 대상 사업장을 중심으로 열매체유의 실태조사를 수행하였지만, PSM 대상 사업장은 아닌 일반 사업장에도 열매체유에 관한 실태조사를 수행한다면 더욱 신뢰성 있는 화재·폭발 사고 예방 대책수립에 활용될 수 있을 것으로 판단된다.

참고문헌

- [1] K.W. Lee et al., "Flammability and Thermal Stabilities of Heat Transfer Oils", *KIGAS*, **15**(2), 82-87, (2011)
- [2] K.W. Lee and Y.R. Choi, "Fire Accident and Safety Measures of Heat Transfer Oils", *OSH Research Brief*, **4**(8), 62-70, (2010)
- [3] J.Y. Lee, *A Study on Improvement Plan of Safety Management by Risk Analysis in Heat Transfer Fluid System*, Ph. D. Thesis, University of Incheon, (2012)
- [4] Chungcheong Regional Center for Chemical Accident Prevention, KOSHA, "Report of Accident Investigation", (2013)
- [5] Alison Makay and Richard Franklin, "Fire Explosion Hazards with Thermal Fluid systems", *ICHEME Hazards XXII Paper* **13**(156), (2011)
- [6] Jim Oetinger, "Troubleshoot Heat-Transfer Fluid Systems", *Chemical Engineering*, **118**(12), 33-36, (2011)
- [7] Jim Oetinger, "Troubleshoot your hot oil system", *Chem. Eng. Progress*, **92**, 62-63, (1996)
- [8] Jim Oetinger, "Troubleshoot Heat-Transfer Fluid Systems", *Chemical Engineering*, Vol. **118**(12), 33-36, (2011)
- [9] Jim Oetinger, "Troubleshoot your hot oil system", *Chem. Eng. Progress*, **92**, 62-63, (1996)