

연구보고서

방연마스크 지급의무화 및 인증기준 마련에 관한 연구

최영보·이호규·강찬규·최상원·안준모·장봉조

산업재해예방

안전보건공단

산업안전보건연구원



제 출 문

산업안전보건연구원장 귀하

본 보고서를 “방연마스크 지급의무화 및 인증기준 마련에 관한 연구”의 최종 보고서로 제출합니다.

2021년 10 월

연구진

연구기관 : 충북대학교 산학협력단

연구책임자 : 최영보 (부교수, 충북대학교 공과대학 안전공학과)

연구원 : 이호규 (연구교수, 고려대학교 의료서비스혁신연구소)

연구원 : 강찬규 (조교수, 한경대학교 사회안전시스템공학부)

연구원 : 최상원 (이사, (사)과학기술연우연합회)

연구원 : 안준모 (부교수, 고려대학교 행정학과)

연구원 : 장봉조 (대표이사, 주식회사 릴라이어블)

요약문

- 연구기간 2021년 05월 ~ 2021년 10월
- 핵심단어 방연마스크, 화재대피, 사고사례분석, 성능기술기준, 설문
- 연구과제명 방연마스크 지급의무화 및 인증기준 마련에 관한 연구

1. 연구배경

- 화재로 인한 인명피해가 지속적으로 발생하는 문제를 개선하고, 소중한 생명을 적극적으로 보호하기 위해서, 초기진화를 강조한 기존의 소방안전교육에서 대피를 최우선으로 하는 ‘불 나면 대피먼저’라는 안전의식 전환이 진행되고 있다.
- 산업현장의 화재로 인한 피해를 최소화하기 위해서는, 화재로부터 신속하게 용이하게 대피할 수 있는 방안이 중요하다. 특히, 화재 연기는 시야 확보를 어렵게 하고, 유독가스는 대피 능력을 저하시키고 죽음에 이르게 할 수 있다.
- 이러한 맥락에서 일반 근로자에 비해 화재 위험에 많이 노출되는 화재감시자에게는 방연마스크 등의 화재대피용 장비를 의무적으로 지급하고 있다. 하지만 산업현장의 대다수를 차지하는 일반 근로자에게도 방연마스크를 지급하는 방안에 대해서는 구체적인 검토가 이루어지지 않았다.
- 일반 근로자를 대상으로 한 방연마스크의 지급확대는 화재 대피의 효율성을 높이는데 기여할 수 있지만, 기업이나 기관에 새로운 규제로 작용하여 부담을 증가시키고 산업 활동을 어렵게 만들 염려도 있다.
- 따라서 본 연구는 일반 근로자에게 방연마스크를 확대 지급하는 방안의

필요성을 체계적으로 검토하고, 방연마스크의 안전성과 성능을 확보할 수 있는 기준, 규격 및 인증 제도의 방향을 마련하기 위해 진행되었다.

2. 주요 연구내용 및 결과

○ 방연마스크와 관련한 각국의 법령 및 유사제도

- 미국, 영국, 일본 등 주요 선진국은 방연마스크의 보급과 사용 확대를 위해 노력을 하고 있다. 하지만, 주요 선진국도 방연마스크를 의무 지급하는 규정이나 제도는 없는 것으로 조사되었다.
- 국내에서는 2008년 화재피난용 방연마스크를 다중이용업소에 의무적으로 비치하도록 하는 ‘다중이용업소의 안전관리에 관한 특별법 시행규칙’ 개정안을 준비했으나, 방연마스크의 형식과 인증기준의 논란으로 입법이 되지 못했다.
- 하지만 방연마스크의 보급 활동은 활발하게 이루어지고 있다. 특히 2019년부터 각급 지방자치단체는 ‘화재대피용 방연마스크 비치 및 지원에 관한 조례’를 제정하여 방연마스크 비치를 지원하고 있다.

○ 화재 인명피해의 원인 및 유독가스의 성분

- 영국의 경우, 1980년대 이전에는 화상에 의한 사망자와 사상자가 많았지만, 1980년대 후반 이후에는 전체 사망자와 사상자 중, 연기 단독이나 연기와 화상의 복합 원인에 의한 재해자 비율이 증가한 것으로 나타났다.
- 미국에서도 화재 연기에 의한 피해가 해마다 증가하는 것으로 조사되었다. 특히, 미국 메릴랜드주의 화재 사고 사망자 463명을 조사한 결과, 사망자의 48%는 일산화탄소 중독이 심각한 수준인 것으로 분석되었다.

- 국내에서도 미국이나 영국처럼 상당수의 화재 인명 피해가 연기와 유독가스에 의해 발생하는 것으로 나타났다.

○ 설문조사

- 방연마스크에 관한 산업계 종사자의 다양한 의견을 확인하기 위해, 방연마스크 의무지급 대상 확대의 필요성, 방연마스크의 선택 기준, 방연마스크 성능 인증제도의 필요성, 방연마스크 유지 보수 및 교육의 필요성에 대한 문항을 구성하여 설문을 진행하였다.
- 산업계, 학계, 정부, 공공기관 등 다양한 직군에 종사하는 235명의 응답자를 대상으로 온라인 설문 조사를 실시하였다.
- 설문에 참여한 응답자 중 남성은 206명, 여성은 22명이었고, 20대에서 60대 이상까지 다양한 연령층이 설문에 참여하였다. 또한 응답자의 업무 경력은 5년 미만 ~ 20년 이상까지 고르게 분포하였다.
- 설문 조사 결과, 방연마스크를 알고 있다는 응답자(77%)는 많았지만, 실제 사용 경험이 있는 응답자(22%)는 적었으며, 사업장에 방연마스크가 비치되어 있다고 답변한 비율은 33%에 그쳤다.
- 한편, 방연마스크 의무지급대상 확대 필요성에 대해 84%가 긍정적인 응답을 하였으며, 93%의 응답자가 방연마스크가 화재 시 근로자 피해 감소에 도움이 될 것이라고 응답하였다.
- 하지만 많은 응답자가 방연마스크를 실제로 사용해 본 경험이 없기 때문에 일반적인 지식 및 관념에 의해 방연마스크에 대해 긍정적인 응답을 한 것으로 판단된다.
- 방연마스크의 중요한 성능으로, 유독가스에 대한 보호성능(177명), 신속한 착용성(126명), 화재 열기에 대한 보호성능(108명) 및 휴대 편의성(82명)이 꼽혔다. 또한 방연마스크에 인증제도를 도입한다면, 연기와 유독가스에 대한 보호성능(191명), 밀착도 및 누설률(131명), 내열성 및 난연성(111명), 착용편의성(108명)이 중요한 인증 기준으로 사용되어야

한다고 답변하였다. 한편, 방연마스크의 착용법 교육이 필요하다는 응답이 98%(229명)이고, 점검 및 교체 등 유지관리가 필요하다는 응답은 98%(231명)으로 나타났다.

- 이를 통해 다수의 응답자가 방연마스크 지급 확대 시 일정 이상의 성능을 보유한 방연마스크를 필요로 한다는 것과, 방연마스크의 보호 성능 이외에 착용 편의성과 신속한 착용성이나 착용 방법의 교육, 지급 이후 유지관리 또한 중요한 요소라고 생각하는 것을 알 수 있다.

○ 화재 사고 통계의 정밀 분석

- 2010년 1월 ~ 2020년 9월까지 산업시설에서 발생한 3,048건의 화재 사고를 화재 발생 시간, 업종, 기인물 등으로 분류하여 검토하고, 화재 Risk를 분석하였다.
- 산업 화재의 연도별 발생 건수는 감소하는 추세이지만, 화재 사망자는 감소하지 않았다. 화재로 인한 재해자의 약 72%가 제조업과 건설업에서 발생하였지만, 제조업과 건설업의 화재 Risk는 전체 산업의 평균 Risk와 유사하거나 조금 높은 수준인 것으로 나타났다.
- 한편, 화재 원인과 위험 작업을 구체적으로 파악하기 위해서, 3,048건의 화재 사고 개요를 대상으로 Text-mining 분석을 실시하였다.
- Text-mining 분석 결과, 산업 화재 중 화기 작업에 의해 발생한 화재는 약 28.71%이고, 전기 작업은 약 4.97%, 기타 작업은 약 66.32%로 분석되었다. 또한 제조업과 건설업에서 발생한 전체 화재 중, 화기 작업에서 시작된 화재의 비율은 32.3%와 33.7%인 것으로 나타났다. 따라서 화재 위험이 높은 작업이나 장소를 특정하는 것이 어렵다는 것을 알 수 있다.

○ 편익/비용 분석

- 방연마스크 지급 확대 시 다양한 시나리오를 가정하여 편익/비용 비율(B/C Ratio)을 분석한 결과, 제조업과 건설업 전체 근로자를 대상으로 한 방연마스크 지급의 B/C Ratio는 0.09(자급식) 또는 0.13(정화식)으로 낮기 때문에, 전면적인 의무 지급 사업은 적합성을 확보하기 어려운 것으로 나타났다.
- 하지만 근로자의 10%에게 제한적으로 정화식 또는 자급식 방연마스크를 지급한다면, B/C ratio가 0.88(정화식) 또는 1.21(자급식) 이상으로 수용이 가능한 수준인 것으로 분석되었다.

○ 방연마스크 착용 편리성

- 성별, 안경 착용 여부, 착용법 교육 여부, 시야 제한 정도를 고려하여 착용 편리성 시험을 진행한 후, 착용시간의 차이를 비교하였다.
- 시야가 확보되는 환경에서 미교육 집단은 약 38.41초, 교육 집단은 약 39.58초의 착용시간이 소요되어, 시야가 확보되는 환경에서는 미교육 집단과 교육 집단의 착용시간 차이가 크지 않았다.
- 하지만 화재로 인해 짙은 연기가 생기고, 정전 등으로 시야가 제한되는 환경에서 미교육 집단은 약 72.71초, 교육 집단은 약 50.38초의 착용시간이 소요되어 교육 집단의 착용시간이 확연히 짧았다. 또한, 시야가 확보되는 환경 대비 시야가 제한되는 환경에서의 착용시간이 미교육 집단은 1.87배, 교육 집단은 1.27배로 교육 집단의 경우 악조건에서 더욱 신속하게 착용할 수 있음을 알 수 있었다.
- 마스크 종류별 착용 시간은 ▲안면부 보호형 정화식 방연마스크 미교육 집단 약 30.39초, 교육 집단 18.35초 ▲후드형 정화식 방연마스크 미교육 집단 약 52.04초, 교육 집단 약 58.28초 ▲화학반응형 자급식 방연마스크 미교육 집단 약 58.43초, 교육 집단 약 56.56초 ▲압력용기형 자급식 방연마스크 미교육 집단 약 57.63초, 교육 집단 약 39.25초로 나타났다.

- 비교적 착용 방법이 복잡하고, 착용 시 주의사항이 까다로운 후드형 방연마스크와 화학반응형 방연마스크의 착용 시간은 교육 여부에 따라 큰 차이가 없었으며, 미교육 집단 착용시간이 더 빠른 경우도 있었다. 하지만, 교육 집단은 모두 설명서를 보지 않고 착용을 하였고, 대부분 착용 시 주의사항을 준수하여 올바르게 착용하였다. 미교육 집단의 경우 이와 반대였다.

○ 방연마스크 활동성

- 방연마스크를 착용하였을 때 소통과 시야 확보의 불편함을 파악하기 위해서 5분간 대화를 하며 5개의 질문을 피검자에게 하고, 질문에 대한 오답 수를 측정하여 소통의 불편함을 파악하였다. 이후, 6m 거리에서 문자판을 읽도록 하고, 오답 수를 기록하여 시야 확보가 잘 되는지 파악하였다.
- 질문에 대한 오답 수의 경우, ▲후드형 정화식 방연마스크 3회, ▲안면부 보호형 정화식 방연마스크 0회, ▲화학반응형 자급식 방연마스크 0회, ▲압력 용기형 자급식 방연마스크 19회였다. 이를 통해, 압력용기형 자급식 방연마스크가 특히 외부 소리를 듣는 데 불편함이 있음을 알 수 있다.
- 문자를 잘못 읽는 횟수의 경우, ▲후드형 정화식 방연마스크 1회, ▲안면부 보호형 정화식 방연마스크 8회, ▲화학반응형 자급식 방연마스크 0회, ▲압력 용기형 자급식 방연마스크 6회였다. 따라서 안면부 보호형 정화식 방연마스크와 압력용기형 자급식 방연마스크를 착용하였을 때 안경이나 안면창에 김이 서려 시야확보에 어려움이 있음을 알 수 있다.
- 또한, 설문문을 통해 물리적·신체적 불편감을 분석하였을 때, 모든 방연마스크는 불편감이 있으며, 방연마스크 종류에 따라 불편감 항목이 다르다는 것을 알 수 있었다.

○ 방연마스크 의무지급 확대의 필요성

- 이와 같이 국내외 법령과 유사제도, 산업 화재 통계, 편익/비용 분석, 설문조사, 방연마스크의 착용성 및 활동성 평가 결과 등을 종합해 볼 때, 제조업이나 건설업 근로자 등과 같이 특정 근로자를 대상으로 방연마스크의 지급을 의무화하는 것은 신중할 필요가 있다. 가급적 기업이 자율적으로 방연마스크의 비치를 늘려 화재를 대피에 도움을 줄 수 있도록 유도하는 것이 바람직하다고 생각된다.

○ 방연마스크의 개념 정의

- 방연마스크는 화재 상황에서 유독가스와 연기로부터 착용자를 보호하는 역할을 한다. 상기 목적으로 다양한 형태의 방연마스크가 고안되어 시중에 유통되고 있으며, 각 유형의 방연마스크마다 고유의 장단점을 갖고 있다. 따라서 방연마스크의 개념을 한정하여 특정 형태의 방연마스크만 사용하도록 하는 것은 바람직하지 않다. 이러한 점을 토대로 방연마스크의 개념은 다음과 같이 정의할 수 있다.
- 방연마스크란 화재로 인한 유독가스와 연기를 거르거나 차단할 수 있도록 제조되어 화재 장소로부터 피난 또는 대피에 사용되는 것을 말한다.
- 상기 방연마스크의 정의는 정화식과 자급식 방연마스크를 비롯하여 재난안전제품으로 인증된 간이 형태의 방연마스크도 포함한다. 이로써 특정 방연마스크를 지급하도록 규정하지 않고, 다양한 형태의 방연마스크가 자율적으로 지급되도록 유도할 수 있다.

○ 방연마스크 성능 인증제도 검토

- 정화식 방연마스크의 인증기준은 국내의 KS M 6766과 국외의 EN 403, ASTM E 2592를 조사하였다. KS M 6766은 EN 403을 충분히 참고하여 성능 기준에 큰 차이가 없는 것으로 나타났다. 특히 EN 403은

난연성, 복사열 시험항목과 기준을 보유하고 있지 않지만, KS M 6766과 ASTM E 2952는 자체적인 기준을 보유하고 있다.

- 자급식 방연마스크의 기술기준은 국내의 KFIS 024와 국외의 EN 13794, JIS 7651가 조사되었다. KFIS 024는 국외의 기술기준과 구조상 약간의 차이를 보였으나, 성능 기준이 거의 비슷하거나 조금 더 높은 수준을 요구한다.
- 이처럼 국내의 정화식 및 자급식 방연마스크 기술기준을 토대로 하는 KS, KFI 인증은 국제적 성능 기준과 시험항목을 충분히 반영하고 있다.
- 또한 KS와 KFI 인증범위외의 방연마스크는 전문가 위원회를 구성하여 재난안전제품 인증을 통해 정성적으로 평가받는 체계가 마련되어 있다.
- 위와 같이 국내에는 이미 방연마스크를 인증할 수 있는 3가지 인증기준이 마련되어 있다. 그래서 방연마스크를 인증하기 위한 새로운 인증기준과 제도를 도입한다면, 시장에 혼란을 야기하고, 인증 기준의 충돌이 발생할 우려가 있다. 따라서 기존의 방연마스크 인증기준과 제도를 활용하는 것이 합리적일 수 있다.
- 한편, 재난안전제품 인증은 방연마스크의 성능을 정량적으로 보장하기 어렵다. 따라서 화재 현장에서 상대적으로 장기간 머물러야 하는 화재감시자의 경우, KS, KFI 인증 제품과 같이 충분한 보호 성능을 갖춘 방연마스크를 제공할 필요가 있다. 또한 근로자용 방연마스크도 가급적 KS, KFIS 인증 제품을 사용하도록 유도하는 것이 바람직하다고 판단된다.

3. 연락처

- 연구책임자 : 충북대학교 공과대학 안전공학과, 부교수, 최영보
- 연구상대역 : 산업안전보건연구원 위험성연구부, 차장, 임진호
 - ☎ 043) 261-2458
 - E-mail : ybc@cbnu.ac.kr

목 차

I. 서론	2
1. 연구목적 및 필요성	2
2. 연구목표	9
3. 관련 선행 연구에 대한 내용 분석	10
II. 연구내용 및 방법	17
1. 연구내용 및 범위	17
가. 근로자 방연마스크 지급에 대한 필요성 검토	17
나. 방연마스크 안전성 및 성능 확보를 위한 기준 및 규격 설정 방향 도출	45
2. 연구방법	56
가. 설문 조사	56
나. 화재 사고 분석	59
다. 국내외 방연마스크 기술기준 조사	62
라. 방연마스크 착용 편리성 및 활동성 시험	63
마. 편익비용분석	69

목 차

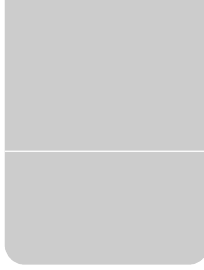
Ⅲ. 방연마스크 확대지급의 필요성 검토 결과 74

1. 설문 응답 분석	74
가. 응답자의 정보 및 업종	74
나. 방연마스크에 대한 인식 및 의무지급대상 확대	75
다. 방연마스크의 성능 및 선택 기준	79
라. 방연마스크의 성능 인증제도	81
마. 방연마스크의 유지관리 필요성	83
바. 설문조사 소결	84
2. 화재 사고 정밀 분석	87
가. 업종별 화재 사고 분석	88
나. 화재 Risk 분석	91
다. 업종별 재해자수에 따른 화재 사고 분석	96
라. 기인물별 화재 사고 분석	103
마. Text-mining을 이용한 화재 사고 원인 분석	107
바. 화재통계분석 소결	110
3. 방연마스크 착용 편리성 및 활동성 시험	112
가. 착용 편리성 시험 결과	112
나. 활동성 시험 결과	118

다. 착용성 및 활동성 시험 소결	121
4. 편익비용분석 결과	124
가. 비용편익분석 데이터	124
나. 편익비용분석의 기본 가정	126

IV. 방연마스크 안전성 및 성능 확보를 위한 기준 및 규격 방향 제시 132

1. 방연마스크 인증제도의 필요성	132
2. 국내외 방연마스크의 기술기준	136
가. 정화식과 자급식 방연마스크의 주요 특징	137
나. 정화식 방연마스크의 기술기준	140
다. 자급식 방연마스크의 기술기준	155
라. 재난안전제품 인증	175
3. 방연마스크의 안전성 확보를 위한 성능기준 적용방안	181
4. 방연마스크 정의와 인증기준 및 제도 분석 소결	183



목 차

IV. 결론	186
참고문헌	189
Abstract	193

표 목차

〈표 I-1〉 2000년대 초반 고시원 화재 사고 사례	10
〈표 I-2〉 KFI 및 KS 인증 방연마스크의 특징 비교	13
〈표 II-1〉 가연성 가스 발생의 우려가 있는 공사 현장에서의 폭발·화재 방지 및 피난 연락 장비 등의 유무	19
〈표 II-2〉 화재 시 행동요령 개선안	22
〈표 II-3〉 지방자치단체의 화재대피용 방연마스크 비치 및 지원에 관한 조례 제정현황	23
〈표 II-4〉 1979년 ~ 1992년 화재 시 열 및 연기 흡입으로 인한 사망분포 (NFPA analysis of data from U.S. death certificates coded E890~89)	30
〈표 II-5〉 주요 산업 현장의 화재 유독가스에 의한 피해 사례	34
〈표 II-6〉 화재용 긴급대피 마스크 5종 샘플의 기본 정보	48
〈표 II-7〉 제품별 주요 성능기준(KS M 6766)의 적합여부	48
〈표 II-8〉 국내 시장에 유통되는 방연마스크 제품의 인증현황, 사용시간, 유통기한 및 사용형태에 대한 예비 조사 결과	49
〈표 II-9〉 KFI 및 KS의 방연마스크 성능평가 기준 비교	51
〈표 II-10〉 국내외 대피용 호흡기구의 성능기준	52
〈표 II-11〉 ASTM 및 JIS의 방연마스크 성능평가 기준	53
〈표 II-12〉 안전인증(KCs)의 종류	55
〈표 II-13〉 안전인증(KCs)의 대상품목	56
〈표 II-14〉 본 연구에서 진행한 설문 문항	57
〈표 II-15〉 시험에 사용된 방연마스크	63

표 목차

〈표 II-16〉 피검자 조건	66
〈표 II-17〉 경제성 분석기법의 장단점 비교	71
〈표 II-18〉 투입비용 추정 시나리오	71
〈표 III-1〉 본 연구에서 진행한 방연마스크 관련 설문 결과의 요약	86
〈표 III-2〉 1차 산업에서 발생한 화재 사례	93
〈표 III-3〉 업종별 재해자수에 따른 화재발생건수	96
〈표 III-4〉 업종별 재해자수에 따른 화재발생비율	97
〈표 III-5〉 업종별 사망자수에 따른 화재발생건수	98
〈표 III-6〉 업종별 사망자수에 따른 화재발생비율	99
〈표 III-7〉 사망자수가 3명 이상 발생한 화재 사례	100
〈표 III-8〉 중대재해 화재 시 인명피해 유형에 따른 업종별 화재발생건수 ..	101
〈표 III-9〉 2010년 ~ 2019년 1차 산업에서 중대재해급 화재 발생 사례 ..	102
〈표 III-10〉 안경 착용 여부에 따른 방연마스크 종류별 착용시간 (sec)	113
〈표 III-11〉 미교육 ·교육 집단의 시야확보 정도별 착용시간 (sec)	114
〈표 III-12〉 미교육 ·교육 집단의 방연마스크 종류별 착용시간 (sec)	115
〈표 III-13〉 미교육 ·교육 집단의 설명서를 본 횟수	116
〈표 III-14〉 미교육 ·교육 집단의 미준수 주의사항	117
〈표 III-15〉 방연마스크 종류별 15m 이동 시간 및 마스크를 잡거나 바로쓰는 행동을 취하는 횟수	118
〈표 III-16〉 방연마스크 종류별 시야 확보 및 소통의 어려움	119
〈표 III-17〉 방연마스크 착용하고 활동 시 방연마스크 종류별 물리적 불편감	

.....	120
〈표 Ⅲ-18〉 방연마스크 착용하고 활동 시 방연마스크 종류별 신체적 불편감	121
〈표 Ⅲ-19〉 마스크 가격 및 유통기한	124
〈표 Ⅲ-20〉 사업장 수와 근로자 수	125
〈표 Ⅲ-21〉 유해작업환경별 종사근로자수와 사업장수	125
〈표 Ⅲ-22〉 사고재해자수와 사고사망자수	126
〈표 Ⅲ-23〉 비용추정 항목	126
〈표 Ⅲ-24〉 편익추정 항목	127
〈표 Ⅳ-1〉 방연마스크의 인증현황, 여과가스 종류, 사용시간 및 유통기간 ..	134
〈표 Ⅳ-2〉 방연마스크와 관련된 국내외 인증기준	137
〈표 Ⅳ-3〉 국내외 정화식 및 자급식 방연마스크 특징의 종합적인 비교	138
〈표 Ⅳ-4〉 정화식 방연마스크의 기술기준 : 주요 성능 요구사항	140
〈표 Ⅳ-5〉 정화식 방연마스크의 기술기준 : 구조	142
〈표 Ⅳ-6〉 정화식 방연마스크의 기술기준 : 설계 요구사항	143
〈표 Ⅳ-7〉 얼굴, 목 및 머리의 해부학적 치수	144
〈표 Ⅳ-8〉 정화식 방연마스크의 기술기준 : 전처리	145
〈표 Ⅳ-9〉 정화식 방연마스크의 기술기준 : 착용 성능 요구사항	148
〈표 Ⅳ-10〉 정화식 방연마스크의 기술기준 : 누설방지 및 여과성능	150
〈표 Ⅳ-11〉 정화식 방연마스크의 기술기준 : 시험가스 종류 및 농도	151
〈표 Ⅳ-12〉 정화식 방연마스크의 기술기준 : 가연성, 난연성 및 복사열 보호성능	

표 목차

.....	152
〈표 IV-13〉 산소공급방식에 따른 자급식 방연마스크 분류	155
〈표 IV-14〉 자급식 방연마스크의 기술기준 : 주요 성능	156
〈표 IV-15〉 자급식 방연마스크의 기술기준 : 최소한의 구성	158
〈표 IV-16〉 자급식 방연마스크의 후드 및 면체의 구성	160
〈표 IV-17〉 P형 자급식 방연마스크 : 산소공급시스템 구조	161
〈표 IV-18〉 C, K형 자급식 방연마스크 : 산소공급시스템 구조	164
〈표 IV-19〉 자급식 방연마스크 : 설계요구사항	166
〈표 IV-20〉 C, K형 자급식 방연마스크 : 산소공급시스템 구조	168
〈표 IV-21〉 P형 자급식 방연마스크 : 산소공급유량	169
〈표 IV-22〉 C, K형 자급식 방연마스크 : 산소공급유량	170
〈표 IV-23〉 자급식 방연마스크의 호흡성능	171
〈표 IV-24〉 자급식 방연마스크 : 강도, 내식성 및 화염 성능	174
〈표 IV-25〉 재난안전제품 인증심사 전 적합성 검토항목	176
〈표 IV-26〉 재난안전제품 인증 : 인증 대상	177
〈표 IV-27〉 재난안전제품 인증 : 주요 심사 항목	178
〈표 IV-28〉 재난안전제품 인증 : 기본 검토 항목	179
〈표 IV-29〉 방연마스크 사용자 특성에 따른 성능기준 적용	182

[그림 Ⅰ-1] 2010 ~ 2020.09 산업시설 화재에 의한 인명피해 및 화재발생건수	3
[그림 Ⅰ-2] 2010 ~ 2020.09 전체 산재 및 화재로 인한 사망자수	3
[그림 Ⅰ-2] 산업현장의 화재 사고사례 (a) 물류센터 (b) 에너지저장장치 (c) 공장A (d) 공장B (e) 공사현장	5
[그림 Ⅰ-4] ‘불 나면 대피먼저’ 포스터	6
[그림 Ⅰ-5] (a) 화재대피용 자급식호흡보호기구와 (b) 화재용 긴급대피마스크의 예시	11
[그림 Ⅰ-6] 간이호흡기 안정선 검증을 위한 국회 주관 자문회의 모습	15
[그림 Ⅱ-1] 방연마스크 사용에 관한 OSHA 1910.134 규정의 해석	18
[그림 Ⅱ-2] 영국 소방대의 방연마스크 휴대에 관한 기사	21
[그림 Ⅱ-3] 용인 고시원 화재사고 개요 및 고시원의 CFAST 시뮬레이션 모델	27
[그림 Ⅱ-4] 고시원 CFAST 시뮬레이션 결과 중 주요 구획 상부층의 산소농도	28
[그림 Ⅱ-5] 1955년 ~ 2013년 영국의 화재 피해 원인별 (a) 사망 및 (b) 사상자 비율	29
[그림 Ⅱ-6] 주거 건물에서 발생한 화재의 사망과 관련된 원인(2009-2011) 31	
[그림 Ⅱ-7] 주거 건물에서 발생하는 화재 사망자의 주된 증상(2009-2011)	32
[그림 Ⅱ-8] 국내 화재 사망자의 사망 원인 분석 결과 (2010 ~ 2020년) 33	

그림목차

[그림 II-9] 국내 화재 사상자의 사상 원인 분석 결과 (2010 ~ 2020년)	33
[그림 II-10] 건축물 내부마감재료의 난연성능기준	37
[그림 II-11] 내부 단열재 가스 유해성 시험결과	37
[그림 II-12] 우레탄과 고무바닥재를 대상으로 한 연소가스 정량분석 결과와 독성지수 산출 및 가스유해성 시험결과	38
[그림 II-13] 2010 ~ 2020년 주요 업종별 산업화재 비중	39
[그림 II-14] 주요 업종별 전체 화재 사망자 수 (2010 ~ 2019년)	40
[그림 II-15] 국내에 유통되고 있는 화재대피용 호흡보호구 (a) 자급식호흡보호기구 (K type) (b) 자급식호흡보호기구 (P Type), (c) 구조 손수건 , (d) 화재대피후드 (e) 접촉식 습식 마스크 (f) 미니 방독면	46
[그림 II-16] 지하철 방연마스크의 부실한 성능의 문제점을 지적한 TV 뉴스 내용 (SBS 뉴스: 지하철 '방연 마스크', 오히려 안전 위협)	47
[그림 II-17] 정화식 방연마스크 형태에 대한 선호도	64
[그림 II-13] 간접편익과 직접편익	72
[그림 III-1] 설문 응답자의 인적사항 a)안전업무 종사 여부, b)연령, c)성별, d)경력	74
[그림 III-2] 설문 응답자의 업무 종사 비율	75
[그림 III-3] 설문응답자의 방연마스크에 대한 a)인식, b)사용경험, c)각 사업장의 방연마스크 비치현황	76
[그림 III-4] 방연마스크 a)지급대상 범위의 확대 필요성 여부, b)지급대상 확대 시 근로자 피해 감소 여부에 대한 설문 결과	76

[그림 Ⅲ-5] 방연마스크 지급대상을 확대하기 위한 방법에 대한 설문 결과	77
[그림 Ⅲ-6] 방연마스크 지급 확대 및 피해 저감 여부에 대한 안전업무 종사자와 비종사자의 응답 비교	78
[그림 Ⅲ-7] 방연마스크의 a)지급 방법, b)확대지급 범위, c)확대지급 대상, d)확대지급 시 발생할 문제에 대한 설문 결과	79
[그림 Ⅲ-8] 방연마스크가 갖춰야할 성능에 관한 설문 결과	80
[그림 Ⅲ-9] 화재 시 근로자 보호에 적합한 정화식 방연마스크 종류 및 예상 착용시간에 관한 설문 결과	80
[그림 Ⅲ-10] 화재 시 근로자 보호에 적합한 자급식 방연마스크 종류 및 예상 착용시간에 관한 설문 결과	81
[그림 Ⅲ-11] 방연마스크 성능 인증제도의 a)필요성 및 b)인증업무에 적합한 인증기관에 관한 설문 결과	82
[그림 Ⅲ-12] 방연마스크의 성능 인증에 포함되어야 할 성능에 관한 설문 결과	82
[그림 Ⅲ-13] 방연마스크 a)착용법 교육의 필요성, b)교육의 주기, c) 교육의 방안에 관한 설문 결과	83
[그림 Ⅲ-14] 방연마스크 유지관리 a)필요성 및 b)주기에 관한 설문 결과	84
[그림 Ⅲ-15] 산업시설 화재발생시간에 따른 화재발생건수	87
[그림 Ⅲ-16] 제조업 화재발생시간에 따른 화재발생건수	88
[그림 Ⅲ-17] 업종별 10년간 화재 인명피해 현황	89
[그림 Ⅲ-18] 업종별 화재 재해자수 현황	89

그림목차

[그림 Ⅲ-19] 제조업 연도별 화재 피해 현황	90
[그림 Ⅲ-20] 건설업 연도별 화재 피해 현황	91
[그림 Ⅲ-21] 업종별 화재 사고 천인율 및 사망 만인율	92
[그림 Ⅲ-22] 업종별 화재 발생 빈도	92
[그림 Ⅲ-23] 2차 산업군의 화재 사고 천인율 및 사망 만인율	94
[그림 Ⅲ-24] 2차 산업군의 화재 빈도	95
[그림 Ⅲ-25] 2차 산업의 업종별 근로자 및 사업장수	95
[그림 Ⅲ-26] 중대재해 화재 시 피해유형별 화재발생건수	101
[그림 Ⅲ-27] 업종별 근로자수 분포	103
[그림 Ⅲ-28] 기인물(세분류)별 화재발생현황	104
[그림 Ⅲ-29] 기인물(소분류)별 화재발생현황	105
[그림 Ⅲ-30] 기인물(중분류)별 화재발생현황	106
[그림 Ⅲ-31] 1차 추출 단어의 빈도수 및 Word Cloud	107
[그림 Ⅲ-32] 2차 추출 단어의 빈도수 및 Word Cloud	108
[그림 Ⅲ-33] 각 개요에 존재하는 단어 자동 분석	108
[그림 Ⅲ-34] 총 3,048건 화재 사고의 작업 유형별 화재사고 비율	109
[그림 Ⅲ-35] 건설업 · 제조업 화재 사고의 작업 유형별 화재사고 비율	109
[그림 Ⅱ-36] 방연마스크 종류별 평균 착용 시간 및 표준편차	112
[그림 Ⅳ-1] 국내 유통중인 방연마스크의 형태	134
[그림 Ⅳ-2] 국내 유통중인 방연마스크의 인증현황	135

[그림 IV-3] 방연마스크 착용성 시험 중 호흡의 어려움을 호소한 착용자 응답률	139
[그림 IV-4] 기계적 내구력을 확인하기 위한 진동 시험 장비	145
[그림 IV-5] 타격봉을 활용한 전처리 시험 장비	147
[그림 IV-6] 용융 중합체 방울 시험	153
[그림 IV-7] ASTM E2952에서의 복사열 시험 방법	154

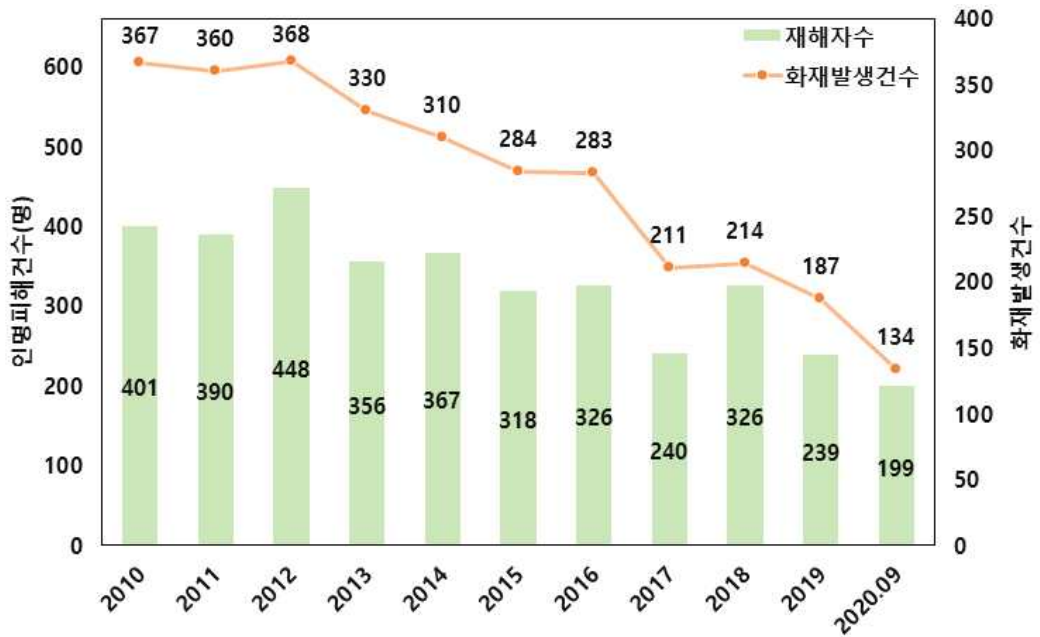
I. 서론

.....

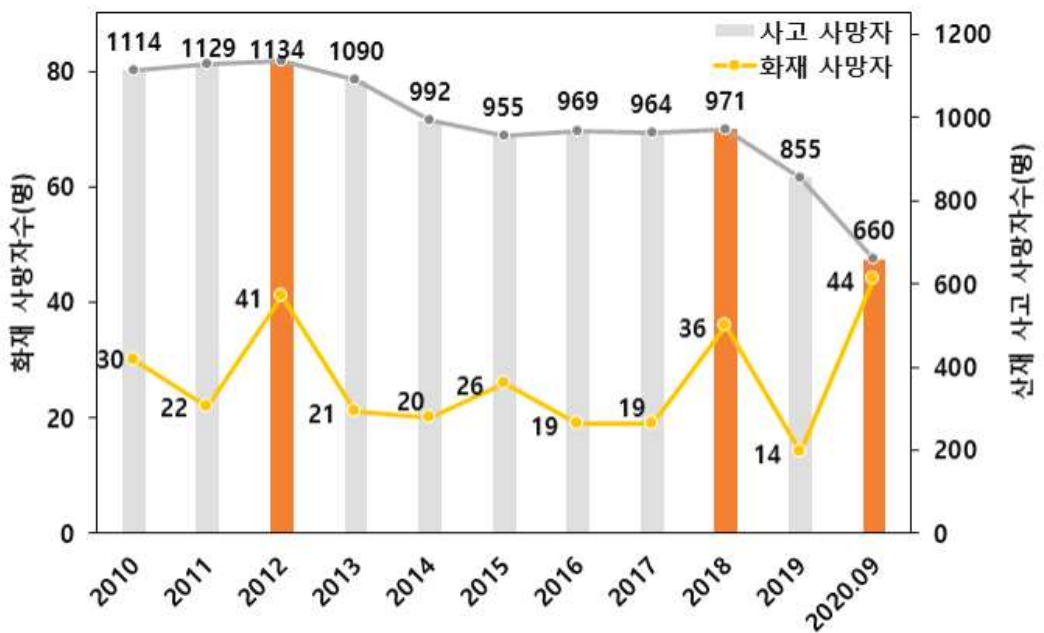
I. 서론

1. 연구목적 및 필요성

- 산업재해 현황분석 자료를 바탕으로 2010년 ~ 2019 년에 산업시설에서 발생한 화재 건수를 분석한 결과 총 3,048건의 화재가 발생하였으며, 이로 인해 3,909명의 인명피해가 발생하였고, 그중 사망자는 296명이었다(산업안전보건연구원, 2021).
- 구체적으로 살펴보면, 2010년 ~ 2016년 사이에는 연평균 약 328건의 화재가 일어나고, 372명의 재해자가 발생했다. 아울러 인명피해가 452명으로 크게 증가한 2012년을 제외하고, 이 기간 동안 화재발생건수와 인명피해건수는 비교적 일정한 수준에서 유지되었다.
- 하지만 2017년부터 화재발생건수가 크게 하락한 반면 재해자 및 사망자수는 비교적 일정한 수준에서 유지되었다. 구체적으로, ▲2017년 화재 211건·재해자 240명·사망자 19명 ▲2018년 화재 214건·재해자 326명·사망자 36명 ▲2019년 화재 187건·재해자 239명·사망자 14명 ▲2020년 9월까지 화재 134건·재해자 199명·사망자 44명이 발생했다.
- 2010년 ~ 2016년에 비해, 2017년부터의 화재발생건수는 줄어들고 있으나, 연간 인명피해건수는 해마다 등락을 반복하였으며, 2020년에는 물류창고 화재로 인해 사망자수가 크게 증가하였고 이에 산업시설의 화재로 인한 사회적 이슈가 꾸준히 발생하고 있는 것을 알 수 있다(소방청, 2021).



[그림 1-1] 2010 ~ 2020.09 산업시설 화재에 의한 인명피해 및 화재발생건수



[그림 1-2] 2010 ~ 2020.09 전체 산재 및 화재로 인한 사망자수

- 산업시설 화재의 구체적인 사례를 살펴보면, 막대한 인명피해의 심각성과 위험성을 좀 더 명확하게 확인할 수 있다. 2020년 4월 물류센터 화재(그림 3a)는 38명의 사망자를 비롯하여 총 48명의 사상자를 발생시켜, 사회적인 우려와 안타까움을 자아냈다.
- 사고 당시 물류센터에서는 2가지 작업이 병행되었는데, 환기가 잘되지 않는 지하에서 우레탄 도포 작업을 진행하던 중 우레탄의 유증기가 엘리베이터 설치 작업 시 발생한 불꽃에 의해 점화되었다. 지하 2층에서 시작된 화재는 빠른 속도로 확산되어 대형화재로 발전하였으며, 진화작업이 약 5시간 이상 소요되었다. 이때 현장 근로자들은 순식간에 번진 화염과 유독가스로 인해 초기 대피시간 내에 탈출하지 못하고 수많은 사상자가 발생하였다.

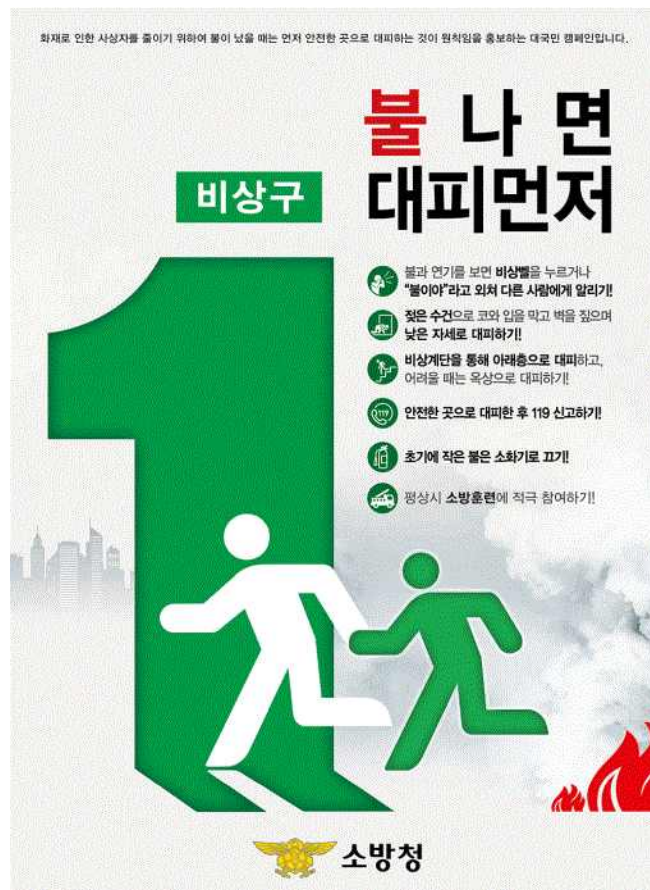


[그림 1-2] 산업현장의 화재 사고사례 (a) 물류센터 (b) 에너지저장장치 (c) 공장A (d) 공장B (e) 공사현장

- 비슷한 예로, 2019년에는 에너지저장장치(ESS) 건물(그림 3b) 및 공장에서 화재가 발생했다. 또한 공장(그림 3d)과 신축공사현장(그림 3e)에

서 발생한 화재는 각각 12명, 3명의 사상자를 만들었다.

- 이와 같이, 화재에 의한 인명피해가 증가하는 문제를 개선하고 소중한 생명을 더욱 적극적으로 보호하기 위해서, 소방청은 2019년부터 초기진화를 강조한 기존의 소방안전교육을 수정하여, 대피를 최우선으로 하는 ‘불 나면 대피먼저’라는 안전의식 전환에 집중하고 있다(소방청, 2019).



[그림 1-4] ‘불 나면 대피먼저’ 포스터

- 산업현장에서도 화재·폭발 사고의 예방과 화재 시 사업장 내 근로자의 안전한 대피를 위한 조치가 강화되고 있다. 예를 들어, 기존에는 대규모 공사현장 등에서 용접·용단 작업을 하는 경우에 화재감시자를 배치했지

만, 2019년에 개정된 산업안전보건기준에 관한 규칙 제241조의 2는 불꽃의 비산 거리(11m)를 중심으로 화재감시자의 의무 배치 장소를 확대하였다.

- 그런데 산업현장의 화재로 인한 인명피해를 최소화하기 위해서는, 화재로부터 신속하고 용이하게 대피할 수 있는 방안이 필요하다. 특히, 화재에 의해 발생한 연기는 시야 확보를 어렵게 하여 대피를 힘들게 하고, 가연물이 타면서 발생하는 유독가스는 대피 능력을 저하시키고 죽음에 이르게 할 수 있다.
- 따라서 화재 위험이 높은 화학물질 취급 사업장, 건설 현장 등에서 화재 발생 시, 유독가스, 연기 등에 의해 근로자가 다치거나 사망하는 위험을 최소화하고, 화재로부터 신속하게 대피할 수 있도록 하는 방연마스크 등의 보호구 지급에 대한 필요성이 증대되고 있다(김태권, 2009).
- 이러한 맥락에서 화재 위험에 자주 노출되는 화재감시자에게는 방연마스크 등의 대피용 방연 장비를 의무적으로 지급하도록 규정되어 있다. 하지만 산업현장의 대다수를 차지하는 일반 근로자에게 방연마스크를 확대 지급하는 방안에 대해서는 아직까지 구체적인 검토가 이루어지 않았다(배수용, 2010).

산업안전보건기준에 관한 규칙 : 제241조의2(화재감시자)

① 사업주는 근로자에게 다음 각 호의 어느 하나에 해당하는 장소에서 용접·용단 작업을 하도록 하는 경우에는 화재의 위험을 감시하고 화재 발생 시 사업장 내 근로자의 대피를 유도하는 업무만을 담당하는 화재감시자를 지정하여 용접·용단 작업 장소에 배치하여야 한다. 다만, 같은 장소에서 상시·반복적으로 용접·용단작업을 할 때 경보용 설비·기구, 소화설비 또는 소화기가 갖추어진 경우에는 화재감시자를 지정·배치하지 않을 수 있다.

1. 작업반경 11미터 이내에 건물구조 자체나 내부(개구부 등으로 개방된 부분을 포함한다)에 가연성물질이 있는 장소
2. 작업반경 11미터 이내의 바닥 하부에 가연성물질이 11미터 이상 떨어져 있지만 불꽃에 의해 쉽게 발화될 우려가 있는 장소
3. 가연성물질이 금속으로 된 칸막이·벽·천장 또는 지붕의 반대쪽 면에 인접해 있어 열전도나 열복사에 의해 발화될 우려가 있는 장소

② 사업주는 제1항에 따라 배치된 화재감시자에게 업무 수행에 필요한 확성기, 휴대용 조명기구 및 **방연마스크 등 대피용 방연장비를 지급**하여야 한다.

- 일반 근로자를 대상으로 한 방연마스크의 지급 확대는 화재 대피의 효율성을 높이는데 기여할 수 있지만, 기업이나 기관에 새로운 규제로 작용하여 부담을 증가시키고 산업 활동을 어렵게 만들 염려도 있다. 따라서 방연마스크 지급 대상의 확대 여부를 검토하기 위해서는 체계적이고 논리적인 연구가 필요하다.
- 아울러 성능이 부족하거나, 안전성이 확보되지 않은 방연마스크가 사용된다면 오히려 화재 대피를 어렵게 하고, 방연마스크에 대한 불신을 초래할 수 있기 때문에 방연마스크의 성능 및 안전성을 확보할 수 있는 기준을 마련하는 것이 필요하다. 아울러 시장에서 유통되는 방연마스크의

성능과 안전성을 담보하기 위해서 체계적인 인증 절차와 제도를 마련하는 방안도 함께 검토할 필요가 있다.

2. 연구목표

- 본 연구는 이와 같이 효과적인 화재 대피를 통해 근로자의 생명을 보호하고, 산업 발전과 기업 활동 촉진에 기여할 수 있도록 i) 일반 근로자에게 방연마스크를 확대 지급하는 방안의 필요성을 체계적으로 검토하며, ii) 방연마스크의 안전성 및 성능을 확보할 수 있는 기준, 규격 및 인증 제도의 방향을 마련하는 것을 목적으로 한다.
- 방연마스크 확대 지급 방안의 필요성을 판단하기 위해서, 선진국 등 각국의 방연마스크 지급에 대한 법령 및 유사제도를 조사하고, 산업현장 화재 발생 시 방연마스크 사용에 따른 화재 대피 효과를 조사하며, 방연마스크 지급 대상자의 범위 등을 검토하고, 편익-비용 분석을 통해 의무 지급의 타당성을 검토하는 것을 구체적인 목표로 한다. 아울러 방연마스크의 의무 지급 확대가 필요하다고 판단될 경우, 관련 개정안의 초안을 마련하는 것을 목표로 한다.
- 또한, 방연마스크의 안전성 및 성능 확보를 위한 기준과 규격 설정을 위해서, 다양한 방연마스크 중에서 산업안전에 필요한 “방연마스크”의 개념과 종류를 구체적으로 정의하고, 제품 인증의 필요성을 구체적으로 검토하고자 한다. 아울러 국·내외 기준과 표준 조사 등을 통해 방연마스크의 안전성 확보를 위한 필요한 기준을 마련하고, 방연마스크의 안전성 및 성능 유지를 위한 인증 제도의 도입 방안을 마련하는 것을 목표로 한다.

3. 관련 선행 연구에 대한 내용 분석

- 방연마스크의 비치와 안전성 및 성능 규격에 관한 논의는 2008년 ‘다중이용업소의 안전 관리에 관한 특별법 시행규칙’ 개정안을 마련하는 과정에서 다루어졌다(배수용, 2010). 해당 논의는 일반 다중이용업소 등이 중심이기 때문에, 산업현장을 대상으로 하는 본 연구와는 다소 거리가 있지만, 방연마스크의 기준 및 규격 설정과 관련하여 시사하는 바가 많다.
- 표 1과 같이, 2000년대 초반에 고시원과 같은 다중이용시설의 화재가 지속적으로 발생하자, 2008년 소방방재청은 고시원 영업장의 내부 통로 폭을 넓히고, 피난유도선의 의무 설치를 규정하는 ‘다중이용업소의 안전 관리에 관한 특별법 시행규칙’의 개정안을 마련하였다.

〈표 1-1〉 2000년대 초반 고시원 화재 사고 사례

사고 발생일	지역	원인	피해
2003. 1. 10	서울시 동작구	방화	사망 1 명
2004. 1. 12	수원시	촛불 취급 부주의	사망 4 명, 부상 4 명
2005. 2. 2	서울시 동작구	전기 스토브 과부하	부상 6 명
2005. 12. 6	서울시 마포구	방화	사망 1 명
2005. 12. 17	서울시 중랑구	방화	사망 1 명
2006. 1. 15	서울시 동대문구	담뱃불	20여 명 대피
2006. 7. 19	서울시 송파구	방화	사망 8 명, 부상 12 명
2006. 7. 25	안산시	전기 합선 추정	부상 7 명
2007. 11. 17	서울시 종로구	보일러 연통 과열	부상 4 명
2008. 7. 25	용인시	전기 합선 추정	사망 7 명, 부상 3 명
2008. 7. 30	서울시 광진구	방화	부상 2 명
2008. 10. 20	서울시 강남구	방화 추정	사망 6 명, 부상 7 명

- 한편, 숙박을 제공하는 형태의 고시원업 및 산후조리원업의 구획된 실마다 ‘국가 공인인증기관의 인증을 받은 화재대피(피난)용 간이호흡 기구(방연마스크)’를 비치토록 하는 규정을 해당 특별법 개정안에 포함시키고자 하였다.
- 당시 국가 공인기관에서 인증을 획득한 방연마스크는 한국소방산업기술원의 KFI 인정기준에 따른 ‘화재대피용 자급식호흡보호기구(이하 자급식호흡보호기구)’와 지식경제부 산하 기술표준원의 KS 표준규격에 따른 ‘화재용 긴급대피마스크(이하 긴급대피마스크)’ 두 가지가 있었다(한국소방산업기술원, 2020).



[그림 1-5] (a) 화재대피용 자급식호흡보호기구와 (b) 화재용 긴급대피마스크의 예시

- 그런데 KFI 인증의 자급식 호흡보호기구와 KS 표준의 긴급대피마스크는 형상과 사용 방식(착용자 보호 방식)이 상이하어, 인증기준에 대한 논란이 있었다.
- KFI 인증의 자급식 호흡보호기구는 착용자가 외부 공기의 영향을 받지 않도록 산소를 공급하거나 자체적으로 산소를 발생시킬 수 있는 형태로 설계되었다. 그리고 산소 공급 방식에 따라, 자급식 호흡보호기구는 착용자의 호흡에서 발생하는 이산화탄소와 수분을 초과산화칼륨(KO_2)과

반응시켜 두건 내부에서 자체적으로 산소를 발생시키는 형태(K type)와 압력용기를 통해 두건 내부로 산소나 공기를 공급하는 형태(P type)로 나뉜다.

- 이처럼 자급식 호흡보호기구는 착용자에게 산소를 공급할 수 있기 때문에, 화재로 실내 산소 농도가 저하되어 질식 위험이 높은 상황에서도 사용이 가능하다. 하지만 K type 자급식 호흡보호기구는 호흡에서 배출된 이산화탄소 및 습기가 KO_2 와 반응하여 산소를 생성시킬 때까지, 초기 호흡을 유지하는 시간이 필요하고, KO_2 의 반응에서 발생하는 열이 착용자에게 부수적인 피해를 줄 염려도 있다. 아울러 P type 자급식 호흡보호기구는 압력용기를 통해 산소를 공급받기 때문에 용기의 무게로 인해 휴대성이 떨어진다.

-화재대피용 자급식호흡기구의 KFI 인정기준-

1. 적용범위

화재발생 장소로 부터 대피를 위하여 사용되는 호흡용 기구로서 두건내부로 산소 또는 공기를 공급하는 방식의「화재 대피용 자급식 호흡 기구」(이하 “호흡기구”라 한다.)에 대하여 적용한다.

P타입 호흡기구 중 산소식 및 P타입 호흡기구의 경우에는 흡기 시 산소농도가 21%이상이어야 한다. 이 경우 호흡기구를 작동한 직후로 부터 120초까지는 두건 내부의 산소농도가 17%까지 저하되는 것을 허용한다.

- 한편, KS 표준의 긴급대피 마스크는 방독마스크와 유사한 형태를 가진다. 구체적으로, 긴급대피마스크는 열기를 막는 두건과 착용자의 시야를 확보할 수 있는 안면 렌즈, 유해가스를 정화하는 여과재 등이 결합된 형태이다.
- 긴급대피마스크는 외부 공기를 여과하는 방식으로 상대적으로 무게가 가볍다. 하지만 주변 산소 농도가 17vol% 이하로 질식 위험이 있는 상

황에서는 사용이 어렵다.

- 화재용 긴급대피 마스크의 KS M 6766:2016 기준-

1. 적용범위

화재 시 발생하는 입자, 가스(일산화탄소 및 기타 유독가스) 및 열로부터 착용자가 보호받을 수 있는 두건이 장착된 화재용 긴급 대피 마스크(이하 '두건이 장착된 긴급 대피 마스크'를 '마스크'로 기술한다.)에 대해서 규정한다.

마스크는 부피 분율 17% 이하의 산소 결핍이 예상되는 밀폐공간의 환경에서는 사용하지 않아야하고, 화재 시에 대피를 하기 위한 목적으로 사용하여야 한다.

- 이와 같이, 자급식 호흡보호기구와 긴급대피마스크의 장·단점은 화재대피용 호흡보호구의 기준 선정 과정에서 주요 논쟁의 대상이 되었고, 국회 주관 자문 회의에서도 위원들 사이에 의견 대립이 발생했다(김태권, 2009).

〈표 1-2〉 KFI 및 KS 인증 방연마스크의 특징 비교

구분	KFI 자급식 호흡보호기구		KS 화재용 긴급대피 마스크
	P type	K type	
주요 특징	압력용기로부터 산소 공급	KO ₂ 에 의한 산소 생성	외부 공기 여과
장점	• 주변 산소농도에 따른 제한이 없음 • 유독가스 종류에 무관하여 사용 가능		• 비교적 가벼운 무게 • 사용시간이 15분 이상 가능
단점	• 무게가 무거움 • 사용시간이 비교적 짧음	• 초기호흡 확보 어려움 • 반응열 냉각장치 필요 • 반응제 잔량 표시장치 필요 • 반응제 충격에 의한 폭발위험	• 산소가 17 vol% 이하인 밀폐공간의 환경에서 사용 제한

- 이에 따라 소방방재청은 간이호흡기구의 기술기준을 만들기 위해서 2009년 “화재대피용 간이호흡기구 기술기준에 관한 연구” 용역을 실시하였다. 하지만 해당 연구는 화재 인명피해의 다양한 원인 중에서 산소 결핍에 의한 질식을 지나치게 강조하였다는 지적을 받는다.
- 아울러 2009년 연구 보고서는 “화재대피용 간이호흡기구”를 화재발생 시 질식의 위험으로부터 인명 피해를 최소화하기 위하여 일반시민들이 대피 목적으로 사용하는 일회용 자급식 호흡기구라 정의함으로써, KFI 인증의 자급식 호흡보호기구만 다중이용업소에 비치될 수 있는 것으로 결론을 맺었다. 이에 대해, 해당 연구는 자료의 출처 등이 명확하지 않고, 화재 특성을 충분히 고려하지 않으며 객관성이 부족하다는 비판이 있다(최영, 2010).
- 그리고 이러한 논란으로 인해, 간이호흡기구의 의무 비치에 관한 규정은 ‘다중이용업소의 안전관리에 관한 특별법 시행규칙’ 개정안에 최종적으로 반영되지 못했다.
- 본 연구팀은 이러한 선행 연구의 문제점과 어려움을 타산지석으로 삼아, 산업현장에서 일반 근로자에게 방연마스크를 확대 지급하는 것이 필요한지를 객관적으로 검토하고, 다양한 형태의 방연마스크를 비교하여 안전성 및 성능 확보에 필요한 기준과 규격을 합리적으로 마련하고 한다.

국회 주관 자문회의도 '시끌벅적'

구성된 자문단의 전반적인 업무는 책임간사를 맡은 **국경수 의원실 주혜준 보고관**을 중심으로 전개됐다. 지난해 12월 11일과 동달 23일, 두 차례에 걸쳐 간이호흡기구의 안전성 검증을 위한 성능테스트를 위해 회의가 진행됐지만 위원회가 열릴 때마다 논란이 됐다.



[그림 1-6] 간이호흡기 안정성 검증을 위한 국회 주관 자문회의 모습

[소방방재신문(FPNdaily 2010.01.05.) : 간이호흡기구 논란 13개월 째, 도대체 무슨 일이?]

Ⅱ. 연구내용 및 방법

.....

II. 연구내용 및 방법

1. 연구내용 및 범위

가. 근로자 방연마스크 지급에 대한 필요성 검토

1) 선진국 등 각국의 방연마스크 지급에 대한 법령 및 유사제도 검토

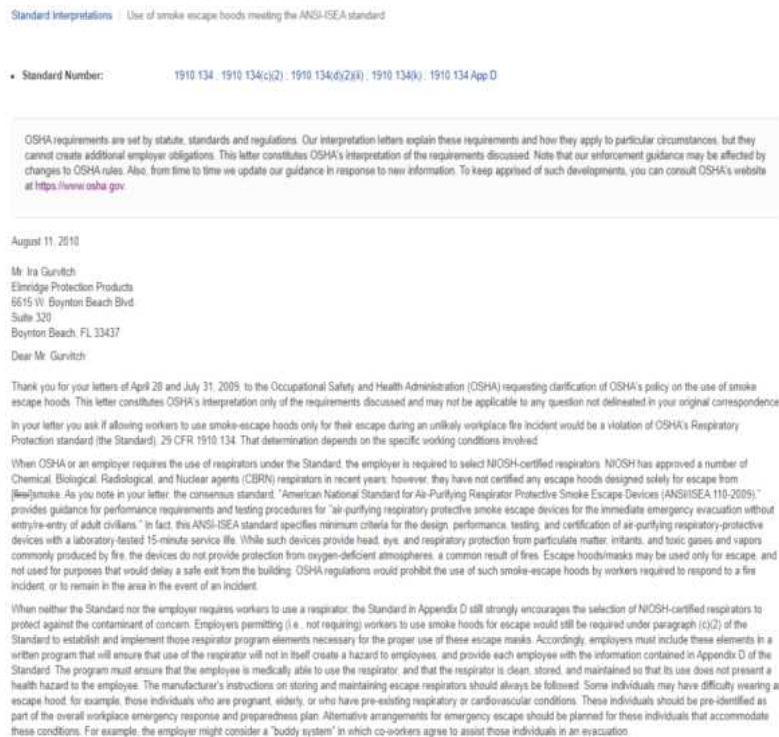
- 근로자 방연마스크 지급 확대의 필요성을 판단하기 위해서는 선진국을 비롯한 여러 나라에서 어떠한 제도나 법령을 운영하고 있는지 조사 및 분석하는 것이 필요하다. 본 연구팀은 효과적인 연구 진행을 위해 방연마스크 지급에 관한 각국의 규정 및 제도에 대해서 선행 조사를 실시하였다.
- 선행 조사 결과, 방연마스크의 의무 지급에 관한 규정이나 법령, 제도는 아직 발견하지 못했지만, 방연마스크의 보급과 사용 확대를 위한 각국의 노력이 크게 증가하고 있다는 것을 확인할 수 있었다.

가) 미국

- 미국 노동부(US Department of Labor) 산하 직업안전건강관리국(OSHA : Occupational Safety and Health Administration)은 OSHA 1910.134 규정을 해석하면서, 화재 대피를 위한 방연마스크(Fire hood)의 사용을 허용하였다.
- OSHA 1910.134 규정에 따르면, 사용자는 산업현장에서 생명에 즉각적인 위협을 가하거나, 돌이킬 수 없는 건강상의 부작용을 일으키거나, 탈출 능력을 손상시킬 수 있는 IDLH (Immediately Dangerous to Life or Health) 대기 하에서 근로자가 대피할 수 있도록, NIOSH (National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH)

인증을 받은 호흡보호구를 제공해야 한다.

- NIOSH는 최근 들어 화학, 생물, 방사선 및 핵 물질(CBRN : Chemical, Biological, Radiological, and Nuclear agents)에 사용할 수 있는 다양한 호흡보호구를 인증하였다.
- 하지만 NIOSH 인증 호흡보호구는 화재 상황을 고려하지 않으며, 화재 연기로부터 탈출하기 위해 설계된 호흡 보호구는 NIOSH 인증 호흡보호구에 포함되지 않는다. 이에 따라, OSHA는 American National Standard for Air-Purifying Respirator Protective Smoke Escape Devices (ANSI/ISEA 110-2009)를 예로 들면서, 화재 사고 탈출용 escape hood/mask의 사용을 허용했다.



[그림 II-1] 방연마스크 사용에 관한 OSHA 1910.134 규정의 해석

나) 일본

- 산업현장의 방연마스크 의무 지급에 관한 일본 내 규정은 발견되지 않았지만, 기업이나 기관이 화재·폭발에 대비한 호흡용 보호구를 자발적으로 보유한다는 것을 확인할 수 있었다.
- 구체적으로, 2014년 일본 후생노동성에서 발표한 통계 자료에 따르면, 가연성 가스 발생의 우려가 있는 공사 현장 중 81.8%가 호흡용 보호구를 비치한 것으로 나타났다. 조사대상 공사 현장의 호흡용 보호구 비치 비율이 80%를 넘으며, 2008년 80.4%에서 2013년 81.8%로 소폭 상승한 것에 비추어볼 때, 화재 및 폭발 사고에 대비한 호흡용 보호구의 구비와 활용이 활발하게 이루어지는 것을 알 수 있다.

〈표 II-1〉 가연성 가스 발생의 우려가 있는 공사 현장에서의 폭발·화재 방지 및 피난 연락 장비 등의 유무

복수 응답 (단위 : %)

	총 계	폭발·화재 방지 및 피난 연락용 기기 등의 종류						
		소화기·소화전	휴대용 조명기구	비상 전원 유도등	비상 조명 장치	호흡용 보호구	전화 설비	경보 시설
2013	100	100.0	90.9	58.2	85.5	81.8	96.4	90.9
2008	100	97.9	89.7	38.1	80.4	80.4	88.7	85.6

- 아울러 2013년 일본 후생노동성이 마련한 ‘병원 및 진료소에 대한 방화·방재 대책 요강’에 따르면, 병원은 소방, 대피 유도 등을 위한 방연마스크를 갖추어야 하는 것으로 나타났다.

-병원 등의 방화·방재 대책 요강(病院等における防火・防災対策要綱)-

병원 등의 방재설비에 대해서는 의료법 및 의료법 시행규칙 외에 소방법 관계법령 및 건축기준법 관계법령에 따른 규제를 받고 있으며 특히 소방법에서 규정하는 방재설비 등의 개정에 대해서는 기존 건축물에 대해서도 소급 적용하는 것이 원칙으로 되어 있으므로 이들 법령에 따라 설치 의무가 있음. 의료법 및 소방법 관계법령 등의 방재설비에 관한 규정의 주된 것은 다음과 같다.

(중략)

13. 소화, 대피·유도, 반송을 위한 휴대용 마이크, 손전등, 방연마스크, 들것, 휠체어 등을 갖추 것.

다) 영국

- 영국은 2017년 79명의 사망자가 발생한 그렌펠 타워(Grenfell Tower) 화재 사건 이후, 화재 대응과 대피에 관한 논의를 활발하게 하고 있다. 특히, 런던 소방대는 2018년부터 화재 현장에 진입할 때 방연마스크(fire escape hood)를 휴대하여, 요구조자에게 제공하기로 하였다(자치법규정보시스템, 2021).

ARTICLE

London firefighters to carry fire escape hoods

15 October 2018

FIREFIGHTERS FROM London Fire Brigade are among the first in the UK to carry fire escape hoods to protect members of the public from toxic smoke at fires. The Brigade has worked closely in collaboration with Kent Fire and Rescue Service who will also be launching fire escape hoods to their crews.



[그림 II-2] 영국 소방대의 방연마스크 휴대에 관한 기사

- 영국 런던 소방대가 휴대하는 방연마스크는 KS 화재용 긴급대피 마스크와 유사한 형태이며, 4가지 주요 화재 독성가스(일산화탄소, 시안화수소, 아크롤레인, 염화수소)를 약 15분까지 정화할 수 있는 성능을 갖는

것으로 알려졌다.

라) 국내

- 앞서 살펴본 것처럼, 국내에서는 화재피난용 방연마스크를 고시원과 산 후조리원처럼 숙박을 제공하는 다중이용업소에 의무적으로 비치하도록 하는 ‘다중이용업소의 안전 관리에 관한 특별법 시행규칙’ 개정안을 준비했으나, 실제로 입법이 되지 못했다(자치법규정보시스템, 2021).
- 이렇게 방연마스크 비치 등에 관한 법률 체계가 완성되지 않은 상황이지만, 방연마스크의 보급 활동은 매우 활발하게 이루어지고 있다. 2000년대 초반 서울지하철공사는 3, 4호선에 약 7만 개 이상의 1회용 방연마스크를 설치한 바 있다. 아울러 도시철도사고 예방 및 대응체계 개선 연구에서 화재 시 비상 대응 행동요령의 개선안으로 ‘대피승객에게 방연마스크를 배부할 것’을 제시한 바 있다.

〈표 II-2〉 화재 시 행동요령 개선안

구분 (1인 기준)	현황(A 도시철도 운영기관)	개선안
역무원	① 역사안내방송 실시 ② 관제의 지시를 받아 사고현장으로 출동 ③ 현장상황 통보 ④ 인근역 승객하차 유도 ⑤ 비상게이트 개방 및 외부인 출입통제 ⑥ 승객을 안전하게 대피 유도 ⑦ 외부기관 협조	① (관제실로부터) 사고상황 및 지시 사항 접수 ② 유관기관에 연락 ③ 제연설비 가동 ④ 역사안내방송 실시(상황전달 및 대응방안) ⑤ 자위소방대 현장 출동 ⑥ 승객대피 유도 및 응급 조치 - 승강장, 게이트 등에서 대피유도 활동 실시 - 대피승객에게 방연마스크 배부 - 교통약자 피난 보조

- 한편, 2019년부터 각급 지방자치단체는 ‘화재대피용 방연마스크 비치 및 지원에 관한 조례’를 제정하고 있으며, 2021년 4월 기준 약 45개의 지방자치단체에서 해당 조례를 시행하고 있는 것으로 조사되었다(자치법규정보시스템, 2021).

〈표 II-3〉 지방자치단체의 화재대피용 방연마스크 비치 및 지원에 관한 조례 제정현황

자치 단체	조례명	시행 일자
광주광역시 서구	광주광역시 서구 화재대피용 방연마스크 비치 및 지원에 관한 조례	2019. 8. 14.
부산광역시 동래구	부산광역시 동래구 화재대피용 방연마스크 비치 및 지원에 관한 조례	2019. 9. 25.
대구광역시 중구	대구광역시 중구 화재대피용 방연마스크 비치 및 지원에 관한 조례	2019. 10. 10.
인천광역시 서구	인천광역시 서구 화재대피용 방연마스크 비치 및 지원에 관한 조례	2019. 11. 18.
서울특별시 동작구	서울특별시 동작구 화재대피용 방연마스크 비치 및 지원에 관한 조례	2019. 12. 12.
논산시	논산시 화재대피용 방연마스크 비치 및 지원에 관한 조례	2019. 12. 13.
대전광역시 서구	대전광역시 서구 화재대피용 방연마스크 비치 및 지원에 관한 조례	2019. 12. 17.
대구광역시 수성구	대구광역시 수성구 화재대피용 방연마스크 비치 및 지원에 관한 조례	2019. 12. 20.
평택시	평택시 화재대피용 방연마스크 비치 및 지원에 관한 조례	2019. 12. 20.
목포시	목포시 화재대피용 방연마스크 비치 및 지원에 관한 조례	2019. 12. 23.
서울특별시 양천구	서울특별시 양천구 화재대피용 방연마스크 비치 및 지원에 관한 조례	2019. 12. 26.
구리시	구리시 화재대피용 방연마스크 비치 및 지원에 관한 조례	2019. 12. 31.
수원시	수원시 화재대피용 방연마스크 비치 및 지원에 관한 조례	2019. 12. 31.
군산시	군산시 화재대피용 방연마스크 비치 및 지원에 관한 조례	2020. 1. 2.
서울특별시 송파구	서울특별시 송파구 화재대피용 방연마스크 비치 및 지원에 관한 조례	2020. 1. 2.
익산시	익산시 화재대피용 방연마스크 비치 및 지원 조례	2020. 1. 8.
대구광역시 북구	대구광역시 북구 화재대피용 방연마스크 비치 및 지원에 관한 조례	2020. 2. 20.

	치 및 지원에 관한 조례	
시흥시	시흥시 화재대피용 방연마스크 비치 및 지원에 관한 조례	2020. 2. 22.
광주광역시 동구	광주광역시 동구 화재대피용 방연마스크 비치 및 지원에 관한 조례	2020. 2. 4.
광주광역시 광산구	광주광역시 광산구 화재대피용 방연마스크 비치 및 지원에 관한 조례	2020. 2. 5.
남원시	남원시 화재대피용 방연마스크 비치 및 지원에 관한 조례	2020. 2. 5.
광주시	광주시 화재대피용 방연마스크 비치 및 지원에 관한 조례	2020. 3. 13.
인천광역시 중구	인천광역시 중구 화재대피용 방연마스크 비치 및 지원에 관한 조례	2020. 3. 16.
인천광역시 연수구	인천광역시 연수구 화재대피용 방연마스크 비치 및 지원에 관한 조례	2020. 3. 2.
인천광역시	인천광역시 화재대피용 방연마스크 비치에 관한 조례	2020. 3. 30.
의정부시	의정부시 화재대피용 방연마스크 비치 및 지원에 관한 조례	2020. 3. 6.
대구광역시 달성군	대구광역시 달성군 화재대피용 방연마스크 비치 및 지원 등에 관한 조례	2020. 4. 29.
남양주시	남양주시 화재대피용 방연마스크 비치 및 지원에 관한 조례	2020. 5. 14.
서울특별시 구로구	서울특별시 구로구 화재대피용 방연마스크 비치 및 지원에 관한 조례	2020. 5. 14.
경기도	경기도 화재대피용 방연마스크 비치 및 지원에 관한 조례	2020. 5. 19.
부천시	부천시 화재대피용 방연마스크 비치 및 지원에 관한 조례	2020. 5. 20.
울산광역시 북구	울산광역시 북구 화재대피용 방연마스크 비치 및 지원에 관한 조례	2020. 5. 7.
제주특별자치도	제주특별자치도 화재대피용 방연마스크 비치 및 지원에 관한 조례	2020. 6. 10.
대전광역시 대덕구	대전광역시 대덕구 화재대피용 방연마스크 비치 및 지원에 관한 조례	2020. 6. 19.
김해시	김해시 화재대피용 방연마스크 비치 및 지원에 관한 조례	2020. 6. 26.
광주광역시 북구	광주광역시 북구 화재대피용 방연마스크 비치 및 지원에 관한 조례	2020. 7. 10.
안산시	안산시 화재대피용 방연마스크 비치 및 지원에 관한 조례	2020. 7. 15.
군포시	군포시 화재대피용 방연마스크 비치 및 지원에 관한 조례	2020. 9. 29.
서울특별시 중랑구	서울특별시 중랑구 화재대피용 방연마스크	2020. 11. 19.

	비치 및 지원에 관한 조례	
동해시	동해시 화재대피용 방연마스크 비치 및 지원에 관한 조례	2020. 11. 6.
인천광역시 동구	인천광역시 동구 화재대피용 방연마스크 비치 및 지원에 관한 조례	2020. 12. 29.
충주시	충주시 화재대피용 방연마스크 비치 및 지원에 관한 조례	2020. 12. 31.
서울특별시 도봉구	서울특별시 도봉구 화재대피용 방연마스크 비치 및 지원에 관한 조례	2021. 2. 15.
대구광역시 동구	대구광역시 동구 화재대피용 방연마스크 비치 및 지원에 관한 조례	2021. 3. 10.
파주시	파주시 화재대피용 방연마스크 비치 및 지원에 관한 조례	2021. 3. 16.
서울특별시 마포구	서울특별시 마포구 화재대피용 방연마스크 비치 및 지원에 관한 조례	2021. 3. 25.
대구광역시 서구	대구광역시 서구 화재대피용 방연마스크 비치 및 지원에 관한 조례	2021. 4. 12.
천안시	천안시 화재대피용 방연마스크 비치 및 지원 조례	2021. 4. 15.
서울특별시 은평구	서울특별시 은평구 안전도시만들기 조례	2019. 11. 14.
광주광역시교육청	광주광역시교육청 화재대피 기구 설치 및 교육훈련 지원 조례	2020. 3. 1.
대구광역시 달서구	대구광역시달서구 안전도시 조성에 관한 조례	2020. 5. 14
경상남도교육청	경상남도교육청 화재대피용방연물품의 비치 및 지원에 관한 조례	2020. 6. 4.

- 이 조례들은 ‘재난 및 안전관리기본법 제4조’에 의거하여, 공공기관, 의료기관, 보육시설 등에 화재대피용 방연마스크를 비치하는 것을 지원함으로써, 화재 피해를 예방하는 데 목적이 있다.
- 많은 조례에서 주목할 부분은 산소를 공급하거나 발생시키는 자급식 호흡보호기구에 대한 언급이 없고, 유독가스와 연기를 정화하는 형태를 방연마스크로 정의하고 있다는 점이다(국가기술표준원, 2016, 한국소방산업기술원, 2020).

-경상남도교육청 화재대피용 방연물품의 비치 및 지원에 관한 조례-

제1조(목적)

이 조례는 유치원과 학교 등의 교육기관에 화재대피용 방연물품의 비치 및 지원에 관한 사항을 규정함으로써 화재로부터 학생과 교직원의 생명을 보호하는 등 안전한 교육환경 조성에 기여함을 목적으로 한다.

제2조(정의)

이 조례에서 "화재대피용 방연물품"이란 화재로 발생하는 일산화탄소 등의 유독가스와 연기를 여과하여 질식을 막고 호흡을 가능하도록 해서 화재로부터 안전하게 대피하는데 도움이 되는 화재대피용 방독면 또는 방연마스크 등을 말한다.

-서울특별시 은평구 안전도시만들기 조례-

제6조(사업의 지원) 구청장은 안전도시 사업 추진에 필요한 다음 각 호의 인력 및 소요비용에 대하여 지원할 수 있다.

1. 안전도시 관련 시설의 확충 및 운영에 관한 사항
2. 안전용품 보급 등 안전도시 사업 홍보에 관한 사항
3. 화재대피(피난)용 방연마스크 비치에 관한 사항(본호신설 2019. 11. 14.)

2) 산업현장 화재 발생 시 방연마스크 사용에 따른 화재 대피 효과성 검토

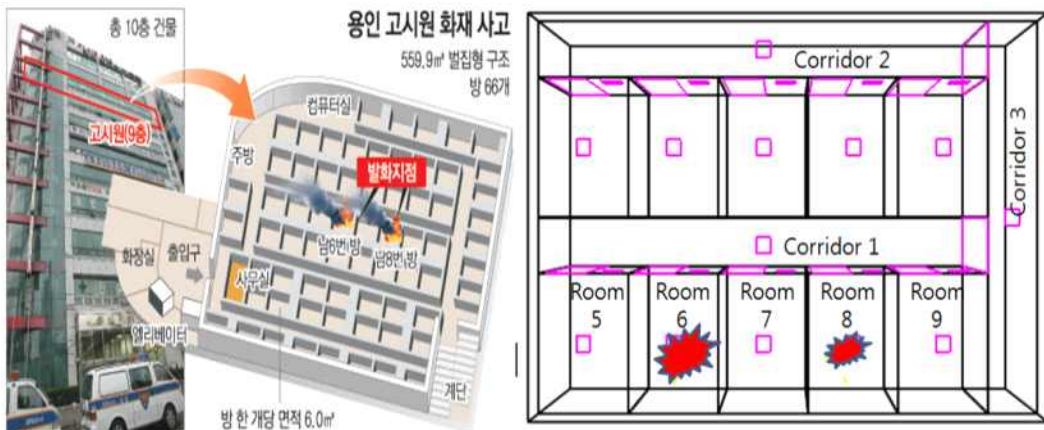
- 방연마스크 사용에 따른 화재 대피 효과를 검토하기 위해서는, 화재로 인한 인명피해의 원인을 구체적으로 조사하고, 각종 방연마스크가 인명

피해를 줄인 사례와 인명피해 원인을 예방 또는 제거할 수 있는 근거와 성능에 대한 분석이 필요하다^[8,9].

- 이를 효과적으로 수행하기 위해서, 본 연구팀은 화재의 인명피해 원인과 방연마스크 효과에 관한 문헌 자료를 선행적으로 조사하고, 그 결과를 다음과 같이 정리하였다. 본 연구가 시작되면, 선행 조사 결과를 바탕으로 방연마스크의 사용 효과에 대해 더욱 심층적인 조사와 분석을 수행할 계획이다.

가) 화재 인명피해의 원인 분석

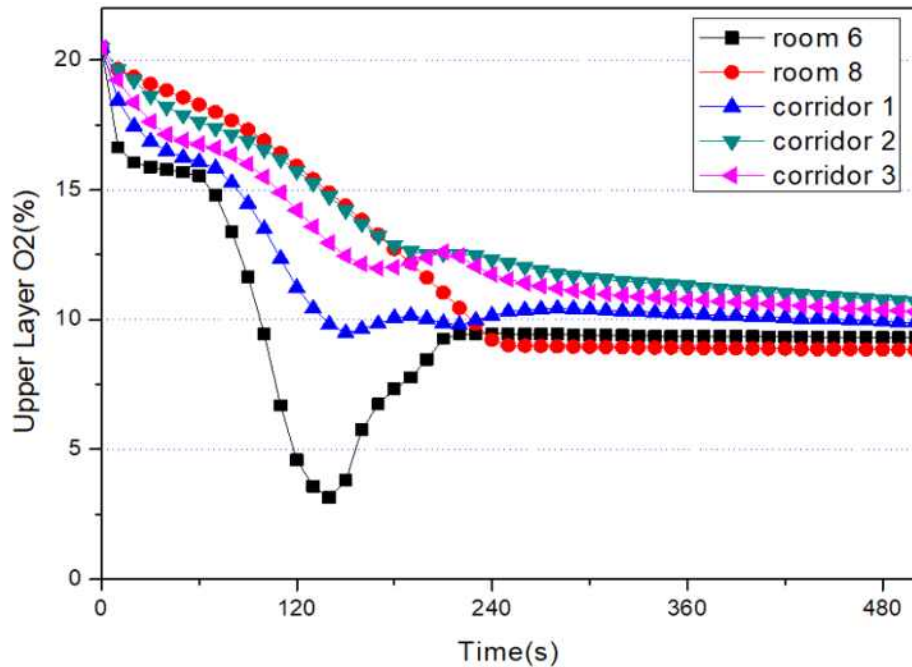
- 2009년 진행된 ‘화재대피용 간이호흡기구 기술기준에 관한 연구’에서는 화재 시 산소결핍에 의한 질식 위험을 강조하였다. 해당 연구는 다중이용시설에서 발생한 다양한 화재 사고 사례를 조사하고, CFAST 시뮬레이션을 통해 2008년 용인 고시원 화재 사고를 분석하였다(김태권, 2009).



[그림 II-3] 용인 고시원 화재사고 개요 및 고시원의 CFAST 시뮬레이션 모델

- 용인 고시원 화재의 CFAST 시뮬레이션에 따르면, 화재가 시작된 6호실의 산소 농도가 2분 이내에 생존 가능한 농도(15 vol%) 이하로 감소한

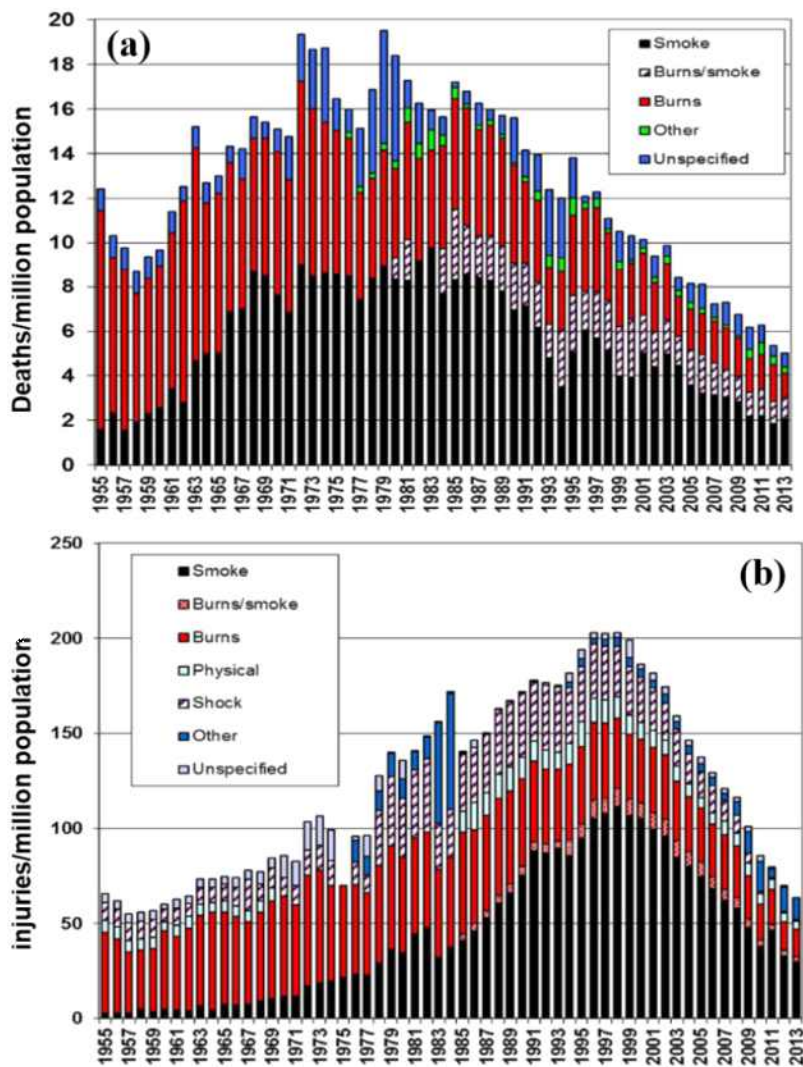
다고 분석되었다. 화재가 최성기에 도달하면, 연소반응에 의한 주변 산소의 소모가 빨라져 산소 결핍의 위험이 높아질 수 있다.



[그림 II-4] 고시원 CFAST 시뮬레이션 결과 중 주요 구획 상부층의 산소농도

- 그러나 2009년 연구는 실제 측정값이 아닌 시뮬레이션 계산에 의한 결과에 크게 의존하고 있기 때문에 충분한 분석이 이루어졌다고 보기 어렵다. 또한 해당 CFAST 분석은 층고가 2m 정도로 낮고 통로가 좁은 고시원을 대상으로 하였기 때문에, 실내 공간이 비교적 넓은 산업현장에서는 상이한 결과가 나타날 수 있다.
- 아울러 대피는 대부분 화재 초기에 이루어진다는 점에서 최성기의 산소 결핍 상황을 지나치게 강조하는 것은 주의가 필요하며, 많은 문헌들은 산소 결핍보다 연기와 독성가스의 문제점을 더 많이 지적하고 있다 (Giebułtowicz, J, 2017, M Stefanidou, 2008, Cone DC, 2010).
- 1955년부터 2013년까지 영국의 주택 화재로 인한 사망 및 사상자 통계

를 분석한 결과에 따르면, 1980년대 이전에는 화상에 의한 사망자와 사상자가 많았지만, 1980년대 후반 이후에는 전체 사망자와 사상자 중, 연기 단독이나 연기와 화상의 복합 원인에 의한 재해자 비율이 증가한 것으로 나타났다.



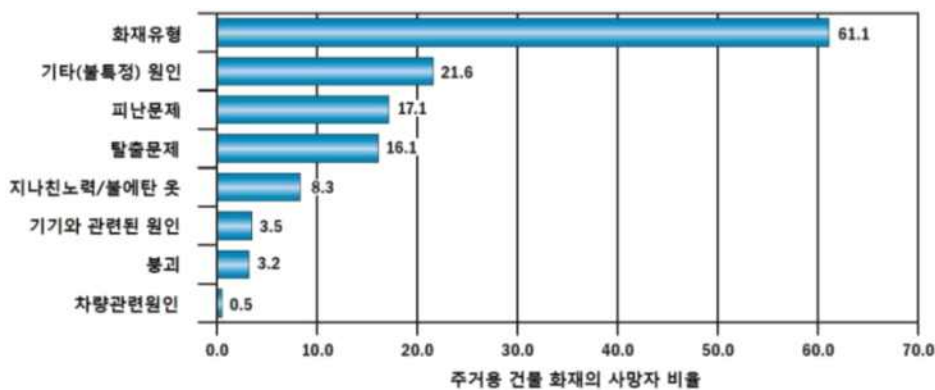
[그림 II-5] 1955년 ~ 2013년 영국의 화재 피해 원인별 (a) 사망 및 (b) 사상자 비율

- 미국에서도 화재 연기에 의한 피해가 해마다 증가하는 것으로 조사되었다. 미국화재예방협회(National Fire Protection Association, NFPA)가 1979년부터 1992년까지 화재 사망자를 분류한 결과, 연기에 의한 사망자 비율이 1979년 58.6%에서 1992년 72.3%로 증가하였고, 같은 기간 열에 의한 사망자 비율은 37.7%에서 25.1%로 감소하였다.

〈표 II-4〉 1979년 ~ 1992년 화재 시 열 및 연기 흡입으로 인한 사망분포 (NFPA analysis of data from U.S. death certificates coded E890~89)

년도	전체	연기흡입	열	기타
1979	5,998	3,515 (58.6%)	2,262 (37.7%)	221 (3.7%)
1980	5,822	3,515 (60.4%)	2,079 (35.7%)	228 (3.9%)
1981	5,697	3,501 (61.4%)	2,048 (35.9%)	148 (2.6%)
1982	5,210	3,396 (65.2%)	1,683 (32.3%)	130 (2.5%)
1983	5,039	3,245 (64.4%)	1,654 (32.8%)	140 (2.8%)
1984	5,022	3,277 (65.2%)	1,625 (32.4%)	121 (2.4%)
1985	4,952	3,311 (66.9%)	1,498 (30.3%)	143 (2.9%)
1986	4,835	3,328 (68.8%)	1,415 (29.3%)	92 (1.9%)
1987	4,710	3,307 (70.2%)	1,301 (27.6%)	102 (2.2%)
1988	4,965	3,480 (70.1%)	1,378 (27.8%)	106 (2.1%)
1989	4,723	3,308 (70.0%)	1,311 (27.8%)	103 (2.2%)
1990	4,181	2,986 (71.4%)	1,138 (27.2%)	57 (1.4%)
1991	4,126	2,977 (72.2%)	1,078 (26.1%)	70 (1.7%)
1992	3,966	2,866 (72.3%)	995 (25.1%)	105 (2.6%)

- 한편, 미국연방소방부(U.S. Fire Administration, USFAs)의 국가화재 사고보고시스템(National Fire Incident Reporting System, NFIRS)에서 수집된 정보를 통해, 2009년 ~ 2011년 주거 화재의 사망과 관련된 원인, 화재 사망자의 주요 증상 등을 비교적 상세하게 분석한 보고서가 발표되었다.
- 이 보고에 따르면, 사망자가 발생하는 주요 원인으로 화재유형(fire pattern)이 61%를 차지하며, 피난 문제(egress problem)와 탈출 문제(escape problem)가 각각 17%와 16%를 나타냈다. 여기서 화재유형은 연기나 화염으로 인하여 차단되는 출구, 연기로 인한 시야 확보의 어려움, 그리고 위나 아래층에서 발생한 화재로 사람이 갇히는 것을 의미한다. 피난 문제는 혼잡한 상황, 제한된 출구, 잠겨진 출구 또는 기타 출구 문제 및 출구에 있는 기계적 장애물을 포함한다. 탈출 문제는 친숙하지 않은 출구, 가장 가까운 출구까지의 먼 거리, 부적절한 탈출경로 선택, 건물로의 재진입 그리고 탈출 하는 동안 옷에 불길이 옮겨붙은 화재를 포함한다.

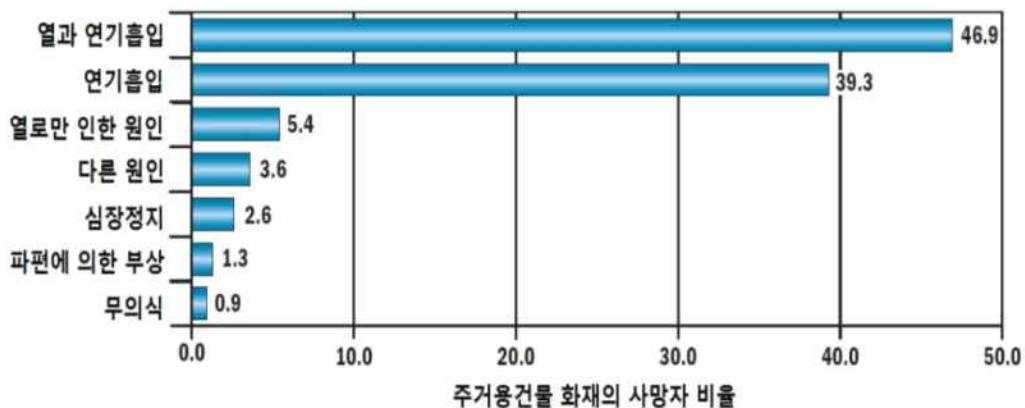


[그림 II-6] 주거건물에서 발생한 화재의 사망과 관련된 원인(2009-2011)

- 대부분의 건물 화재에서 사람이 사망하게 되는 주된 이유는 크게 복사열에 의한 화상, 연기에 의한 질식으로 나뉜다. 주거 화재 전체 사망자의

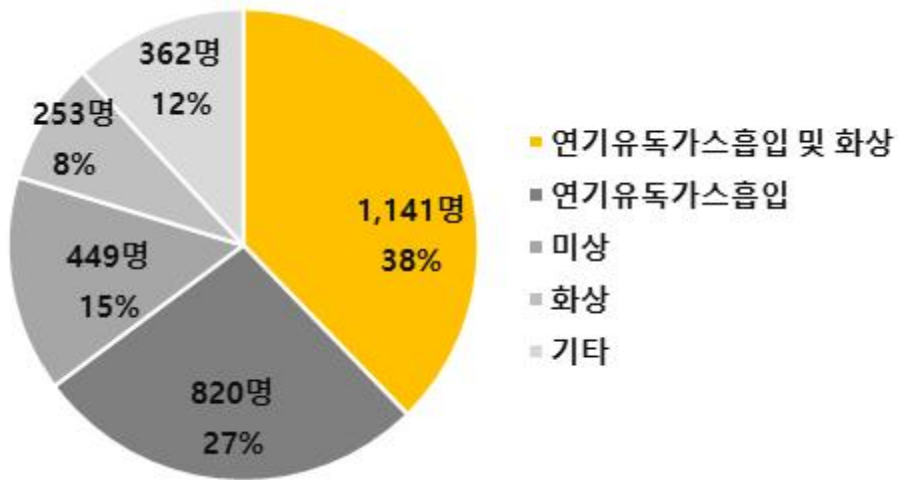
92%는 열로 인한 화상 및 연기 흡입으로 고통받았다. 열과 연기 흡입은 사망의 47%를 차지한다. 연기 흡입은 주거 화재 사망의 39%이며, 오직 열에 의한 사망은 5%이다.

- 열화상은 화염, 뜨거운 액체, 뜨거운 표면 및 높은 온도의 기타 물질과의 접촉으로 인하여 발생된다. 열화상 사망의 84%는 신체 곳곳에 열화상을 입은 결과로 나타났다. 연기 흡입은 신체의 폐나 기도과 같은 내부 장기에 영향을 미친다. 이것은 유해가스와 화재 시 발생하는 미세 먼지가 포함된 연기를 흡입하기 때문이다. 이러한 가스와 먼지는 기도의 염증 등을 초래하는 독성을 가지고 있다.



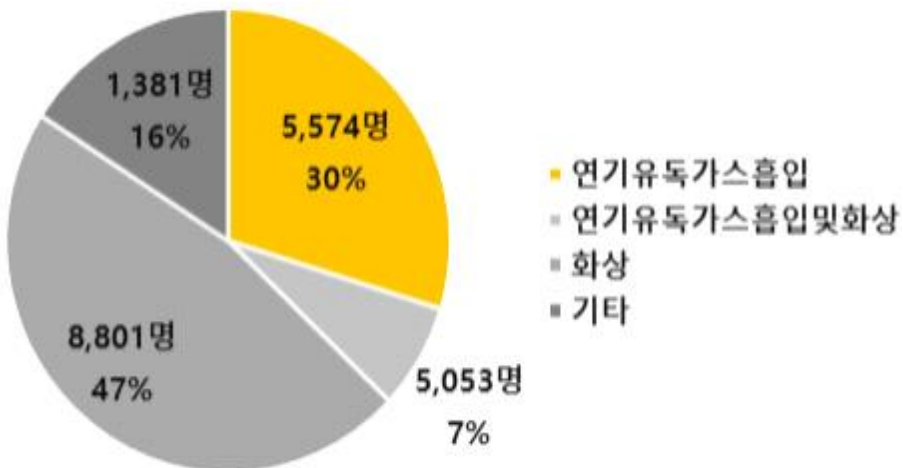
[그림 II-7] 주거 건물에서 발생하는 화재 사망자의 주된 증상(2009-2011)

- 국내에서도 미국이나 영국처럼 상당수의 화재 인명 피해가 연기와 유독가스에 의해 발생하는 것으로 나타났다. 2010년부터 2020년까지 화재 사망자와 사상자의 사고 원인을 조사한 결과를 참고하면, 화재 사망자의 27%가 연기·유독가스 흡입에 의해 발생한 것으로 나타났다. 아울러 화상과 연기·유독가스 흡입이 복합적으로 작용한 사례도 38%에 달해, 화재 연기 및 유독가스와 관련된 사망자는 전체의 65%에 해당하는 것으로 조사되었다(소방청, 2021).



[그림 II-8] 국내 화재 사망자의 사망 원인 분석 결과 (2010 ~ 2020년)

- 한편, 화재 사상자의 경우 화상에 의한 부상 비율이 가장 높은 것(47%)으로 나타났다. 연기나 유독가스에 의한 치사율이 높기 때문에, 사상자 중에는 상대적으로 치사율이 낮은 화상 피해자가 다수를 차지한다고 판단된다(소방청, 2021).



[그림 II-9] 국내 화재 사상자의 사상 원인 분석 결과 (2010 ~ 2020년)

- 위 결과는 전체 화재사고를 대상으로 하기 때문에 산업현장 화재의 인명 피해 원인을 직관적으로 밝힌다고 보기에는 한계가 있지만, 많은 산업 화재 사례에서 유독가스에 의한 인명피해가 자주 발생한 것에 비추어볼 때, 상기 분석 결과는 산업 화재에도 잘 적용된다고 판단된다(박재만, 2005).

〈표 II-5〉 주요 산업 현장의 화재 유독가스에 의한 피해 사례

No.	산업 구분	사고 개요
1	건설업	유증기 주변에서 작업하던 고속절단기의 불티로 인해 발생한 화염이 경질폴리우레탄보드로 전파되어 연소하는 과정에서 유독가스로 인한 4명 사망, 2명 중상
2	건설업	지하주차장 가설사무실 화재 진압 중 유독가스에 의한 1명 사망
3	건설업	지하층 우레탄폼에 발생한 화재로 작업 중이던 근로자 4명 사망, 9명 부상
4	조선업	용접작업 중 발생한 불티로 인해 보온재(폴리우레탄폼)에 화재가 발생하여 1명 사망, 6명 부상
5	제조업	가스 절단기의 호스 파손으로 발생한 에틸렌 가스의 인화로 탱크의 보온재 전체에 화재 발생하여 근로자 대피 중 1명 사망
6	건설업	가설 컨테이너 내부의 전기 온열기 화재로 1명 사망
7	제조업	LPG 탱크 내부에서 사상작업 중, 인접한 장소의 화재로 발생한 유독가스에 의해 1명 사망
8	건설업	방화벽 철판벽체를 용단 중, 천장 단열재에 화재가 발생하여 진화작업 중 1명 사망
9	제조업	파이롯트룸(통풍이 불충분한 장소) 내부에서 사상작업 중 화재 발생으로 4명 사망
10	조선업	엔진룸 발전기에서 화재 발생하여 환기 작업 중 1명 사망

나) 화재 대피의 Golden Time과 방연마스크의 효과 검토

- 화재 시 초기 대피시간(Golden Time)과 방연마스크의 효과에 대해 언급한 문헌들을 조사하였다.
- 상당수의 화재 인명 피해가 연기와 유독가스에 의해 발생하는 것으로 나타나는데 방연마스크가 유독가스의 피해를 방지하고, 안전한 화재 대피시간을 확보하는 역할을 할 수 있다고 문헌에서 언급하고 있다(Cone D.C., 2010, 임상범, 2004, 모철민, 2012).
- 하지만, 이 문헌에서 Golden Time을 명확하게 언급하지 않고 있으며, 이 외의 방연마스크의 효과를 언급하는 문헌들에서도 Golden Time이 언급되어 있지 않아 초기대피시간(Golden Time)에 따른 방연마스크의 효과를 검토할 수 없다.
- 물론, Golden Time만을 단독으로 언급하는 문헌은 있으나 이는 화재 진행 상황을 고려한 Golden Time이며, 화재 시 발생하는 유독가스, 연기에 의거한 Golden Time이 아니다. 따라서, 화재 상황에서 얼마나 빨리 대피해야 하는지에 대한 기준이 명확하지 않다.

“실내화재에서의 사망은 대부분 일산화탄소와 같은 유독가스에 의한 질식 또는 중독이다. 일산화탄소는 체내에 사소를 운반하는 역할을 하는 혈액 중의 헤모글로빈과 결합하여 일산화탄소-헤모글로빈을 만들어 혈액의 산소운반능력을 저하시키므로 그 농도에 따라 사망에 이를 수 있다. 화재시 발생하는 일산화탄소와 같은 유독가스의 피해를 방지하고, 안전한 화재 대피시간을 확보하는 수단으로 화재대피용 방독마스크를 사용할 경우 많은 인명을 구할 것이다.”

-A Study on the Characteristics of $\text{CO}_3\text{O}_4/\text{gamma-Al}_2\text{O}_3$ Catalysts for the Emergency Escape Mask Cartridge-

자급식 호흡장치 대신 소방관의 마스크에 부착하는 비상탈출장치가 개발됨. 이 장치는 미립자 물질과 여러 가지 위험한 연기 구성 요소를 걸러내어 소방관의 SCBA 공기가 고갈된 후 탈출할 수 있는 추가 시간을 제공함.

-FIREGROUND USE OF AN EMERGENCY ESCAPE RESPIRATOR-

- 다만, 아래 문헌을 통해 대상 시험체의 연소로부터 발생하는 미지가스를 실험용 쥐에 노출시키는 KS F 2271 기준에 의한 가스 유해성 시험을 실시하여 쥐의 행동정지시간으로 피난 시간을 예측한다는 것을 알 수 있다(조남욱, 2011).

“화재로 인한 연기독성의 피해는 화염에 의한 직접적인 피해보다 광범위하고 치명적이다. 그동안 국내에서 마감재료에 대한 연소독성평가는 설치류(마우스)를 이용한 가스유해성시험 (KS F2271)으로 실험용 쥐의 평균행동 정지시간으로 평가되어 왔다. 가스유해성시험은 대상 시험체의 연소로부터 발생하는 미지가스를 실험용 쥐에 노출시켜 마우스의 행동시간으로 피난시간을 예측하는 방법이다.”

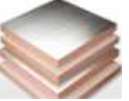
-A Comparative Study on Toxic Gas Index and Stop Time of Mouse Activity-

- ‘건축물 내부 마감재료의 난연성능 및 화재 확산 방지 구조 기준’에 따르면 불연 재료, 준불연 재료, 난연재료 모두 KS F 2271 기준에 의한 가스 유해성 시험 결과, 실험용 쥐의 평균 행동 정지 시간이 9분 이상이어야 한다(국토교통부, 2020).

건축물 마감재료의 난연성능 및 화재 확산 방지구조 기준	
[시행 2021. 3. 29.] [국토교통부고시 제2020-1053호, 2020. 12. 28. 일부개정]	
국토교통부(건축안전과), 044-201-4992	
제2조(불연재료) 불연재료는 다음 각호에 적합하여야 한다.	
2. 한국산업규격 KS F 2271(건축물의 내장 재료 및 구조의 난연성 시험방법) 중 가스유해성 시험 결과, 제5조제3항제2호에 따른 모든 시험에 있어 실험용 쥐의 평균행동정지 시간이 9분 이상이어야 한다.	
제3조(준불연재료) 준불연재료는 다음 각호에 적합하여야 한다.	
2. 한국산업규격 KS F 2271 중 가스유해성 시험 결과, 제5조제3항제2호에 따른 모든 시험에 있어 실험용 쥐의 평균행동정지 시간이 9분 이상이어야 한다.	
제4조(난연재료) 난연재료는 다음 각호에 적합하여야 한다. 다만 「건축물의 피난 방화구조 등의 기준에 관한 규칙」 제24조의2의 규정에 의한 복합자재로서 건축물의 실내에 접하는 부분에 12.5mm이상의 방화석고보드로 마감하거나, 한국산업규격 KS F 2257-1(건축 부재의 내화 시험 방법)에 따라 내화성능 시험한 결과 15분의 차열성능 및 이면온도가 120K 이상 상승하지 않는 재료로 마감하는 경우 그러하지 아니하다.	
2. 한국산업규격 KS F 2271 중 가스유해성 시험 결과, 제5조제3항제2호에 따른 모든 시험에 있어 실험용 쥐의 평균행동정지 시간이 9분 이상이어야 한다.	

[그림 II-10] 건축물 내부마감재료의 난연성능기준

- 하지만, 일부 물질은 쥐의 평균 행동 정지 시간이 9분 미만이다. 즉, 물질마다, 상황에 따라 평균 행동 정지 시간이 변동될 수 있기 때문에 Golden Time을 일괄적으로 정하는 것은 위험할 수 있다(여인규, 2021).

		EPS	XPS	PF	PIR	PIR+PUR
제품사진						
쥐의 행동정지 시간	1차 실험	14분 39초	14분 20초	13분 30초	5분 35초	8분 6초
	2차 실험	13분 25초	14분 50초	14분 31초	6분 13초	6분 47초

[그림 II-11] 내부 단열재 가스 유해성 시험결과

구분 화학종	고무판 바닥재			
	측정농도(ppm)			
	1차	2차	3차	평균
CO ₂	14,384	13,992	15,240	14,539
CO	420	450	619	497
HF	N.D	N.D	N.D	-
HCl	N.D	N.D	N.D	-
HBr	N.D	N.D	N.D	-
HCN	N.D	N.D	N.D	-
NO ₂	N.D	N.D	N.D	-
SO ₂	N.D	N.D	N.D	-
두께(mm)	5.0	5.1	5.0	5.0
밀도(kg/m ³)	1.62			
"R" value (독성지수)	0.38			
가스유해성시험 (평균행동정지시간)	8분 22초		7분 24초	

N.D.: No Detection

구분 화학종	우레탄			
	측정농도(ppm)			
	1차	2차	3차	평균
CO ₂	6,559	7,578	7,399	7,179
CO	157	171	164	164
HF	N.D	N.D	N.D	-
HCl	N.D	N.D	N.D	-
HBr	N.D	N.D	N.D	-
HCN	34	53	40	42
NO ₂	N.D	N.D	N.D	-
SO ₂	N.D	N.D	N.D	-
두께(mm)	25.3	25.3	25.3	25.3
밀도(kg/m ³)	0.037			
"R" value (독성지수)	0.56			
가스유해성시험 (평균행동정지시간)	3분 52초		3분 48초	

N.D.: No Detection

N.D.: No Detection

N.D.: No Detection

[그림 II-12] 우레탄과 고무바닥재를 대상으로 한 연소가스 정량분석
결과와 독성지수산출 및 가스유해성 시험결과(American National
Standards Institute, 2014)

- 따라서, 초기 대피시간(Golden Time)에 따른 방연마스크의 사용 효과 대신 위급상황 시 얼마나 빨리 방연마스크를 착용할 수 있는지에 대한 연구를 수행하여 방연마스크의 사용 효과를 이야기하고자 한다.

다) 위급상황 시 방연마스크 착용편리성 및 활동성 검토

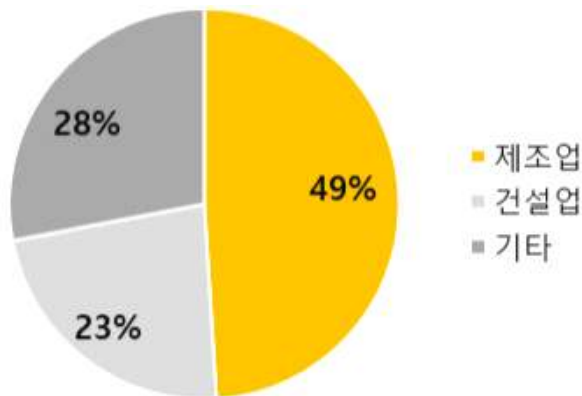
- 위급상황 시 다양한 환경과 조건에서 방연마스크를 얼마나 신속하고, 올바르게 착용할 수 있는지 검토하기 위해 착용편리성 시험을 실시하였으며, 방연마스크를 착용하고 활동하였을 때 어떠한 시각적, 물리적, 신체적 불편감을 얼마나 느끼는지 검토하기 위해 활동성 시험을 실시하였다.
- 시험에는 실제 시장에 유통되고 있는 정화식 방연마스크 두 종류(안면부 보호형, 후드형), 자급식 방연마스크(화학반응형, 압력용기형) 두 종류를 사용하였으며, 방연마스크 및 유사 장비에 대한 교육과 사용 경험이 없고, 정신적, 신체적 결함이 없는 18세 이상의 20~30대 성인 16명을 대상으로 시험을 실시하였다.
- 다양한 환경, 조건에서의 착용편리성을 검토하기 위해 성별, 안경 착용

여부, 교육 여부, 시야 제한 정도를 고려하여 시험을 실시하였으며, 다양한 조건에서의 활동성을 검토하기 위해 성별, 안경 착용 여부를 고려하여 시험을 실시하였다.

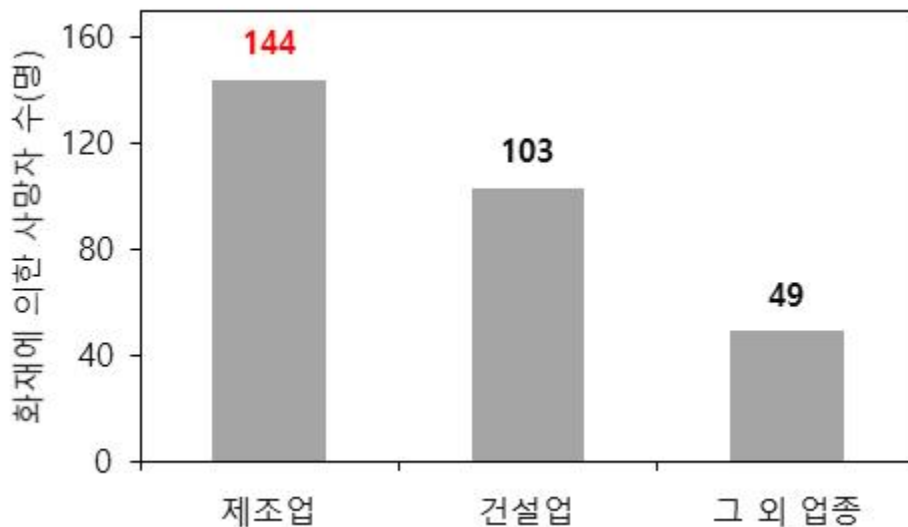
3) 산업현장 방연마스크 지급 대상자 범위 검토

가) 화재통계 분석을 이용한 화재 사고 원인 분석

- 산업 화재에 대비한 방연마스크의 효과가 아무리 뛰어나더라도, 모든 근로자를 대상으로 방연마스크의 의무 지급을 급하게 강제하는 것은 경제적, 기술적으로 어렵기 때문에 합리적인 접근이 필요하다.
- 이러한 접근법의 일환으로, 화재 위험이 높은 업종과 근로자를 분석하여 우선 지급 대상자를 구체화함으로써 방연마스크의 지급 범위가 단계적으로 확장될 수 있는 방안을 모색할 수 있다.
- 이를 위해서 본 연구팀은 2010 ~ 2020년 주요 업종별 산업 화재 비중을 사전에 간략하게 분석하였다. 이러한 예비 분석 결과를 살펴보면, 2010 ~ 2020년 전체 산업 화재의 약 49%가 제조업에서 발생한 것으로 나타났다. 또한 같은 기간 제조업과 건설업의 화재 사망자 수(144명, 103명)가 전 업종의 약 80%를 차지하는 것으로 조사되었다(고용노동부, 2019).



[그림 II-13] 2010 ~ 2020년 주요 업종별 산업화재 비중



[그림 II-14] 주요 업종별 전체 화재 사망자 수 (2010 ~ 2019년)

- 본 연구가 시작되면 통계 자료에 대한 더욱 구체적이고 상세한 분석을 진행할 계획이다. 아울러 다양한 업종의 근로자와 안전 전문가를 대상으로 한 설문조사를 병행하여, 방연마스크의 근로자 지급 범위와 방법을 체계적으로 검토할 계획이다.

나) Text-mining을 이용한 화재 사고 원인 분석

- 방연마스크를 모든 산업, 모든 근로자에게 지급하도록 할 경우, 기업의 경제적 부담이 따르기 때문에 화재 위험이 높은 산업과 작업에 종사하는 근로자에게 지급하는 것이 합리적이다.
- 화재 위험이 높은 작업을 알아내고자 Text-mining을 이용하여 2010.1.1. ~ 2020.08.30.에 발생한 3,048건의 화재 사고 개요에서 사고 발생 장소, 기인물, 점화원 등 사고 원인 추측이 가능한 단어를 추출하여 각 화재 사고별 실시하던 작업을 분류하였다.
- 구체적으로 화기 작업, 전기 작업, 기타 작업으로 작업을 분류하고 작업 유형별 화재사고 발생 비율을 계산함으로써 화재 위험이 높은 작업을 분

석하였으며, 인명피해가 큰 건설업과 제조업의 화재 사고에서 작업을 분류하고 작업 유형별 화재사고 발생 비율을 계산함으로써 화재 위험이 높은 산업을 구분하였다.

4) 근로자 방연마스크 지급 확대에 대한 편익-비용분석

가) 정부정책에 관한 편익-비용분석의 의의

- 공공사업이나 정부 정책에 대한 평가를 위해 사용되는 편익-비용 분석(Benefit-Cost Analysis)은 일반적으로 정부기관이 해당 정책의 시행에 따라 예상되는 모든 발생 편익과 비용을 화폐적 가치로 변환하여 비교함으로써 해당 정책의 타당성을 평가한다(한국개발연구원, 2021).
- 통상적으로 자본 투입 프로젝트에서 주로 활용되나, 각종 법안 평가나 규제 정책 등의 타당성 분석에도 편익-비용 분석이 일부 사용된다.
- 본 과제에서도 일반 근로자를 대상으로 방연마스크를 확대 지급하는 정책을 시행할 때, 예상되는 직·간접 편익과 각종 비용을 화폐적 가치로 비교함으로써 정책의 타당성을 평가할 수 있다.

나) 정책평가 편익-비용 분석의 수행 절차

- ① 공공사업이나 지원정책의 세부사항을 명확하게 정의
 - 편익-비용 분석 주체의 결정
 - 방연마스크의 지급 대상이 되는 근로자의 범위를 결정하는 것이 필요하다.
 - 평가대상 정책의 목표에 대한 명확하고 세부적인 규정 확인
 - 정책 실행에 투입되는 배정예산 및 인력, 정책 실행의 혜택, 대상 범위와 시간, 기타 관련 정책들 간의 관련성을 확인해야 한다.
- ② 정책을 수행하는 데 투입되는 요소와 결과물의 계량화 작업
 - 정책목표 달성을 위해 해당 사업 수행에 투입되는 계량 가능한 모든 비용요인과 이에 따른 계량 가능한 정책 결과물을 규명한다.

- 비용 및 정책 결과물의 대리 평가지표(계량화 도구)를 결정한다.
- ③ 투입요소와 결과물의 비용과 편익을 환산·추정
 - 투입요소와 결과물을 화폐단위(또는 정량기준)로 환산하여 추정한다.
- ④ 추정된 비용과 편익의 비교

다) 핵심평가사항

- ① 직접 편익과 간접편익의 설정
 - 방연마스크 지급 확대 정책의 주요 목표와 직접 연관(직접적)되는 비용과 편익을 산출할 것인지 아니면, 정책실행의 부차적인 산물(간접적)인 비용과 편익까지 산출할 것인지 검토한다.
- ② 편익과 비용의 성격 검토
 - 방연마스크 지급 확대로 산출되는 편익과 비용이 유형적(시장에서 측정 가능)인 성격의 것인지 아니면 무형적(시장에서 측정 불가능)인 성격의 것인지 검토한다.
- ③ 편익과 비용의 전달체계 검토
 - 방연마스크 지급 확대 정책으로 발생하는 편익과 비용이 다른 정책의 투입요소로 전환되어 수혜자에게 혜택(중간적)이 돌아가는 성격의 것인지, 아니면 최종 수혜자에게 직접 혜택(최종적)이 돌아가는 성격의 것인지 검토한다.
- ④ 편익과 비용 추정 방법
 - 금전적 가치를 추정하는 접근 방법에는 크게 시장적 추정 방법과 비시장적 추정 방법으로 구분할 수 있다.

라) 추정 방법

- 기본적으로 사업의 전 기간 라이프 사이클에 걸쳐 순현재가치(Net Present Value: NPV)를 계산한다.
- 순현재가치는 정책의 미래소득을 현재가치화하는 것이다. 이때 사용되는

할인율은 사업에 동원되는 자본비용으로 적절히 조정해 주는 것이 일반적이다.

- 매 기간 걸쳐 발생하는 편익에서 비용을 제한 것을 순편익으로 정의할 때, 순현재가치(NPV)에 의한 정책의 가치 평가는 아래와 같이 계산한다.

$$NPV = \sum_{t=1}^T \frac{E(NB_t)}{(1+n)^t} - I_0$$

- NB_t : 기간의 순편익의 흐름 (순편익 = 비용 - 편익)
- E : 기대연산자 (미래 순편익이 불확실할 경우 사용)
- n : 할인율 • T : 정책의 기대수명 • I_0 : 초기투자비용

- NPV를 계산하기 위해서는 여러 요소에 대해 적절한 평가가 이루어져야 한다. 우선 미래에 발생하는 비용과 편익의 흐름에 대한 정보가 필요하다.
- 매 기간 당 사업소득과 비용에 대한 전반적인 추정치가 현금흐름의 대리 변수로 사용된다. 이때 사업이 지속되는 전 기간에 걸쳐 발생하는 현금흐름은 미래에 획득하는 것이므로 이를 현재가치로 적절히 환산해 주기 위하여 할인율을 적용한다.
- 고려하는 사업대상이 하나일 경우에는 NPV가 0보다 큰 경우에 사업의 경제적 타당성이 확보되어 사업을 시행할 수 있는 것으로 해석하며, 사업대상이 다수일 경우에는 0 이상의 NPV가 되는 사업 중 가장 큰 NPV 사업을 채택한다.
- 이와 같은 NPV 방식과 같은 현금흐름 할인모형(Discounted Cash Flow model: DCF model)은 사업의 경제성을 평가하는 방법론 중에서 가장 오랫동안 광범위하게 적용되어 온 방법이다.
- 미래수익과 비용의 추정에 근거를 두는 방법으로써 시행 예정인 사업의 전략적 분석에 유용하며, 아울러 기업의 재무지표와 연결해서 경제성을

평가할 수 있어 구체적이고 현실적인 방향설정을 가능하게 해 준다는 장점도 있다.

- 순현재가치법은 발생하는 현금흐름에 입각하여 평가하므로, 회계처리방식에 따라 결과가 임의적으로 달라질 수 있는 오류를 최소화할 수 있다.
- 하지만 적절한 할인율의 선정, 목표 자본구조의 설정에 따른 할인율의 변화, 비용 및 편익의 확률적 요소의 처리, 사업의 시행여부에 대한 의사결정자의 신중한 경영재량권의 가치 등의 측면에서 한계가 있기 때문에, 순현재가치법의 결과는 제한된 범위 내에서 해석하는 것이 바람직하다.
- 편익비용 비율법(B/C ratio method)은 미래 편익흐름의 현재가치의 합계가 미래 비용 흐름의 현재가치의 합계보다 크거나 같은 사업을 선정한다.
- 아래 식에서 보는 바와 같이, 편익과 비용의 비율로 나타내는데, 이 비율이 1보다 크면 편익이 비용을 상쇄하므로 사업의 경제성은 확보된다. 편익비용 비율이 크면 클수록 사업의 비용 한 단위 당 편익의 발생이 크므로 경제적 효과가 큰 사업이라고 볼 수 있다.

$$BC \text{ 비율} = \sum_{t=0}^T \frac{B_t}{(1+n)^t} / \sum_{t=0}^T \frac{C}{(1+n)^t}$$

- 편익비용 비율은 사업의 순편익 규모를 제시하지 않는 대신 비용 대비 편익의 비율만 보고하기 때문에 수익성이 가장 높은 사업이 채택되는 것을 권고하는 방식이다.
- 순편익의 절대규모가 상대적으로 크지만 B/C 비율은 낮은 사업과 순편익은 낮지만 편익비용비율이 큰 사업 중에 편익비용비율이 큰 사업이 선정될 가능성도 있다. 따라서 투자 규모가 다른 사업의 경제성을 평가할 경우 순현재가치법과는 다른 결과가 나올 수 있다는 점에 유의해야 한다.

- 만일 공공사업의 관심이 비용 대비 편익의 극대화보다는 순편익의 절대적 크기가 더 큰 곳에 있다면 편익비용비율보다는 순현재가치를 사용하는 것이 합리적이며, 이때 B/C 비율은 참조적 정보로 활용될 수 있을 것이다.

5) 방연마스크 지급 확대에 관한 개정안 마련

- 방연마스크의 지급 범위를 일반 근로자에게 확대하는 것이 필요하다는 결론이 도출될 경우, 산업안전보건법 및 하위 법령의 체계와 조문을 분석하여, 방연마스크의 의무 지급 확대에 관한 규정이 신설될 법령과 조문 위치를 결정하고, 개정안의 구체적인 내용을 마련하다. 이때, 방연마스크의 정의, 선정, 성능 및 안전성 등에 관한 전문적인 기술 지침을 함께 마련하여 사업장의 안전보건 수준 향상을 지원한다.

나. 방연마스크 안전성 및 성능 확보를 위한 기준 및 규격 설정 방향 도출

1) “방연마스크”의 개념 정의 및 제품 인증의 필요성 검토

- 현재 국내에는 매우 다양한 형태의 화재대피용 호흡보호구가 유통되고 있다. 이들 제품은 형상이나 착용자 보호 방식 등이 상이하기 때문에, 제품마다 일관된 성능을 보장하기 어렵고, 통일된 인증기준을 마련하는 것이 쉽지 않다.
- 2008년 ‘다중이용업소의 안전관리에 관한 특별법 시행규칙’ 개정안을 마련하는 과정에서도 K-type 화재대피용 자급식호흡보호기구와 화재용 긴급대피 마스크 중 어느 것을 방연마스크로 인정할 것인가를 둘러싸고 많은 논쟁이 발생했었다.
- 따라서 다양한 방연마스크의 성능과 국제적 규격 등을 면밀하게 분석하여, 산업현장에 필요한 방연마스크의 종류를 구체화하고, 개념을 명확하

게 정의하는 것이 필요하다.

- 한편, 성능이 부족하거나 안전성이 확보되지 않은 방연마스크가 사용된다면 오히려 화재 대피를 어렵게 하고, 방연마스크에 대한 불신을 초래할 수 있기 때문에 방연마스크의 성능 및 안전성을 확보할 수 있는 인증 기준을 마련하는 것도 중요하다(모철민, 2012).



[그림 II-15] 국내에 유통되고 있는 화재대피용 호흡보호구 (a) 자급식호흡보호기구 (K type) (b) 자급식호흡보호기구 (P Type), (c) 구조 손수건 , (d) 화재대피후드 (e) 접착식 흡식 마스크 (f) 미니 방독면

- 인증의 필요성을 보여주는 대표적인 사례로, 서울 지하철에 설치된 방연마스크의 부실한 성능과 관련한 뉴스 보도를 들 수 있다. 2004년 서울 지하철 3, 4호선에 설치된 방연마스크는 두건의 이음새가 쉽게 뜯어지고, 방열 및 연기 차단 성능이 매우 미흡한 것으로 밝혀져, 뒤늦게 수거에 들어간 일이 발생한 것이다(임상범, 2004).



[그림 II-16] 지하철 방연마스크의 부실한 성능의 문제점을 지적한 TV 뉴스 내용 (SBS 뉴스: 지하철 '방연 마스크', 오히려 안전 위협)

- 한편, 2012년 수행된 ‘화재용 긴급 대피마스크의 문제점 분석과 성능에 대한 실험적 연구’는 시중에서 판매 중인 5개 제품을 대상으로 KS M 6766의 일부 시험기준에 따른 성능을 평가하였다. 5개 제품의 샘플 중 1개의 샘플만 평가 기준을 충족하여, 시중에 유통되는 제품의 성능이 부실하게 관리된다는 것을 알 수 있다.

〈표 II-6〉 화재용 긴급대피 마스크 5종 샘플의 기본 정보

구분		제품				
		A	B	C	D	E
형태		두건형 및 전면형				
정화 통	수량	2개	2개	1개	1개	1개
	용도	화재/화생 방용	화재/화생 방용	화재용	화재/화생 방용	화재용
	방식	나사식	나사식	직결 고정식	나사식	직결 고정식
두건재질		우레탄	부틸고무 도포직물	Aluminize d 내열원단	우레탄	난연성 투명 비닐
두건렌즈		폴리 카보네이트	폴리 카보네이트	폴리 카보네이트	폴리 카보네이트	투명 비닐
조절끈		면	합성섬유 소폭직물	난연성 면	합성섬유	합성섬유

〈표 II-7〉 제품별 주요 성능기준(KS M 6766)의 적합여부

○ : 적합, × : 부적합

시험 종류	제품				
	A	B	C	D	E
가스 성능 (CO)	×	×	○	×	×
난연성	○	○	○	×	○
가연성	×	×	○	×	×
입자 필터 침투 (NaCl)	×	×	○	○	×

2) 방연마스크 안전성 확보를 위한 필요 기준 제시

- 본 연구팀은 국내에서 유통 중인 방연마스크 및 유사 제품의 안전기준과 인증 현황을 파악하기 위해 예비 조사를 실시하고, 그 결과를 다음 표에 나타냈다. 조사 대상 9개의 제품마다 인증기준이 제각각이며, 사단법인 한국비시피협회(Korea Business Continuity Planning Association, KBCP)를 통해 재난안전제품 인증을 획득한 제품이 가장 많은 것으로 조사되었다.
- 이와 같이 시장에서 유통되는 방연마스크의 인증기준이 통일되지 않고, 제품마다 사용시간, 유통기한 및 사용 형태가 상이하기 때문에, 방연마스크 제품들의 균일한 성능을 담보하기 어려우며, 방연마스크의 안전성에도 장애가 될 수 있다.

〈표 II-8〉 국내 시장에 유통되는 방연마스크 제품의 인증현황, 사용시간, 유통기한 및 사용형태에 대한 예비 조사 결과

제품	인증	사용시간	유통기한	사용 형태
A	KBCP	-	-	후드(두건)
B	ANSI 110	5 분	5 년	후드(두건)
C	KBCP, KFI	10 분	-	마스크
D	KBCP	15 분	4 년	손수건
E	CE	40-60 분	3 년	후드(두건)
F	KS	15 분	5 년	후드(두건)
G	-	10분	-	후드(두건)
H	KSM 6766	-	-	후드(두건)
I	KBCP	5 분	3 년	마스크

- 이러한 문제를 해결하기 위해서, 본 연구팀은 방연마스크와 관련된 국내와 국외의 기술기준을 상세히 조사하고 각 기준들의 차이를 분석함으로써, 방연마스크의 안전성 확보를 위해 필요한 통합적이고 구체적인 기준을 제시할 계획이다.
- 아울러 방연마스크의 착용 신속성 및 편의성과 같이, 실제 사용 환경에서 매우 중요한 요소이지만, 기존의 기술기준에서 다소 미흡하거나 불충분하게 다루어졌던 기술 항목을 보충할 수 있도록, 관련 연구와 보고서 등의 문헌을 세심하게 조사하여 정리할 계획이다.
- 이러한 연구 계획을 효과적으로 달성하기 위해서 대표적인 기준들을 먼저 정리하였고, 본 연구가 시작되면 이를 보다 구체적이고 체계적으로 보완하여 자료의 완성도를 높일 예정이다.
- KFI의 자급식 호흡보호구와 KS의 화재용 긴급대피마스크에 대한 성능평가 기준을 간단히 비교하면, 다음 표와 같다. KFI는 두건 내부로 공기를 공급하는 방식의 자급식 호흡 기구에 적용되며, KS M 6766은 유독가스의 차단 및 정화 목적의 화재용 긴급대피마스크에 적용된다(산업안전보건인증원, 2021, 한국표준협회, 2015).
- KS 인증의 화재용 긴급대피마스크는 자체적으로 산소나 공기를 공급하지 못하기 때문에, 주변 산소 농도가 17vol% 이하인 경우 사용이 금지된다.
- 하지만, 화재 초기에 산소 농도가 17vol% 아래로 내려가는 경우가 많지 않다는 의견이 있고, 방연마스크의 본래 목적이 화재 초기에 신속하고 안전한 대피를 돕는 것이란 점을 고려할 때, 본 연구에서는 산소결핍 가능성이 낮은 상황에서 방연마스크의 기술기준을 검토할 예정이다.
- 한편 KS M 6766은 유럽의 EN 403과 ANSI/ISEA 110(American National Standards Institute, 2014)을 주로 참고하였고, KFI는 EN 13794를 참고하여 만들어졌기 때문에, EN 403, ANSI/ISEA 110 및 KS M 6766을 상세하게 비교할 계획이다. 아울러 일본과 ASTM 등의

규정도 상세히 비교하여, 통합적이고 체계적인 기준을 제안할 수 있도록 노력할 것이다(Japanese Standards Association, 1996).

〈표 II-9〉 KFI 및 KS의 방연마스크 성능평가 기준 비교

구분	방연마스크 성능평가 기준		
	KFIS 024		KS M 6766
명칭	화재대피용 자급식호흡기구		화재용 긴급 대피 마스크
주변 산소농도에 따른 사용 제한	N/A		산소가 17 vol% 이하인 밀폐공간의 환경
구조	P Type	두건(안면창 포함), 압력용기, 자동장치, 공급관 등	여과재, 안면 렌즈, 두건 등
	K Type	두건(안면창 포함), 반응카트리지, 호흡주머니 등	
사용시간	공기식 호흡기구	이산화탄소의 농도가 3%를 초과하는 시점을 측정한 시간이 설계값 이상일 것 (최소 10분 이상)	시험 가스로 파과 농도까지 시험을 하였을 때, 모든 작용제의 파과 시간이 15분 이상일 것
	산소식 호흡기구	이산화탄소 농도가 3%를 초과하거나 산소농도가 21% 이하로 떨어지는 시간의 측정값 중 가장 짧은 시간이 설계값 이상일 것 (최소 10분 이상)	
차단용 시험 가스	N/A (두건의 누설유무를 판단하기 위한 가스만 사용)		프로페널, 염산, 사이안화 수소, 사이클로헥세인, 이산화황, 일산화탄소
시험 입자	N/A		염화나트륨 에어로졸

〈표 II-10〉 국내외 대피용 호흡기구의 성능기준

	유럽	미국	일본	한국
정 화 식 호 흡 기 구	EN 403:2004 Respiratory protective devices for self-rescue. Filtering devices with hood for escape from fire. Requirements, testing, marking	ANSI/ISEA 110-2003 American National Standard for Air-Purifying Respiratory Protective Smoke Escape Devices	日本消防設備 安全センター: 火災避難用保護 具 - 簡易防煙マスク	KS M 6766 Mask for Emergency Escape (form Fire)
자 급 식 호 흡 기 구	BS EN 13794:2002 Respiratory protective devices- Self-contained closed-circuit breathing apparatus for escape - Requirements, testing, marking	42 CFR 84.70~84.104 Self-contained breathing apparatus US DHHS: Federal Register, Approval Tests and Standards for Closed Circuit Escape Respirators; Notice of Proposed Rule marking(광산 화재나 폭발로부터 탈출용 포함)	日本消防設備 安全センター: 火災避難用保護 具 - 自給式保護具 JIS M 7651 閉鎖循環式酸素 自己救命器	KFIS 024 화재대피용 자급식 호흡기구의 KFI인정기준

- 방연마스크의 올바른 사용방법, 화재 시 방연마스크의 비치 또는 배포 방법, 보관 및 유효기간에 대한 사항도 꼼꼼히 검토하여, 방연마스크의 안전성과 성능뿐 아니라 사용 환경에 대한 기준을 제시할 예정이다.
- 특히, 방연마스크의 성능과 구조가 아무리 우수하다고 해도 화재의 비상 상황에서 사용자가 방연마스크를 빠르고 올바르게 착용하지 못한다면

사용효과를 기대하기 어렵다. 따라서 방연마스크의 사용 설명서만 참고하여, 일반 사용자 및 근로자가 빠르고 올바르게 방연마스크를 착용할 수 있는지의 여부를 평가할 수 있는 방안과 관련 연구 결과를 조사할 예정이다.

〈표 II-11〉 ASTM 및 JIS의 방연마스크 성능평가 기준

구분	방연마스크 성능평가 기준			
	ASTM E 2952		JIS M 7651	
명칭	Air-Purifying Respiratory Protective Smoke Escape Devices (공기정화식 호흡기 보호용 연기 탈출 장치)		閉鎖循環式酸素自己救命器 (폐쇄순환식 산소자기구명기)	
종류	-		C형	화학약품의 반응에 의해서 산소를 연속적으로 발생시키는 방식
			K형	날숨 중의 수분과 이산화탄소에 의해 화학약품의 반응을 통해 산소를 발생시키는 방식
			P형	압축 산소를 감압해서 보급하는 방식
호흡 저항	최대 흡기 저항	주변 압력 - 81.5 mmH ₂ O	호기 및 흡기 저항 피크값	76.5 mmH ₂ O 이하
	최대 호기 저항	주변 압력 + 30.6 mmH ₂ O		
사용 시간	15 분 이상		제품별 공칭 사용시간 이상	
파괴 시험 가스	사이클로헥세인, 아크롤레인, 염화수소, 이산화황, 시안화수소, 일산화탄소		일산화탄소, 염소	
이산화탄소 흡입 농도	2.5% 이하		3% 이하	
흡기 온도	90℃ 건조 전구 또는 50℃ 습식 전구 이하		C형 P형	호기온도 + 13℃ 이하
			K형	호기온도 + 28℃ 이하

3) 방연마스크 안전성 및 성능 유지를 위한 인증제도 도입 방안 검토

- 방연마스크의 안정성과 성능을 유지하고 관리하기 위해서는 공식적인 절차를 통해 방연마스크 제품의 성능과 안전성을 평가하고, 기준에 부합하지 못 한 제품이 시장에 공급되는 것을 방지할 수 있도록 하는 체계적인 인증제도가 필요하다. 방연마스크와 관련된 대표적인 인증제도에는 KFI 인증과 KS 인증이 있다(고용노동부, 2019).
- KFI 인증은 화재 예방, 구조 및 구급 등에 사용되는 제품 중 소방법령에서 정한 소방용품 이외의 제품의 성능을 인정하는 제도이며, 한국소방산업기술원이 KFI 인증을 시행하고 있다.
- KS 인증은 한국산업표준 수준 이상의 제품을 안정적, 지속적으로 생산할 수 있는 기업에 대해 국가가 품질을 보증하는 제도이며, 한국표준협회에서 KS 인증 업무를 담당하고 있다.
- 앞서 설명한 것처럼, KFI 인정과 KS 인증은 각각 자급식 호흡호흡기구와 화재용 긴급대피마스크의 기술기준을 토대로 이루어졌지만, 사용시간에 대한 문제, 연기 차단과 산소 공급의 중요성에 대한 논쟁이 지속되고 있다.
- 본 연구는 이러한 논쟁에서 벗어나 산업현장에서 방연마스크의 안전성과 성능을 확보할 수 있는 새롭고 통합적인 인증 제도의 도입 방안을 검토할 계획이다. 예를 들어, 산업현장의 재해 예방을 위해 시행되고 있는 산업안전인증(KCs) 제도를 활용하는 방안을 고려할 수 있다.

〈표 II-12〉 안전인증(KCs)의 종류

의무안전인증 (산업안전보건법 제 84조)	의무안전인증 대상 방호장치·보호구를 제조(외국에서 제조하여 대한민국으로 수출하는 경우 등을 포함)하는 자는 고용노동부장관이 실시하는 안전인증을 받아야 한다.
자율안전확인신고 산업안전보건법 제 89조)	자율안전확인 대상 방호장치·보호구를 제조 또는 수입하는 자는 고용노동부장관이 정하여 고시하는 안전기준에 맞는 것임을 확인하여 고용노동부장관에게 신고해야 한다.

- 산업안전인증은 안전인증대상 기계·기구 등의 안전성과 제조자의 기술능력 및 생산체계가 안전인증기준에 맞는지에 대하여 고용노동부 장관이 종합적으로 심사하는 제도이다. 인증심사를 거쳐 안전성과 신뢰성이 확보된 제품에 KCs마크를 부착하여 제조, 유통 및 사용되도록 하고 있다.
- KCs는 의무안전인증을 받는 품목과 제조자 스스로 안전인증기준에 의거한 안전성을 확인하고 공단에 자율 신고하는 2가지 종류로 구분되며, 주요 인증 대상품은 다음 표와 같다.

〈표 II-13〉 안전인증(KCs)의 대상품목

안전인증	자율안전확인신고
· 추락 및 감전 위험방지용 안전모 · 안전화 · 안전장갑 · 방진마스크 · 방독마스크 · 송기마스크 · 전동식 호흡보호구 · 보호복 · 안전대 · 차광 및 비산물 위험방지용 보안경 · 용접용 보안면 · 방음용 귀마개 또는 귀덮개	· 안전모(제74조제1항제3호가목의 안전모는 제외) · 보안경(제74조제1항제3호차목의 보안경은 제외) · 보안면(제74조제1항제3호카목의 보안면은 제외) · 잠수기(잠수헬멧 및 잠수마스크를 포함)

- 방연마스크는 종류에 따라 방독마스크 또는 송기마스크와 유사한 형태 및 기능을 갖는다. 하지만 방연마스크는 화재라는 매우 특수하고 드문 상황에서만 사용하기 때문에 방독마스크나 송기마스크와 동일한 형태로 취급하는 것이 무리가 될 수 있다. 따라서 본 연구팀은 체계적인 설문조사와 다양한 전문가의 의견을 청취하여 방독마스크에 적합한 인증 체계와 관련 제도를 구성할 계획이다.

2. 연구방법

가. 설문 조사

- 본 연구팀은 방연마스크 지급의무화 및 인증기준에 관하여 다양한 계층의 의견을 확인하기 위해 설문을 진행하였다. 구체적으로, 방연마스크 의무지급대상 확대의 필요성, 방연마스크를 선택 기준, 방연마스크 성능 인증제도의 필요성, 방연마스크 유지보수 및 교육의 필요성에 대한 문항을 구성하여 설문 대상자의 의견을 분석하였다.

- 설문은 온라인 설문지 배포를 주로 하여 설문 응답자가 동종업계 종사자의 참여를 유도하여 설문 응답 대상을 확대하도록 하였다. 아울러 설문 대상자는 학계, 산업계, 정부, 공공기관이 고르게 분포되도록 모집하여 설문을 진행하였다.
- 설문은 다음 표와 같이 29개의 문항으로 구성하였다.

〈표 II-14〉 본 연구에서 진행한 설문 문항

설문 분류	문항
방연마스크에 대한 인식	1. 방연마스크가 무엇인지 알고 계십니까?
	2. 방연마스크를 사용해보신 적이 있습니까?
	3. 귀하의 사업장에 방연마스크가 비치되어 있습니까?
방연마스크 의무지급대상 확대 필요성	4. 산업안전보건기준에 관한 규칙에 따르면 화재감시자에게 방연마스크를 지급하도록 규정되어 있습니다. 방연마스크의 지급 대상을 근로자로 확대하는 것이 필요하다고 생각하십니까?
	5. 방연마스크의 확대 지급이 필요한 근로자의 범위는 무엇이라고 생각하십니까?
	6. 근로자에게 방연마스크를 지급한다면, 어떤 지급 방법이 가장 적절하다고 생각하십니까?
	7. 방연마스크의 지급 대상을 확대한다면, 화재 시 근로자의 피해를 줄이는데 도움이 된다고 생각하십니까?
	8. 방연마스크의 지급 대상을 확대하는 방법으로 무엇이 적절하다고 생각하십니까?
	9. 방연마스크의 지급 대상을 확대하는 규정을 도입한다면, 적용 대상은 어디가 적절하다고 생각하십니까?
	10. 방연마스크의 지급 대상을 확대하는 규정을 도입한다면, 예상되는 가장 큰 어려움은 무엇입니까?
	11. 방연마스크를 사용할 때 중요하게 고려해야 할 요소는 무엇이라고 생각하십니까? (복수선택 가능)
방연마스크의 선택기준	12. 다음 '정화식 방연마스크'의 형태 중 화재 시 근로자

	보호에 적합한 형태는 무엇이라고 생각하십니까?
	13. 12번에서 선택한 '정화식 방연마스크'를 착용하는데 얼마나 걸릴 것으로 예상하십니까?
	14. 다음 '자급식방연마스크'의 형태 중 화재 시 근로자 보호에 적합한 형태는 무엇이라고 생각하십니까?
	15. 14번에서 선택한 '정화식 방연마스크'를 착용하는데 얼마나 걸릴 것으로 예상하십니까?
방연마스크 성능 인증제도의 필요성	16. 근로자가 사용할 방연마스크의 성능, 품질 및 안전성에 관한 인증제도가 필요하다고 생각하십니까?
	17. 근로자가 사용할 방연마스크에 대한 인증제도를 도입한다면, 인증업무의 수행기관으로 적합한 곳은 어디라고 생각하십니까?
	18. 근로자가 사용할 방연마스크에 대한 인증제도를 도입한다면, 인증기관에서 중요하게 평가해야 할 요소는 무엇이라고 생각하십니까? (복수선택 가능)
방연마스크 착용법 교육의 필요성	19. 근로자에게 방연마스크를 지급한다면, 사용법에 관한 교육·훈련이 필요하다고 생각하십니까?
	20. 방연마스크 사용법에 관한 교육·훈련은 얼마나 자주 실시해야 한다고 생각하십니까?
	21. 방연마스크 사용법에 관한 교육·훈련은 어떤 방식으로 이루어져야 한다고 생각하십니까?
방연마스크 유지보수의 필요성	22. 근로자에게 방연마스크를 지급한다면, 주기적인 유지관리(점검, 교체 등)가 필요하다고 생각하십니까?
	23. 방연마스크의 유지관리는 얼마나 자주해야 한다고 생각하십니까?
응답자 정보조사	1. 귀하의 성별은 어떻게 되십니까?
	2. 귀하의 연령은 어떻게 되십니까?
	3. 귀하는 안전과 관련된 업무를 하고 계십니까?
	4. 귀하의 근무 경력은 어떻게 되십니까?
	5. 귀하가 현재 하시는 일은 어떻게 되십니까?
	6. 일반기업 종사자인 경우, 귀하가 근무하는 기업의 업종은 어떻게 되십니까?

- 설문 결과는 다양한 근로자의 현재 방연마스크 인식에 대해 분석하였으며, 안전업종 종사자와 비종사자, 제조업 종사자와 건설업 종사자 등 특정집단의 인식, 선호도 등의 차이를 주로 분석하였다.

나. 화재 사고 분석

- 방연마스크 배포를 위한 산업 시설의 화재 발생 현황을 분석하기 위해 고용노동부에서 발행한 2010년 ~ 2019년의 산업재해 현황분석 자료를 바탕으로 화재 발생 사고사례를 심층 분석하였다.
- 해당 자료는 산업재해보상보험법 적용사업체에서 발생한 산업재해 중 산업재해보상보험법에 의한 업무상 사고 및 질병으로 승인을 받은 사망 또는 4일 이상의 요양을 요하는 재해(지방고용노동관서 산재미보고 적발재해 포함)를 조사대상으로 한다.

1) 산업시설 연간 화재 분석

- 2010.1.1. ~ 2020.08.30.까지 연도별로 발생한 화재를 대상으로 화재 사고를 분석하였다. 사고사례 자료를 통해 매년 화재로 인해 발생한 재해자수, 사망자수를 추출하였고, 사고발생일시, 대업종, 사고개요를 토대로 중복된 사건을 1건의 화재건수로 집계하였다.
- 또한, 2010.1.1. ~ 2020.08.30.간 발생한 모든 화재 사건을 화재가 발생한 시간에 따라 분류하여 주요 화재 발생 시간을 확인하였으며, 교대 근무로 인해 주 근로시간이 다르게 나타나는 제조업을 별도 분석하였다.

2) 업종별 화재 분석

- 제조업, 건설업, 기타의 사업, 운수·창고 통신업, 임업, 농업, 광업, 어업, 금융 및 보험업, 전기·가스·증기 및 수도사업으로 분류된 총 10개의 대업종을 기준으로 화재 발생 현황을 분석하였다.
- 우선, 각 산업에서 10년간 화재로 인해 발생한 인명피해 및 화재발생건

수를 분류하였고, 그 중 인명피해가 가장 큰 대업종의 하위 업종을 상세 분석하였다.

- 또한, 국내 근로자의 대부분을 차지하고 있는 2차 산업군인 건설업과 제조업의 10년간 화재발생건수, 화재 재해자수, 화재 사망자수를 추가로 확인하였다.

3) 화재 Risk 분석

- 방연마스크 지급 업종 선정을 위해 10개의 대업종별 화재 발생 Risk를 정량적으로 확인하기 위해 상세 분석을 진행하였다.
- 사업체수와 근로자수는 고용노동부에서 발행한 2010 ~ 2019 연도별 산업재해 현황분석 자료를 이용하였으며, 화재발생건수, 재해자수 및 사망자수는 산업안전보건연구원에서 제공한 2010 ~ 2019 화재 사고사례 자료를 이용하였다.
- 각 업종별로 화재 사고 천인율, 화재 사망 만인율, 화재 빈도를 확인하였고, 화재 사고 천인율을 화재 재해자수와 근로자수, 화재 사망 만인율은 화재 사망자수와 근로자수, 화재 발생 빈도는 사업체수와 화재발생건수로 아래 나타난 식과 같이 계산하였다.

$$\text{화재사고천인율} = \frac{\text{재해자수}}{\text{근로자수}} \times 1,000$$

$$\text{화재사망만인율} = \frac{\text{사망자수}}{\text{근로자수}} \times 10,000$$

$$\text{화재빈도} = \frac{\text{화재발생건수}}{\text{사업체수}}$$

- 10개의 대업종 중 가장 화재 위험 Risk가 높은 업종을 선별하여, 해당 업종의 화재 발생 사례를 상세 분석하였다. 각각의 사례에서 화재 발생 시, 방연마스크를 착용하였을 때 인명 피해가 줄어들 수 있는지 분석하였다.

4) 사상자별 화재 사고 분석

- 방연마스크 지급 범위에 대한 화재 시 발생한 재해자수, 사망자수에 따른 화재발생건수를 업종별로 집계하였고, 이에 따른 비율도 추가로 확인하였다.
- 또한, ‘중대재해 처벌 등에 관한 법률’에 정의되어 있는 중대재해를 기준으로 사망자가 1명 이상 발생하고, 2명 이상의 부상자가 발생한 화재를 집계하여 분석하였다.
- 재해 및 사망자들의 피해 유형(화상, 질식 등)을 각 화재 사건 별 사고 개요를 토대로 분류하였으며, 각 피해 유형별 화재발생건수 및 재해자수를 확인하여 방연마스크가 필요한 질식 상황이 전체 화재에서 필요한 비중을 알아보았다.

5) 기인물별 화재 분석

- 공정별 화재 발생에 대한 분석을 진행하기 위해 기인물별 화재 발생 현황을 분석하였다. 산업안전보건연구원에서 제공받은 화재 사례에서 기인물이 대분류, 중분류, 소분류, 세분류로 구분되었으며 이에 따른 인명피해건수와 화재발생건수를 집계하였다.
- 중분류 이하에서는 200가지 이상의 화재 발생의 원인이 되는 기인물이 나타나, 상위 10개 항목에서만 분석을 진행하였다.

6) Text-mining을 이용한 화재 사고 원인 분석

- 방연마스크 지급 대상 범위를 검토하기 위해 Text-mining을 이용하여 2010.1.1. ~ 2020.08.30.에 발생한 3,048건의 화재 사고 개요를 분석하였다.
- 3,048건 화재사고의 각 개요 내 존재하는 중복 단어를 매크로를 이용하여 제거한 후, Text-mining을 이용하여 사고 개요로부터 불용어를 제거한 단어를 추출하였다.

- 이후, 사고 발생 장소, 기인물, 점화원 등 사고 원인 추측이 가능한 단어만을 2차적으로 추출하였으며, 함수를 이용하여 각 개요에 2차로 추출한 단어가 존재하면 존재하는 단어를 자동 나열하도록 하였다.
- 마지막으로 화재 사고 시 실시하던 작업을 추측할 수 있는 단어 조합을 추출하여 각 개요별 분석된 단어에서 조합을 가지고 있는 개요를 찾아 작업(화기작업, 전기작업, 기타작업)을 분류하였다.

다. 국내외 방연마스크 기술기준 조사

1) 국내 유통중인 방연마스크의 문제점 및 인증제도의 필요성 검토

- 국내 시장에 유통 중인 방연마스크의 주요 형태와 인증여부를 조사함으로써, 화재 시 주요 사망원인인 유독가스, 열상으로부터 보호가 가능한지 검토하였다.
- 사전 시장조사 결과, 절반 이상의 방연마스크가 인증을 거치지 않거나, 유독가스 여과성능 또는 난연성과 같은 일부 항목에 대해서만 인증을 받은 것으로 나타났다.
- 특히 물에 젖은 손수건형은 일부 유독가스를 효과적으로 여과할 수 있지만 용해도가 낮은 물질에 대한 여과성능이 떨어지는 것으로 조사되었다.
- 또한 손수건형을 비롯한 안면형, 반면형, 호흡기 필터형 등의 방연마스크는 복사열에 의한 피해로부터 착용자를 보호할 수 없는 구조이며, 그 효과를 입증할 수 있는 기술기준과 인증제도가 마련되지 않았다.
- 따라서 화재 대피에 필요한 방연마스크의 성능과 안전성을 확보하기 위해 국내외의 방연마스크와 관련된 기술기준 및 인증제도를 검토해야 할 필요성이 있다고 판단되었다.

2) 국내외 방연마스크 기술기준 분석 및 비교

- 방연마스크의 안전성과 성능에 대한 기준을 제시하기 위해 과거부터 논

의되었던 화재용 긴급대피마스크(KS M 6766)와 자급식 호흡보호구(KFIS 024) 기술기준을 검토하였다.

- 그리고 두 기술기준에서 많이 인용하거나, 국외에서 사용되고 있는 방연마스크 기술기준을 추가하여 총 6개의 기술기준을 분석하였다. 이때 외부 공기를 여과하는 방식은 정화식 방연마스크, 자체적으로 산소를 공급하는 방식은 자급식 방연마스크로 구분하였다.

라. 방연마스크 착용 편리성 및 활동성 시험

1) 착용편리성 및 활동성 시험 시료 및 피검자 선정

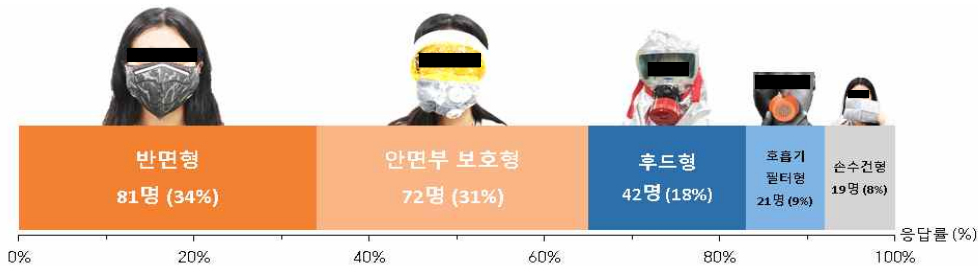
- 다양한 종류의 방연마스크의 착용편리성 및 활동성을 보기 위해 정화식 방연마스크에서 두 종류(안면부 보호형, 후드형), 자급식 방연마스크에서 두 종류(화학반응형, 압력용기형)를 시험에 사용하였다. 추가로, 정화식 방연마스크 중 하나인 손수건형 정화식 방연마스크를 사용하였다.

〈표 II-15〉 시험에 사용된 방연마스크

정화식 방연마스크		자급식 방연마스크	
안면부보호형	후드형	화학반응형	압력용기형
			

- 시장조사 결과, 정화식 방연마스크 종류는 크게 후드형, 안면부 보호형, 반면형, 손수건형, 호흡기 필터형으로 나뉜다. 그중 방연마스크 형태에 대한 선호도 설문조사 결과 선호도가 높은 방연마스크를 시험에 사용하

였다.



[그림 II-17] 정화식 방연마스크 형태에 대한 선호도

- ‘반면형’ 방연마스크는 예상 착용시간이 짧아 선호도가 높으나 연기, 유독가스 및 화재 열기 보호 성능이 안면부 보호형, 후드형에 비해 낮다. 따라서, 실제 화재 시 사용하기에 안면부 보호형, 후드형 방연마스크가 더 적합하기에 안면부 보호형, 후드형 방연마스크를 시험에 사용하였다. 다만, 손수건형 방연마스크도 반면형 방연마스크와 같이 연기, 유독가스 및 화재 열기 보호 성능이 낮으나 손을 사용하여 호흡기에 직접 대야 하는 형태로 손을 사용하지 않고도 고정이 되는 다른 방연마스크와 다른 형태이기에 부수적으로 시험에 사용하였다.
- 시장조사 결과, 자급식 방연마스크 종류는 크게 화학반응형, 압력용기형으로 나뉜다. 부수적으로 시험에 사용한 손수건형 정화식 방연마스크를 제외하면 시험에 사용하는 정화식 방연마스크가 두 종류이기 때문에 자급식 방연마스크도 두 종류를 사용하기 위해 화학반응형, 압력용기형 방연마스크 두 종류 모두 시험에 사용하였다.

나) 착용편리성 및 활동성 시험 피검자 선정

- COVID-19로 인해 외부인을 피검자로 선정하기 어려워 많은 인원을 선정하지 못하였으며, 학내 구성원인 대학생 및 대학원생을 피검자로 선정하였다. 따라서, 방연마스크 및 유사 장비에 대한 교육과 사용 경험이

없고, 정신적, 신체적 결함이 없는 18세 이상의 20~30대 성인 16명을 대상으로 실시하였다.

- 다양한 연령대를 대상으로 시험을 실시하지 못하여, 연령대별 착용편리성 및 활동성 시험 결과를 비교할 수 없었다. 하지만, 비교적 건장한 20~30대의 방연마스크 착용시간이 길고, 불편감이 있을 경우, 30대 이상의 근로자 역시 같은 경향을 보인다는 것을 유추할 수 있다는 장점이 있다.
- 성별, 안경 착용 여부에 따른 착용시간 차이와 시각적, 물리적, 신체적 불편감의 차이를 파악하기 위해 남녀 각각 8명으로 구성하고, 16명 중 8명의 안경 착용자를 포함하였으며, 교육 여부에 따른 착용시간 차이를 보기 위해 교육 집단과 미교육 집단으로 나누어 각각 8명씩 구성되도록 하였다.
- 시험에 사용되는 방연마스크에 대한 모든 결과를 얻기 위해 한 사람당 정화식 방연마스크 1개, 자급식 방연마스크 1개를 착용하도록 하였다. 후드형 정화식 방연마스크와 화학반응형 자급식 방연마스크를 착용하는 집단과 안면부 보호형 정화식 방연마스크와 압력용기형 자급식 방연마스크를 착용하는 집단으로 나누어 각 그룹 당 8명이 배정되도록 하였다. 손수건형 정화식 방연마스크는 착용이 간단하고 큰 특징이 없는 방연마스크이므로 모든 피검자가 착용하도록 하였다.

〈표 II-16〉 피검자 조건

교육여부	대상자	성별	연령	안경착용 여부	착용 방연마스크	
					1	2
미교육	미교육자 1	남	20대	착용	안면부 보호형	압력용기형
	미교육자 2	남	20대	미착용	안면부 보호형	압력용기형
	미교육자 3	남	20대	착용	후드형	화학반응형
	미교육자 4	남	20대	미착용	후드형	화학반응형
	미교육자 5	여	20대	착용	안면부 보호형	압력용기형
	미교육자 6	여	20대	미착용	안면부 보호형	압력용기형
	미교육자 7	여	20대	착용	후드형	화학반응형
	미교육자 8	여	20대	미착용	후드형	화학반응형
교육	교육자 1	남	30대	착용	안면부 보호형	압력용기형
	교육자 2	남	30대	미착용	안면부 보호형	압력용기형
	교육자 3	남	20대	착용	후드형	화학반응형
	교육자 4	남	20대	미착용	후드형	화학반응형
	교육자 5	여	20대	착용	안면부 보호형	압력용기형
	교육자 6	여	20대	미착용	안면부 보호형	압력용기형
	교육자 7	여	20대	착용	후드형	화학반응형
	교육자 8	여	20대	미착용	후드형	화학반응형

2) 착용편리성 시험

가) 착용편리성 시험 교육 내용

- 피검자 중 교육 집단을 대상으로 본 연구의 목적과 내용을 설명하고, 교육 시작 전 설명서를 보며 직접 착용하도록 하였다. 그 후, 마스크 종류별 주의사항을 주지시키고, 방연마스크의 올바른 착용 방법을 교육하였다. 착용에 익숙해지도록 반복하여 착용하도록 하였다.

나) 착용편리성 시험 방법

- 화재가 발생하면 전기 차단, 연기 발생으로 인해 시야 확보가 되지 않는 상황에서 방연마스크를 착용해야하는 경우가 생긴다. 따라서, 시야 제한 정도에 따른 방연마스크의 착용시간을 측정하기 위해 다음 두 가지 환경에서 실시하였다.

- ① 시야가 확보되는 환경
- ② 시야가 제한되는 환경

- 시야가 확보되는 환경은 평상시와 같이 조도가 충분히 확보되는 밝은 환경이며, 시야가 제한되는 환경은 전기 차단, 연기에 의해 시야가 제한되는 환경으로 일정 조도만을 제공하여 시야를 제한하였다. 시험은 다음과 같이 실시하였다.
- 남자 4명, 여자 4명으로 구성된 두 집단(교육 집단, 미교육 집단)에게 착용 시작 신호에 맞춰 탁자 위 설명서와 함께 놓인 방연마스크를 착용하도록 하고, 피검자 자신이 착용 완료되었다고 생각하면 손을 들도록 하였다. 착용 시작 신호와 동시에 시간 측정을 시작하여 피검자가 손을 드는 시간까지 타이머로 측정하여 방연마스크 포장지 제거 시간, 설명서 읽는 시간, 방연마스크 착용하는 시간, 착용을 확인하는 시간을 포함하도록 하였다.
- 또한, 교육 여부에 따른 방연마스크 착용의 능숙함을 비교하기 위해 방연마스크를 착용하는 동안 설명서를 본 횟수를 측정하고, 방연마스크 종류별 착용 시 주의사항 준수 여부를 확인하였다. 방연마스크 종류별 착용 시 주의사항은 다음과 같다.

- ① 후드형 정화식 방연마스크 : 마스크 내측, 외측마개를 제거해야 한다.
- ② 안면부 보호형 정화식 방연마스크: 얼굴 전체가 가려지도록 밀착하여 착용해야 한다.
- ③ 화학반응형 자급식 방연마스크: 마스크 착용 전 호흡백에 공기를 1~2회 불어넣어야 한다.
- ④ 압력용기형 자급식 방연마스크: 압력용기에 연결된 조임끈을 후드 밖으로 빼서 조였는지 확인한다.

3) 활동성 시험

가) 활동성 시험의 시험 항목 선정

- 화재대피용 자급식 호흡기구의 KFI 인정기준, KS M6766, EN 403, EN 13794의 착용성 및 활동성 관련 시험 항목, 누설률 시험 항목을 통합하고 참고하여 시험 항목을 구성하였다.
- 활동성 시험은 방연마스크가 화재 대피 시 어떠한 시각적, 물리적, 신체적 불편감을 주는지 알아보기 위한 시험으로 다양한 시험 항목 중 화재 대응 행동과 관련된 항목은 제외하고, 화재 대피 시 자세 및 행동과 관련된 항목으로 재구성하였다.

나) 활동성 시험 방법

- 화재 대피 시 방연마스크가 물리적, 신체적으로 큰 불편함이 제공하고, 외부 소리에 대한 반응과 시야확보에 방해하는 것은 위험할 수 있다. 따라서, 활동성 시험은 ① 방연마스크를 착용하고 대피 시 물리적, 신체적 불편함, ② 방연마스크를 착용하였을 때 소통의 불편함, ③ 방연마스크를 착용하였을 때 시야에 미치는 영향을 파악하는 것을 목표로 하였다.

(1) 방연마스크를 착용한 채 대피 시 물리적, 신체적 불편함

- 방연마스크를 착용한 채 대피 시 물리적, 신체적 불편함을 파악하기 위해서 방연마스크를 착용한 채 화재 대피 자세를 취하며 15m 길이의 복도를 최대한 빠르게 이동하도록 하였다.
- 화재 대피 자세를 취한 채 이동하였을 때 방연마스크에 의한 불편함을 해결하려는 행동인 방연마스크를 손으로 잡거나 바로 쓰는 행동과 체력 한계에 의해 나타날 수 있는 행동인 천장에 닿는 행동, 멈춰서는 행동을 취하는 횟수를 기록하였다. 또한, 15m를 이동하는데 걸리는 시간을 측정하여 방연마스크 종류가 대피 시간에 미치는 영향을 확인하고자 하였다.

(2) 방연마스크를 착용하였을 때 소통 및 시야확보의 불편함

- 방연마스크를 착용하였을 때 소통과 시야 확보의 불편함을 파악하기 위해서 대피 자세로 15m 이동 직후 5분간 걷도록 하였다. 걷는 도중 대화를 하고, 대화 과정에서 5개의 질문을 피검자에게 하고, 피검자가 질문을 명확하게 듣지 못한 횟수를 측정하여 소통의 불편함을 분석하였다.
- 이동 중 피검자의 신체에서 발생하는 열기나 일부 방연마스크의 작동 원리상 발생하는 열기 등에 의해 습기가 발생하고, 이로 인하여 시야확보창이 충분한 역할을 하지 못하고 시야확보에 불편함이 발생할 수 있다. 이를 확인하기 위해 활동성 시험 직후 크기 100mm인 문자를 6m 거리에서 읽도록 하고, 문자판을 읽었을 때 오답 수를 기록하여 시야확보가 잘 되는지 파악하고자 하였다.

다) 시험 후 설문조사

- 착용편리성 및 활동성 시험 이후 방연마스크에 대한 피검자의 인식 및 실제 착용 시 불편감을 보다 상세히 분석하기 위해 설문을 진행하였다.
- 방연마스크의 착용감, 편리성 등에 대한 내용으로 구성된 문항으로 설문을 진행하였다.

마. 편익비용분석

1) 편익비용분석의 의의

- 비용-편익비율 평가법(B-C Ratio)은 개별사업별로 편익을 비용으로 나눈 값을 추정한다. 이때 이 값이 가장 큰 대안을 경제성이 가장 우수한 것으로 가정하는 방법이라고 볼 수 있다.
- 사업의 비용 및 편익은 장기간에 걸쳐 투입되거나 발생하기 때문에 할인율을 적용하여 이를 현재에 발생하는 것으로 환산하고 이를 비교한다. 각 사업의 비용-편익 비율은 현재가치로 환산된 비용과 편익으로 표시

한다.

$$\text{B/C ratio} = \sum_{t=0}^n \frac{B_t}{(1+r)^t} / \sum_{t=0}^n \frac{C_t}{(1+r)^t}$$

- 이때 B_t 와 C_t 는 t 년도의 편익과 비용을 의미한다. 또한, r 은 사회적 할인율, t 는 분석 기간을 의미한다.
- 순현재가치평가법(NPV: Net Present Value)은 현재가치로 환산된 장래의 연차별 편익의 합계에서 현재가치로 환산된 장래의 연차별 비용의 합계를 뺀 값을 의미한다.

$$\text{순현재가치(NPV)} = \sum_{t=0}^n \frac{B_t}{(1+r)^t} - \sum_{t=0}^n \frac{C_t}{(1+r)^t}$$

- 내부수익률 평가법(IRR : Internal Rate of Return)은 편익과 비용의 현재가치로 환산된 값이 같아지는 할인율을 구하는 방법으로써, 내부수익률이란 사업의 시행으로 인한 순 현재가치를 0으로 만드는 할인율을 의미한다. 계산된 내부수익률이 사회적 할인율보다 크다면 경제성이 있는 것으로 판단한다.

$$\text{IRR} = \sum_{t=0}^n \frac{B_t}{(1+r)^t} = \sum_{t=0}^n \frac{C_t}{(1+r)^t}$$

〈표 II-17〉 경제성 분석기법의 장단점 비교

분석기법	장 점	단 점
편익/비용 비율	• 이해용이 • 사업규모 고려 가능 • 편익비용 발생기간의 고려	• 편익과 비용의 명확한 구분 곤란 • 상호배타적 대안선택의 오류발생 가능 • 사회적 할인율의 파악
순현재 가치	• 대안 선택시 명확한 기준 제시 • 장래발생편익의 현재가치 제시 • 한계 순현재가치 고려 • 타 분석이 이용가능	• 할인율의 분명한 파악 • 이해의 어려움 • 대안 우선순위 결정시 오류발생 가능
내부 수익률	• 사업의 수익성 측정 가능 • 타 대안과 평가용이	• 사업의 절대적 규모 고려하지 않음 • 다수의 내부수익률 동시 도출 가능

자료: 한국개발연구원. (2020)

2) 추정방법

가) 투입비용 추정

- 방역마스크의무지급 대상자의 범위를 나누어 시나리오 분석을 실시하였다. 방역마스크 지급 대상을 근로자 전체와 위험노출사업장으로 분류하고, 정화식과 자가공급식으로 나누어 분석하였다.

〈표 II-18〉 투입비용 추정 시나리오

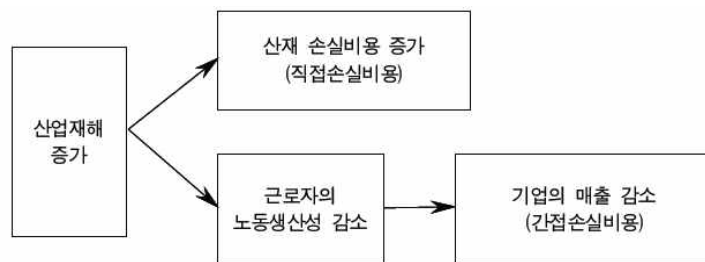
	정화식	자가공급식
근로자 전체	시나리오1	시나리오2
위험노출사업장	시나리오3	시나리오4

나) 편익 추정

- 본 편익 추정은 산재손실비용을 직접비용으로, 근로자의 노동생산성 감소로 인한 기업의 매출감소를 간접편익으로 가정하였다. 통상적으로 우리나라에서는 산업재해로 인한 경제적 손실비용을 따로 추계하지 않고

비용을 직접손실액(산재보험 보상금액)과 간접손실액(직접손실액*4, 하인리히 방식에 의거)으로 구분하고, 이를 합한 금액(산재보험 보상금액*5)을 산업재해로 인한 경제적 손실비용으로 발표하고 있다(박찬임, 2018).

- 그러나 직접 손실액의 4배를 간접손실액으로 추정하는 하인리히방식의 경우 객관적인 데이터를 담보한다고 보기 어려워 합리적인 추정방식이 아니라고 주장하는 학자들이 있다.



[그림 II-13] 간접편익과 직접편익

- 간접손실액에는 근로자에게 회사가 부담하는 추가 비용, 피해 근로자, 동료, 관리자 등의 생산성 손실, 납기지연에 따른 위약금, 사고조치로 인한 추가 비용, 소송비 등이 포함된 가격이다.
- 해외 사례를 살펴보면, 간접손실액의 추정에 있어 영국 보건안전청(HSE)은 건설업 11배, 운수업 8배, 낙농업 36배로 산정하고 있으며, 미국 연방표준협회(ANSI)는 제조업 9.5배, 건설업 10배, 운수업 18배로 공시하고 있는 실정이다(박찬임, 2018)¹⁾.

Ⅲ. 방연마스크 확대지급의 필요성 검토 결과

.....

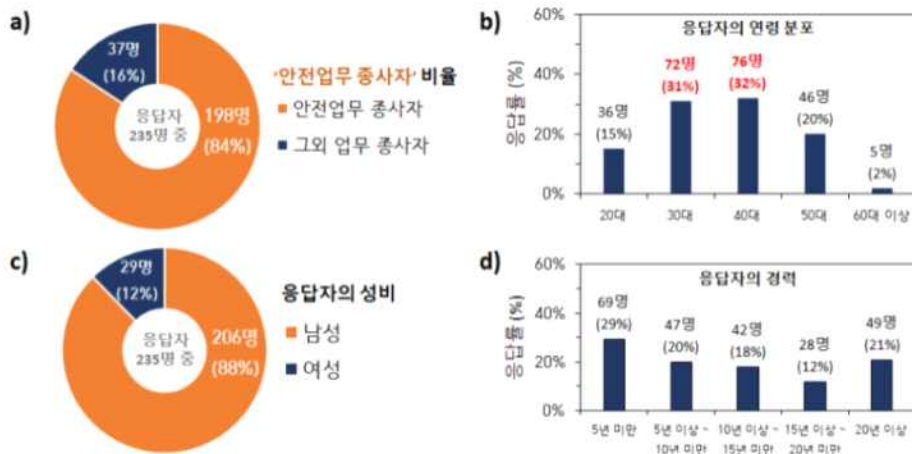
Ⅲ. 방연마스크 확대지급의 필요성 검토 결과

1. 설문 응답 분석

- 방연마스크 의무지급대상 확대의 필요성, 선택 기준, 성능 인증제도의 필요성, 유지보수 및 교육의 필요성에 대한 의견을 분석하기 위해 설문을 진행하였다. 설문은 학계, 산업계, 정부, 공공기관 등 다양한 업계 종사자들의 의견을 종합하여 분석하였다.

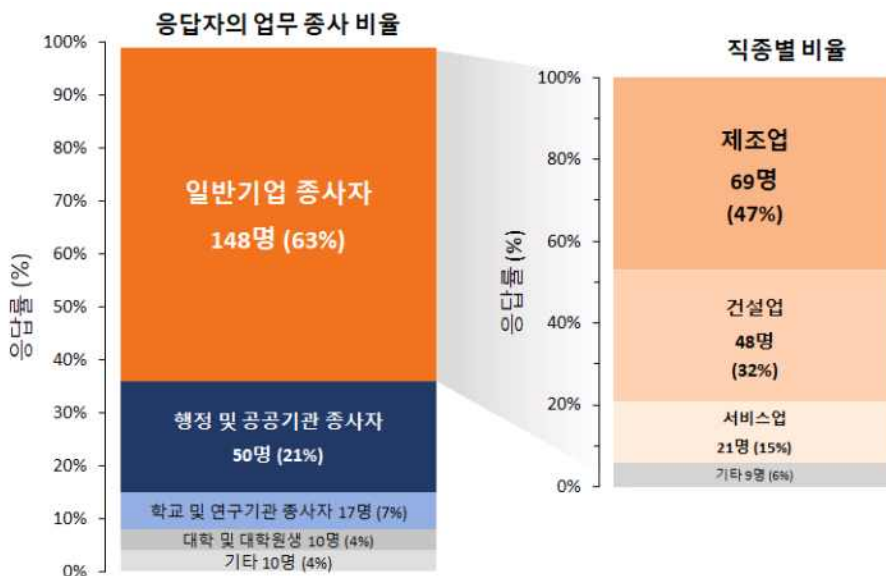
가. 응답자의 정보 및 업종

- 설문 응답자는 총 235명이며, 전체 응답자 중 안전업무 종사자는 84%(198명), 응답자는 남성이 88%(206명)로 여성보다 16%(37명) 더 많은 비율을 차지한다. 특히 연령이 30, 40대인 응답자가 63%(148명)로 대부분의 응답을 차지하고, 응답자의 71%(166명)가 5년 이상의 경력을 보유하고 있다.



[그림Ⅲ-1] 설문 응답자의 인적사항 a)안전업무 종사 여부, b)연령, c)성별, d)경력

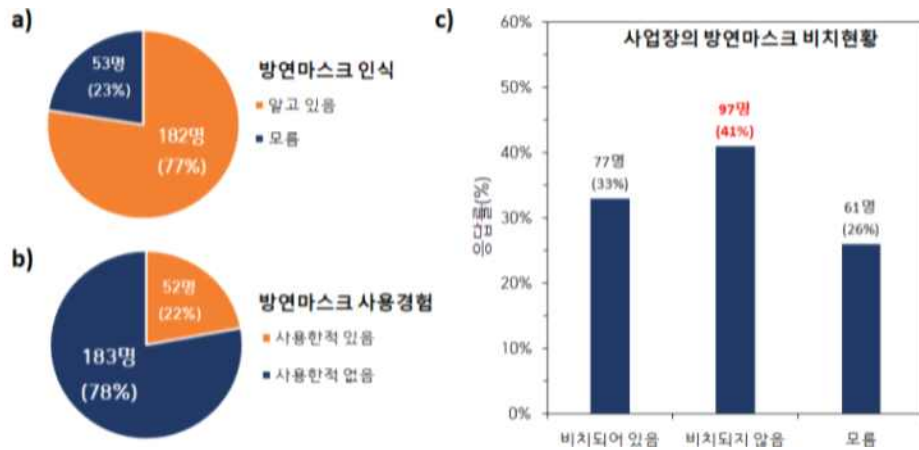
- 산업현장에서 근무하는 일반 기업 종사자가 전체 응답 62%(148명)를 차지하며, 주로 제조업(69명)과 건설업(48명)에 종사하는 것으로 나타났다.
- 행정 및 공공기관 종사자는 전체 응답의 21%(50명), 학교 및 연구기관 종사자는 7%(17명), 대학 및 대학원생, 기타 업무 종사자는 약 8%(20명)를 차지한다.



[그림 III-2] 설문 응답자의 업무 종사 비율

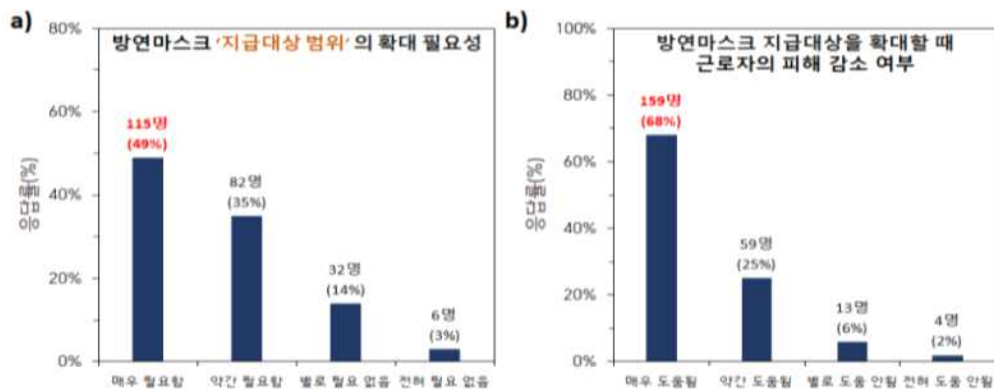
나. 방연마스크에 대한 인식 및 의무지급대상 확대

- 방연마스크에 대한 인식 수준을 조사한 결과, 77%(182명)의 응답자가 방연마스크에 대해 알고 있으나, 사용해 본 경험은 있는 응답자는 22%(52명)인 것으로 나타났다. 사업장에 방연마스크가 비치되었다는 응답은 약 33%(77명)이며, 비치되지 않거나(77명)나 모른다는(61명) 응답이 67%로 더 많았다.



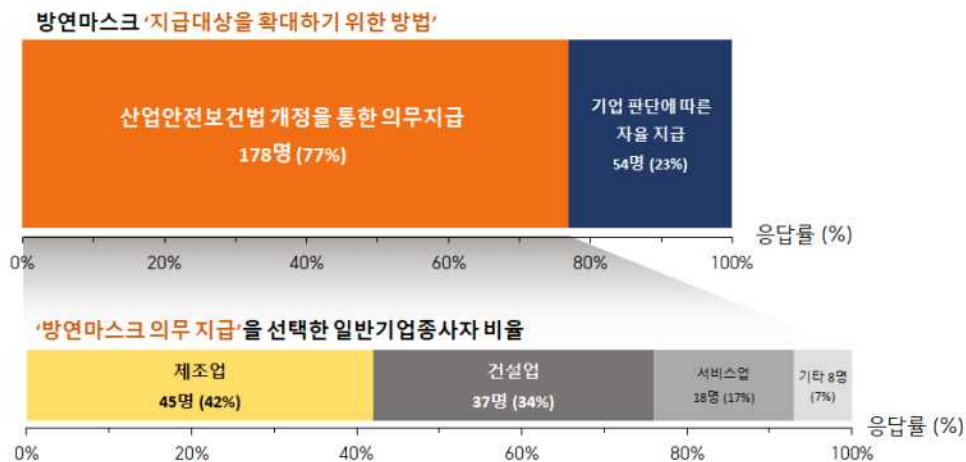
[그림 III-3] 설문응답자의 방연마스크에 대한 a)인식, b)사용경험, c)각 사업장의 방연마스크 비치현황

- 기존의 방연마스크 지급대상(화재감시자 한정)을 화기작업자, 화기작업 근처의 작업자 등으로 확대하는 것의 필요성에 응답자의 84%(202명)가 지급대상을 확대하는 제도가 필요하다고 여기며, 93%(218명)의 응답자가 이 제도가 도입될 경우 화재에 의한 피해를 감소시키는 데 도움이 될 것이라고 응답함.



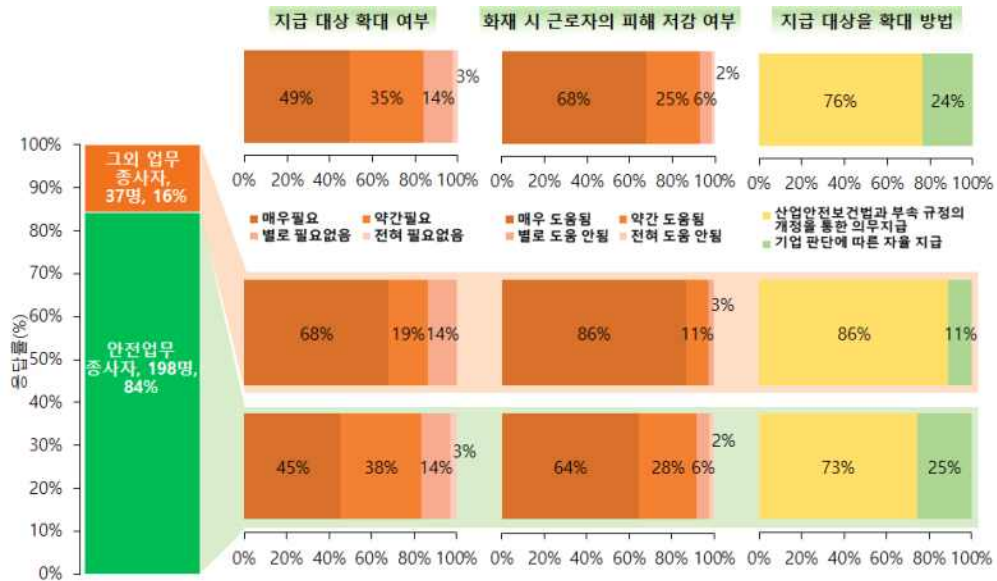
[그림 III-4] 방연마스크 a)지급대상 범위의 확대 필요성 여부, b)지급대상 확대 시 근로자 피해 감소 여부에 대한 설문 결과

- 방연마스크 지급대상을 확대하기 위한 방법으로 77%(178명)가 산업안전보건법 및 부속규정 개정을 통해 의무지급하는 방법을 선택하였다. 특히 안전업무 종사자 198명 중 81%(145명), 비종사자 37명 중 89%(33명)이 방연마스크 의무지급을 통해 지급대상을 확대해야한다고 응답하였다.
- 일반기업종사자 중 108명이 의무지급하는 방안을 선택하였으며, 그중 제조업이 42%(45명)로 건설업(34%)에 비해 더 많은 비율을 차지한다.



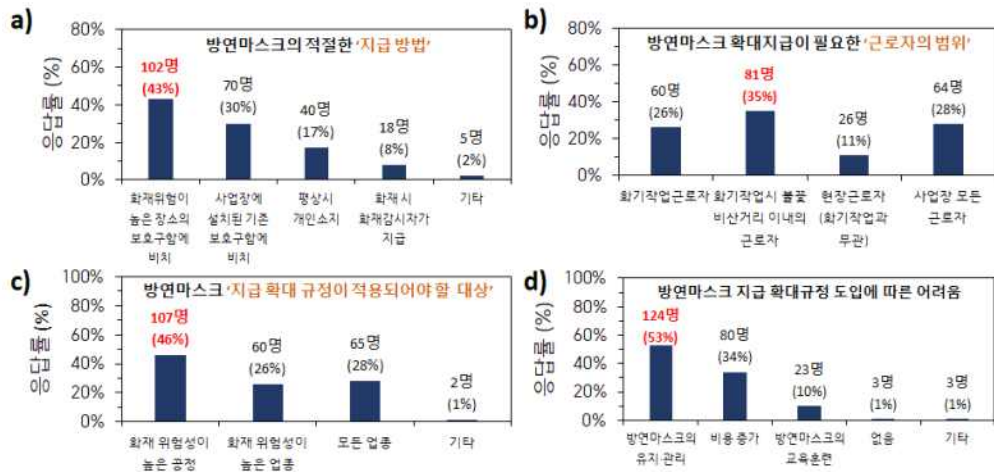
[그림 Ⅲ-5] 방연마스크 지급대상을 확대하기 위한 방법에 대한 설문 결과

- 안전업무에 종사하는 응답자는 다른 응답자에 비해 안전에 대한 관심과 우려가 비교적 높은 집단이기 때문에 안전업무 종사자와 비종사자를 구분하여 응답결과를 비교분석 하였다.
- 그 결과 아래의 그림과 같이, 지급대상 확대 여부에 대해 매우 필요하다고 응답한 비율이 안전업무종사자(45%)에 비해 비종사자(68%) 더 높게 나타났다. 또한 화재 시 방연마스크로 인한 근로자 피해 저감 효과를 묻는 문항에도 안전업무종사자(64%)에 비해 비종사자(86%)가 더 긍정적인 응답을 하였다.



[그림 Ⅲ-6] 방연마스크 지급 확대 및 피해 저감 여부에 대한 안전업무 종사자와 비종사자의 응답 비교

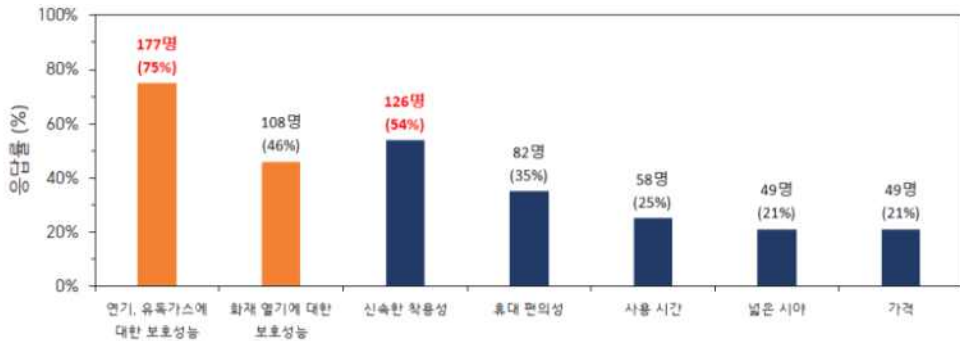
- 응답자의 73%(172명)는 화재위험이 높은 장소 또는 기존 보호구함에 비치하는 것이 적절하다고 응답하였다. 또한 방연마스크 지급범위가 ‘화기작업 시 불꽃 비산거리 이내의 근로자까지 확대되어야 한다’는 의견이 35%(81명)로 가장 많았다.
- 응답자의 72%(167명)가 화재가 발생할 위험이 있는 장소에 방연마스크 지급확대 규정이 적용되어야 한다고 생각하며, 그중 ‘화재 위험성이 높은 공정’(46%)이 가장 많은 비율을 차지한다.



[그림 III-7] 방연마스크의 a)지급 방법, b)확대지급 범위, c)확대지급 대상, d)확대지급 시 발생할 문제에 대한 설문 결과

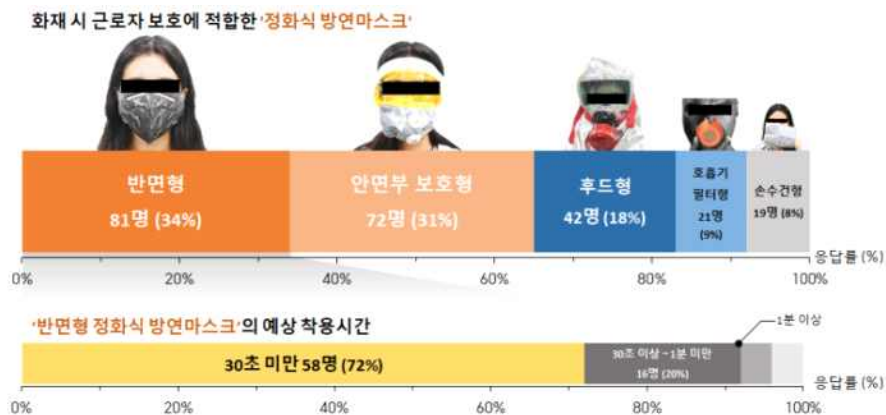
다. 방연마스크의 성능 및 선택 기준

- 방연마스크를 사용할 때, 응답자의 75%(171명)가 유독가스에 대한 보호성능이 중요하다고 응답하였다. 유독가스의 보호성능이 화재 열기에 대한 보호성능(46%)보다 더 중요하게 고려된 것을 토대로 볼 때, 응답자들은 화상보다 연기에 의한 사고에 초점을 맞추어 방연마스크를 선택할 것으로 판단된다.
- 응답자들이 보호성능과 함께 중요하다고 여기는 요소는 신속한 착용성(54%)과 휴대 편의성(35%)으로 나타났다. 이는 화재로부터 안전하고 빠른 시간 내에 대피하는 것이 합리적이기 때문에, 응답자들이 보호성능을 비롯하여 신속한 착용성, 휴대 편의성을 선택한 것으로 판단된다.



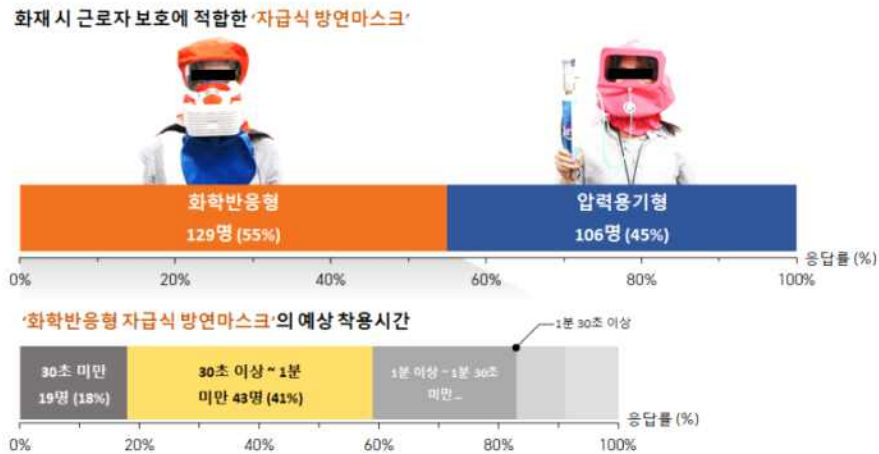
[그림 III-8] 방연마스크가 갖춰야할 성능에 관한 설문 결과

- 화재 시 근로자 보호에 적합한 정화식 방연마스크를 묻는 질문에, 응답자의 34%(81명)가 반면형 정화식 방연마스크를 선택하였다. 이는 응답자들이 ‘반면형’ 방연마스크의 예상 착용시간이 짧아 화재 대피에 적합하다고 생각하기 때문(예상 착용시간을 81명 중 72%(58명)가 30초 미만으로 응답)인 것으로 판단된다.
- 한편 예상 착용시간이 매우 짧다고 여겨지는 호흡기 필터형, 손수건형은 응답자의 10%(21명) 정도가 선택하였는데, 앞서 연기로부터의 보호 성능이 선택 기준에서 가장 중요했기 때문인 것으로 판단된다.



[그림 III-9] 화재 시 근로자 보호에 적합한 정화식 방연마스크 종류 및 예상 착용시간에 관한 설문 결과

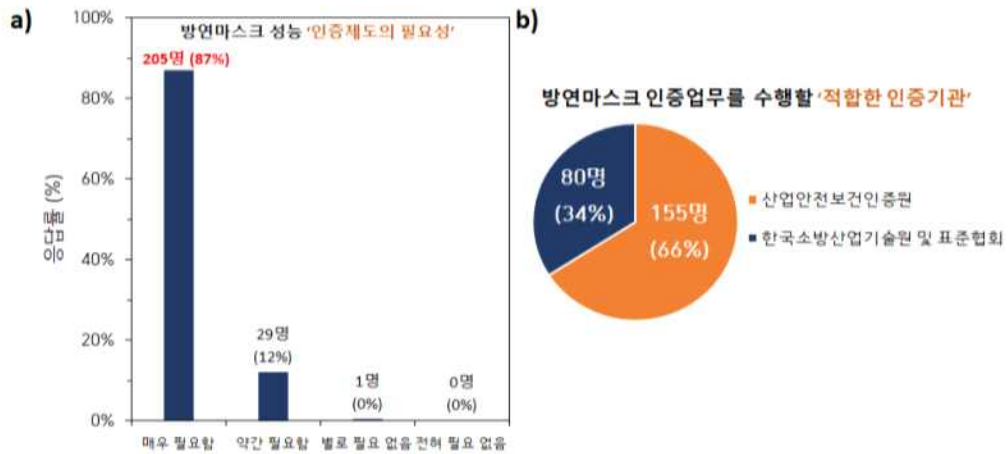
- 근로자 보호에 적합한 자급식 방연마스크를 묻는 질문에, 응답자의 55%(128명)가 화학반응형 자급식 방연마스크를 선택하였다. 이는 별도의 압력용기를 손에 들고 다니는 형태인 압력용기형 방연마스크보다 화학반응형 마스크가 보다 더 간편해 보이기 때문으로 판단된다.



[그림 III-10] 화재 시 근로자 보호에 적합한 자급식 방연마스크 종류 및 예상 착용시간에 관한 설문 결과

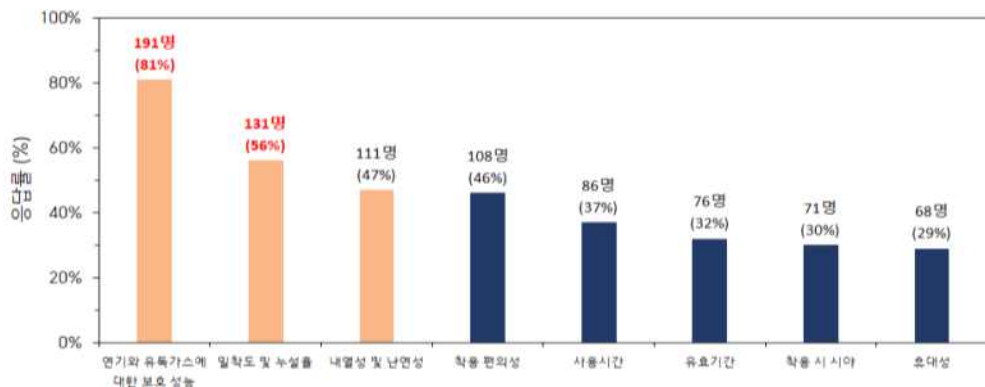
라. 방연마스크의 성능 인증제도

- 응답자의 99%(234명)가 방연마스크 성능, 품질, 안전성을 확보하기 위해 인증제도가 필요하다고 응답하였다. 특히 산업용 보호구에 대한 인증을 담당하는 '산업안전보건인증원'이 인증업무 수행해야한다는 의견이 66%(155명)로 기존의 인증기관(한국소방산업기술원 및 표준협회)보다 32% 정도 더 많은 비율을 차지하였다.



[그림 III-11] 방연마스크 성능 인증제도의 a)필요성 및 b)인증업무에 적합한 인증기관에 관한 설문 결과

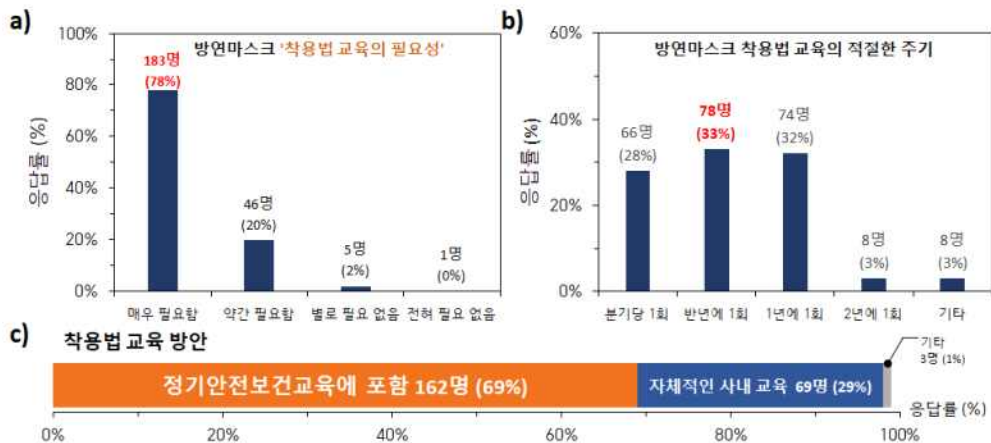
- 방연마스크의 선택기준과 유사하게, 방연마스크 인증제도에 포함될 평가 요소 중 연기와 유독가스에 대한 보호성능이 81%(191명)으로 가장 많은 비율을 차지하였다.
- 특히 응답자의 56%(131명)는 질식 예방을 위한 보호성능을 위해서는 밀착도 및 누설률에 대한 평가항목 또한 고려돼야 한다고 판단하였다.



[그림 III-12] 방연마스크의 성능 인증에 포함되어야 할 성능에 관한 설문 결과

마. 방연마스크의 유지관리 필요성

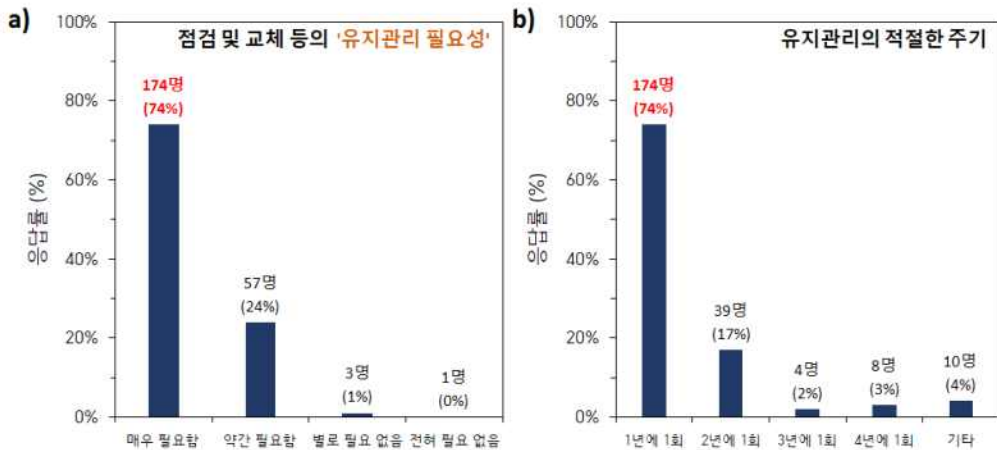
- 방연마스크에 대한 착용법 교육이 필요하다고 응답한 비율은 98% (229명)로 대다수의 응답자가 착용법 교육을 중요하게 고려하는 것으로 나타났다.
- 또한 33%(78명)의 응답자는 ‘반년에 1회’ 정도 주기적인 착용법 교육이 필요하다고 판단하였으며, ‘1년에 1회’(32%), ‘분기당 1회’(28%) 순서로 응답률이 높게 나타났다. 특히 응답자의 69%(162명)는 착용법 교육이 사내교육(29%)보다는 정기안전보건교육에 포함되어야 한다고 응답하였다.



[그림 Ⅲ-13] 방연마스크 a)착용법 교육의 필요성, b)교육의 주기, c) 교육의 방안에 관한 설문 결과

- 방연마스크 유지관리 필요성에 대해서 응답자의 98%(231명)는 주기적으로 방연마스크 상태점검 및 교체가 필요하다고 응답하였다.
- 특히 ‘1년에 1회’를 주기로 방연마스크의 유지관리가 필요하다는 의견이 74%(174명)로 가장 많은 비율을 차지하였으나, 방연마스크 자체의 유통

기한, 제조사의 권장주기를 고려한 유지보수가 필요할 것으로 판단된다.



[그림 III-14] 방연마스크 유지관리 a)필요성 및 b)주기에 관한 설문 결과

- 특히 '1년에 1회'를 주기로 방연마스크의 유지관리가 필요하다는 의견이 74%(174명)로 가장 많은 비율을 차지하였으나, 방연마스크 자체의 유통 기한, 제조사의 권장주기를 고려한 유지보수가 필요할 것으로 판단된다.

바. 설문조사 소결

- 설문에 참여한 응답자는 총 235명으로 남성 206명 여성 22명이었다. 연령분포는 20대 36명, 30대 72명, 40대 76명, 50대 46명, 60대 이상 5명이었다. 응답자 중 84%가 현재 안전업무에 종사 중이고, 업무 경력은 5년 미만부터 20년 이상까지 고르게 분포하여 근로자들의 의견을 충분히 수렴할 수 있었다고 판단한다.
- 방연마스크 인식에 대한 응답을 분석한 결과 방연마스크를 알고 있는 응답자(77%)가 많았지만, 방연마스크를 사용해본 경험이 있는 응답자(22%)는 적었다. 또한 사업장의 방연마스크가 비치되어 있는 응답자는

33%에 그쳤다.

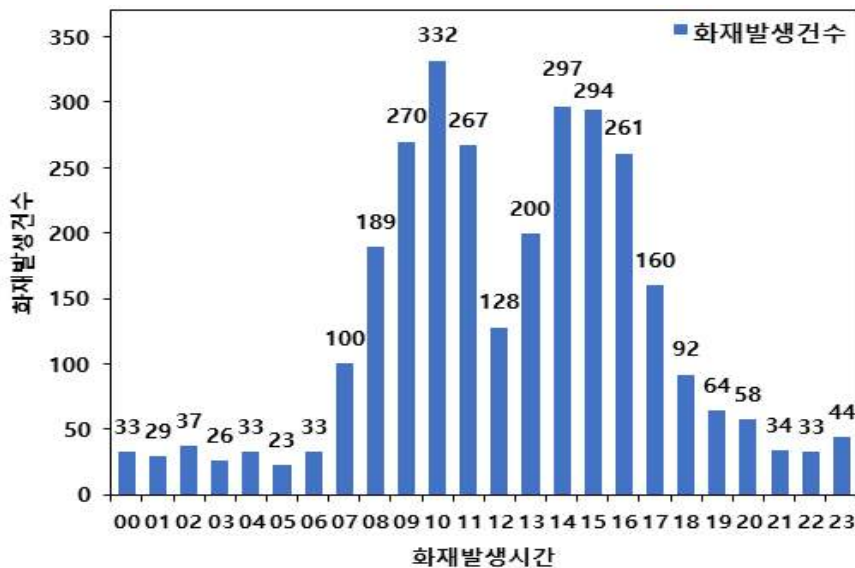
- 방연마스크 의무지급대상 확대 필요성에 대해 84%가 긍정적인 응답을 하였으며, 93%의 응답자가 방연마스크가 화재 시 근로자 피해 감소에 도움이 된다고 응답하였다.
- 하지만 많은 응답자가 방연마스크를 실제로 사용해본 경험이 없기 때문에 일반적인 지식 및 관념에 의해 방연마스크에 대해 긍정적인 응답을 한 것으로 판단된다.
- 그렇기 때문에 본 연구에서 진행한 실험을 통해 충분한 방연마스크 사용 경험 이후의 방연마스크 인식에 대해서 분석한 결과와 설문지 결과를 종합적으로 고려하여, 방연마스크 지급 확대 필요성을 검토해야 한다.
- 방연마스크의 선택기준 8가지 중 연기, 유독가스에 대한 보호성능(177명), 신속한 착용성(126명), 화재 열기에 대한 보호성능(108명), 휴대 편의성(82명)이 많이 나타났다.
- 응답자의 99%가 방연마스크 성능, 품질, 안전성 확보를 위한 인증제도의 필요성을 느꼈으며, 포함될 요소는 연기와 유독가스에 대한 보호성능(191명), 밀착도 및 누설률(131명), 내열성 및 난연성(111명), 착용편의성(108명)으로 나타났다.
- 방연마스크의 유지관리에 관하여 착용법 교육이 필요하다는 응답이 98%(229명)이고, 점검 및 교체 등 유지관리가 필요하다는 응답은 98%(231명)으로 나타났다.
- 다수의 응답자가 방연마스크 지급 확대 시 일정 이상의 성능을 보유한 방연마스크를 필요로 한다는 것과, 방연마스크의 보호 성능 이외에 착용 편의성과 신속한 착용성이나 착용방법의 교육, 지급 이후 유지관리 또한 중요한 요소로 판단한 것을 알 수 있다.

〈표 III-1〉 본 연구에서 진행한 방연마스크 관련 설문 결과의 요약

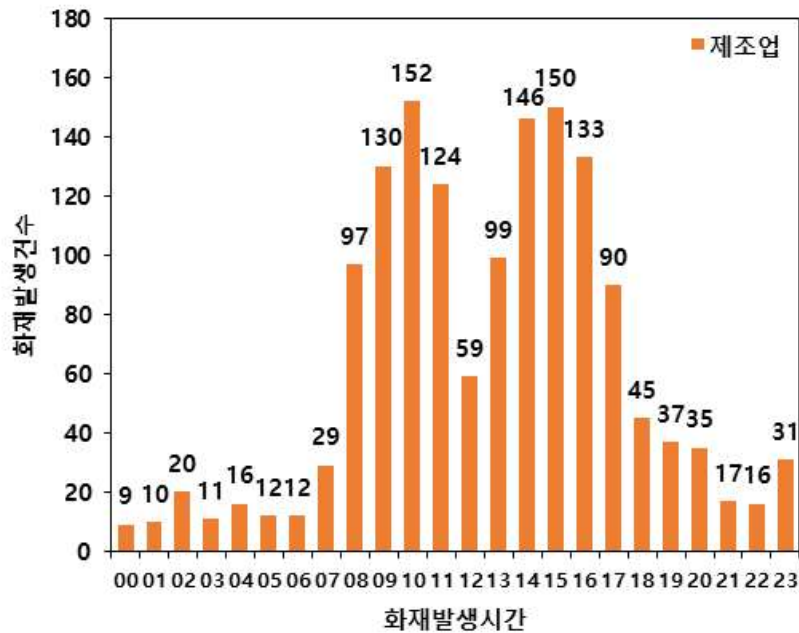
분류	문항
방연마스크에 대한 인식	■ 응답자들은 방연마스크에 대해 잘 알고 있으나, 방연마스크를 사용해본 경험이 부족함.
방연마스크 의무지급대상 확대 필요성	■ 방연마스크 지급대상을 확대하는 것에 대해 응답자들의 반응이 긍정적임. ■ 산업현장 종사자를 비롯한 대부분의 응답자가 방연마스크 의무지급제도를 도입할 필요가 있다고 생각함.
방연마스크의 선택기준	■ 응답자들은 화재대피에 적합한 방연마스크가 1) 연기 및 유독가스 보호성능, 2) 신속한 착용성, 3) 열기에 대한 보호성능, 4) 편리한 휴대성을 갖춰야 한다고 생각함. ■ 화재대피에 적절한 방연마스크는반면형 정화식 방연마스크,화학반응형자급식 방연마스크인 것으로 나타남.
방연마스크인증제도, 유지관리 필요성	■ 거의 모든 응답자가 방연마스크의 품질 및 성능을 보장하기 위해 방연마스크 인증제도가 필요하다고 생각하며, 인증업무에 적합한 기관으로 산업안전보건인증원을 선택함. ■ 방연마스크의 유지관리(점검, 교체 등)가 필요하다는 의견이 많았으며, 적절한 유지관리 주기는 1년에 1회가 가장 많은 비율을 차지함.

2. 화재 사고 정밀 분석

- 2010년 ~ 2020.09간 발생한 모든 화재 사고의 화재 발생 시간에 따라 분석을 진행하였다(소방청, 2019).
- 00시 ~ 06시까지는 시간당 40건 이하로 화재 발생 건수가 비교적 낮은 것으로 확인되었으며, 07시부터 화재 발생이 급증하여, 10시에 332건의 화재로 가장 많은 화재가 있었던 것으로 집계되고 있다.
- 12시에는 비교적 화재 발생건이 낮아지는 것으로 확인되며, 1시부터 17시까지는 100건 이상의 화재로 다시 화재 발생이 증가하였다. 이후 18시부터는 다시 100건 이하의 화재로 주로 근로자들이 근로하는 시간에 화재가 발생된 것으로 확인된다.



[그림 Ⅲ-15] 산업시설 화재발생시간에 따른 화재발생건수



[그림 III-16] 제조업 화재발생시간에 따른 화재발생건수

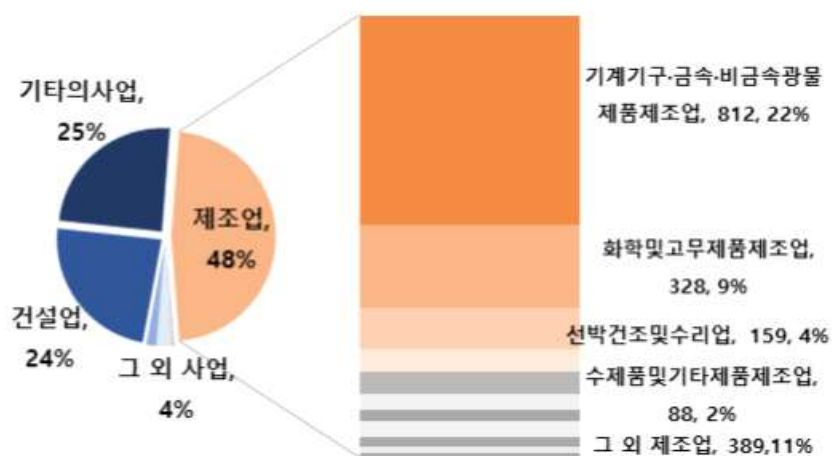
가. 업종별 화재 사고 분석

- 대업종별로 알아보면 2010년부터 2019년까지 화재로 인한 전체 재해자 중 72%가 제조업(47%)과 건설업(25%)에서 발생하였다.
- 구체적으로, 2010년부터 2019년까지의 화재로 인한 인명피해는 ▲제조업 재해자 1,716명·사망자 144명 ▲건설업 재해자 887명·사망자 103명 ▲기타의 사업 재해자 860명·사망자 36명 ▲운수·창고 및 통신업 재해자 57명·사망자 5명 ▲임업 재해자 33명·사망자 2명 ▲농업 재해자 32명·사망자 5명 ▲전기·가스·증기 및 수도사업 재해자 16명·사망자 1명 ▲광업 재해자 6명 ▲금융 및 보험업 재해자 4명 ▲어업 재해자 2명이 발생하였다.
- 이에 따라 2차 산업군인 제조업과 건설업에서 가장 많은 화재 재해자가 발생하였다.



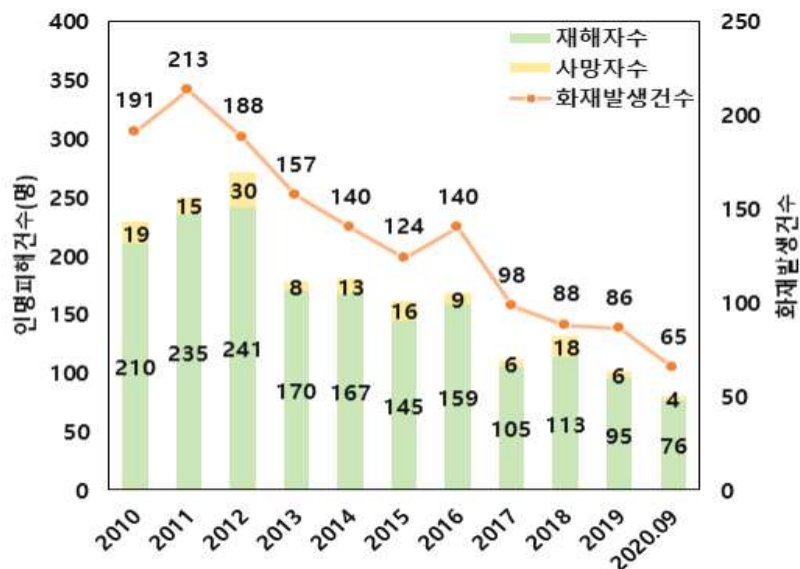
[그림 III-17] 업종별 10년간 화재 인명피해 현황

- 이 중 가장 많은 비율을 차지하고 있는 제조업 중에서도 기계기구·금속·비금속광물제품 제조업에서 가장 많은 화재 재해자 812명이 발생하였으며, 전체의 22%에 속한다.
- 다음으로는 화학 및 고무제품 제조업 9%, 선박 건조 및 수리업 4%, 수제품 및 기타제품 제조업 2%, 그 외 11%이다.

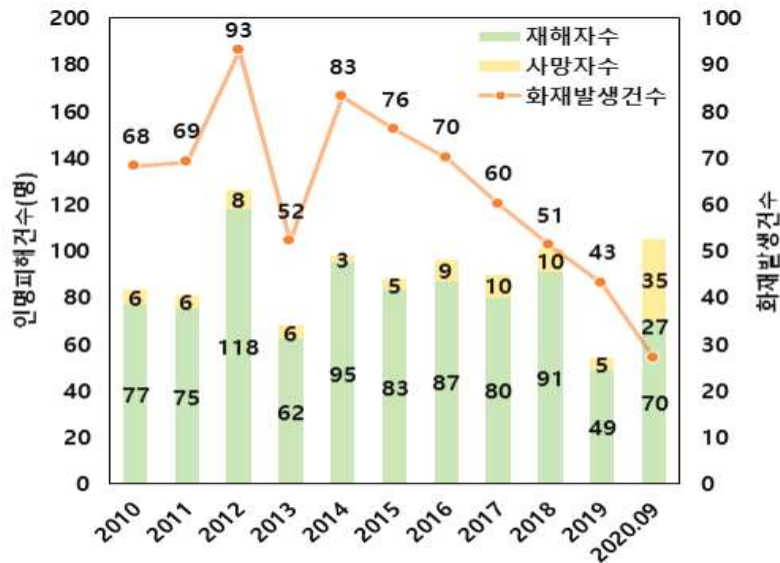


[그림 III-18] 업종별 화재 재해자수 현황

- 전체 산업군에서 가장 많은 비율을 차지하고 있는 2차 산업 중 제조업과 건설업의 연도별 화재피해현황을 살펴보면, 제조업의 화재발생건수는 2011년부터 줄어드는 추세였으나 2016년 다시 증가하였고, 다시 2017년부터는 100건 이하로 발생하였다. 하지만 줄어드는 화재건수에 비해 재해자 및 사망자는 사망자는 비교적 일정한 수준으로 발생하고 있다.
- 건설업의 화재발생건수도 2014년부터 지속적으로 감소하는 추세이나, 재해자와 사망자는 일정한 수준으로 유지되고 있는 것을 보아, 화재 발생 시 근로자의 안전한 대피를 위한 조치는 아직 미숙하다고 볼 수 있다.
- 특히 건설업의 경우 2020년 4월 물류센터 화재로 인해 재해자 및 사망자수가 크게 증가하여 화재 발생 시 유독가스, 연기 등에 의한 피해가 최소화될 수 있도록 보호구 확대 지급에 대한 필요성이 증대되고 있다.



[그림 III-19] 제조업 연도별 화재 피해 현황

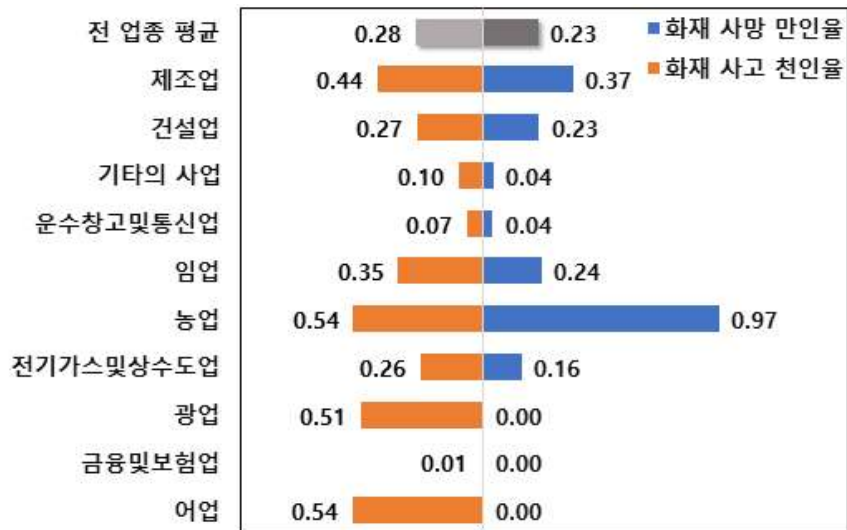


[그림 III-20] 건설업 연도별 화재 피해 현황

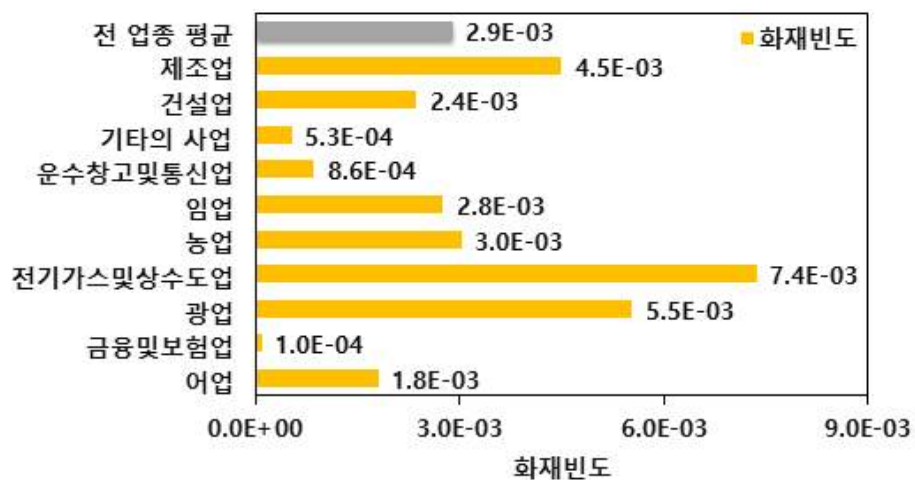
나. 화재 Risk 분석

- 이에 따라 방연마스크 지급 대상으로 제조업과 건설업이 실제 화재 위험성이 높은 업종인지 분석하기 위해 정량적 비교를 실시하여 화재 Risk 분석을 진행하였다.
- 업종별 화재 사고 천인율의 경우 1차 산업인 농업, 어업, 광업에서 가장 높게 나타났으며, 제조업, 임업, 건설업, 전기가스 및 상수도업, 기타의 사업, 운수창고 및 통신업, 금융 및 보험업의 순으로 값이 측정되었다.
- 화재 사망 만인율은 농업이 가장 높게 나타났고, 제조업, 임업, 건설업, 전기가스 및 상수도업, 기타의 사업, 운수창고 및 통신업 순이며, 어업, 광업, 금융 및 보험업의 화재 사망 만인율은 0으로 화재로 인한 사망자가 발생하지 않았던 것을 알 수 있다.
- 화재 빈도의 경우 전기가스 및 상수도업에 가장 크게 나타났으며, 광업과 제조업에서 비교적 높게 나타났다.

- 이에 따라 화재 사고의 재해자와 사망자가 가장 많은 2차 산업군인 제조업과 건설업이 1차 산업군에 속하는 업종보다 낮은 Risk를 나타내지만, 전체 산업의 평균보다는 높은 수준을 나타낸다.



[그림 III-21] 업종별 화재 사고 천인율 및 사망 만인율



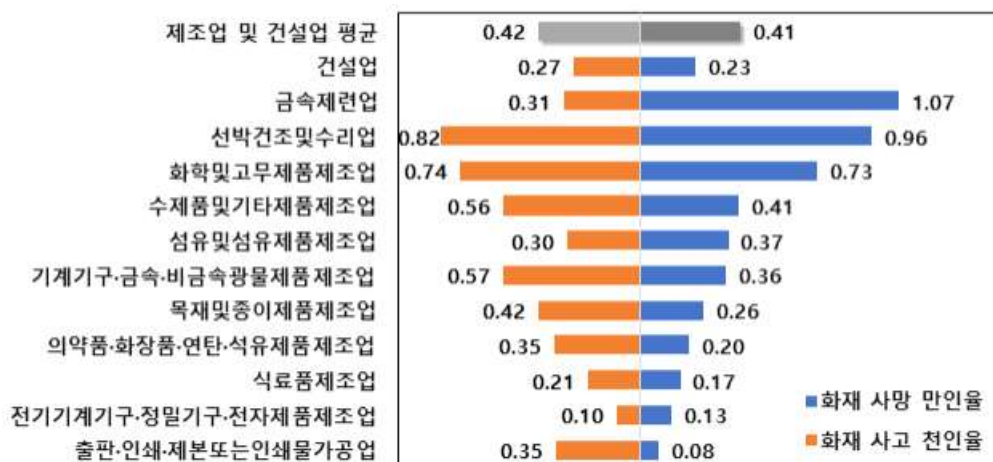
[그림 III-22] 업종별 화재 발생 빈도

- 화재 위험 Risk가 가장 높았던 1차 업종에서, 사망자가 발생하였거나, 2명 이상의 재해자가 발생한 사고 사례를 심층 분석하였다(소방청, 2019).
- 총 10건의 화재 사건이 확인되었고, 이 중 7건은 농업에서, 3건은 임업에서 발생하였다. 화재 개요를 토대로 근로자가 어떤 유형의 상해를 당하였는지 확인하였고 이 중 방연 마스크로 대피에 도움을 받을 수 있는 질식은 2건으로 확인되었다.
- 2010년에 발생한 화재는 숙소에서 원인 불명의 화재로 질식하여 사망자가 발생한 화재 1건, 2013년 산불진화 중 질식하여 사망자가 발생한 건 1건으로 모두 화재로 발생한 유독가스로 인해 질식 사망한 것으로 확인된다.

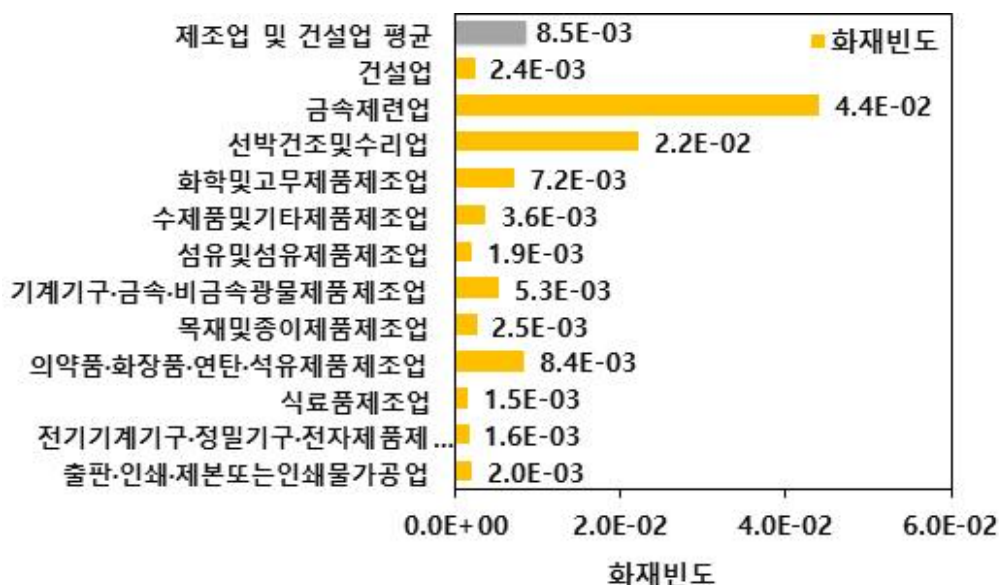
〈표 Ⅲ-2〉 1차 산업에서 발생한 화재 사례

업종	일시	개요	피해유형	인명피해 (명)
농업	2010.01.15	숙소에서 원인 불명의 화재로 사망	질식	사망 1
농업	2012.12.11	기숙사 화재로 인해 전신 화상 및 사망	화상	사망 1
농업	2013.01.16	가야산알찬학교 내 화재 발생으로 전신 화상 및 사망	화상	사망 1
농업	2013.06.08	예취기 기름을 옮겨담는 작업 중 휘발유 유출로 화재 발생하여 사망	화상	사망 1
농업	2015.11.21	보조난방장치 점화 중 화재 발생으로 화상 및 사망	화상	사망 1
농업	2014.12.30	알 수 없는 화재로 2명의 화상	화상	부상 2
농업	2018.04.05	열처리 과정에서 화재로 인한 3명 화상	화상	부상 3
임업	2011.12.06	옷에 묻어있던 기름이 모닥불을 지나가다 옮겨 붙어 화상 및 사망	화상	사망 1
임업	2013.11.28	산불진화 중 질식 사망	질식	사망 1
임업	2010.06.16	예초기 점검 중 기름이 었어져 2명 화상	화상	부상 2

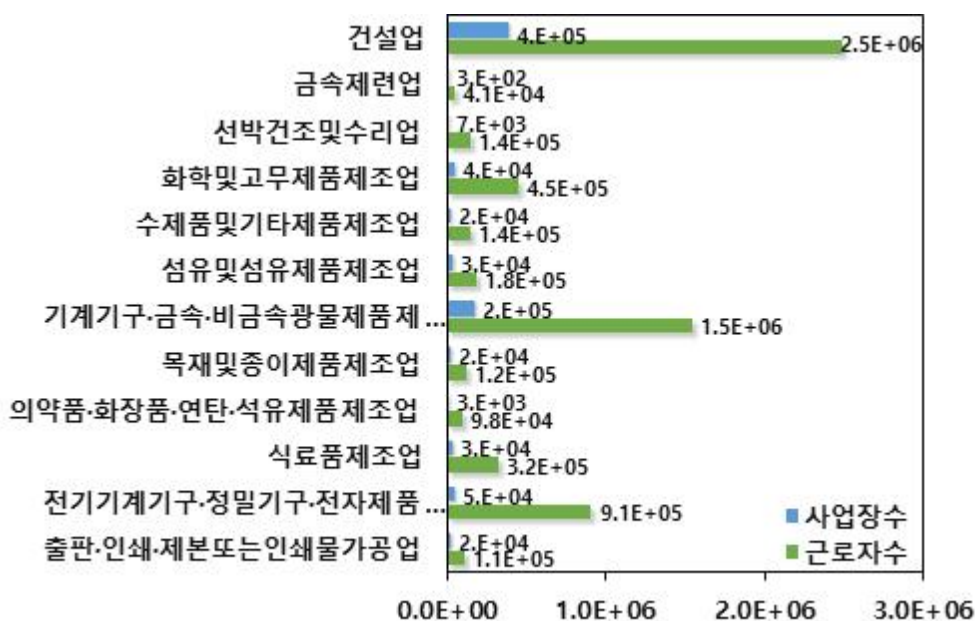
- 2차 산업군에서 2010년 ~ 2019년 평균 화재 사고 천인율은 선박 건조 및 수리업, 화학 및 고무제품 제조업, 기계기구·금속·비금속광물제품 제조업, 수제품 및 기타제품 제조업 순으로 나타나 화재로 인한 재해자가 다수 발생한 것으로 확인된다.
- 특이점으로 금속 제련업에서 화재 사고 천인율은 낮게 나타났으나, 화재 사망 만인율이 가장 높게 나타난 것으로 확인되었다. 이에 금속 제련업에서 어떤 유형의 화재로 사망자가 발생하였는지 확인해 보았을 때 총 3건의 화재이며, 이로 인한 사망자 수는 총 4명이고, 자세한 사고 사례는 표 2와 같다.
- 화재 빈도 또한 금속 제련업이 가장 높게 나타났다. 다만, 실제 화재 발생건수는 10년간 11건이며 실제로 중대 재해에 포함되는 화재는 3건이다.
- 이에 따라 실제 화재 발생 건수나 재해자수에 비해 근로자수가 적은 업종의 화재 Risk가 크게 평가되는데, Risk가 큰 업종들에서 발생하는 화재 사례에서는 화상으로 인한 피해가 더 많았으므로 세부 공정별로 화재 사례를 분석하였다.



[그림 III-23] 2차 산업군의 화재 사고 천인율 및 사망 만인율



[그림 III-24] 2차 산업군의 화재 빈도



[그림 III-25] 2차 산업의 업종별 근로자 및 사업장수

다. 업종별 재해자수에 따른 화재 사고 분석

- 업종별 재해자수에 따른 화재건수를 추가로 조사하였으며, 2010. 01. 01. ~ 2020. 08. 30. 간 산업시설의 화재는 중복된 사건을 제외하고 총 3,048건이 집계되었다. 재해자수별 화재 발생 건수를 확인한 결과 97.3%가 2명 이하의 재해자가 발생한 화재로 집계되었다.
- 또한, 9명 이상의 재해자가 발생한 화재는 건설업 4건, 제조업 3건, 기타의 사업 2건이 발생하였으며, 총 화재 발생건에서 0.26%로 매우 적은 비중을 차지하고 있다. 하지만, 건설업과 제조업의 경우 2명 이상의 재해자가 발생한 사고가 다른 업종에 비해 많은 것으로 확인된다.
- 이를 통해 화재 발생 시 대부분의 근로자가 안전하게 대피하였으며 화재 현장에 있던 소수의 근로자만 상해를 입은 것으로 확인되며, 건설업과 제조업의 경우 다른 업종에 비해 비교적 대형 화재가 많이 발생하는 것을 알 수 있다.

〈표 III-3〉 업종별 재해자수에 따른 화재발생건수

	재해자수(명)								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9 이상
건설업	610	60	14	1	1	1	.	1	4
광 업	6	.	.	.	.	.	.	.	.
금융및보험업	4	.	.	.	.	.	.	.	.
기타의사업	670	37	11	3	.	.	1	.	2
농 업	27	1	1	.	.	.	.	.	.
어 업	2	.	.	.	.	.	.	.	.
운수·창고 및 통신업	55	1	.	.	.	.	.	.	.
임 업	31	1	.	.	.	.	.	.	.
전기·가스· 증기 및 수도사업	11	1	1	.	.	.	.	.	.
제조업	1,351	98	25	7	4	.	.	2	3
총 합계	2,767	199	52	11	5	1	1	3	9

〈표 Ⅲ-4〉 업종별 재해자수에 따른 화재발생비율

	재해자수(명)									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10 명이 상
건설업	88.2%	8.7%	2.0%	0.1%	0.1%	0.1%	-	0.1%	-	0.6%
광업	100%	-	-	-	-	-	-	-	-	-
금융 및 보험업	100%	-	-	-	-	-	-	-	-	-
기타의 사업	92.5%	5.1%	1.5%	0.4%	-	-	0.1%	-	-	0.3%
농업	93.1%	3.4%	3.4%	-	-	-	-	-	-	-
어업	100%	-	-	-	-	-	-	-	-	-
운수·창고 및 통신업	98.2%	1.8%	-	-	-	-	-	-	-	-
임업	96.9%	3.1%	-	-	-	-	-	-	-	-
전기·가스·증기 및 수도사업	84.6%	7.7%	7.7%	-	-	-	-	-	-	-
제조업	90.7%	6.6%	1.7%	0.5%	0.3%	-	-	0.1%	0.1%	0.1%
총 합계 비율	90.8%	6.5%	1.7%	0.4%	0.2%	-	-	0.1%	-	0.3%

- 재해자수 뿐 아니라, 사망자수에 따른 화재발생건수도 추가로 집계하였

으며 2010.01.01. ~ 2020.08.30. 간 총 3,048건의 화재를 분석하였다.

- 분석 결과, 전체 화재 사건 중 92.9%가 사망자가 발생하지 않았으며, 이중 1명 이상의 사망자가 발생한 화재는 2% 미만이다.
- 다만, 건설업의 경우 2020년 물류센터 건설 현장의 화재로 인해 35명의 사망자가 나타난 사고 사례가 비교적 최근 발생하였던 것으로 확인되었다. 이에, 해당 화재 사건과 같이 사망자가 3명 이상 발생했던 사례를 추가 조사하였다.

〈표 III-5〉 업종별 사망자수에 따른 화재발생건수

	사망자수(명)								
	없음	1	2	3	4	5	6	8	35
건설업	642	38	7	2	1	.	1	.	1
광 업	6	.	.	.	.	.	.	.	.
금융및보험업	4	.	.	.	.	.	.	.	.
기타의사업	692	29	2	1	.	.	.	.	.
농 업	24	5	.	.	.	.	.	.	.
어 업	2	.	.	.	.	.	.	.	.
운수·창고 및 통신업	51	5	.	.	.	.	.	.	.
임 업	30	2	.	.	.	.	.	.	.
전기·가스·증기및수도사업	12	1	.	.	.	.	.	.	.
제조업	1,369	107	12	.	.	1	.	1	.
총합계	2,832	187	21	3	1	1	1	1	1

〈표 III-6〉 업종별 사망자수에 따른 화재발생비율

	사망자 수(명)								
	없음	1	2	3	4	5	6	8	35
건설업	92.8%	5.5%	1.0%	0.3%	0.1%	-	0.1%	-	0.1%
광업	100%	-	-	-	-	-	-	-	-
금융및보험업	100%	-	-	-	-	-	-	-	-
기타의사업	95.6%	4.0%	0.3%	0.1%	-	-	-	-	-
농업	82.8%	17.2%	-	-	-	-	-	-	-
어업	100%	-	-	-	-	-	-	-	-
운수·창고 및 통신업	91.1%	8.9%	-	-	-	-	-	-	-
임업	93.8%	6.3%	-	-	-	-	-	-	-
전기·가스·증기 및 수도사업	92.3%	7.7%	-	-	-	-	-	-	-
제조업	91.9%	7.2%	0.8%	-	-	0.1%	-	0.1%	-
총 합계 비율	92.9%	6.1%	0.7%	0.1%	-	-	-	-	-

- 3명 이상의 화재가 발생한 사례는 전 업종을 통틀어 8건이 확인되었으며, 이 중 건설업 5건, 제조업 2건, 기타의 사업 1건이다. 또한 2018년부터 발생한 화재가 4건으로 비교적 최근에도 화재로 인한 근로자 피해가 빈번히 발생한 것으로 알 수 있다.
- 2010년부터 약 2년간의 간격으로 근로자가 3명 이상 사망하는 화재가 꾸준히 발생하고 있던 것으로 확인되며, 건설업의 경우 가장 많은 사건이 있었고 또한 자료에는 집계되지 않았지만 2021년 6월에 물류센터에서 대형 화재로 인한 피해가 추가로 발생하였다.

- 이에 따라 건설업의 경우 다른 업종에 비해 화재 대피에 대한 대처가 부족한 근로 현상이 있을 수 있다는 우려가 있으며, 방연마스크 비치 시 이러한 대형 화재에 대한 피해자 발생에 예방이 될 수 있을 것으로 예상된다.

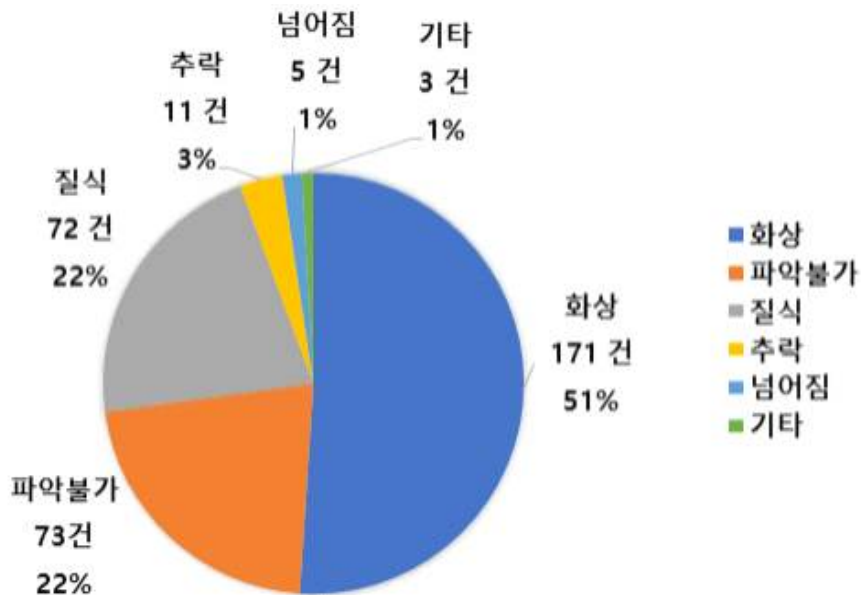
〈표 III-7〉 사망자수가 3명 이상 발생한 화재 사례

일시	업종	재해자수	사망자수	개요
20101119	건설업	4명	3명	전력 케이블 연결 작업 중 피트 내에서 화재 발생.
20120618	제조업	11명	8명	원인을 알 수 없는 폭발 화재 발생.
20120813	건설업	14명	4명	OO에서 화재 발생.
20160910	건설업	6명	6명	용단 작업 중 불티로 인한 화재 발생.
20180126	기타의 사업	33명	3명	OO병원 화재 발생.
20180626	건설업	24명	3명	아파트 건설 현장 지하주차장에서 폭발음과 함께 화재 발생.
20180821	제조업	8명	5명	천장 내부에서 전기적 원인의 화재 발생.
20200429	건설업	43명	35명	OO물류센터 신축공사 현장에서 화재 발생.

- 최근, 우리나라는 OECD 회원국 중 산업재해 사망률 1위로 대두되면서 ‘중대재해처벌법’이 제정되었다. 해당 법에서는 사망자가 1명 이상이 발생할 경우, 6개월 이상 치료가 필요한 부상자가 2명 이상 발생, 대통령령으로 정하는 직업성 질병자가 1년 이내 3명 이상 발생하는 경우를 중대재해라고 정의하였다.
- 중대재해에 속하는 화재 사례의 대표적인 예로는 2020년 OO 물류센터에서 발생한 화재가 있으며 해당 화재 사건 이후에도 2020년 10월 주상복합에서 발생한 화재, 2021년 또 한 번 발생한 화재 등 대형 화재들이 산업 현장에서 발생하고 있다.
- 이에 따라 2010년부터 중대재해처벌법에서 정의하는 중대재해에 속하

는 화재에서 근로자들이 어떤 유형으로 피해를 입었는지에 대한 분석을 진행하였으며, 총 335건의 화재건수가 확인되었다.

- 피해 유형은 사고 개요로 피해자들이 작성한 내용을 토대로 분류하였으며, 화상이 171건, 파악 불가 73건, 질식 72건, 추락 11건, 넘어짐 5건, 기타 3건으로 화상이 전체의 51%에 속한다.



[그림 III-26] 중대재해 화재 시 피해유형별 화재발생건수

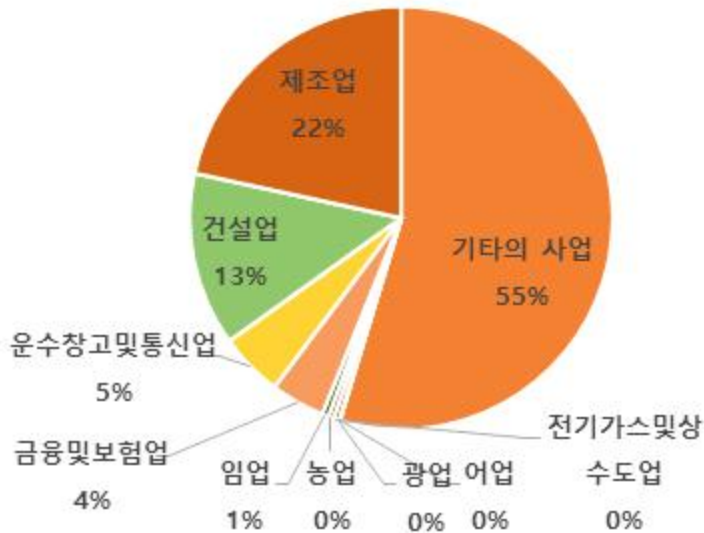
〈표 III-8〉 중대재해 화재 시 인명피해 유형에 따른 업종별 화재발생건수

	기타	넘어짐	질식	질식, 화상	추락	파악불가	화상
건설업	-	-	30건	-	6건	21건	50건
기타의사업	2건	3건	17건		1건	25건	28건
농업	-	-	-	-	-	-	2건
운수·창고 및 통신업	-	-	-	-	-	-	1건
임업	-	-	-	-	-	-	1건
전기·가스·증기 및 수도사업	-	-	-	-	-	-	2건
제조업	1건	2건	24건	3건	4건	27건	85건

- 1차 산업에서 중대재해급 화재가 어떤 유형으로 발생하는지 알아보았을 때, 표 1과 같이 10년간 10건 발생하였으며, 주로 화상에 의한 재해가 많아 방연마스크의 착용이 불필요한 것으로 확인되었다.
- 또한, 우리나라 전체 근로자 수 비율은 기타의사업 40%, 제조업 37%, 건설업 14%, 운수창고 및 통신업 4%, 금융 및 보험업 4%, 그 외 1차 산업군은 1%대이다.
- 이에 따라 우리나라 근로자의 대부분이 포함되어 있고, 화재로 인한 재해가 가장 많이 발생했던 2차 산업군인 제조업과 건설업 중심으로 Risk 비교를 진행하는 것이 실질적이라고 판단되었다.

〈표 Ⅲ-9〉 2010년 ~ 2019년 1차 산업에서 중대재해급 화재 발생 사례

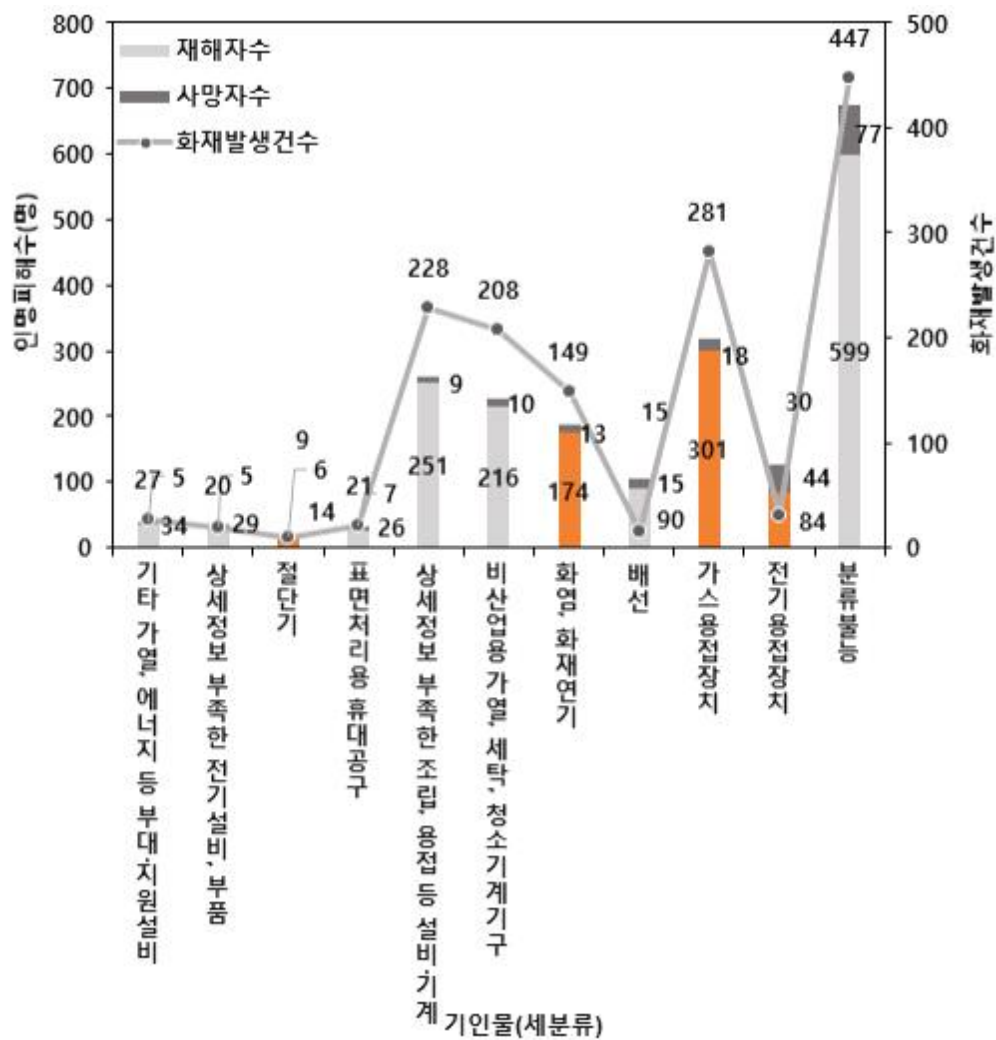
업종	일시	개요	피해유형
농업	2010.01.15	숙소에서 원인 불명의 화재로 사망	질식
농업	2012.12.11	기숙사 화재로 인해 전신 화상 및 사망	화상
농업	2013.01.16	학교 내 화재 발생으로 전신 화상 및 사망	화상
농업	2013.06.08	예취기 기름을 옮겨 담는 작업 중 휘발유 유출로 화재 발생하여 사망	화상
농업	2015.11.21	보조난방장치 점화 중 화재 발생으로 화상 및 사망	화상
농업	2014.12.30	알 수 없는 화재로 2명의 화상	화상
농업	2018.04.05	열처리 과정에서 화재로 인한 3명 화상	화상
임업	2011.12.06	옷에 묻어있던 기름이 모닥불을 지나가다 옮겨 붙어 화상 및 사망	화상
임업	2013.11.28	산불진화 중 질식 사망	질식
임업	2010.06.16	예초기 점검 중 기름이 엎어져 2명 화상	화상



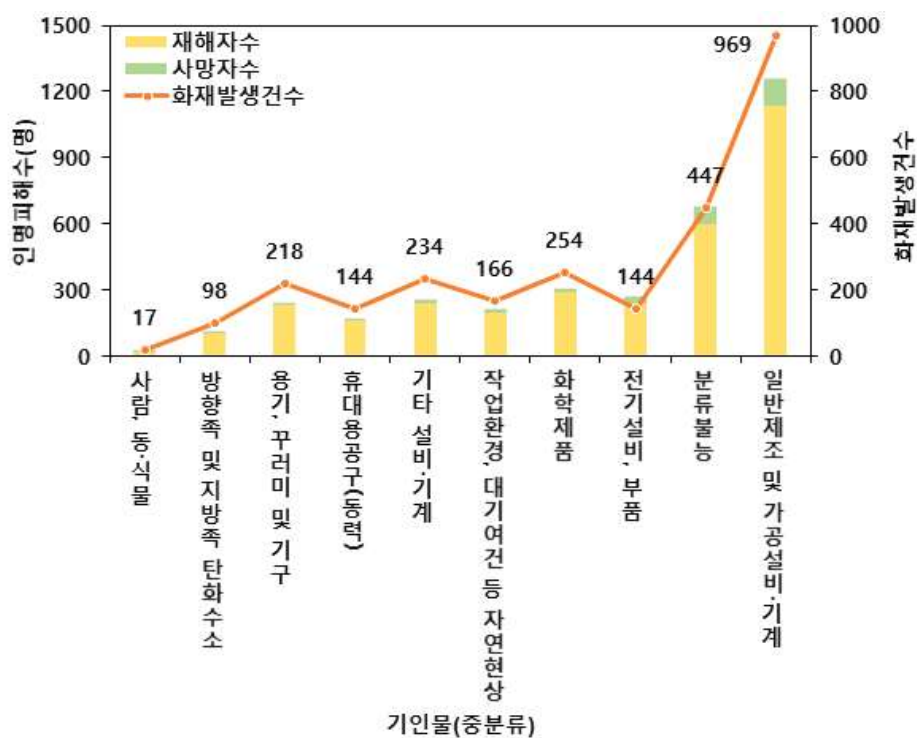
[그림 III-27] 업종별 근로자수 분포

라. 기인물별 화재 사고 분석

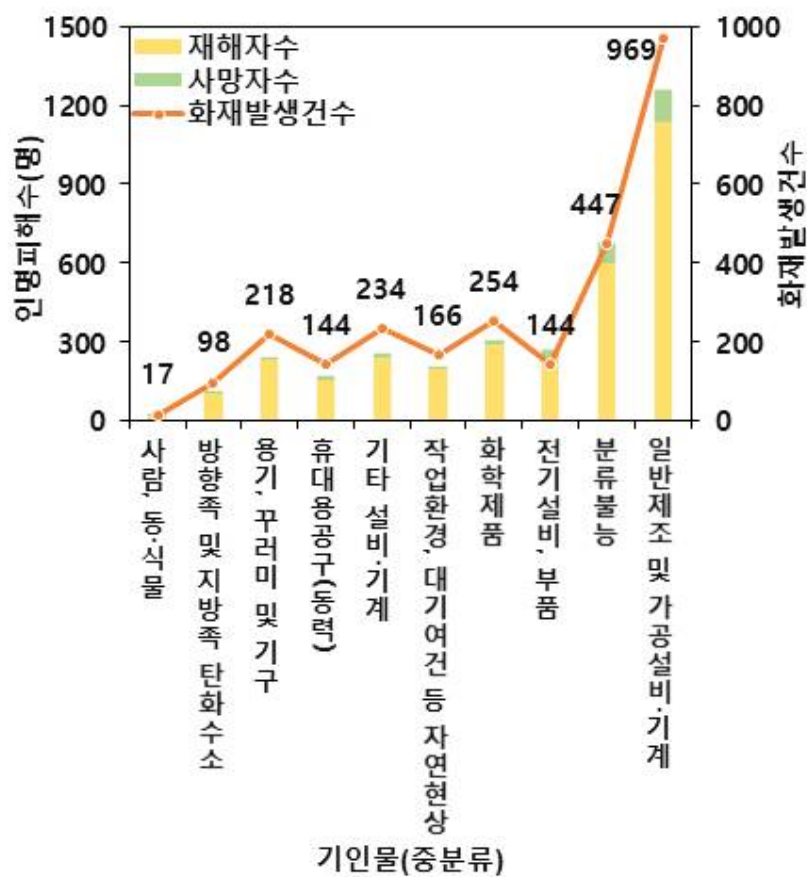
- 산업 시설의 화재 사례에서 전체 238개의 세부 기인물 중 상위 10개 기인물에 의한 화재는 1,435건으로 전체 화재 3,048건의 47.1%에 해당한다.
- 중분류 기인물에서는 전체 45개 분류 중 10개 항목만 그래프에 나타났으며, 전체 3,048건 중 2,243건으로 73.6%에 해당한다. 소분류 기인물에서는 전체 146개 분류 중 10개 항목만 그래프에 나타났으며, 3,048건 중 2,691건으로 88.3%에 해당한다.
- 상위 10개의 세부기인물 중 가스용접장치, 용접 등의 설비기계, 전기용접장치가 화기 작업과 직접 관련된 것으로 추정된다.
- 하지만, 세부 기인물로는 화기 작업과 직접 관련된 작업의 화재 Risk를 분석하는데 한계가 있다.



[그림 III-28] 기인물(세분류)별 화재발생현황



[그림 III-29] 기인물(소분류)별 화재발생현황



[그림 III-30] 기인물(중분류)별 화재발생현황

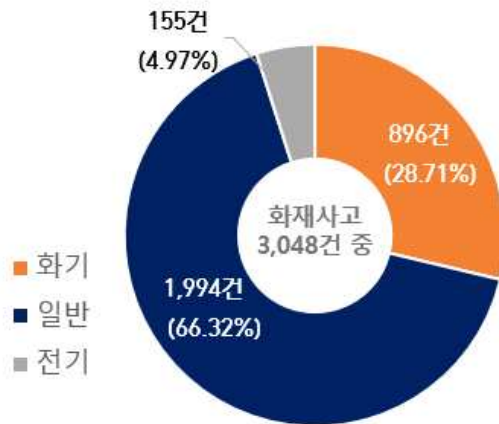
마. Text-mining을 이용한 화재 사고 원인 분석

- 2010. 01. 01. ~ 2020. 08. 30.에 발생한 3,048건 화재사고의 각 개요에 존재하는 중복 단어를 제거한 후, Text-mining을 이용하여 불용어를 제거하면 총 94,763개 단어가 추출된다.
- 이와 같이 1차적으로 추출한 단어의 빈도 계산과 word cloud 생성을 진행하였다.



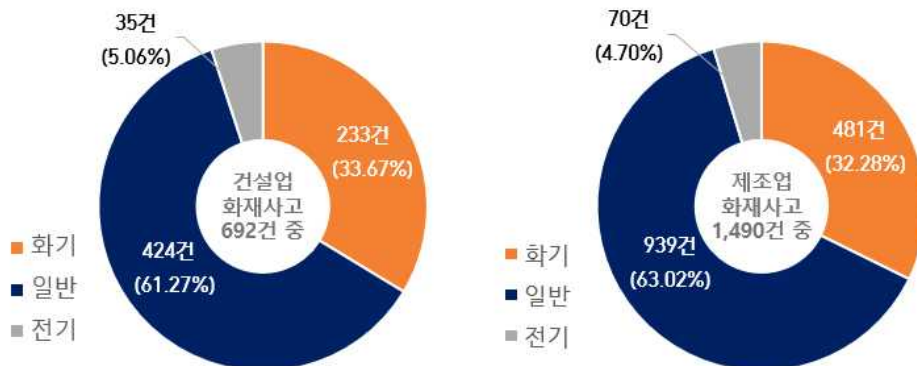
[그림 III-31] 1차 추출 단어의 빈도수 및 Word Cloud

- 1차로 추출한 단어에는 화상, 화재, 발생, 작업, 화재 등 화재 사고 원인을 추측할 수 없는 단어들을 다수 포함하고 있다. 따라서, 사고 발생 장소, 기인물, 점화원 등 사고 원인을 추측할 수 있는 단어만 2차로 추출하여 단어 빈도 계산과 word cloud 생성을 시행하였다.
- 2차로 추출한 단어에는 가스, 용접, 산소, 스파크, 절단, 알콜 등 작업을 추측할 수 있는 단어들이 포함되어 있다.



[그림 III-34] 총 3,048건 화재 사고의 작업 유형별 화재사고 비율

- 앞서 2010년부터 2019년까지의 화재로 인한 인명피해를 분석하였을 때 2차 산업군 중 가장 많은 재해자수가 발생한 산업군은 제조업과 건설업이라는 것을 고려하여 추가적으로 제조업과 건설업의 화재 사고 중 화기 작업에 의한 화재사고 비율을 계산하였다.
- 각각 233건(33.67%), 484건(32.28%)으로 전체 산업에 비해 조금 더 높았으나 이 또한 화기작업에 의한 화재사고 발생 비율이 높지 않음을 알 수 있었다.



[그림 III-35] 건설업 · 제조업 화재 사고의 작업 유형별 화재사고 비율

- 정리하자면, 모든 산업의 화재사고가 화기작업과 전기작업 외의 작업 시에 많이 발생하였으며, 화재로 인한 인명피해가 큰 건설업 및 제조업의 화재사고 역시 같은 양상을 보인다.
- 즉 산업 불문하고, 화재사고가 발생하는 작업이 다양하므로 특정 작업, 산업을 지정하여 방연마스크를 지급하는 것은 어렵다.

바. 화재통계분석 소결

- 산업시설의 화재에서 연도별 화재발생 및 재해자는 줄어들고 있는 추세이다. 전체 산업 재해로 인한 사망자는 줄어들고 있는 추세이나, 화재로 인한 사망자는 일정 수준 유지되고 있으며 대형 사고로 인한 증감폭이 크기 때문에 방연마스크의 비치를 확대할 경우 대형 화재에서 근로자들의 질식 사망에 대한 대비가 될 수 있다.
- 또한 업종별로도 화재 발생으로 인한 인명 피해 현황은 제조업과 건설업에서 전체의 72%의 재해자가 발생한다. 하지만, 제조업의 연도별 화재발생건수 및 재해자수는 해마다 감소하는데 비해, 건설업의 경우 화재건수는 줄어들고 있지만 화재로 인한 인명 피해는 등락을 반복하고 있다.
- 이에 업종별 구분 만이 아닌 작업 공정에서의 화재 상황을 위해 기인물 분석을 했을 때, 전체 산업에서의 화기 작업에 의한 화재는 약 28.7%이며, 건설은 33.7%, 제조업 32.3%로 확인되었다. 이에 방연마스크의 지급을 의무화할 경우, 제조업과 건설업 근로자 중 화기작업자를 우선순위로 두는 부분을 고려할 필요가 있다.
- 또한 심층적인 분석을 위해 각 업종별 사고 천인율 및 사망 만인율, 화재 빈도를 통해 화재 발생 risk를 분석하였다. 사고 천인율의 경우 1,2차 산업군에서 높은 값을 나타낸 것에 비해 사망 만인율은 1차 산업군인 농업에서 가장 크게 나타났다. 또한 화재 빈도는 전기가스 및 상수도업, 광업, 제조업, 농업, 임업 건설업 순으로 높은 값이 나타났다.

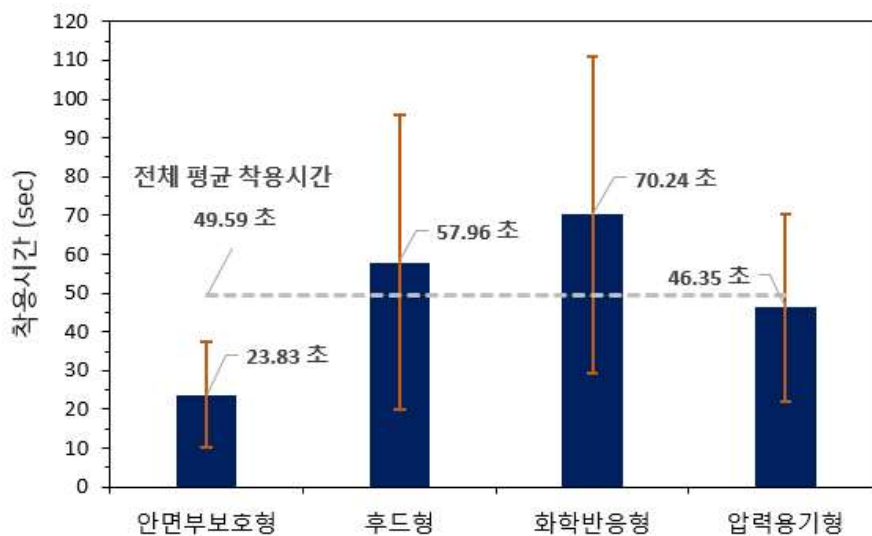
- 전체 화재 발생건이 가장 많았던 건설업과 제조업을 중심으로 중업종 분석을 진행했다. 사고 천인율은 선박건조수리업이 가장 높은 값을, 사망만인율은 금속 제련업이 가장 높게 나타났다. 이에, 화재가 많이 발생한다고 리스크가 큰 것은 아니며, 건설업과 제조업은 그만큼 해당 업종의 근로자수 및 사업장수가 전체 산업에서 30% 이상을 차지하고 있어 근로자수 대비 화재 재해자는 1차 산업보다 낮은 수치가 나올 수 있다.
- 하지만 인명피해의 규모에 따라 화재 발생건을 살펴볼 때 제조업과 건설업만이 다수의 사상자가 발생한 화재건이 발견되었고, 대부분의 업종에서 화재 시 2명 이상의 피해가 발생하지는 않았다. 그렇기에 제조업과 건설업을 중심으로 대형 화재에 대비하기 위한 방연마스크 비치의 확대는 고려해볼 만한 사항이다.
- 전체 산업 화재 중 화기 작업에 의한 화재는 약 28.71%이며, 전기 작업에 의한 화재는 약 4.97%, 기타 작업에 의한 화재는 약 66.32%로 화기 작업에 의한 화재사고 발생 비율이 예상보다 크지 않다.
- 화재(2010년 ~ 2019년에 발생한 화재)로 인한 재해자수가 가장 많이 발생한 제조업과 건설업의 경우에도 화기 작업 화재의 비율은 각각 32.28%와 33.67%이고, 전기 작업 화재 비율은 각각 4.70%, 5.06%, 기타 작업 화재 비율은 각각 63.02%, 61.27%로 전체 산업과 마찬가지로 화기작업에 의한 화재사고 발생 비율이 높지 않았다.
- 모든 산업의 화재사고는 화기작업, 전기작업 외의 다양한 작업을 실시할 때에 많이 발생하며, 건설업과 제조업 또한 모든 산업과 같은 양상을 보이기 때문에 산업, 작업을 특정하여 방연마스크를 의무 지급하는 것은 어렵다.

3. 방연마스크 착용 편리성 및 활동성 시험

가. 착용 편리성 시험 결과

1) 방연마스크 종류별 착용 시간

- 착용 편리성 시험 결과를 통해 마스크 종류별 평균 착용 시간을 알 수 있다. 착용하는데 ▲안면부 보호형 정화식 방연마스크는 약 24.37초, ▲후드형 정화식 방연마스크는 약 57.49초, ▲화학반응형 자급식 방연마스크는 약 62.10초, ▲압력용기형 자급식 방연마스크는 약 48.44초가 소요되며, 전체 평균 착용시간은 약 49.59초이다.
- 손수건형 정화식 방연마스크는 착용방법이 비교적 쉬워 포장지를 뜯는 시간 외에 1초 이내에 착용이 가능하므로 다른 종류의 방연마스크의 착용시간과 비교하지 않았다.



[그림 II-36] 방연마스크 종류별 평균 착용 시간 및 표준편차

- 시험 결과, 방연마스크 종류별 착용시간과 개인별 착용시간 편차가 큰 것을 알 수 있었다.

2) 안경 착용 여부에 따른 착용 시간

- 시험에 사용한 방연마스크 모두 안면부를 보호하는 형태이기 때문에 착용 및 고정 시 안경이 영향을 줄 수 있다. 따라서, 안경 착용 집단과 안경 미착용 집단의 착용 시간을 측정하고, 비교하였다.
- 착용하는데 ▲안면부 보호형 정화식 방연마스크는 안경 착용 집단 약 23.94초, 미착용 집단 약 24.88초 ▲후드형 정화식 방연마스크는 안경 착용 집단 약 51.79초, 미착용 집단 61.76초 ▲화학반응형 자급식 방연마스크는 안경 착용 집단 약 67.03초, 착용 집단 약 60.16초 ▲압력용기형 자급식 방연마스크는 안경 착용 집단 약 51.82초, 미착용 집단 약 45.30초가 소요되었다.

〈표 Ⅲ-10〉 안경 착용 여부에 따른 방연마스크 종류별 착용시간 (sec)

		안경 착용 집단	안경 미착용 집단
정화식	후드형 방연마스크	약 51.79초	약 61.76초
	안면부 보호형 방연마스크	약 23.94초	약 24.88초
자급식	화학반응형 방연마스크	약 67.03초	약 60.16초
	압력용기형 방연마스크	약 51.82초	약 44.40초

- 방연마스크 착용시간이 안경 착용 유무에 따라 큰 차이를 보이지 않았으

며, 안경 미착용 시 착용시간이 더 긴 경우도 있었다. 즉, 안경 착용 유무는 착용시간에 큰 영향을 미치지 않는 것으로 보였다.

3) 착용법 교육 여부에 따른 방연마스크 종류별 착용 시간

- 방연마스크 착용법 교육의 필요성을 검토하기 위해 방연마스크 착용법 미교육 집단과 교육 집단으로 나누어 이들의 착용 시간을 측정하고, 비교하였다.
- 교육 여부에 따른 시야확보 정도별 평균 착용 시간은 ▲시야가 확보되는 환경에서 미교육 집단 약 38.41초, 교육 집단 약 39.58초 ▲시야가 제한되는 환경에서 미교육 집단 약 72.71초, 교육 집단 약 50.38초이다.
- 시야가 확보되는 환경에서는 미교육 집단과 교육 집단의 착용시간 차이가 크지 않았으나, 시야가 제한되는 환경에서는 교육집단의 착용시간이 확연히 짧았다. 또한, 시야가 확보되는 환경 대비 시야가 제한되는 환경에서의 착용시간이 미교육 집단은 1.87배, 교육 집단은 1.27배이다.

〈표 III-11〉 미교육·교육 집단의 시야확보 정도별 착용시간 (sec)

	미교육 집단	교육 집단	전체 집단
시야가 확보되는 환경	약 38.41	약 39.58	약 44.94
시야가 제한되는 환경	약 71.72	약 50.38	약 55.66

- 교육 여부에 따른 마스크 종류별 평균 착용 시간은 ▲안면부 보호형 정화식 방연마스크 미교육 집단 약 30.39초, 교육 집단 18.35초 ▲후드형 정화식 방연마스크 미교육 집단 약 52.04초, 교육 집단 약 58.28초 ▲화학반응형 자급식 방연마스크 미교육 집단 약 58.43초, 교육 집단 약 56.56초 ▲압력용기형 자급식 방연마스크 미교육 집단 약 57.63초, 교육 집단 약 39.25초이다.

〈표 III-12〉 미교육 · 교육 집단의 방연마스크 종류별 착용시간 (sec)

		미교육 집단	교육 집단
정화식	후드형 방연마스크	약 52.04초	약 58.28초
	안면부 보호형 방연마스크	약 30.39초	약 18.35초
자급식	화학반응형 방연마스크	약 58.43초	약 56.56초
	압력용기형 방연마스크	약 57.63초	약 39.25초

- 다른 방연마스크에 비해 비교적 착용 방법이 간단하고, 착용 시 주의사항이 까다롭지 않은 안면부 보호형 정화식 방연마스크와 압력용기형 자급식 방연마스크는 교육 집단의 착용 시간이 확연히 빨랐다. 하지만, 비교적 착용 방법이 어렵고, 착용 시 주의사항이 까다로운 나머지 방연마스크 착용 시간은 교육 여부에 따라 큰 차이가 없었으며, 교육 집단의 착용시간이 더 긴 경우도 있었다.
- 하지만, 교육 집단의 경우, 착용 후 제대로 착용이 되었는지 확인까지 거치기 때문에 착용하는데 시간이 더 걸린 것이었으며, 착용 시 설명서를 본 횟수와 착용 주의사항 준수 여부를 비교하면 즉, 착용의 능숙함을 비교하면 교육 집단의 착용이 더 올바르다는 것을 알 수 있다.

5) 방연마스크 착용법 교육 여부에 따른 착용의 능숙함

- 방연마스크 착용법 교육의 필요성을 검토하기 위해 방연마스크 착용법 미교육 집단과 교육집단의 착용 시간 비교와 함께 방연마스크 착용 능숙함을 비교하고자 하였다. 방연마스크 착용의 능숙함을 비교하기 위해서

착용하는 동안 설명서를 본 횟수를 측정하고 방연마스크 종류별 착용 시 주의사항 준수 여부를 확인하였다.

- 교육 집단은 모두 설명서를 보지 않았으나 미교육 집단의 경우 과반수 설명서를 지속해서 보거나 한 번 이상 보는 경향을 보였다. 미교육 집단 중 설명서를 보지 않는 경우도 있었으나 이들은 대부분 착용 시 주의사항을 준수하지 않았다.

〈표 Ⅲ-13〉 미교육 · 교육 집단의 설명서를 본 횟수

(각 집단별 총 32회 Test 실시)

	0회	1회	2회 이상
미교육 집단	12회	4회	16회
교육 집단	32회	0회	0회

- 미준수 사항을 비교하면 미교육 집단의 경우 방연마스크 종류별 착용 시 주의사항을 미준수하는 경우가 대부분이었으며, 착용 미숙인 경우도 있었다. 교육 집단의 경우, 종류별 착용 시 주의사항을 준수하지 않는 경우는 없었으며, 착용 미숙인 경우가 드물게 있었다. 여기서 착용 미숙이라 함은 착용 방법을 알고 있고, 올바른 방법으로 착용하였으나 제대로 착용이 되지 않은 경우를 말한다.

〈표 III-14〉 미교육 · 교육 집단의 미준수 주의사항

(각 집단별 총 32회 Test 실시)

	미교육 집단		교육 집단	
총 미준수 횟수	21회		2회	
미준수 주의사항 및 미준수 횟수	내측, 외측 고무마개 제거 미실시	6회	조임 끈 조임 미숙	2회
	착용 전 호흡백에 1~2회 공기 불어 넣기 미준수	6회		
	착용순서 미준수	2회		
	마스크 위, 아래 반대로 착용	1회		
	코가 가려지지 않도록 착용	1회		
	조임 끈을 후드 밖으로 빼지 않음	1회		
	조임 끈 조임 미숙	4회		

- 앞서 보았던 착용법 교육 여부에 따른 방연마스크 종류별 착용시간에서 비교적 착용 방법이 어렵고, 착용 시 주의사항이 까다로운 방연마스크를 착용하는데 교육 집단이 미교육 집단보다 시간이 오래 걸림을 알 수 있었다. 하지만 이 결과를 설명서를 본 횟수, 방연마스크 종류별 착용 시 주의사항 준수 여부를 비교해 보면 교육집단이 방연마스크 착용을 더 올바르게 한다는 것을 알 수 있다.
- 따라서, 방연마스크 사용에 따른 화재 대피 효과를 높이기 위해서는 방연마스크 착용법에 대한 교육이 필요하므로 방연마스크 지급 의무화에 있어 착용법 교육도 고려해야 한다.

나. 활동성 시험 결과

1) 방연마스크의 물리적, 신체적 불편함 측정

- 방연마스크를 착용한 채 화재 대피 자세를 취하고 15m 길이의 복도를 이동하는 시간의 경우, 성별 및 개인의 신체적 능력에 따라 편차가 커 방연마스크 종류별 물리적, 신체적 불편함과 체력 한계를 보기 어려웠다. 하지만 마스크를 잡거나 바로 쓰는 행동은 정화식 방연마스크에 비해 무겁다는 특징을 가지고 있는 자급식 방연마스크를 착용하고 뛰었을 때 나타났다.

〈표 III-15〉 방연마스크 종류별 15m 이동 시간 및 마스크를 잡거나 바로 쓰는 행동을 취하는 횟수

	후드형 방연마스크	안면부 보호형 방연마스크	화학반응형 방연마스크	압력용기형 방연마스크
15m 이동 시간	약 7.25초	약 13.31초	약 7.04초	약 2.78초
마스크를 잡거나 바로 쓰는 행동	0회	0회	1회	4회

2) 방연마스크의 시야 확보 및 소통의 불편함 측정

- 방연마스크를 착용하였을 때 소통과 시야 확보의 불편함을 파악하기 위해서 15m를 뛴 후 5분간 대화를 하며 견도록 하였다. 대화 과정에서 5개의 질문을 피검자에게 하고, 질문에 대한 오답 수를 측정하여 소통의 불편함을 파악하였다. 이후, 6m 거리에서 문자판을 읽도록 하고, 오답 수를 기록하여 시야 확보가 잘 되는지 파악하였다.
- 문자를 잘못 읽는 경우가 드물었지만, 잘못 읽었던 피검자는 후드형 정화식 방연마스크, 안면부 보호형 정화식 방연마스크, 압력용기형 자급식

방연마스크를 착용하였으며, 모두 안경 착용자로 안경에 김이 서려 시야 확보의 어려움이 있었다.

- 질문을 되물었던 피검자는 총 8명으로 이들 중 2명이 후드형 정화식 방연마스크를 착용하였고, 6명이 압력용기형 자급식 방연마스크를 착용하였다.
- 문자를 잘못 읽는 횟수를 마스크 종류별로 정리하면 ▲후드형 정화식 방연마스크 1회, ▲안면부 보호형 정화식 방연마스크 8회, ▲화학반응형 자급식 방연마스크 0회, ▲압력 용기형 자급식 방연마스크 6회이다. 결과를 통해 안면부 보호형 정화식 방연마스크와 압력용기형 자급식 방연마스크를 착용하였을 때 안경이나 안면창에 김이 서리는 경우가 많다는 것을 알 수 있다.

〈표 Ⅲ-16〉 방연마스크 종류별 시야 확보 및 소통의 어려움

		문자 오답 횟수	질문 오답 횟수
정화식	후드형 방연마스크	1회	3회
	안면부 보호형 방연마스크	8회	0회
자급식	화학반응형 방연마스크	0회	0회
	압력용기형 방연마스크	6회	19회

- 소통이 잘되지 않는 횟수를 마스크 종류별로 정리하면 ▲후드형 정화식 방연마스크 3회, ▲안면부 보호형 정화식 방연마스크 0회, ▲화학반응형 자급식 방연마스크 0회, ▲압력 용기형 자급식 방연마스크 19회이다. 이를 통해 압력용기형 자급식 방연마스크가 특히 외부 소리를 듣는 데 불편함이 있음을 알 수 있다.

3) 시험 후 설문조사 결과

- 편리성 및 활동성 시험 이후, 실제 착용 시 불편감 등을 더욱 상세히 분석하기 위해 방연마스크의 착용감, 편리성 등에 대한 내용으로 구성된 문항으로 설문을 진행하였다.
- 피검자에게 느낀 물리적 불편감을 모두 표시하도록 하였을 때, 물리적 불편감 항목을 선택한 총횟수는 ▲안면부 보호형 정화식 방연마스크 6회 ▲후드형 정화식 방연마스크 7회 ▲ 화학반응형 자급식 방연마스크 10회 ▲압력용기형 자급식 방연마스크 7회이다. 화학반응형 자급식 방연마스크가 불편감을 가장 많이 느낀 방연마스크였으며 그 뒤를 후드형 정화식 방연마스크와 압력용기형 자급식 방연마스크, 안면부 보호형 정화식 방연마스크가 뒤를 잇는다.

〈표 III-17〉 방연마스크 착용하고 활동 시 방연마스크 종류별 물리적 불편감

	안면부 보호형 방연마스크	후드형 방연마스크	화학반응형 방연마스크	압력용기형 방연마스크
방연마스크 미고정에 의한 불편함	3회	2회	0회	1회
조임부분의 불편함	0회	2회	5회	1회
방연마스크 무게에 의한 불편함	0회	2회	4회	2회
방연마스크 크기에 의한 불편함	2회	1회	1회	0회
기타	1회 (시야확보의 어려움)	-	-	3회 (시야확보의 어려움) (호흡 시 안면부에 흡착) (안경 놀림)

- 피검자가 신체적으로 느낀 불편감을 모두 표시하도록 하였을 때, 신체적 불편감 항목을 선택한 총횟수는 ▲안면부 보호형 정화식 방연마스크 13회 ▲후드형 정화식 방연마스크 11회 ▲ 화학반응형 자급식 방연마스크

18회 ▲압력용기형 자급식 방연마스크 18회이다. 화학반응형 자급식 방연마스크와 압력용기형 자급식 방연마스크가 신체적 불편감을 가장 많이 느낀 방연마스크였으며 그 뒤를 안면부 보호형 정화식 방연마스크, 후드형 정화식 방연마스크가 뒤를 잇는다.

〈표 III-18〉 방연마스크 착용하고 활동 시 방연마스크 종류별 신체적 불편감

	후드형 방연마스크	안면부 보호형 방연마스크	화학반응형 방연마스크	압력용기형 방연마스크
호흡의 불편감	4회	7회	6회	6회
답답한 느낌	5회	3회	5회	5회
심리적 불안감	1회	2회	3회	4회
어지러움	0회	1회	3회	2회
기타	1회 (덥고, 습한 느낌)	-	1회 (열감)	1회 (폐쇄적인 느낌)

- 방연마스크 종류별 물리적·신체적 불편감을 분석하였을 때, 모든 방연마스크는 불편감이 있었다. 다만, 방연마스크 종류에 따라 불편감 항목이 다르다는 것을 알 수 있다. 즉, 방연마스크 종류별 각각 다른 단점이 있기에 특정 종류의 방연마스크를 선정하여 지급하는 것은 무리가 있다.

다. 착용성 및 활동성 시험 소결

- 방연마스크 종류별 평균 착용 시간은 ▲안면부 보호형 정화식 방연마스크는 약 24.37초, ▲후드형 정화식 방연마스크는 약 57.49초, ▲화학반응형 자급식 방연마스크는 약 62.10초, ▲압력용기형 자급식 방연마스크는 약 48.44초이다. 전체 평균 착용시간은 약 49.59초로 방연마스크 착용시간이 예상보다 길다는 것을 알 수 있다.

- 즉, 긴급 대피가 필요한 상황에서는 방연마스크의 의무 지급이 또 다른 어려움을 초래할 수 있다.
- 교육 여부에 따른 시야확보 정도별 착용 시간은 ▲시야가 확보되는 환경 미교육 집단 약 38.41초, 교육 집단 약 39.58초 ▲시야가 제한되는 환경 미교육 집단 약 72.71초, 교육 집단 약 50.38초이다.
- 시야가 제한되는 환경에서 교육 집단의 착용시간이 미교육 집단에 비해 짧다. 또한, 미교육 집단은 시야가 제한되는 환경에서의 착용시간이 시야가 확보되는 환경에서의 착용시간의 1.87배이고, 교육 집단은 1.27배로 교육 집단의 경우, 시야가 확보되지 않은 상황에서 더욱 신속하게 착용할 수 있음을 알 수 있다.
- 교육 여부에 따른 마스크 종류별 착용 시간은 ▲안면부 보호형 정화식 방연마스크 미교육 집단 약 30.39초, 교육 집단 18.35초 ▲후드형 정화식 방연마스크 미교육 집단 약 52.04초, 교육 집단 약 58.28초 ▲화학반응형 자급식 방연마스크 미교육 집단 약 58.43초, 교육 집단 약 56.56초 ▲압력용기형 자급식 방연마스크 미교육 집단 약 57.63초, 교육 집단 약 39.25초이다.
- 비교적 착용법이 복잡한 후드형 정화식 방연마스크와 화학반응형 자급식 방연마스크의 착용시간은 교육 집단이 착용 시간이 더 짧을 것이라는 예상과 다르게 두 집단 사이에 큰 차이가 없었으며, 오히려 미교육 집단의 착용시간이 더 짧은 경우도 있었다. 하지만, 교육 집단은 모두 설명서를 보지 않고 착용을 하였으며, 대부분이 착용 시 주의사항을 준수하고, 올바르게 착용되었는지 확인까지 하였다.
- 즉, 교육 집단이 방연마스크를 더 올바르게 착용하는 것으로 보아 화재 대피 효과를 높이기 위해서는 방연마스크 착용법 교육이 필요하므로 방연마스크 지급 의무화에 있어 착용법 교육도 고려해야 한다.
- 소통이 잘 되지 않는 횡수를 마스크 종류별로 정리하면 ▲후드형 정화식 방연마스크 3회, ▲안면부 보호형 정화식 방연마스크 0회, ▲화학반응형

자급식 방연마스크 0회, ▲압력 용기형 자급식 방연마스크 19회이다.

- 이를 통해 압력용기형 자급식 방연마스크가 특히 외부 소리를 듣는 데 불편함이 있으며, 후드형 정화식 방연마스크 역시 불편함이 있음을 알 수 있다.
- 문자를 잘못 읽는 횟수를 마스크 종류별로 정리하면 ▲후드형 정화식 방연마스크 1회, ▲안면부 보호형 정화식 방연마스크 8회, ▲화학반응형 자급식 방연마스크 0회, ▲압력 용기형 자급식 방연마스크 6회이다.
- 이를 통해 안면부 보호형 정화식 방연마스크와 압력용기형 자급식 방연마스크가 시야확보에 어려움을 초래한다는 것을 알 수 있다.
- 설문을 통해 물리적·신체적 불편감을 분석하였을 때, 방연마스크 종류에 따라 불편감 항목이 다를 뿐 모든 방연마스크는 불편감이 있다.
- 즉, 모든 종류의 방연마스크가 장·단점을 고루 가지고 있기 때문에 특정 종류의 방연마스크의 의무 지급은 무리가 있음을 알 수 있다.

4. 편익비용분석 결과

가. 비용편인분석 데이터

1) 마스크 가격 및 유통기한

- 마스크 가격과 유통기한의 경우 연구진에서 국내 유통된 유형별 마스크 가격과 유통기한의 평균값을 활용하였다.

〈표 Ⅲ-19〉 마스크 가격 및 유통기한

	가격(원)	유통기한(년)
자가공급식	86,050	5
정화식	51,568	5

2) 사업장수와 근로자수

- 대상은 전체 사업장 중 제조업과 건설업의 사업장 수로 한정하였다. 총 사업장 수는 412,916개이며, 근로자 수는 4,097,212명이다. 사업장수 근로자수는 3년(2017-2019)통계자료를 활용해 평균을 활용하였다. 또한 전체 종사자수는 자영업자, 상용근로자, 임시일용근로자, 무급가족 및 기타종사자의 합계이나 이 중 상용근로자로 제한하였다(고용노동부, 2021, 한국산업안전보건공단, 2021).
- 유해작업환경 사업장의 수는 110,134개이며, 근로자수는 875,956명이다. 유해작업환경 근로자수 데이터의 경우 2019년 데이터만 존재하여 본 데이터만을 활용하였다.

〈표 III-20〉 사업장 수와 근로자 수(고용노동부, 2021)

	사업장 수	근로자 수(명)
전체(제조업+건설업)	412,916	4,097,212
유해작업환경 사업장	110,134	875,956

3) 유해작업환경별 종사근로자수와 사업장수

- 전체 사업장 중 유해작업환경의 경우 한랭, 다습, 방사선의 경우 화재 위험도가 상당수준 낮음으로 제외하였다. 현재 2019년도 데이터만 존재하여 결과를 활용하였다.

〈표 III-21〉 유해작업환경별 종사근로자수와 사업장수(한국산업안전보건공단, 2021)

유해작업환경 유형	종사근로자수	조사사업장수
소음	379,506	23,418
진동	121,111	24,554
분진·흙	308,761	44,718
고열	66,578	10,678
한랭	23,117	5,541
다습	12,931	2,118
방사선	14,212	2,048
밀폐		6,744
사내도급		22

4) 사고재해자수와 사고사망자수

- 사고재해자수와 사고사망자수는 연구진이 활용한 보정된 데이터를 활용하였다. 2011년 - 2020년의 10년간의 평균을 활용하였다.

〈표 III-22〉 사고재해자수와 사고사망자수

	사고재해자수	사고사망자수
2011	310	21
2012	355	34
2013	232	14
2014	266	16
2015	228	21
2016	246	18
2017	185	16
2018	203	28
2019	144	11
2020	146	39
합계	2315	218
평균	231.5	21.8

나. 편익비용분석의 기본 가정

1) 비용추정 항목

- 대상 근로자 수에서 마스크 추가구매수요는 사업장마다 화기감시자에게 이미 방연마스크를 지급하게 되어 있기 때문에 사업장 마다 1개씩은 구입해서 보유한 것으로 가정하였다.
- 근로자수에서 사업장수를 뺀 숫자를 추가 구매수요로 추정된 추가 구입 개수는 전체사업장이 3,684,296개, 유해작업환경 765,822개다.

〈표 III-23〉 비용추정 항목(안준기, 2017, 이민호, 2018)

항목	단가(원)		판단근거
방연마스크구입비	86,050	51,568	연구진 시장조사
기록유지비	17,500		안준기, 2017
시건장치	100,000		안준기, 2017
안전교육비	266,320		안준기, 2017, 이민호, 2018

- 각각의 추가구입수요에 각 마스크의 단가를 곱해 연간 비용을 추정하였다. 이 외에 사업장별로 기록 유지비와 시건장치 비용, 안전교육비 등

을 비용에 포함하였다.

2) 편익추정 항목

- 직접편익은 기업의 산업재해가 증가하면 직접적으로 경제적 손실비용인 보상비용, 의료비용을 포함하며, 간접편익은 매출 감소로 이어지는 간접손실비용을 경제적 손실 비용이라고 간주한다(송윤아, 2017)
- 이 중 간접손실비용은 한국노동연구원의 18년도 연구결과를 준용해 추정하였다. 하인리히법에 의한 간접손실액의 비용이 과다추정된 것을 경계하는 경향이 있어 직접조사로 간접적인 편익을 산출해낸 의미있는 연구결과로 해석할 수 있다. 본 연구에서 계산한 기업의 간접손실비용에는 생산성 저하로 인한 매출 감소까지 포함하고, 계산된 기업의 간접손실비용을 1.06배로 계상하였다(안준기, 2017, 이민호, 2018)¹.
- 또한 피해저감률의 경우 전문가 자문을 통해 도출하였다. 호흡기내과 전문의, 마취통증의학과전문의, 의공학전문의들로 구성된 전문가들은 방역마스크 지급에 의한 피해저감률을 사망의 경우 32%, 부상의 경우 48% 까지 감소한다고 응답하였다.

〈표 III-24〉 편익추정 항목

항목	단가	1인당 평균금액(원)	판단근거
직접 편익	사망자1인당 유족보상일시금	106,664,906	고용노동부, 「산재보험통계」, 2021
	사망자1인당 장의비	12,660,535	지방행정연구원, 2020
	사망자1인당 생명보험료	25,000,000	고용노동부, 「산재보험통계」, 2021
	부상자1인당 요양급여	4,673,162	보험연구원, 2017
	부상자1인당 요양비급여	3,701,680	고용노동부, 「산재보험통계」, 2021
	부상자1인당 휴업급여	8,918,315	고용노동부, 「산재보험통계」, 2021
	부상자1인당 장애보상일시금	16,383,137	고용노동부, 「산재보험통계」, 2021
간접 편익	사망자 생산성 감소	152,984,967	한국노동연구원, 2018
	부상자 생산성 감소	35,696,871	

3) 편익비용 추정결과

- 도출된 편익은 연간 9,782억원 수준이며, 마스크의 유통기한이 5년인 점을 감안, 편익추정기간을 5년으로 설정하였다. 본 사업의 경우 마스크의 비치와 동시에 효과가 나타나는 사업임에 따라 편익 회임기간은 별도로 설정하지 않았다. 순 현재가치 추정을 위해 할인율은 4.5%로 설정하였다.
- 투입 비용은 시나리오에 따라 약 817억에서 4,751억 수준으로 나타났고, 편익은 연간 약 98억원 수준이며, 5년 총액 약 448억원 수준임에 따라 시나리오에 따라 B/C비율은 0.09에서 0.55까지로 확인되었다.
- 마스크 구입 비용에 따른 민감도 분석도 실시하였다. 이 경우 공공조달의 방식과 규모가 아니고, 기업에서 별도 구매이기 때문에 이 구입 비용의 변화율은 크지 않을 것으로 예상하였고, 약 20% 내외의 증감비율을 추정하였다. 그 결과, 비용이 20%까지 감소할 경우, 비율은 0.7까지 증가하는 것을 확인하였다.

시나리오1 : 일반근로자/정화식

(단위: 백만원)

b/c ratio	0.13
NPV	-303,598
IRR	-0.54

구분	-20%	-10%	10%	20%
편익 변화	0.10	0.12	0.14	0.15
비용 변화	0.16	0.14	0.12	0.11

년도	비용	비용현재가	편익	편익현재가	순현재가치
2022	348,477	348,477	9,783	9,783	-338,694
2023			9,783	9,362	9,362
2024			9,783	8,958	8,958
2025			9,783	8,573	8,573
2026			9,783	8,203	8,203
합계	348,477	348,477	48,914	44,879	-303,598

시나리오2 : 일반근로자/자가공급식

(단위: 백만원)

b/c ratio	0.09
NPV	-430,640
IRR	-0.58

구분	-20%	-10%	10%	20%
편익 변화	0.08	0.08	0.10	0.11
비용 변화	0.12	0.10	0.09	0.08

년도	비용	비용현재가	편익	편익현재가	순현재가치
2022	475,519	475,519	9,783	9,783	-465,736
2023			9,783	9,362	9,362
2024			9,783	8,958	8,958
2025			9,783	8,573	8,573
2026			9,783	8,203	8,203
합계	475,519	475,519	48,914	44,879	-430,640

시나리오3 : 위험근로자/정화식

(단위: 백만원)

b/c ratio	0.55
NPV	-36,885
IRR	-0.24

구분	-20%	-10%	10%	20%
편익 변화	0.44	0.49	0.60	0.66
비용 변화	0.69	0.61	0.50	0.46

년도	비용	비용현재가	편익	편익현재가	순현재가치
2022	81,764	81,764	9,783	9,783	-71,981
2023			9,783	9,362	9,362
2024			9,783	8,958	8,958
2025			9,783	8,573	8,573
2026			9,783	8,203	8,203
합계	81,764	81,764	48,914	44,879	-36,885

시나리오4 : 위험근로자/자가공급식

(단위: 백만원)

b/c ratio	0.41
NPV	-63,292
IRR	-0.32

구분	-20%	-10%	10%	20%
편익 변화	0.33	0.37	0.46	0.50
비용 변화	0.52	0.46	0.38	0.35

년도	비용	비용현재가	편익	편익현재가	순현재가치
2022	108,171	108,171	9,783	9,783	-98,388
2023			9,783	9,362	9,362
2024			9,783	8,958	8,958
2025			9,783	8,573	8,573
2026			9,783	8,203	8,203
합계	108,171	108,171	48,914	44,879	-63,292

IV. 방연마스크 안전성 및 성능 확보를 위한 기준 및 규격 방향 제시



IV. 방연마스크 안전성 및 성능 확보를 위한 기준 및 규격 방향 제시

1. 방연마스크 인증제도의 필요성

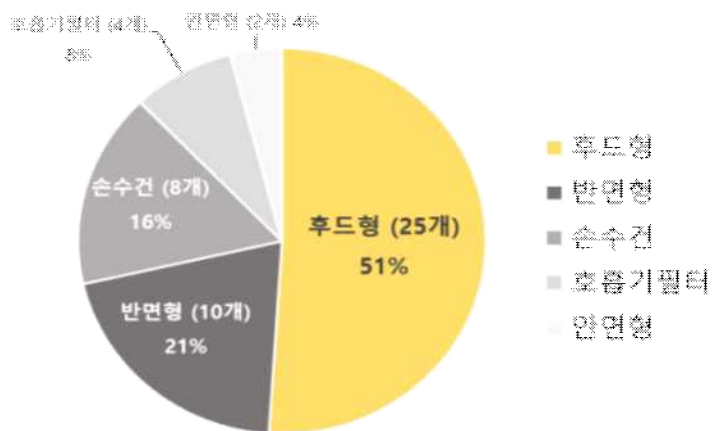
- 방연마스크는 화재로 인한 유독가스와 연기를 거르거나 차단할 수 있도록 제조되어 화재 장소로부터의 피난 또는 대피에 사용되는 것을 말한다.
- 작동방식에 따라서 방연마스크의 유형은 정화식, 자급식으로 분류된다. 정화식 방연마스크는 후드형, 안면부 보호형, 반면형, 호흡기 필터형, 손수건형으로 나뉘며 자급식 방연마스크는 화학반응형 압력용기형 두 가지로 구성된다.
- 국내에서는 이처럼 다양한 형태의 방연마스크가 유통되고 있으나, 방연마스크의 안전성과 성능 확보를 위한 별도의 인증제도를 규정하지 않았다.
- 때문에 제조사마다 방연마스크의 보호성능이 크게 다르고, 인증을 받지 않은 제품도 일부 유통되고 있다. 이 경우 방연마스크가 화재 상황에서 착용자를 보호할 수 있다고 장담할 수 없다.
- 본 연구는 국내 시장에 유통되고 있는 49개 방연마스크의 인증현황과 여과가스 종류, 사용시간, 유통기한 등을 조사하였다.
- <표 IV-1>을 살펴보면, 일부 제품은 정화식 방연마스크임에도 불구하고 여과 가스의 종류를 표기하지 않거나, 사용시간에 대한 명확한 지침이 없는 것으로 나타났다.
- 또한 자급식 방연마스크의 경우, 화학반응이나 압력용기를 사용하는 제품임에도 불구하고 인증을 받지 않은 제품이 존재하였다.

〈표 IV-1〉 방염마스크의 인증현황, 여과가스 종류, 사용시간 및 유통기한

No.	유형	형태	인증현황	여과가스 종류	사용시간 (분)	유통기한 (년)
1	정화식	후드형	KBCP	-	-	-
2	정화식	후드형	ANSI110, ISO4589-2, JSN, ASTM D 6348	5	5	-
3	정화식	후드형	EN 1869	-	40	3
4	정화식	후드형	KS M 6766	6	15	5.5
5	정화식	후드형	-	4	-	-
6	정화식	후드형	-	-	10	-
7	정화식	후드형	-	-	10	-
8	정화식	후드형	-	-	20	-
9	정화식	후드형	KS M 6766	6	15	-
10	정화식	후드형	KS M 6766, KS M 6885	6	15	5
11	정화식	후드형	KS M 6766	6	15	5
12	정화식	후드형	KS M 6766, KS M 6885	6	15	5
13	정화식	후드형	EN 403	4	-	-
14	정화식	후드형	EN 403	4	40	3
15	정화식	후드형	TC-14G-0338	11	30	5
16	정화식	후드형	-	-	-	-
17	정화식	후드형	-	-	-	-
18	정화식	후드형	-	-	-	-
19	정화식	후드형	-	-	-	-
20	정화식	후드형	-	7	-	-
21	정화식	호흡기 필터	-	4	5	-
22	정화식	호흡기 필터	KICT, ISO 9001, ISO 140001, OHSAS 18000	1	5	3.5
23	정화식	호흡기 필터	KTR, KC, KICT	5	5	2
24	정화식	호흡기 필터	KICT	5	5	5
25	정화식	반면형	-	3	15	-
26	정화식	반면형	-	5	-	-
27	정화식	반면형	KBCP, KSTR, KOTERI, KFTL	2	-	3
28	정화식	반면형	KFTL, RIST, FITI	-	5	3
29	정화식	반면형	KBCP, KSTR	-	-	2
30	정화식	반면형	-	-	-	-
31	정화식	반면형	-	-	-	-
32	정화식	반면형	실내작업물의불연준불연재료 의KFI 인정기준, FITI	-	10	-

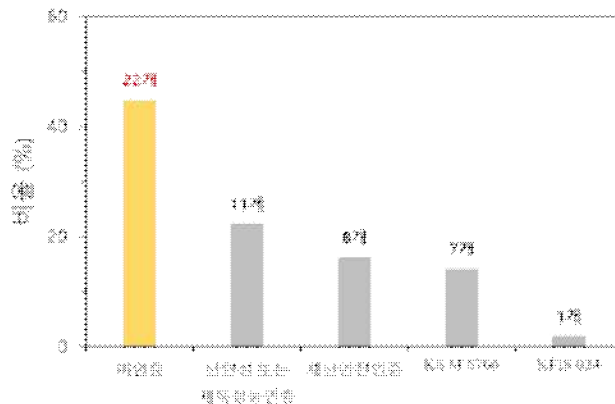
33	정화식	반면형	-	-	-	-
34	정화식	반면형	-	-	10	-
35	정화식	반면형	KBCP, KSTR	2	-	3
36	정화식	반면형	-	-	5	3
37	정화식	손수건	KS M 6885	3	7	3
38	정화식	손수건	KBCP	3	15	3
39	정화식	손수건	생활화학제품 안전인증	3	-	4
40	정화식	손수건	KBCP	-	15	-
41	정화식	손수건	-	-	-	-
42	정화식	손수건	KBCP, KSTR	2	-	4
43	정화식	손수건	KFI, FITI, KBCP	2	-	-
44	정화식	손수건	-	-	-	-
45	자급식	K형	KFIS 024	-	15	-
46	자급식	K형	-	-	-	-
47	자급식	K형	FITI	-	-	-
48	자급식	P형	-	-	-	-
49	자급식	P형	-	-	5	-

- 국내 유통 중인 49개 방연마스크의 형태는 후드형이 약 50%(25개)로 가장 많았다. 그 뒤로 반면형 21%(10개), 손수건형 16%(8개)가 많은 비율을 차지하였다. [그림 IV-1]



[그림 IV-1] 국내 유통중인 방연마스크의 형태

- 조사된 방연마스크들은 인증을 받지 않은 경우가 약 45%(22개)로 가장 많았다. 또한 기타(소재 자체의 난연성 시험 또는 제독 성능 시험 등) 인증만을 받은 경우가 22.4%(11개), 재난안전제품 인증을 받은 경우가 16.3%(8개)인 것으로 나타났다. [그림 IV-2]
- 14.3%(7개)의 정화식 방연마스크는 KS M 6766(화재용 긴급대피 마스크)와 EN 403(자가구조용 호흡보호구)로부터 인증되었다. 자급식 방연마스크의 경우 단 1개만 KFIS 024(자급식 호흡보호구)로부터 인증되었다.
- 결과적으로 시중에 유통되고 있는 방연마스크의 절반 이상이 인증을 전혀 받지 않거나, 가스여과 성능과 같은 특정 항목만 인증받은 것으로 확인되었다.



[그림 IV-2] 국내 유통중인 방연마스크의 인증현황

- 인증을 받지 않았거나 특정 항목만 인증을 받은 방연마스크들은 여과가스 종류가 제한적이거나 사용시간에 대해 명확한 정보를 파악할 수 없었다. 이렇게 성능이 명확하게 밝혀지지 않은 방연마스크는 화재 상황에서 착용자를 위험에 빠트릴 우려가 있다.
- 따라서 방연마스크 착용자의 안전을 위해, 인증제도를 도입하여 방연마스크의 성능과 안전성을 확보하는 것이 필요하다.

2. 국내외 방연마스크의 기술기준

- 국내에는 이미 방연마스크 성능을 인증하기 위한 기술기준이 존재한다. 그러나 한국표준협회의 KS M 6766과 한국소방기술원의 KFIS 024 중 화재 대피에 적합한 방연마스크 인증제도를 마련하기 위하여 과거부터 논쟁이 지속되어 왔다(최영, 2010).
- 본 연구는 두 가지 유형의 방연마스크의 성능상 특징을 파악하기 위하여 국내외적으로 방연마스크와 관련된 기술기준을 조사하고, 구조, 설계 및 성능 요구사항 등으로 나누어 세부적으로 비교 및 검토하였다.
- 이때 방연마스크를 두가지로 분류하여 i)외부 공기를 여과하여 착용자에게 신선한 공기를 공급하는 방연마스크(이하 정화식 방연마스크)와 ii)압력용기나 화학반응을 통해 자체적으로 산소를 공급할 수 있는 방연마스크(이하 자급식 방연마스크)로 구분하였다.
- 한편 후드형을 제외한 나머지 정화식 방연마스크의 형태는 기존에 존재하는 기술기준 상에 명시된 구조, 성능 등의 적용 범위를 만족하지 않는다. 이러한 제품들을 기타 방연마스크로 분류하여 인증할 수 있도록 별도의 기술기준을 조사하였다.
- 본 연구에서 조사된 국내외 방연마스크 관련 인증제도는 정화식과 자급식 방연마스크에 대해 각각 3개씩 조사되었으며, 기타 방연마스크에 대해서 1개이다. <표 IV-2>

〈표 IV-2〉 방연마스크와 관련된 국내외 인증기준

작동방식	코드	기준명	적용범위
정화식	KS M 6766	화재용 긴급 대피 마스크 - 화재로부터 대피하기 위해 두건이 장착된 여과 장비 - 요구사항, 시험, 표시(국가기술표준원, 2016)	화재 시 발생하는 입자, 가스(일산화탄소 및 기타 유독가스) 및 열로부터 착용자가 보호받을 수 있는 두건이 장착된 화재용 긴급대피 마스크
	EN 403	자가구조용 호흡보호구 - 화재 대피용 후드형 정화장치 - 요구사항, 테스트, 표시(British Standards Institution, 2004)	화재에 의해 발생하는 입자상 물질, 일산화탄소 및 기타 유독가스로부터 개인이 탈출하기 위한 후드가 있는 여과 장치
	ASTM E2952	공기 정화식 호흡기 보호용 연기탈출 장치에 대한 표준 사양(American Society for Testing and Materials, 2017)	일반적으로 화재에 의해 생성된 입자상 물질, 자극 물질과 독성 가스 및 증기로부터 머리, 눈 및 호흡기를 보호하기 위해 실험실에서 시험된 15 분의 제공 수명을 갖는 공기 정화식 호흡기 보호용 탈출 장치
자급식	KFIS 024	화재대피용 자급식호흡기구의 KFI 인정기준(한국소방산업기술원, 2020)	화재발생 장소로부터 대피를 위하여 사용되는 호흡용 기구로서 두건내부로 산소 또는 공기를 공급하는 방식의「화재대피용 자급 식 호흡 기구」
	BS EN 13794	호흡보호구 — 탈출을 위한 자급식 폐쇄회로 호흡장치 - 요구사항, 테스트, 표시(British Standards Institution, 2002)	탈출을 위한 자급식 폐쇄 회로 호흡 장치, 화학적 산소(KO_2 , NaClO_3) 유형 및 압축 산소 유형(단어: 산소 탈출 장치)에 대한 최소 요구사항
	JIS M 7651	폐쇄순환식 산소자기구명기(Japanese Standard Association, 1996)	광산, 터널, 공장 등에서 화재, 폭발, 기타 사고로 발생한 유해가스, 연기, 산소결핍 등으로 인해 생명에 위험이 있는 곳에서 탈출할 때 이용하는 폐쇄순환식 산소자기구명기
기타	-	재난안전제품(행정안전부, 2021)	재난에 대한 예방·대비·대응·복구와 관련된 제품군에 포함되어 국민의 생명과 재산을 보호하고 안전을 확보할 수 있으며 재난 안전을 확보할 수 있는 우수 기술이 적용된 제품.

가. 정화식과 자급식 방연마스크의 주요 특징

- 정화식과 자급식 방연마스크는 작동원리가 크게 다르기 때문에, 성능기준을 통해 장·단점을 비교하기에는 어려움이 있다. 따라서 기술기준 상의 성능을 검토하고, 본 연구의 방연마스크 착용성 실험결과와 결합하여

정화식 및 자급식 방연마스크의 특징을 비교하였다. <표 IV-3>

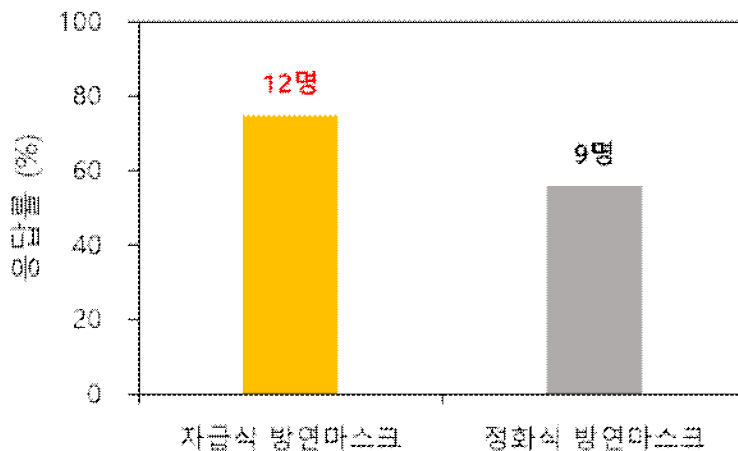
<표 IV-3> 국내외 정화식 및 자급식 방연마스크 특징의 종합적인 비교

기준	정화식 방연마스크	자급식 방연마스크
사용 제한	산소농도 17 ~ 19.5vol% 미만인 장소	작업용, 구조용, 다이빙 장비
질량 제한	최대 1.00kg	최대 7.5kg
착용 성능	30초 이내에 착용 (착용하면, 곧바로 사용 가능함)	30초 이내에 착용 및 작동 (착용 이후 별도의 조작을 통한 작동이 필요함)
호흡	흡배기저항의 합이 최대 1.1kPa (외부 공기를 여과하므로, 호흡이 비교적 편리함)	흡배기저항의 합이 최소 1.6kPa (폐쇄순환 구조이므로 호흡이 비교적 어려움)
유독가스 보호성능	최소 15분간 6종류의 가스를 여과하여 보호	최소 5 ~ 10분간 산소를 직접 공급
열적 보호성능	공통적으로 가연성 및 난연성 시험항목이 존재함	
	복사열 차단에 대해 명확한 시험기준이 존재함	후드형은 착용자를 복사열로부터 보호할 수도 있으나, 시험항목이 없으므로 명확하지 않음

- 먼저 정화식 방연마스크는 주변 산소 농도가 17 ~ 19.5vol%인 범위에서 사용이 불가능하다는 제한이 있다. 자급식 방연마스크의 경우 주변 산소농도에 따른 제약이 없으나, EN 13794에 따르면 작업용, 구조용, 다이빙 등의 장비로 사용할 수 없다.
- 질량의 경우 정화식 방연마스크는 최대 1.00kg, 자급식 방연마스크 최대 7.5kg을 초과할 수 없다. 정화식 방연마스크의 경우 압력용기나, 호흡주머니와 같이 무겁고 부피가 큰 부품이 사용되지 않는다. 때문에 KS M 6766 인증을 받은 방연마스크는 무게가 약 460g 정도로 가벼운 제품도 존재한다.
- 착용 성능면에서는 정화식과 자급식 방연마스크 모두 30초 이내에 착용해야 한다는 기준이 존재하였다. 본 연구에서 착용시간을 측정한 결과, 교육을 이수한 피시험자의 방연마스크 착용시간은 후드형 정화식의 경우 64.75초, 압력용기형 자급식 39.26초, 화학반응형 자급식 63.30초

로 기준값의 최대 2배를 초과하는 경우도 나타났다.

- 또한 자급식 방연마스크의 경우 작동시간을 더해야 하므로, 정화식 방연마스크보다 더 오랜 시간이 소요될 것으로 추정된다. 특히 화학반응형 자급식 방연마스크를 착용한 피시험자들은 작동을 어려워하는 것으로 응답하였으며, 이를 통해 실제 화재 상황에서는 화학반응형 자급식 방연마스크를 작동시키는 시간이 더욱 지연될 수 있을 것으로 보인다.
- 호흡 저항 측면에서는 정화식 방연마스크를 착용할 경우 자급식 방연마스크보다 더 원활하게 호흡할 수 있다. 정화식 방연마스크의 흡·배기 저항의 합은 최대 1.1kPa 정도로 자급식 방연마스크에 비해 최소 0.5kPa 더 낮은 것으로 분석되었다. 특히 본 연구에서 수행된 활동성 시험의 설문조사 결과에서 피시험자가 호흡하기 어려웠다고 응답한 경우는 자급식 방연마스크일 때 16명 중 12명(75%)으로 정화식(56 %)보다 19% 더 높은 비율을 차지하였다. [그림 IV-3]



[그림 IV-3] 방연마스크 착용성 시험 중 호흡의 어려움을 호소한 착용자 응답률

- 정화식 방연마스크는 최소 15분 동안 6종의 유독가스를 여과할 수 있으며, 자급식 방연마스크는 약 최소 5 ~ 10분간 산소를 직접 공급하여 유독가스로부터 보호할 수 있다.

- 마지막으로 열적인 보호 성능 측면에서 정화식과 자급식 방연마스크 모두 재료의 가연성을 최소화하고, 난연성을 확보하고 있다. 그러나 복사열 차단에 대한 성능은 정화식 방연마스크에 대한 인증기준에만 명시되어 있다.

나. 정화식 방연마스크의 기술기준

1) 정화식 방연마스크의 주요 성능

- 정화식 방연마스크에 대한 국내 기술기준(KS M 6766)과 국외의 기술기준(EN 403, ASTM E 2952)간의 주요 성능요구사항을 비교하였다. <표 IV-4>

<표 IV-4> 정화식 방연마스크의 기술기준 : 주요 성능 요구사항

기술기준	KS M 6766	EN 403	ASTM E 2952
명칭	화재용 긴급대피 마스크	연기정화식 후드	공기정화식 호흡기 보호용 연기탈출 장치
최저 산소농도	17vol%	17vol%	19.5vol%
최저 사용 보장시간	가스로부터 15min	가스로부터 15min	가스 및 복사열로부터 15min
보관기한	제조업체가 표기	제조업체가 표기	제조업체가 표기
보호 가스 종	6종	4종	6종
입자 포집 효율	94% 이상 ^{a)}	94% 이상 ^{a)}	95% 이상 ^{a)}
가연성 시험항목	○	○	○
난연성 시험항목	○	×	○
복사열 시험항목	×	×	○
착용시간 시험항목	×	×	○

a) 입자의 직경은 0.02 ~ 0.2 μm 이며, 평균 0.6 μm 이하임.

- 세 기술기준은 모두 최저 산소농도를 지정함으로써, 질식 위험이 있는 공간에서의 사용을 제한하고 있다. KS M 6766과 EN 403은 17vol% 이상에서 사용하도록 하고 있으나, ASTM의 경우 전자보다 착용 가능한 최저 산소농도는 2.5vol% 더 높은 것으로 나타났다.
- 사용시간의 경우 ASTM E2952는 화재 부산물, 가스, 복사열로부터 15

분 이상의 보호를 제공해야 한다고 직접적으로 명시되어 있으나, KS M 6766과 EN 403은 사용시간에 대한 설명이 명확한 문장의 형태로 언급되어 있지 않다. 그러나 KS M 6766과 EN 403에서 필터의 파과시간이 최소 15 min 이상이어야 한다는 점을 토대로 볼 때 가스로부터의 보호시간은 최소 15분 이상인 것으로 추정할 수 있다.

- 방연마스크의 보관기간 또는 유통기한은 모든 기술기준에서 제조업체가 표기하도록 명시되어 있다.
- KS M 6766은 EN 403에 비해 2종류 더 많은 가스를 여과하도록 요구한다. 이때, KS M 6766에 명시된 보호가스 종류는 ASTM E2952와 동일하였다. 입자포집 효율 측면에서도 세 가지 기준이 거의 동일하였으며, 에어로졸과 같은 미세입자를 94 ~ 95% 이상 포집하도록 요구하고 있다.
- 화재 대피 상황에서는 방연마스크를 구성하는 재료 자체가 가연성이 없고 난연성일 필요가 있으며, 더 나아가 복사열로부터 착용자를 보호할 수 있어야 한다. 이에 대한 기준은 가연성, 난연성, 복사열 시험항목으로 구분된다. EN 403의 경우 가연성 시험항목만 가지는 것으로 나타났으나, KS M 6766은 난연성, 복사열에 대한 시험기준도 함께 갖춰져 있다. 특히 ASTM E2952에서도 가연성, 난연성 및 복사열 보호 성능을 갖추도록 요구하고 있으나, 시험방법은 KS M 6766과는 다소 차이가 존재하였다.
- 또한, KS M 6766, EN 403과는 다르게 오직 ASTM E2952에만 착용성에 대한 시험항목이 존재하고, 시험에서는 120초 동안 착용설명서를 읽은 피시험자가 30초 이내에 정화식 방연마스크를 착용해야 한다.
- 전반적으로 KS M 6766은 EN 403의 기준을 상당히 많이 차용하였다. 그러나 EN 403에 존재하지 않는 일부 보호가스 종류와 난연성, 복사열 시험항목에 대해서는 KS M 6766이 ASTM E 2952처럼 자체적인 기준을 가진 것으로 보인다.

2) 정화식 방연마스크의 구조적 특징

- 정화식 방연마스크에 대한 기술기준은 공통적으로 구조에 후드(hood)를 포함시킨다. 따라서 호흡기 필터형, 손수건형과 같은 구조는 정화식 방연마스크 기술기준을 만족할 수 없다. 특히 전면형, 반면형 마스크 형태인 경우에도 후드와 함께 사용해야만 기술기준을 만족할 수 있다.
- 이처럼 후드가 모든 기술기준에서 요구하는 방연마스크 구조에 포함되는 것은 화재 대피에 사용되는 방연마스크가 유해가스를 정화해야 할 뿐 아니라 얼굴 전체를 복사열로부터 보호할 필요가 있다는 것을 의미한다.
- EN 403은 휴대용과 보관용 정화식 방연마스크를 구분하고 있다. 해당 분류에 따라서 성능요구사항을 충족하기 위해 사용되는 방연마스크의 전처리 조건이 달라진다. 예를 들어 휴대용(M 유형)은 보관조건이 일정하지 않기 때문에 더 가혹한 진동시험을 거치고, 보관용(S 유형)은 이보다 조금 더 완화된 조건으로 진동시험을 수행한다. <표 IV-5>

〈표 IV-5〉 정화식 방연마스크의 기술기준 : 구조

기술기준	KS M 6766	EN 403	ASTM E 2952
명칭	화재용 긴급대피 마스크	연기정화식 후드	공기정화식 호흡기 보호용 연기탈출 장치
최소한의 구성	• 필터가 결합된 안면부 • 포장		• 후드 • 호흡기 보호시스템
분류	-	휴대용 'M' 보관용 'S'	-
세부 내용	• 후드 자체 • 전면형, 반면형, 사분형 마스크가 조립된 후드 • 마우스 피스가 조립된 후드		• 머리 전체를 덮는 구조 • 손으로 지지하는 등의 행위가 필요 없을 것

3) 정화식 방연마스크의 설계 요구사항

- 설계 요구사항에서 KS M 6766과 EN 403은 정화식 방연마스크의 강도에 대한 내용이 적혀있으나, ASTM E2952은 강도에 대한 별도의 설명이 없었다. 그러나 정화식 방연마스크 기계적인 내구성을 확인하는 시험 항목, 장비 및 기준은 3가지 기술기준이 거의 동일하게 적용하고 있었다. <표 IV-6>
- 정화식 방연마스크에 물이 침투하면 필터의 파과시간이 단축되는 등 성능 감소의 원인이 된다. 때문에 정화식 방연마스크에 사용되는 모든 재료가 내식성을 갖추도록 규정하고 있다. 특히 습도에 민감한 경우는 포장으로 보호하도록 요구하고 있다.
- 신속한 대피를 돕기 위해 정화식 방연마스크의 질량은 가벼워야 한다. 이러한 측면에서 KS M 6766과 EN 403은 정화식 방연마스크가 포장을 비롯하여 1,000g 이하의 질량을 유지하도록 요구한다. 이때, 포장은 도구 없이 쉽게 개방되고 즉시 사용 가능한 구성이 되어야 한다. 특히 ASTM E2952의 경우 포장이 뜯긴 흔적을 확인하기 위해 변조 확인용 실타를 부착하도록 요구한다.

〈표 IV-6〉 정화식 방연마스크의 기술기준 : 설계 요구사항

기술기준	KS M 6766	EN 403	ASTM E 2952
명칭	화재용 긴급대피 마스크	연기정화식 후드	공기정화식 호흡기 보호용 연기탈출 장치
강도	• 거칠게 사용하더라도 충분히 견딜 것 • 연결구는 50N의 축방향 하중을 견딜 것		-
재료 특성	• 내식성 • 습도에 민감한 재료는 포장으로 보호		내식성
질량	1,000g 이하		-
포장	도구 없이 쉽게 개방되어야 함		• 즉시 사용 가능한 구성 • 변조 확인용 실타 부착
치수	-		해부학적 치수 중 3가지 이상에 부합해야 함

- 3가지 기준은 모두 일반 성인의 탈출에 적용되는 정화식 방연마스크를 기술하고 있다. 그래서 KS M 6766과 EN 403은 치수적 측면에 대한 상세한 내용보다는 어린이에게 적합하지 않을 수 있다는 내용이 포함되어 있다. 한편 ASTM E2952는 방연마스크의 크기를 3단계(작음, 중간, 큼)로 분류하고 있으며, 이때, 4가지의 해부학적 치수(머리, 목, 얼굴, 입술)에 대해, 4가지 중 3가지 이상의 치수 항목을 만족하도록 요구하고 있다. <표 IV-7>

〈표 IV-7〉 얼굴, 목 및 머리의 해부학적 치수

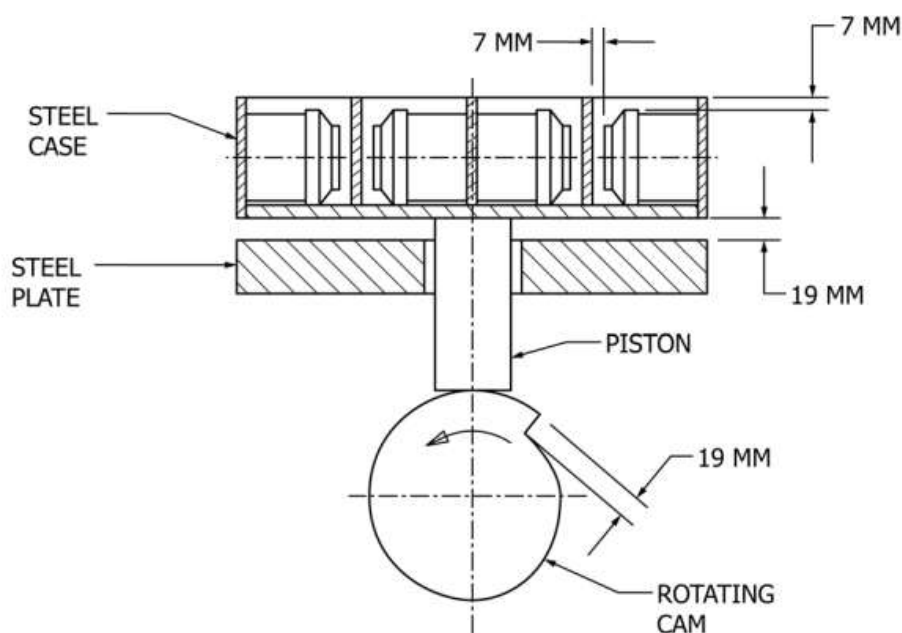
둘레	작음	중간	큼
머리	527-552	553-578	579-604
목	295-351	352-408	409-465
얼굴	98.5-108.5	109-128.5	129-138.5
입술	40-46	47-54	55-61

4) 정화식 방연마스크의 전처리

- 정화식 방연마스크는 성능 시험을 진행하기에 앞서 시료에 충격을 가하거나, 고온·저온 등의 저장조건에서 일정 시간 동안 방치함으로써 전처리(Conditioning) 과정을 거친다. <표 IV-8>
- 기계적 내구력을 확인하는 진동시험의 경우 EN 403의 보관용 방연마스크를 제외하고 모두 동일한 기준이 적용된다. <그림 IV-4>과 같이 100rpm의 속도로 캠이 회전하면서 정화식 방연마스크가 담긴 철판 상자가 진동하는데, 이때 총 진동 횟수는 10,000회가 되어야 한다. 또한 KS M 6766과 EN 403는 정화식 방연마스크를 1.5m 높이에서 콘크리트 표면으로 6 회 자유낙하 시켜 충격을 가하는 전처리를 수행한다.

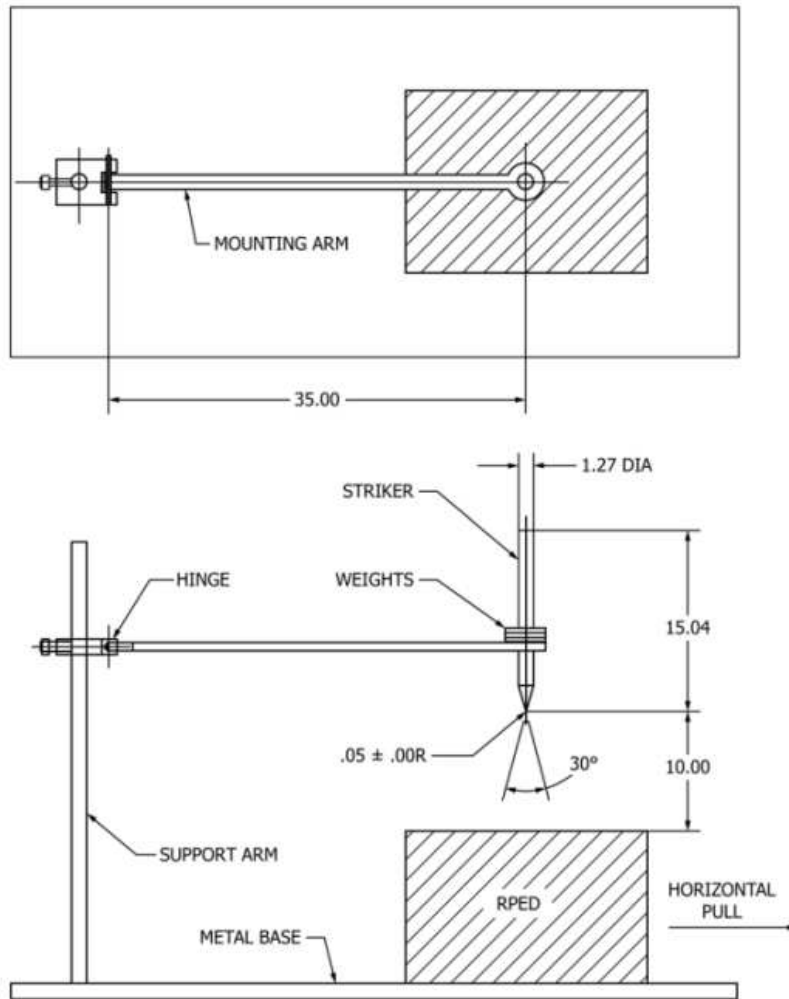
〈표 IV-8〉 정확식 방연마스크의 기술기준 : 전처리

기술기준	KS M 6766	EN 403	ASTM E 2952
명칭	화재용 긴급대피 마스크	연기정화식 후드	공기정화식 호흡기 보호용 연기탈출 장치
기계적 내구력	10,000회 진동 (속도 : 100 rpm)	휴대용: 10,000회 진동 보관용 : 2,000회 진동 (속도 : 100rpm)	10,000회 진동 (속도 : 100rpm)
충격	1.5m 높이에서 매번 방향을 바꾸어 매끄러운 콘크리트 표면으로 6회 낙하시킴		-
포장의 천공 및 찢어짐 저항	1N의 유효하중을 포장된 시료에 가한 뒤, 포장을 잡아당기고 상태를 확인함		
온도 변화	다음 순서로 공기 온도 및 습도를 변화시킴		
	• 70℃ 건조공기 (72 hr) • 70℃ 공기 (상대습도 95 ~ 100%, 72hr) • -30℃ 공기 (24 hr)	• 0℃ 공기 (24hr) • 70℃ 공기 (72hr)	
압력 변화	다음 순서로 챔버 내부를 감압하고, 복귀하는 과정을 반복함		
	• -40kPa(g)로 감압 (2회) • -30kPa(g)로 감압 (3,000회)	• -30kPa(g)로 감압 (1,000회)	



[그림 IV-4] 기계적 내구력을 확인하기 위한 진동 시험 장비

- 또한 방연마스크를 감싸는 포장에 대해서 천공과 찢어짐에 대해 얼마나 잘 저항하는가를 확인하기 위해 타격봉(Striker)을 활용한 전처리를 수행하고 있다. 이 항목은 세 가지 기술기준이 동일한 시험장비와 기준을 가지고 있다.
- 먼저 <그림 IV-5>와 같이 타격봉 아래에 포장된 시료를 두고, 타격봉을 떨어트려 1N의 유효하중을 가한다. 타격된 상태에서 포장된 시료를 잡아당기고, 방향을 바꿔가며 2번 더 반복한 뒤 육안으로 포장의 상태를 확인하는 과정을 거친다.
- 저장조건 중 온도의 경우 KS M 6766과 EN 403은 정화식 방연마스크를 70℃의 건조한 공기에 72시간, 높은 상대습도의 70℃ 공기에서 72시간, -30℃의 낮은 공기에 24시간 동안 저장한다. ASTM E2952는 0℃의 공기에서 24시간, 70℃의 공기에서 72시간 전처리하여 앞의 두 기준보다 온도 범위가 넓지 않고 저장시간이 짧은 차이가 있다.
- 압력의 경우 ASTM E2952는 챔버 내부의 압력을 주변 압력보다 -30kPa 낮게 감압하는 것을 1,000 회 반복하는 것으로 그치지만, KS M 6766과 EN 403은 챔버 내부의 압력을 -40 kPa(g)까지 2회 감압하고, 그 후에 -30kPa(g)까지 감압하는 과정을 3,000회 반복한다. 전반적으로 ASTM E2952보다는 KS M 6766, EN 403에서 더 높은 기준을 갖고 전처리를 수행하고 있는 것으로 보인다.



[그림 IV-5] 타격봉을 활용한 전처리 시험 장비

5) 정화식 방연마스크의 착용 성능 요구사항

- 세 가지 기술기준은 방연마스크 내부의 호흡 영역에서 CO₂ 함량을 <표 IV-9>과 같이 2 ~ 2.5vol% 이하로 제한하고 있다. 흡입공기 중 CO₂ 함량이 높아질수록 체내로 흡수되는 산소농도가 감소되고, 활동성을 저하시키는 원인이 된다(Zhang, X, 2017).
- CO₂ 함량을 감소시키기 위해서는 정화식 방연마스크를 착용했을 때 발

생하는 호흡 저항을 최소화할 필요가 있다. 호흡 저항에 대해서는 기술 기준이 거의 동일한 것으로 나타났으며, 착용자의 호흡이 원활하도록 흡·배기 저항은 각각 800과 300Pa 이하로 제한된다.

- 한편, 화재 상황에서는 독성가스를 비롯해 미립자가 발생하며, 미립자로 인해 호흡 저항이 증가할 수 있다. KS와 EN 규정에서는 이러한 항목을 반영하지 않았으나, ASTM의 경우 검댕 미립자가 존재하는 상황에서 흡·배기 저항을 각각 2.0, 1.5kPa 이하가 되도록 규정하고 있다.
- 화재 시 신속한 대피를 위해서 정화식 방연마스크의 착용시간을 단축해야 한다. ASTM E2952에는 착용시간에 대한 기준이 존재하는데, 피시험자는 120초 동안 설명서를 읽고 30초 이내에 자급식 방연마스크를 착용할 수 있어야 한다.

〈표 IV-9〉 정화식 방연마스크의 기술기준 : 착용 성능 요구사항

기술기준	KS M 6766	EN 403	ASTM E 2952
명칭	화재용 긴급대피 마스크	연기정화식 후드	공기정화식 호흡기 보호용 연기탈출 장치
흡입공기 중 CO ₂ 함량	2vol% 이하		2.5vol% 이하
호흡 저항 (일반 대기)	• 흡기 저항 : 800Pa 이하 • 배기 저항 : 300Pa 이하		
호흡 저항 (검댕 미립자)	-		검댕 미립자에 의한 저항 증가 시 • 흡기저항 : 2.0kPa 이하 • 배기저항 : 1.5kPa 이하
착용 시간	-		30초 이내

6) 정화식 방연마스크의 누설 방지 및 여과성능

- 정화식 방연마스크는 화재 시 발생하는 유독가스를 필터를 통해 여과하는 구조이므로, 외부 공기는 필터를 통해 유입되어야 한다. 그러나 필터 외에서 유입되는 공기를 완전히 차단하는 것이 어렵기 때문에, 필터를 제외한 지점에서 약간의 누설이 발생할 수 있다.

- 이러한 누설을 제한하기 위해 각 기술기준은 호흡영역(입 근처)과 가시영역(눈 근처)에서의 누설률을 측정하고 일정 수준 이하로 제한하고 있다. 측정 방법은 세 기준이 거의 동일하였다. 먼저 피시험자가 착용할 마스크에 구멍을 뚫고 농도를 측정하기 위한 호스를 삽입하고, 챔버에 육불화황(SF₆) 가스 또는 염화나트륨(NaCl) 에어로졸을 공급하여 일정한 농도의 시험대기를 형성한다. 그리고 피시험자가 트레드밀 위를 달리는 동안 마스크 내부의 시료를 채취하여 농도를 측정해야 한다. <표 IV-10>
- KS M 6766과 EN 403에서는 호흡영역의 누설률을 각 시험당 5vol% 이하, 전체 평균 2vol% 이하로 제한하고 있다. ASTM E 2952도 각 시험당 평균적으로 2vol% 이하로 제한하므로, 평균적인 누설률 측면에는 거의 동일한 수준인 것으로 나타났다. 또한 가시영역의 누설률의 경우 모든 기준이 20vol% 이하로 제한되어 있다.
- 포장 밀폐성의 경우 포장된 정화식 방연마스크를 수온이 70 ~ 80℃인 수조에 담가 기포 발생 여부를 육안으로 확인하거나, 건조한 뒤 무게가 증가하는지를 정량적으로 계측하여 판단한다. 이러한 시험항목은 KS M 6766과 ASTM E2952에만 존재하며, EN 403에는 반영되어 있지 않다.

〈표 IV-10〉 정화식 방연마스크의 기술기준 : 누설방지 및 여과성능

기술기준	KS M 6766	EN 403	ASTM E 2952
명칭	화재용 긴급대피 마스크	연기정화식 후드	공기정화식 호흡기 보호용 연기탈출 장치
호흡영역 누설률	육불화황 가스 또는 염화나트륨 에어로졸 농도는		
	• 각 시험당 5vol% 이하 • 전체 평균 2vol% 이하		• 각 시험당 평균 2vol% 이하
가시영역 누설률	20vol% 이하		
포장 밀폐성	물에 담근 후 기포 발생여부 확인	-	물에 담그고 건조한 뒤 저울의 허용오차 이상으로 무게가 증가되는지 확인
가스 성능 (파과 시간)	제시된 시험 가스의 파과 농도에서 15min 이상		
입자 포집효율	94% 이상 ^{a)}		95% 이상 ^{a)}

a) 입자의 직경은 0.02 ~ 0.2 μ m이며, 평균 0.6 μ m 이하임.

- 필터의 파과시간(Breakthrough time)이 길어질수록 정화식 방연마스크의 여과 성능이 높아진다. 이때 필터는 〈표 IV-11〉와 같이 4 ~ 6개 시험 가스를 파과 농도 수준으로 공급할 때 15분 이상 견뎌야 한다. 모든 기술기준에서 제시된 파과 시간은 동일하지만, EN 403은 사이클로헥세인과 이산화황을 시험가스로 사용하지 않는다는 차이가 있다. 한편 입자를 여과하는 포집효율은 세 기준이 거의 동일하며, 0.02 ~ 0.2 μ m의 염화나트륨 에어로졸을 시험 중 94 ~ 95% 포집할 수 있어야 한다.

〈표 IV-11〉 정화식 방연마스크의 기술기준 : 시험가스 종류 및 농도

시험가스 종류	적용기준	유입공기 내 포함된 시험가스 농도 (ppm)	파과 농도 (ppm)
사이클로헥세인 (Cyclohexane)	ASTM E 2592	500	5
	KS M 6766		
프로페날 (Propenal)	ASTM E 2592	100	0.5
	KS M 6766		
	EN 403		
염화수소 (Hydogen Chloride)	ASTM E 2592	1000	5
	KS M 6766		
	EN 403		
이산화황 (Sulfur Dioxide)	ASTM E 2592	100	3
	KS M 6766		
시안화수소 (Hydrogen Cyanide)	ASTM E 2592	400	10
	KS M 6766		
	EN 403		
일산화탄소 (Carbon Monoxide)	ASTM E 2592	3000, 5000	200
	KS M 6766	2500, 5000, 7500, 10000	
	EN 403		

7) 정화식 방연마스크의 열에 대한 보호성능

- 방연마스크에 사용된 재료가 화재에 의해 타거나 녹는다면, 방호해야 하는 부위에 결함이 생길 수 있다. 때문에 각 기술기준은 재료 자체의 가연성 및 난연성, 방연마스크의 복사열 차단 성능에 대한 요구사항을 지정하고 있다. 〈표 IV-12〉

〈표 IV-12〉 정확식 방연마스크의 기술기준 : 가연성, 난연성 및 복사열 보호성능

기술기준	KS M 6766	EN 403	ASTM E 2952
명칭	화재용 긴급대피 마스크	연기정화식 후드	공기정화식 호흡기 보호용 연기탈출 장치
가연성	일정한 속도로 화염을 통과한 뒤 계속적으로 연소되지 않을 것		일정한 속도로 화염을 한번 회전한 뒤 • 불꽃이 5초이상 지속되지 않을 것 • 육안으로 관측되는 구멍이 생기거나 녹지 않을 것 • 가스나 연기에 착용자의 눈, 호흡기가 노출되는 방식으로 손상되지 않을 것 • 해당 시험 이후 시력의 선명도는 20/100을 읽을 수 있는 수준일 것
난연성	버너 불꽃으로 가열할 때, 연소속도는 25mm/min 미만	-	용융 중합체 방울 시험에서 • 불꽃이 지속되지 않고, 구멍이 생기지 않을 것 • 흡입 저항의 감소는 25%를 초과하지 않을 것
복사열	10KW/m ² 의 복사열을 가하기 전과 후의 내부 온도차가 25℃ 이하일 것	-	5 kW/m²의 수준으로 복사열을 조사할 때, • 인조머리의 꼭대기와 눈가의 온도는 70℃를 초과하지 않을 것 • 가스나 연기에 착용자의 눈, 호흡기가 노출되는 방식으로 손상되지 않을 것

- 난연성은 불이 붙더라도 연소하기 어려운 성질을 의미한다. 방연마스크의 난연성을 판단하기 위해서 KS M 6766은 방연마스크의 표면을 800±50℃의 불꽃에 15초간 노출시킨다. 이때 연소시간과 방연마스크가 연소된 길이를 측정함으로써 연소속도를 계산하고, 25mm/min 미만이 되는지 확인한다.
- EN 403에는 KS M 6766과 동일한 난연성 시험항목이 존재하지 않았으며, ASTM E 2952은 KS M 6766과 다른 종류의 시험항목이 존재한다.
- 난연성 시험이라는 명칭으로 언급되어있지 않으나, ASTM E2952는 용융 중합체 방울(Molten Polymeric drip)에 대한 저항성을 판단한다.

이 시험방법의 원리는 양초에 생성된 방울을 조금씩 떨어트리는 것과 유사한데, 이 미세한 방울은 불꽃이 감싸고 있다.

ASTM E2952

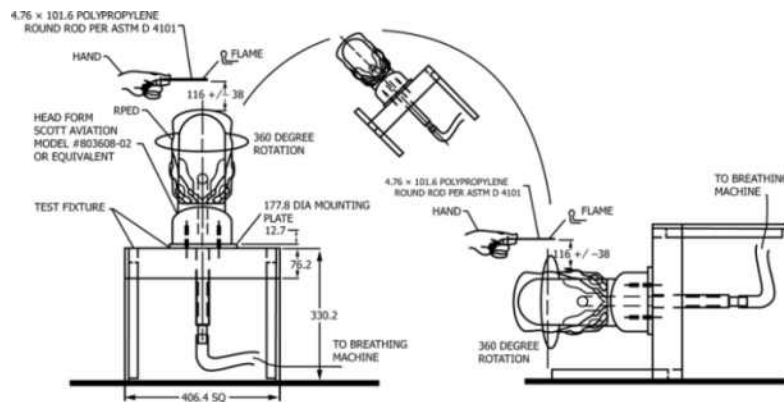
4.12 용융 중합체 드립 저항:

4.12.1 RPED는 7.12에 명시한 대로 녹은 방울에 대한 내성을 시험해야 한다. 모든 후방 불꽃은 5.12에 명시한 대로 용해된 방울에 대한 내성을 시험해야 한다. 흡입 저항성의 감소는 25%를 초과하지 않아야 한다.

4.12.2 RPED는 7.12에 명시한 대로 녹은 방울에 대한 내성을 시험해야 한다. 흡입 저항성의 감소는 25%를 초과하지 않아야 한다.

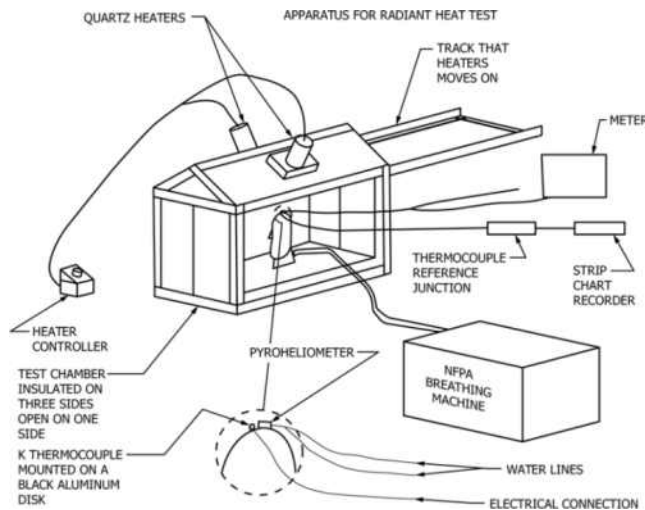
4.12.3 RPED는 7.12에 명시한 대로 녹은 방울에 대한 내성을 시험해야 한다. 어떤 구성 요소도 비보조 안구에 보이는 구멍을 떨어뜨리거나 녹이거나 발생시켜서는 안 된다.

- 조금 더 구체적으로 [그림 IV-6]처럼 폴리프로필렌 환봉을 시험위치로부터 116mm 정도 떨어트린 채 점화하고, 용융 방울을 떨어트린다. 그리고 지속적으로 회전하는 방연마스크에 용융 방울이 닿은 순간부터 화염의 지속시간을 평가한다. 또한 화염에 의해 재료가 녹거나 구멍이 형성되어 발생하는 호흡 저항의 감소율을 호흡기계를 통해 측정했을 때 25%를 초과하지 않아야 한다.



[그림 IV-6] 용융 중합체 방울 시험

- 불꽃에 직접적으로 닿지 않더라도 열복사에 의해 물체의 온도가 상승하는데, 이를 복사열이라고 한다. 복사열에 의해 방연마스크 내부 온도가 지속적으로 상승하는 것을 방지하기 위해 KS M 6766과 ASTM E2952는 복사열에 의해 온도가 상승하는 정도를 일정 수치 이하로 제한한다.
- KS M 6766은 복사열 생성장치로부터 10kW/m^2 의 복사열을 받는 지점에 방연마스크가 설치된 시험용 틀을 위치시킨다. 시험용 틀은 정육면체이며, 복사열을 받는 전면을 제외하고 5 개의 면은 모두 단열재로 밀폐된다. 그리고 방연마스크 내표면에서 약 5mm 떨어진 지점에서의 온도를 측정한다. 이때 10 kW/m^2 의 복사열 조사하기 전과 30 초간 조사한 후의 온도를 측정하고, 온도차이가 25°C 미만인지 확인한다.
- ASTM E2952는 [그림 IV-7]과 같이 한쪽 면을 제외하고 완전히 단열된 챔버에서 실험을 수행한다. 챔버 중앙 상부에는 복사열을 발생시키는 램프 2개를 설치하고, 램프로부터 240mm 아래에 비전도성 인조 머리를 위치시켜 방연마스크를 장착한다.



[그림 IV-7] ASTM E2952에서의 복사열 시험 방법

- 방연마스크가 위치한 지점에 5kW/m^2 수준의 복사열을 15초간 조사하

면서 인조머리의 꼭대기 지점에서 온도를 측정한다. 해당 시험 이후 인조머리의 눈에 5kW/m^2 의 복사열이 조사되도록 위치를 변경하고, 실험을 반복한다. 이렇게 측정된 두 지점의 온도는 70°C 를 초과하지 않아야 하고, 손상의 정도를 검사하여 합격 여부를 판단한다.

ASTM E2952

4.13 복사열 저항:

4.13.1 RPED는 7.13에 명시한 복사열에 대한 내성을 시험해야 한다. 인조 머리의 상부와 눈에서 측정된 온도는 70°C 를 초과하지 않아야 한다.

4.13.2 RPED는 7.13에 명시한 복사열에 대한 내성을 시험해야 한다. RPED는 눈이나 폐가 가스 또는 연기에 노출되는 방식으로 손상되지 않아야 한다.

다. 자급식 방연마스크의 기술기준

- 자급식 방연마스크는 산소를 공급하는 방식에 따라서 C, K, P 유형으로 분류된다. C, K 유형은 산화제의 화학반응을 통해 산소를 발생시키며, P 유형은 압력용기를 일정한 유량으로 산소를 공급한다. <표Ⅳ-13>
- 자급식 방연마스크에 대한 기술기준은 국내의 경우 KFIS 024, 국외의 경우 EN 13794와 JIS M 7651이 있다. 국외 자급식 방연마스크 기술기준에서는 C, K, P형을 모두 다루고 있으나, 국내 기술기준인 KFIS 024는 K, P 유형만 존재한다는 특징이 있다.

<표 Ⅳ-13> 산소공급방식에 따른 자급식 방연마스크 분류

공급방식 유형	화학반응형		압축공기형
	C Type	K Type	P Type
산소공급 매개체	NaClO_3	KO_2	압력용기
작동원리	화학약품의 반응에 의해 산소를 연속적으로 발생시켜 보급하는 방식	호흡에 의해 소비되는 산소를, 날숨 중의 수분 및 이산화탄소와 반응하는 화학약품에 의해 산소를 발생시켜 보급하는 방식	호흡에 의해서 소비되는 산소를 압축 산소 및 공기를 감압해서 보급하는 방식

1) 자급식 방연마스크의 주요 성능 요구사항

- 자급식 방연마스크는 정화식 방연마스크와는 다르게 주변 산소농도에 따른 제약이 없다. 그 대신 화학반응이나 압력용기로부터 산소를 직접 공급해야 하므로 최저 산소 공급유량을 지정할 필요가 있다. 국외 기술 기준인 EN 13794와 JIS M 7651의 경우 각각 4.0, 1.2L/min의 유량으로 산소를 공급해야 한다고 명시되어 있으나, 국내 규정인 KFIS 024의 경우 별도의 공급유량이 명시되어 있지 않다. <표 IV-14>

<표 IV-14> 자급식 방연마스크의 기술기준 : 주요 성능

기술기준	KFIS 024	EN 13794	JIS M 7651
	화재용 자급식호흡기구	자급식 폐쇄회로 호흡장치	폐쇄순환 산소 자기구명기
최저산소 공급유량	-	4.0L/min	평균적으로 1.2L/min
최저사용 보장시간	10min	5min	-
흡기 온도	50℃ 이하	흡입공기의 상대습도가 다음과 같을 때,	호기 온도로부터의 상승이
		30% 이하 : 60℃ 이하 30% 초과 : 50℃ 이하	C 형 : 13℃ 이하 K 형 : 28℃ 이하 P 형 : 13℃ 이하
흡입공기 중 CO ₂ 함량	3.0vol% 이하	평균 1.5 vol% 이하 모든 시험에서 3.0vol% 이하	3.0vol% 이하
사용 온도범위	-15 ~ 60℃	-5 ~ 60℃	-
질량	7.5kg 이하 (포장용기 제외)	5kg 이하 (포장용기 포함)	-
강도 시험항목	○	○	○
부식 시험항목	○	○	○
화염 시험항목	○	○	×

- 한편, 자급식 방연마스크의 최저사용 보장시간에 대해서 KFIS 024는 10분으로 EN 13794는 5분으로 명시되어 있다. JIS M 7651의 경우 최저사용 보장시간에 대한 항목은 존재하지 않았다.
- 자급식 방연마스크는 폐쇄된 마스크 내부에서 공기가 순환하는 원리를 사용하므로 착용자의 호기, 화학반응으로 인해 흡입되는 공기(흡기)의 온도가 상승할 수 있다. 때문에 KFIS 024는 흡기 온도를 50 ℃ 이하로 제한하고 있으며, EN 13794는 상대습도가 30 % 이상인 경우 60 ℃, 그 이하인 경우 50 ℃ 이하로 제한하고 있다. 한편 JIS M 7651은 공급 방식별로 구분하고 호기에 의한 온도상승량에 제한을 두고 있다. 이때 C, P형은 호기 온도로부터 13 ℃, K형은 28 ℃ 이상 상승할 수 없다.
- 흡입 공기 중 CO₂ 함량은 KFIS 024, JIS M 7651가 3.0vol% 이하로 동일하다. 이와 유사하게 EN 13794는 모든 시험에서 최대 3.0vol% 이하로 제한하고 있으나, 이들의 평균값이 1.5vol% 이하가 되어야 한다는 차이가 있다.
- 보관 온도를 비롯한 사용 온도범위는 KFIS 024가 -15 ~ 60℃이고 EN 13974는 -5 ~ 60℃로 KFIS 024가 더 넓은 온도 범위를 가졌으며, JIS M 7651은 이러한 온도 범위에 대한 제한이 없다.
- 자급식 방연마스크는 압력용기, 반응물 등이 포함되기 때문에 정화식 방연마스크보다 질량이 클 수밖에 없다. JIS M 7651은 이러한 질량 제한이 없는 것으로 나타났으며, KFIS 024는 포장용기를 제외한 자급식 방연마스크의 질량을 7.5kg 이하로 제한하고 있다. 그러나 EN 13974는 포장용기를 포함해서 5kg 이하로 명시되어있기 때문에 자급식 방연마스크 자체의 무게는 KFIS 024보다 2.5kg 이상 더 가벼울 것으로 추정된다.
- 또한 세 기술기준 모두 자급식 방연마스크의 강도와 부식에 대해 시험을 수행하고 있으나, 가연성 및 난연성에 대한 화염 시험 항목은 KFIS 024와 EN 13974만 보유하고 있다.

2) 자급식 방연마스크의 구조적 특징

- 자급식 방연마스크의 구조는 산소 공급시스템을 비롯하여 머리 전체를 보호하는 후드, 얼굴 또는 호흡기만을 보호하는 면체로 구분된다. KFIS 024는 후드 형태로 구조가 명시되어있으며, EN 13794와 JIS M 7651의 경우 머리 전체를 보호하는 후드 대신 면체를 적용한다는 특징이 있다. 면체는 얼굴만을 보호하는 전면형 마스크 또는 호흡기만을 보호하는 마우스 피스로 분류되며, JIS M 7651과는 달리 EN 13794는 디맨드 밸브(흡기 시에만 열리는 일방향 밸브)에 의존하는 P형에 전면형을 사용하도록 제한하고 있다. <표 IV-15>

<표 IV-15> 자급식 방연마스크의 기술기준 : 최소한의 구성

기술기준	KFIS 024	EN 13794	JIS M 7651
	화재용 자급식호흡기구	자급식 폐쇄회로 호흡장치	폐쇄순환 산소 자기구명기
C형	-	• 면체 • 반응카트리지 • 호흡주머니	• 면체 • 호흡관 • 호흡주머니 • 반응 카트리지 • 정화캔
K형	• 후드 • 반응카트리지 • 호흡주머니	• 면체 • 반응카트리지 • 호흡주머니	• 면체 • 호흡관 • 호흡주머니 • 반응카트리지
P형	• 후드 • 압력용기 • 작동장치 • 공급관	• 면체(전면형 마스크) • 디맨드 밸브	• 면체 • 정화캔 • 호흡주머니 • 감압 및 디맨드 밸브 • 고압산소 용기

- 산소 공급시스템을 살펴보면, C, K형은 호흡주머니와 화학반응을 위한 반응카트리지를 갖추어야 한다. 특히 다른 기준들과는 다르게 JIS M

7651의 C, P형 자급식 방연마스크에만 정화캔이 포함되어 있다. 자급식 방연마스크는 외기를 유입시키지 않고 내부 공기가 순환하는 폐쇄순환구조를 갖는다. 이러한 특성으로 인해 착용자의 호기에 포함된 CO_2 가 마스크 내부에 쌓이지 않도록 정화캔을 사용하여 흡수하는 것으로 보인다. 한편 K형 자급식 방연마스크의 경우 CO_2 가 KO_2 와 반응하기 때문에 정화캔 없이도 CO_2 가 제거될 수 있다.

- KFIS 024는 후드를 사용함으로써 화재 시 머리 전체를 보호하며, 부분적으로 마우스피스를 허용하는 것으로 보인다. EN 13794와 JIS M 7651은 안면부만 보호하거나 호흡기만을 보호한다는 차이가 존재한다.
- KFIS 024는 화재 대피를 목적으로 만들어진 인증기준이지만, JIS M 7651과 EN 13794는 질식 위험이 있는 공간에서 사용될 목적으로 만들어졌다.

JIS M 7651

1. 적용범위

이 규격은 광산, 터널, 공장 등에서 화재, 폭발, 기타 사고로 발생한 유해가스, 연기, 산소결핍 등으로 인해 생명에 위험이 있는 곳에서 탈출할 때 이용하는 폐쇄순환식 산소자기구명기(이하 자기구명기라 한다.)에 대해 규정한다.

EN 13794

1. 적용범위

이 유럽 표준은 탈출을 위한 자급식 폐쇄 회로 호흡 장치, 화학적 산소(KO_2 , NaClO_3) 유형 및 압축 산소 유형(단어: 산소 탈출 장치)에 대한 최소 요구사항을 규정함. 이 유럽 표준은 작업 및 구조 장비 및 다이빙 장비에는 적용되지 않음.

- 실제로 KFIS 024, JIS M 7651와 다르게 EN 13794는 전문 어디에서도 화재와 관련된 단어를 찾아볼 수 없다. 그러나 EN 13794가 정화식 방연마스크의 기술기준인 EN 403과 동일한 문헌을 많이 차용한 점과 가연성 시험항목을 갖춘 점을 토대로 볼 때, 해당 기술기준이 화재 대피 상황에서도 충분히 적용됨을 알 수 있다. <표 IV-16>

〈표 IV-16〉 자급식 방연마스크의 후드 및 면체의 구성

기술기준		KFIS 024	EN 13794	JIS M 7651
		화재용 자급식호흡기구	자급식 폐쇄회로 호흡장치	폐쇄순환 산소 자기구명기
후드		착용자의 머리를 완전히 감싸는 구조	-	-
면 체	전면형 마스크	-	조절이 가능한 머리끈과 안면 렌즈	
	마우스 피스	입술과 잇몸 사이 또는 두 개의 치아에 물리는 바이트 (노즈 클립과 마우스피스는 일체형일 것)		

- P형 산소공급 시스템의 구조는 고압가스용기, 릴리프 또는 배기밸브, 압력지시계로 구성된다. 고압가스용기는 압축공기가 포함되어 있으며, 압축공기는 감압시스템을 거쳐 낮은 압력과 일정한 유량으로 공급된다. <표 IV-17>
- KFIS 024에는 고압가스용기에 대한 자체적인 규정이 마련되어 있다. 고압가스용기의 강도는 충전설계압력 2배로 5분정도 가압했을 때 파손되거나 누설이 발생하지 않아야 한다. 또한 고압가스의 충전량은 설계된 용량의 $\pm 5\%$ 가 되어야 한다. 한편 국외 기준인 EN 13794와 JIS M 7651에는 자국의 고압가스 관련법을 따르도록 명시되어 있다.

〈표 IV-17〉 P형 자급식 방연마스크 : 산소공급시스템 구조

기술기준	KFIS 024	EN 13794	JIS M 7651
	화재용 자급식호흡기구	자급식 폐쇄회로 호흡장치	폐쇄순환 산소 자기구명기
고압가스 용기	- 충전설계압력의 2배로 5분간 가압할 때 파손, 누설이 없을 것 - 충전량은 설계값의 $\pm 5\%$ 이내일 것	- 가스용기는 국가규정에 따를 것 - 허용압력의 설계값보다 높은 고압가스를 연결할 수 없는 구조일 것	고압가스 단속법에 적합한 것
배기 밸브	'작동장치'를 작동시켜 과압이 발생하는 경우는 배기밸브 등을 장착할 것	릴리프 밸브가 설치된 경우 100Pa 이상의 양압에서 개방될 것	배기밸브가 설치된 경우 150 ~ 500Pa에서 작동할 것
호흡관	-	호흡호스는 유연하고, 꼬이지 않을 것 턱이나 팔의 압력으로 가스 공급을 제한하거나 차단해서는 안됨	착용 중 관형의 변형에 의해 통기 저항이 현저한 증가가 발생하지 않는 구조여야 한다.
압력 지시계	사용자가 가스를 재충전할 수 있는 경우 압력용기 내부 압력을 표시하는 압력계를 부착할 것	최대 충전압력을 나타내는 압력지시계를 장착할 것	압력지시계가 있는 경우 최저산소보유압력을 쉽게 인지할 수 있도록 눈금을 표시할 것

- 릴리프 밸브 또는 배기밸브는 내부 압력이 높아질 때 외부로 공기를 배출하는 원리를 사용하며, 자급식 방연마스크 내부의 압력이 지속적으로 높아지거나, 순간적인 과압을 방지하기 위해 장착된다. 이때 작동압력은 EN 13794에서 100Pa, JIS M 7651에서 150 ~ 500Pa로 규정하고 있다. 그러나 KFIS 024의 경우 배기밸브의 작동압력에 대해 별도로 지정하지 않고 있다.

JIS M 7651

4.8 자동 배기 밸브의 작동성

자기 구멍기의 자동 배기 밸브의 작동성은 7.8에 따라 시험했을 때, 작동 압력은 150~500Pa {15.3~51.0 mmH₂O}이어야 한다.

EN 13794

6.13 릴리프 밸브

6.13.1 일반

장치에 릴리프 밸브가 제공되는 경우 장치의 방향에 관계없이 제대로 작동해야 하며 먼지 및 기계적 손상으로부터 보호되거나 내성이 있어야 함. 장치의 누출 테스트를 허용하기 위해 배기 밸브를 밀봉하기 위한 수단이 제공되어야 함. 시험은 7.3에 따라 수행되어야 함.

6.13.2 개방 압력

릴리프 밸브는 1mbar 이상의 양압에서 개방되어야 함. 방출 밸브가 재생 카트리지가 이전의 호흡 회로에 위치할 때, 방출 밸브와 호흡백의 입구 사이의 압력 강하는 세트의 정격 작업 기간 동안 어떤 시간에도 방출 밸브의 최소 개방 압력보다 커서는 안 됨. 시험은 7.7에 따라 수행되어야 함.

- 압력 지시계의 경우 KFIS 024과 EN 13794에서 압력용기를 충전하기 위한 보조 수단으로 명시되어 있다. 그러나 유사시에는 용기 내부의 압력을 확인함으로써, 해당 보호구가 산소를 원활히 공급할 수 있는지를 확인하는 용도로 사용될 수도 있다.
- JIS M 7651은 압력 지시계에 이러한 공급 여부를 파악할 수 있도록 최저산소보유압력을 인지할 수 있는 눈금을 포함하도록 요구한다. 추가적으로 EN 13794는 압력계가 파손되어 착용자에게 줄 수 있는 피해를 최소화하기 위한 방안을 마련해놓았다.

JIS M 7651

5.3 각부의 구조 자기구멍기의 각부의 구조는 다음과 같다.

(8) 압력지시계 압력지시계를 가진 것은 그 눈금은 제조업자가 정한 사용 가능한 최저 산소보유 압력을 쉽게 인지할 수 있도록 눈금이 그려져 있어야 한다.

EN 13794

6.23.8 압력 지시계

장치에는 가스 용기의 최대 충전 압력을 나타내는 신뢰할 수 있는 압력 표시기가 장착되어 있어야 한다.

압력 표시기는 항상 가스 용기 씰의 작동과 독립적으로 작동해야 한다.

폭발이 발생하거나 표시기의 압력 요소가 파손된 경우 폭발이 착용자의 전면에서 멀어지도록 적절한 분출 해제 장치가 포함된 압력 표시기가 제공되어야 한다.

창이 압력 표시기에 통합된 경우 쪼개지지 않는 투명한 재질이어야 한다.

표시기가 손상된 경우 200bar 압력에서 호흡 가능한 공기의 유출량이 5L/min의 속도를 초과하지 않도록 제한 장치가 제공되어야 합니다. 공칭 압력이 더 낮은 경우 요구 사항은 공칭 압력에서 충족되어야 합니다.

테스트는 7.3 및 7.16에 따라 수행되어야 합니다.

- C, K형 자급식 방연마스크는 반응카트리지, 호흡주머니, 호흡관, 정화캔 등의 산소공급시스템으로 구성된다. 반응 카트리지는 KO_2 , NaClO_3 과 같은 반응물이 포함되어, 화학반응을 통해 산소를 공급하는 기구이다. EN 13794은 C형에 대해서만 반응 카트리지에 대해 갑작스러운 과압을 방지하기 위한 장치를 포함시키고 있다.
- JIS M 7651의 경우 C, K형에 대한 구분 없이 반응물이 치우치거나 분화되지 않도록 카트리지를 설계할 것을 요구한다. 한편 KFIS 024에는 반응 카트리지에 대한 어떠한 기준도 마련되어 있지 않다. <표 IV-16>

〈표 IV-18〉 C, K형 자급식 방연마스크 : 산소공급시스템 구조

기술기준	KFIS 024	EN 13794	JIS M 7651
	화재용 자급식호흡기구	자급식 폐쇄회로 호흡장치	폐쇄순환 산소 자기구명기
반응 카트리지	-	C형 카트리지에는 압력안전 장치(예: 버스트 디스크)가 포함될 것	외부로부터 충격, 진동으로 약제의 치우침, 분화가 생기기 어려운 구조일 것
호흡 주머니	1분 동안 1kPa의 압력을 가할 때, 내부 압력 감소가 $\pm 5\%$ 이내일 것	호흡주머니의 용적은 최소 6L이어야 함.	충분한 용적, 기밀성 및 강도를 갖는 구조일 것
포장용기	정화캔 및 산소 발생제를 사용한 제품은 성능저하가 되지 않도록 제품 포장의 기밀을 유지하는 구조일 것	포장용기는 장시간 동안 누출이 없도록 설계될 것	•휴대용인 경우 휴대에 의한 마찰, 충격 등으로 쉽게 변형 파손되지 않는 구조일 것 •큰 힘을 들이지 않고 열 수 있고, 내용물을 쉽게 꺼낼 수 있는 구조일 것 •충분한 기밀성을 가지며, 개봉 여부를 알 수 있는 구조일 것
정화캔	-	-	외부로부터 충격, 진동에 대하여 통기의 단락 및 현저한 통기저항의 상승이 없고 이산화탄소 흡수능력 저하가 적은 구조

- 호흡주머니에는 반응카트리지로부터 생성된 산소 또는 압력용기로부터 공급된 공기가 저장된다. 때문에 착용자의 원활한 호흡을 위해서는 호흡주머니의 용적이 커야 한다. JIS M 7651에는 수치적으로 상세한 내용은 없으나, 호흡주머니가 충분한 용적, 기밀성, 강도를 가져야 한다고 명시되어 있다.
- 한편 EN 13794의 경우 호흡주머니의 내용적이 6L 이상이 되도록 요구한다. KFIS 024의 경우 호흡주머니의 내용적에 대한 내용은 없으나, 기밀성은 1kPa의 압력으로 1분간 가압했을 때 $\pm 5\%$ 이내가 되어야 한다고 명시되어있다.

JIS M 7651

5.3 각부의 구조 자기구명기의 각부의 구조는 다음과 같다.

(3) 호흡 주머니 충분한 용적, 기밀성 및 강도를 갖는 구조여야 한다.

EN 13794

6.14 호흡 주머니

호흡백 또는 제공된 추가 보호 조치는 예측 가능한 사용 조건을 견뎌야 함.

호흡백의 용적은 최소 6L 여야 함.

시험은 7.8에 따라 수행되어야 함.

- 포장용기의 경우 모든 기술기준에서 산소공급시스템의 성능이 저하되거나, 휴대 시 마찰, 충격 등에 의해 파손되지 않도록 기밀을 유지하는 구조로 제작되어야 한다고 명시되어 있다.
- 또한 정화캔 구조의 경우 JIS M 7651에 통기저항이 상승하지 않고 이산화탄소 흡수능력이 저하되지 않는 구조로 명시되어 있다.

3) 자급식 방연마스크의 설계 요구사항

- KFIS 024는 자급식 방연마스크의 강도를 평가하기 위해 낙하강도, 인열강도, 내굴곡성 강도, 이음매 및 공급관 강도 시험항목을 갖추고 있다. EN 13794와 JIS M 7651의 경우 낙하강도 및 진동시험 또는 전동충동강도를 평가한다. <표 IV-19>
- 자급식 방연마스크에 사용된 재료에 대해 모든 기술기준에서 금속인 경우 내식성을 갖추도록 요구하고 있다. 또한 자급식 방연마스크는 착용이나 취급 과정에서 착용자에게 해를 주지 않는 구조(모서리나 날카로운 부분이 없는 것)로 제작되어야 한다.

- 특히 KFIS 024는 부식방지 처리가 되어있는 경우 외력에 의해 벗겨지지 않아야 한다는 기준이 명시되어 있으며, EN 13794와 JIS M 7651은 공통적으로 피부에 닿는 재료가 자극이나 건강상 영향을 주지 않도록 제한하고 있다.

〈표 IV-19〉 자급식 방연마스크 : 설계요구사항

기술기준	KFIS 024	EN 13794	JIS M 7651
	화재용 자급식호흡기구	자급식 폐쇄회로 호흡장치	폐쇄순환 산소 자기구명기
강도	착용, 취급 과정에서 손상, 변형이 발생하지 않는 구조일 것 • 낙하강도 • 내굴곡성 • 인열강도 • 이음매, 공급관 강도	장치는 충격과 진동시험을 받아야 함. • 낙하강도 • 진동시험	강도, 탄성 등이 용도에 대해 적절해야 함. • 낙하강도 • 전동충동강도
재료	• 금속재료는 내식성이 있을 것 • 부식 방지처리를 한 경우 도금, 칠 등이 손의 마찰 등에 의해 이탈되지 않을 것 • 착용 및 취급 과정에서 착용자에게 해를 주지 않는 구조일 것	• 포장용기, 잠금장치는 부식으로부터 적절히 보호될 것 • 피부에 직접 닿는 소재는 자극이나 건강에 부작용을 주는 재료를 사용하지 않을 것 • 착용자와 접촉할 수 있는 장비의 표면에는 날카로운 모서리, 거친 부분이 없을 것	• 금속 재료는 내식성이거나 적절한 방식으로 처리할 것 • 피부에 접촉하는 부분의 재료는 피부에 유해한 영향을 주지 않을 것 • 마우스 피스의 재료는 부드럽고 맛, 냄새가 적을 것
점화 및 발화 방지	• 방염성능 시험을 통과할 것	• 마찰 스파크가 발생하지 않는 금속 및 합금을 사용할 것 • 산소 발화가 발생하지 않도록 산소와 접촉할 수 있는 물질을 선택하는데에 주의할 것	-
질량	7.5 kg 이하 (포장용기 제외)	5 kg 이하 (포장용기 포함)	-
입자상물질 보호	• 분말입자가 유입될 우려가 있는 경우 분진필터를 장착할 것 • 분진필터는 석면, 유리 섬유 등 유해섬유로 제조하지 않을 것	• 압축산소를 공급하는 기기의 부품은 압축 산소에 포함될 수 있는 입자 물질의 유입으로부터 안정적으로 보호될 것	-

- 산소가 발생하는 용기나 카트리지, 운반되는 공급관에서 스파크가 발생하거나 외부 화염에 의해 손상된다면, 화재 및 폭발의 위험이 있다. 이러한 점화 및 발화를 방지하기 위해 KFIS 024는 자급식 방연마스크에 대한 방염성능을 확인하고 있다. EN 13794는 산소와 접촉할 수 있는 부위에 마찰, 스파크가 발생하지 않는 합금을 사용하는 등 물질 선정에 주의할 것을 당부하고 있다.
- 자급식 방연마스크의 질량은 KFIS 024에서 포장용기를 포함하여 7.5kg 이하, EN 13794에서 포장용기를 제외하고 5kg 이하로 제한하고 있으나, JIS M 7651는 자급식 방연마스크에 대한 질량 제한을 별도로 명시하지 않았다.
- 가적으로 자급식 방연마스크에 산소를 공급할 때 산소 외의 불순물(입자 또는 분말)이 유입되는 것을 막기 위해, KFIS 024와 EN 13794에는 별도의 설계 요구사항이 있는 것으로 나타났다.

4) 자급식 방연마스크의 착용성능

- 착용자가 대피에 집중할 수 있도록 모든 기술기준은 방연마스크를 손으로 지지하지 않는 구조가 되도록 활동성에 대한 기준을 명시하고 있다. <표 IV-20>
- 착용 신속성 측면에서 KFIS 024는 30초 이내에 자급식 방연마스크를 착용하도록 요구한다. 한편, 다른 기술기준에서는 구체적인 착용시간에 대한 언급 없이 신속히 착용해야 한다는 내용만 존재한다.
- 추가적으로 KFIS 024를 제외한 기술기준에는 기기의 오작동을 방지하고 원활한 작동을 위한 요구사항이 존재한다. EN 13794는 착용자의 부주의로 인해 자급식 방연마스크의 빠른 작동을 돕는 QSS(Quick Start System)를 작동시키거나, 용기의 특수 고정장치가 열리지 않도록 명시하고 있다.
- JIS M 7651은 착용자가 적절한 힘을 가했을 때 장치가 작동하도록 제

한하고 있다. 이때, 누르는 방식의 경우 100N 이하, 회전시키는 방식의 경우 800N·cm 이하의 힘으로 작동해야 한다.

〈표 IV-20〉 C, K형 자급식 방연마스크 : 산소공급시스템 구조

기술기준	KFIS 024	EN 13794	JIS M 7651
	화재용 자급식호흡기구	자급식 폐쇄회로 호흡장치	폐쇄순환 산소 자기구명기
활동성	착용상태에서 손을 사용하지 않고 휴대가 가능한 구조일 것	•사용중인 장비는 착용자가 손을 자유롭게 할 수 있도록 머리끈 또는 기타 지지 수단이 있을 것 •제조업체 지침에 따라 수행할 때 활동을 방해하지 않도록 설계될 것 •모든 머리끈은 도움 없이 장비를 빠르고 쉽고 정확하게 착용할 수 있도록 설계될 것	•머리나 손발의 움직임을 심히 제한하지 않을 것 •착용하고 탈출할 때 비정상적인 압박 고통이 수반되지 않을 것 •자기구명기의 조작에 특별히 주의를 기울이지 않고 탈출에 전념할 수 있는 구조일 것
착용신속성	호흡기구를 착용하여 완전하게 작동시키는 때까지의 시간은 30초 이내일 것	•어두운 곳, 제한된 공간, 어려운 조건에서 무리한 노력 없이 간단하게 착용하고 작동할 수 있을 것 •모든 머리끈과 기타 지지 수단은 도움 없이 장비를 빠르고 쉽고 정확하게 착용할 수 있게 설계할 것	취급이 간단하고, 신속, 유효, 확실히 착용할 수 있는 구조일 것
작동		•QSS(장착된 경우)를 실수로 시작하는 것은 불가능할 것 •장치의 용기에 특수 고정 장치가 있는 경우 부주의로 열리지 않도록 설계해야 함.	•레버등을 누르거나 당겨서 작동시키는 작동장치는 100 N 이하의 힘에 의하여 작동되어야 한다. •손잡이를 회전시켜서 작동시키는 작동장치는 800 N·cm이하의 회전력에 의하여 작동되어야 한다.

5) 자급식 방연마스크의 산소공급성능

- 자급식 방연마스크의 사용 보장시간 동안 적절한 산소공급유량을 보장할 필요가 있다. 이때 P형은 일정한 속도로 공급하는 정량보급형, 폐에 의해 제어되는 디맨드형, 두 방식을 혼합한 복합형으로 구분되고, 각 유형별로 산소공급성능 기준이 달라진다. 한편 KFIS 024은 모든 자급식 방연마스크에 대해 사용 보장시간은 지정하였으나, 산소공급유량이 명시되어있지 않다. <표 IV-21>
- 정량보급형은 사용 보장시간 동안 EN 13794에서 4.0L/min 이상, JIS M 7651에서 최소 0.8L/min, 평균 1.2L/min 이상의 산소가 공급되어야 한다고 명시되어 있다.
- 디맨드 형은 폐의 호흡에 의해 산소가 공급되는 방식이므로 앞서 언급된 유량들보다 높아져야 하고, 개방압력에 대해 제한을 두고 있다. EN 13794는 개방압력이 주변보다 200Pa 낮고, 10bar 이상의 용기 압력에서 최소 80L/min이 되어야 한다. JIS M 7651은 흡인량이 10 ± 0.5 L/min일 때, 흡인 압력이 750Pa 이내가 되어야 한다.
- 복합형인 경우 EN 13794는 일정한 흐름으로 공급될 때 정량보급형과 동일한 산소공급유량이 적용된다. 이와 마찬가지로 폐에 의해 제어될 때 디맨드 형과 동일한 유량으로 적용된다.

〈표 IV-21〉 P형 자급식 방연마스크 : 산소공급유량

기술기준	KFIS 024	EN 13794	JIS M 7651
	화재용 자급식호흡기구	자급식 폐쇄회로 호흡장치	폐쇄순환 산소 자기구명기
정량보급형	-	4.0L/min 이상	• 평균 : 1.2L/min 이상 • 최소 : 0.8L/min 이상
디맨드형	-	• 산소유량 : 최소 80L/min • 개방압력 : 200Pa 이하	• 흡인량 : 10 ± 0.5 L/min • 흡인압력 : 750Pa
복합형	-	• 일정한 산소흐름인 경우 정량보급형과 동일함 • 산소유량이 폐에 의해 제어되는 경우 디맨드형과 동일함	-

- C형의 경우 EN 13794는 4.0L/min의 유량으로 산소를 공급해야 한다고 명시되어 있으며, JIS M 7651은 산소 유량이 시험 중 최소 0.8L/min 이상, 평균 1.2L/min 이상이 되어야 기준을 만족할 수 있다. <표 IV-22>
- EN 13794은 K형에 대해 명확한 산소공급유량을 지정하고 있지 않다. 그러나 JIS M 7651은 초기 산소공급장치 유무에 따라서 적절한 산소공급유량을 산정하는 방식을 사용한다.

〈표 IV-22〉 C, K형 자급식 방연마스크 : 산소공급유량

기술기준	KFIS 024	EN 13794	JIS M 7651
	화재용 자급식호흡기구	자급식 폐쇄회로 호흡장치	폐쇄순환 산소 자기구명기
C형	-	4.0 L/min	평균 : 1.2L/min 이상 최소 : 0.8L/min 이상
K형	-	적절한 산소유량을 호흡회로로 전달할 것	• 초기 산소보급장치가 있는 경우, 산소발생량이 공칭 사용시간의 1.2배보다 크거나 같을 것^{a)} • 초기 산소보급장치가 없는 경우, 산소발생량이 공칭 사용시간의 1.2배보다 크거나 같을 것^{b)}

a) 산소발생량(L) = 자동 배기밸브로부터의 방출량(L) - 초기보급가스량(L) + 호흡주머니 내용량(L) ≥ 공칭사용시간(min) × 1.2(L/min)

b) 산소발생량(L) = 자동 배기밸브로부터의 방출량(L) ≥ 공칭사용시간(min) × 1.2(L/min)

6) 자급식 방연마스크의 호흡성능

- 자급식 방연마스크의 흡입공기 중 CO₂ 함량에 대한 기준은 정화식 방연마스크와 크게 차이 나지 않은 것으로 나타났다. KFIS 024를 비롯한 EN13794, JIS M 7651 모두 흡입공기 중 CO₂ 함량이 3.0vol% 이하가 되도록 제한하고 있다.
- 조금 더 구체적으로 EN 13794은 평균 함량이 1.5vol% 이하가 되도록 요구하지만, 사용 시간이 15분 이하인 자급식 방연마스크에는 적용되지 않는다.

- 추가적으로 JIS M 7651은 자급식 방연마스크의 구조상 일산화탄소(CO)가 발생할 우려가 있는 경우에 대해서 CO 50ppm 이하, 염소(Cl_2) 1ppm 이하가 되도록 명시하고 있다. <표 IV-23>

〈표 IV-23〉 자급식 방연마스크의 호흡성능

기술기준	KFIS 024	EN 13794	JIS M 7651
	화재용 자급식호흡기구	자급식 폐쇄회로 호흡장치	폐쇄순환 산소 자기구명기
흡입공기 중 CO_2 함량	3vol% 이하	최대 : 3.0vol% 이하 평균 : 1.5vol% 이하 사용시간이 15분 이하인 경우 평균값은 고려하지 않음	3.0vol% 이하 (일산화탄소가 발생할 가능성이 있는 구조인 경우 CO 50 ppm 및 Cl_2 1ppm을 초과할 수 없음.)
호흡 저항	흡기 저항은 -750Pa 이하, 배기저항은 750Pa 이상일 것	[시험유량 35L/min] • 최저 사용보장시간이 30 분 미만인 경우 흡기 및 배기 저항의 합계는 1.6kPa, 흡기 저항은 1.0kPa이하 • 최저 사용보장시간이 30 분 이상인 경우 흡기 및 배기 저항의 합계는 1.3kPa, 흡기저항은 7.5kPa이하 [시험유량 70 L/min] • 흡기저항은 2.0kPa 이하	흡기 및 배기 저항의 피크값은 750Pa 이하일 것 (단 15초간 호기 및 흡기저항의 피크값은 고려하지 않음)
기밀성	릴리프 밸브가 없는 경우, 1kPa의 압력을 1 분간 호흡주머니에 가할 때 내부 압력 감소는 $\pm 5\%$ 이내일 것	즉시 사용가능한 장치의 경우 7.5 kPa로 가압할 때 압력변화가 1분 이내에 30Pa를 초과하지 않도록 누출이 없을 것	600 $\pm$ 30 Pa로 가압할 때 압력저하가 100 Pa 이하일 것
흡기온도	50 ℃ 이하	흡입공기의 상대습도가 다음과 같을 때,	호기 온도로부터의 상승이
		30% 이하 : 60℃ 이하 30% 초과 : 50℃ 이하	C 형 : 13℃ 이하 K 형 : 28℃ 이하 P 형 : 13℃ 이하
사용온도	-	장치는 -5 ~ 60℃의 온도범위에서 올바르게 작동할 것.	장치는 60 $\pm$ 2℃ 및 -15 $\pm$ 2℃의 온도에서 각각 20시간 동안 방치하는 경우 구조 변형등의 이상이 없을 것

- 호흡 저항의 경우 KFIS 024에서는 흡기저항은 음압 기준 750Pa 이상, 배기 저항은 750Pa 이하로 제한하고 있으며, JIS M 7651도 KFIS 024와 동일한 호흡저항값을 제시하고 있다. EN 13794는 시험 유량에 대해 다양한 호흡저항값을 제시하고 있는데, 시험유량이 35L/min일 때 사용 보장 시간이 30분 미만인 경우 흡기저항은 1kPa 이하, 배기저항과 흡기저항의 합은 1.6kPa이하가 되어야 한다. 예를 들어 흡기저항이 750Pa로 다른 기준들과 동일하다면, 배기저항은 이보다 높은 850Pa이하로 제한된다.
- 기밀성에 대한 시험기준은 각 기술기준마다 적용하는 위치, 압력변화량이 상이하지만, 가압에 따른 누기의 정도를 판단한다는 점에서 동일하다. KFIS 024는 호흡주머니에 1kPa의 압력으로 1 분간 가압할 때 압력 감소가 $\pm 5\%$ (50 Pa) 이내가 되도록 요구하고 있다.
- EN 13794의 경우 장치를 7.5kPa로 가압할 때 압력변화를 30Pa 이하로 제한하고 있으며, JIS M 7651은 600 ± 30 Pa로 가압할 때의 압력변화가 100Pa 이하가 되도록 요구하고 있다. 여기서 EN 13794는 다른 기술기준보다 약 6 ~ 7배 더 높은 압력으로 가압함에도 불구하고 가장 적은 압력변화를 요구하기 때문에 기밀성 측면에서 우수할 것으로 보인다.
- 흡기온도는 KFIS 024에서 50℃ 이하로 제한되고 있다. EN 13794는 상대습도에 따라서 구분되며, 약 50 ~ 60℃ 정도로 KFIS 024와 비슷한 수준이다.
- 한편 JIS M 7651은 작동방식에 따라서 흡기온도의 상승량을 지정하고 있으며, 호기온도 대비 흡기온도의 상승량은 C, P형이 13℃, K형은 28℃ 이하가 되어야 한다. 호기 온도는 개인의 활동량, 신진대사 등에 따라서 달라지지만, 앉아있는 경우 평균적으로 약 33℃ 정도이다(Zhang, X, 2017). 따라서 JIS M 7651에 명시된 호기 온도는 약 58 ~ 61℃ 정도 다른 기술기준보다 조금 더 높은 것으로 추정된다.

7) 자급식 방연마스크의 강도, 내식성 및 화염에 대한 성능

- 자급식 방연마스크의 모든 기술기준이 낙하강도를 시험하고 있으며, KFSI 024와 EN 13794는 1.5m 높이에서 자급식방연마스크 콘크리트 바닥으로 낙하시킨다. 이때 낙하 회수는 KFIS 024가 1회 더 많음. JIS M 7651는 약 1m 높이에서 시험을 수행하며, 콘크리트를 비롯하여 송판, 삼나무판도 사용이 가능하다. <표 IV-24>
- 진동시험과 전동충동강도 시험은 정화식 방연마스크에서 수행하는 기계적 내구력 시험과 동일한 방법을 사용하는 것으로 나타났다. 이때 EN 13794는 캠이 100rpm으로 회전하여 500회 진동시키고, JIS M 7651은 더 낮은 속도인 60rpm으로 300회 진동시킨다는 차이가 있다. 한편 KFIS 024는 기계적 내구력 시험을 사용하지 않으나, 내굴곡성, 인열강도, 이음매 및 공급관 강도 등 다양한 내구성 시험을 요구하고 있다.
- 내식성의 경우 EN 13794, JIS M 7651에서는 별도의 성능시험을 거치지 않는 것으로 나타났다. KFIS 024의 경우 약 5wt%의 염화나트륨 수용액(염수)을 금속재료에 분무하는 시험항목을 갖고 있다. 해당 시험은 염수를 8시간 동안 분사하고 16시간 동안 방치하는 과정을 총 5회 반복하여 금속의 부식 유무를 판단한다.
- 자급식 방연마스크에 대한 가연성 및 난연성 시험항목은 KFIS 024, EN 13794에서만 존재한다. 특히 EN 13794에는 시험 기준이 세부적이지 않았으나, KFIS 024의 경우 3가지 항목(난연성, 불꽃 관통성, 방염성능)에 대한 열적 성능시험의 기준이 명시되어 있다.
- KFIS 024에서 난연 성능의 경우 후드 및 호흡주머니의 연소속도가 25 mm/min 이하가 되어야 한다. 이는 KS M 6766의 난연성 시험항목과 동일한 내용이다. 또한 후드 및 호흡주머니에 불꽃관통성 시험을 수행하였을 때 3초 이내에 불꽃이 관통하지 않아야 하며, 방염성능 시험의 경우 잔염시간 3초, 잔신 시간 5초, 탄화면적 30cm², 탄화길이 20cm 이 내가 되어야 한다.

〈표 IV-24〉 자급식 방연마스크 : 강도, 내식성 및 화염 성능

기술기준	KFIS 024 화재용 자급식호흡기구	EN 13794 자급식 폐쇄회로 호흡장치	JIS M 7651 폐쇄순환 산소 자기구명기
강도	[낙하강도] 1.5m 높이에서 콘크리트 바닥으로 4회 낙하 [내굴곡성] - 후드를 비틀림 굴곡저항성 시험으로 5,000회 시험하였을 때 외관상 손상, 파손이 없을 것 [인열강도] - 두건 재료의 인열강도는 경사 위사 방향으로 각각 10N 이상일 것 [이음매, 공급관 강도] - 이음매의 봉합강도는 30N 이상일 것 - 공급관은 10N의 하중을 가할 때 통기에 지장이 없을 것 - 공급관의 바깥지름에 10N의 하중을 가할 때 단축의 길이 변화율은 20% 이내일 것	[낙하강도] 1.5m 높이에서 콘크리트 바닥으로 3회 낙하 [진동시험] - 시험장치는 총 500회 회전하는 동안 약 100rpm 속도로 작동할 것	[낙하강도] 1±0.05m 높이에서 콘크리트 바닥위나 송판 또는 삼나무 판에 4회 낙하 [전동충동강도] - 시험장치는 총 300회 회전하는 동안 약 60rpm 속도로 작동할 것
내식성	금속에 5wt% 염수 분무로 5 사이클^{a)} 시험할 때, 부식이 발생하지 않을 것	윤반용기와 잠금장치는 부식으로부터 적절히 보호될 것.	금속 재료는 내식성인 것 또는 적절한 방식 처리를 할 것
화염성능	[난연성 시험] - 후드(안면창 포함) 및 호흡주머니의 연소속도는 25mm/min 이하일 것 [불꽃관통성시험] - 후드(안면창 포함) 및 호흡주머니에 3초 이내에 불꽃 관통이 생기지 않을 것 [방염성능시험] - 후드 및 호흡주머니에 사용된 가연성 재료는 잔염시간 3초, 잔신시간 5초, 탄화면적 30 cm², 탄화길이 20cm 이내일 것	EN 13274-4 (Respiratory protective devices - Methods of test - Part 4 : Flame test) 방법 4에 따라 시험할 것	-

a) 내식성 시험에서의 1 사이클 : 5 wt% 염수를 8시간 분무하고, 16시간 방치함

라. 재난안전제품 인증

- 재난안전제품 인증은 재난안전 기술이 적용된 제품에 대한 적합성을 인증하는 제도이다(행정안전부, 2021). 해당 제도는 국민이 인증받은 제품을 믿고 사용함으로써 일상속에서 안전을 확보하도록 돕고, 기업이 우수한 기술을 개발하고 제품을 만들어 판매하도록 하여 관련 분야 산업을 활성화하기 위하여 도입되었다(행정안전부, 2017).

재난 및 안전관리 기본법 : 제73조의4(재난안전제품의 인증)

- ① 행정안전부장관은 재난안전기술을 이용한 각종 제품(이하 “재난안전제품”이라 한다) 중 대통령령으로 정하는 국민생활과 밀접한 재난안전제품에 대하여 신청을 받아 적합성 인증(이하 “인증”이라 한다)을 할 수 있다.
- ② 인증의 유효기간은 인증을 받은 날부터 3년으로 하되, 재심사를 거쳐 그 기간을 연장할 수 있다.
- ③ 행정안전부장관은 인증을 받은 제품이 다음 각 호의 어느 하나에 해당하면 인증을 취소할 수 있다. 다만, 제1호에 해당하는 경우에는 그 인증을 취소하여야 한다.
 1. 거짓이나 그 밖의 부정한 방법으로 인증을 받은 경우
 2. 제5항에 따른 인증기준에 미치지 못하는 경우
- ④ 행정안전부장관은 제3항에 따라 인증을 취소하려면 청문을 하여야 한다.
- ⑤ 제1항부터 제4항까지에서 규정한 사항 외에 신청절차, 인증기준 및 그 밖에 인증에 필요한 사항은 대통령령으로 정한다.

1) 재난안전제품 인증의 대상

- 재난관리 체계별로 재난에 대한 예방·대비·대응·복구와 관련된 제품군에 포함되면 재난안전제품으로 볼 수 있다. 하지만, 재난안전제품 인증의 대상은 기존 사용되는 평범한 제품이 아닌 재난안전을 확보할 수 있는 우수 기술이 적용된 제품을 대상으로 한다.

- 한편, 재난안전제품 인증을 받기 전에는 인증을 받을 수 있는가에 대한 적합성을 검토해야 한다, <표 IV-25>와 같이 5가지 항목에 대해 적합성을 평가하며, 모두 적합할 때 인증을 신청한 제품을 심사한다(행정안전부, 2021).
- 특히 신청제품의 재난안전 기능과 관련하여, 타 인증제도가 존재하지 않는 경우에만 재난안전제품 인증을 받을 수 있다. 때문에 KS M 6766, KFIS 024의 인증범위를 벗어나는 방연마스크는 재난안전제품 중 개인보호구 제품으로써 재난안전제품 인증을 받고 있다. <표 IV-26>

<표 IV-25> 재난안전제품 인증심사 전 적합성 검토항목

검토항목	적합여부	
제품 출시를 위한 필수요건(강제인증 등) 획득 여부	○	획득 또는 해당사항 없음
	×	미획득
특허, 지적재산권 등에 대한 권리침해 여부	○	침해하지 않음
	×	침해함
신청제품의 재난안전 기능과 관련된 타 인증제도 존재 여부	○	존재하지 않음
	×	존재함
신청제품(모델 포함)의 포괄적 제시 여부	○	특정 모델 제시
	×	포괄적 제시
신청제품이 제품의 범위에 속하는지 여부	○	제품에 해당
	×	소프트웨어 등

〈표 IV-26〉 재난안전제품 인증 : 인증 대상

인증 품목		품목별 정의
1. 예측·진단	1-1. 재난예측제품	기상 및 기후변화, 풍수해 등 예방적 차원에서 재난을 사전 예측하여 재난 피해를 최소화하기 위한 제품
	1-2. 구조물 진단 제품	구조물의 효용성 증진 및 과학적 유지관리를 위해 구조물의 안전성을 진단하는 제품
	1-3. 비구조물진단 제품	구조물 외 전기, 가스, 전자파 등의 재난상황을 사전에 진단·점검하는 제품
2. 감지	2-1. 모니터링 제품	화재, 홍수, 테러 등 재난 상황 발생 및 진행 상황에 대비하기 위한 추적감시제품
	2-2. 안전센서제품	재난 발생 및 발생 징후를 감지하여 신속히 재난을 대비하여 피해를 최소화할 수 있는 감지 제품
3. 대비	3-1. 개인보호구제품	재난이나 사고로부터 사람의 신체를 보호하기 위하여 착용하는 제품
	3-2. 시설물보강제품	노후, 손상에 의해 취약해진 시설물 등의 안전 및 유지관리를 위한 보수보강 제품 또는 예상되는 재난에 대응하기 위하여 새롭게 설치되는 제품
4. 대응	4-1. 확산방지 제품	재난으로 인한 피해를 최소화하기 위하여 재난요인 의확산을 차단하기 위해 사용되는 제품
	4-2. 위험인자해소제품	재난 발생 후 재난 확산을 가속화하거나 추가적인 2차 피해를 유발하는 위험인자를 제거하기 위한 제품
5. 대피	5-1. 비상탈출 제품	육상 및 해상 재난 시 신속하게 위험지역을 이탈하기 위한 비상탈출 목적의 제품
	5-2. 대피안내제품	재난 발생 경고 및 인면의 안전한 대피를 유도하기 위하여 사용되는 제품
6. 구조	6-1. 해상구조 제품	해상사고 및 재난 발생 시 인명을 안전하게 구조하기 위해 사용되는 제품
	6-2. 구조물 내 구조 제품	빌딩, 지하공간, 터널, 운송수단등 구조물(시설) 내의 인명 구조 및 주요 물품 회수 등을 위해 사용되는 제품
	6-3. 야외구조제품	산악사고, 산불, 교통사고 등 야외에서 발생하는 재난에서 인명을 구조하기 위해 사용되는 제품
7. 복구	7-1. 시설물 복구 제품	주택, 공공시설복구 등 재난복구 사업을 위해 사용되는 제품
	7-2. 구호 제품	이재민 구호를 위해 사용되는 제품
8. 기타	8-1. 기타 재난안전 제품	상기 분류에 포함되지 아니하여도 국민이 사용하고 활용함으로써 안전을 지킬 수 있는 제품

2) 재난안전제품 인증의 주요 심사항목

- 재난안전제품은 1차 심사, 현장심사, 2차 심사로 나누어지며, 1차 심사는 크게 4가지 주요 심사항목과 기본검토 항목을 갖추고 있다.
- 각 심사항목은 재난안전에 대한 적합성, 기술의 우수성, 신뢰성 및 안정성, 경제적 효과성이며, 10점 척도로 평가된다. <표 IV-27>
- 이때 평균 점수가 70점 미만인 경우는 인증을 받을 수 없다. 여기서 평균 점수는 심사 점수 중 최고 점수와 최저 점수를 제외한 합산 점수의 평균을 의미한다. 또한 기본 검토 항목 중에서 1개 이상이 부적합 판정을 받은 경우에도 인증을 받을 수 없다.<표 IV-28>(행정안전부, 2021)

〈표 IV-27〉 재난안전제품 인증 : 주요 심사 항목

심사항목		내용	점수
적합성	재난안전 사용 가능성	재난의 예방, 대비, 대응 및 복구 활동에 대한 사용 가능성 정도	10
	재난안전 보호 정도	각종 사고로부터 국민의 생명, 신체 또는 재산을 보호할 수 있는지 정도	10
	안전기준 충족도	신청 제품이 재난안전기준에 충족하는지 정도	10
	재난안전 적합도	신청 제품이 재난안전제품으로서 적합한지 정도	10
기술의 우수성	기술수준 우수성	핵심기술의 기존 제품대비 기술수준 우수성	15
	기술의 적용성	핵심기술 적용으로 제품 본연의 기능(안전성능) 향상 정도	15
	차별성	기존 상용제품 비교, 핵심기술의 차별성(난이도, 개선) 정도	10
신뢰성 및 안정성		극한 재난상황(장기간 사용 또는 보관 등)에서 신뢰성 유지 및 안정성 정도	10
경제적 효과성		시장 파급력, 가격 경쟁력 정도	10

〈표 IV-28〉 재난안전제품 인증 : 기본 검토 항목

기본 검토 항목 (부적합인 경우 ✓ 표시)
[] 제품 출시를 위한 필수요건(강제인증 등) 획득 여부
[] 특허, 지적재산권 등에 대한 권리 침해 여부
[] 신청제품의 재난안전 기능과 관련된 타 인증제도 존재 여부
[] 신청제품(모델 포함)이 특정되지 않고 포괄적으로 제시했는지 여부
[] 신청제품이 제품의 범위에 속하는지 여부(소프트웨어 등 제외)

- 현장심사에서는 신청제품을 제조하는 국내외의 사업장, 제조공장(하청공장을 포함한다) 또는 신청제품이 설치된 장소 등(이하 "현장"이라 한다)을 방문하여 1차 인증심사 결과의 현장 확인, 신청제품의 지속적인 생산·관리 가능성 및 품질경영체계 등에 대해 평가한다.
- 그리고 2차 인증심사는 신청서류 검토, 현장심사 및 전문기관의 시험·검사 결과 등이 인증기준을 충족하는지를 종합적으로 결정하는 심사이다(행정안전부, 2021).

3) 재난안전제품 인증의 심사위원회

- 한편 재난안전제품 인증은 KS M 6766, KFIS 024와는 다르게 정량적인 성능 심사기준을 마련하고 있지 않다. 그러나 전문가로 구성된 심사위원회를 운영하여 인증심사를 진행하고, 제품 성능을 검토한다.
- 위원회는 5년 이상의 경력을 보유한 조교수, 책임연구원급 이상으로 5년 이상 근무한 자 등으로 구성되며, 1차 심사, 현장심사, 2차 심사위원회의 역할은 다음과 같다(행정안전부, 2021).

재난안전제품 인증제도 운영규정

제10조(1차 심사위원회)

① 1차 심사위원회의 업무는 다음 각 호와 같다.

1. 재난안전제품 인증대상 해당 여부의 심의
2. 신청제품의 적합성, 안전성 및 기술의 우수성 등에 대한 심사
3. 신청제품의 시험·검사의 항목·방법에 대한 적정성 여부 심사
4. 제4조제1항 및 제14조에 따른 1차 인증심사의 생략 여부의 심의
5. 그 밖에 인증심사와 관련하여 인증전문기관의 장이 필요하다고 인정하는 사항

제11조(현장심사위원회)

① 현장심사위원회의 업무는 다음 각 호와 같다.

1. 신청서류에 대한 적정성 및 1차 인증심사 결과의 현장 확인
2. 신청제품의 지속적 생산 및 관리 가능성 등에 대한 심사
3. 제6조에 따른 시험·검사를 위한 시료 채취 및 전문기관에 시험·검사 의뢰
4. 품질경영체계 등에 대한 심사
5. 그 밖에 현장심사와 관련하여 인증전문기관의 장이 필요하다고 인정하는 사항

제12조(2차 심사위원회)

① 2차 인증심사위원회(이하 "2차 심사위원회"라 한다)의 업무는 다음 각 호와 같다.

1. 재난안전제품의 인증 여부 심의
2. 그 밖에 인증심사와 관련하여 인증전문기관의 장이 필요하다고 인정하는 사항

위원회의 구성

① 인증전문기관의 장은 신청제품에 대하여 제4조제1항에 따른 인증심사를 위하여 1차 심사위원회, 현장심사위원회 및 2차 인증심사위원회(이하 "위원회"라 한다)를 구성·운영할 수 있다.

인증전문기관의 장은 심사위원회의 위원을 다음 각 호의 어느 하나에 해당하는 사람 중 위촉한다.

1. 「고등교육법」제2조 각 호의 학교에서 5년 이상 관련 분야 연구 경력이 있는 조교수 이상인 자
2. 국·공립 또는 행정안전부장관이 인정한 공인연구소의 책임연구원급 이상으로 5년 이상 근무한 자
3. 「국가표준기본법」제23조의 제2항에 따른 인정기구로부터 인정받은 시험·검사 기관에서 책임연구원급 이상으로 5년 이상 근무한 자
4. 「기술사법」에 의한 기술사 자격, 「변리사법」에 의한 변리사 자격, 또는 소관 분야 박사학위를 보유한 자
5. 제조업체에서 10년 이상 해당 기술 분야에 근무하였거나 제조업체 또는 관련 협회·단체의 임원으로 재직하고 있는 자
6. 그 밖에 제1호부터 제5호까지에 따른 기준과 같거나 그 이상의 자격, 학력 또는 경력이 있다고 행정안전부장관이 인정하는 자

3. 방연마스크의 안전성 확보를 위한 성능기준 적용방안

- 국내 방연마스크 관련 기준은 KS M 6766, KFIS 024, 재난안전제품 인증이 있으며, 재난안전제품 인증을 제외한 국내 기준들은 국외의 성능기준 및 시험항목을 상당히 잘 반영하고 있다. 기존의 국내 성능기준을 활용한다면, 방연마스크의 성능을 충분히 보장할 수 있을 것으로 판단된다.
- 재난안전제품 인증은 KS, KFI 인증을 받지 못하는 방연마스크를 인증할

수 있다는 장점이 있지만, 그러나 성능에 대한 정량적인 기준이 마련되어 있지 않기 때문에 화재 상황에서의 성능을 담보하기 어렵다.

- 따라서 화재 상황에서 곧바로 대피하지 않고 일정 시간 동안 머물러야 하는 화재감시자의 경우, KS 또는 KFI 인증을 받은 방연마스크를 지급할 필요가 있다. <표 IV-29>
- 한편, 모든 근로자들에게 KS 또는 KFI 인증제품만을 지급하는 것은 수량이나 가격적인 측면에서 어려움이 있다. 게다가 일반근로자는 화재 시 신속하게 대피하기 때문에 화재 현장에 오랫동안 머무르지 않는다. 따라서 현시점에서는 간이형태의 재난안전제품까지 포함하여 방연마스크를 지급하는 것이 합리적일 수 있다.
- 그러나 재난안전인증 제품의 성능을 담보하기 어려운 점을 토대로 볼 때, 장기적으로는 기업에서 KS, KFI 인증을 받은 방연마스크를 자율적으로 보급할 수 있도록 여건을 조성할 필요가 있다.
- 국내의 방연마스크 성능기준이 마련된 상태에서 새로운 인증제도를 도입한다면, 동일 품목에 대해 여러 인증기준이 충돌하므로 시장에 혼란을 야기할 수 있다. 따라서 새로운 인증제도를 도입하기보다는 기존의 인증제도를 사용하는 것이 바람직하다.

〈표 IV-29〉 방연마스크 사용자 특성에 따른 성능기준 적용

구분	화재감시자용 방연마스크	일반근로자용 방연마스크
형태	후드형 정화식 및 자급식 방연마스크	후드형 정화식 및 자급식 방연마스크 또는 안면형, 반면형, 손수건형 방연마스크
권장 기준 및 기관	KS M 6766, KFIS 024 및 이와 동등한 국외 기준	KS M 6766, KFIS 024, 재난안전인증 및 이와 동등한 국외 기준
	한국표준협회, 한국소방산업기술원 및 이와 동등한 국외 기관	한국표준협회, 한국소방산업기술원, 행정안전부 및 이와 동등한 국외 기관

4. 방연마스크 정의와 인증기준 및 제도 분석 소결

- 방연마스크는 화재 유독가스와 연기로부터 착용자를 보호하는 것이 중요하다. 하지만 소방관의 화재 대응에 사용되는 전문 마스크와 달리, 현존하는 화재 대피용 방연마스크는 정화식이나 자급식 등의 형태에 따라 보호 방식과 성능에 있어 장단점이 뚜렷하다.
- 따라서 특정 형태의 방연마스크만 사용하도록 방연마스크의 개념을 정의하는 것은 바람직하지 않다.
- 이러한 문제점을 고려하여, 방연마스크의 개념을 다음과 같이 정의하는 것을 제안한다.

방연마스크란 화재로 인한 유독가스와 연기를 거르거나 차단할 수 있도록 제조되어 화재 장소로부터 피난 또는 대피에 사용되는 것을 말한다.

- 위와 같은 방연마스크의 정의는 정화식과 자급식 형태를 모두 포함하며, 넓은 의미에서 재난안전제품으로 인증된 간이형 제품도 활용할 수 있게 하므로, 방연마스크의 자율적인 지급 확대에 기여할 수 있다.
- 방연마스크의 성능에 관한 국내 인증 기준으로 KS M 6766(정화식), KFIS 024(자급식), 재난안전제품 인증이 있으며, KS와 KFIS 인증 기준은 국제 성능기준과 시험항목을 충실하게 반영하고 있다.
- KS 또는 KFI 인증을 받지 못하는 방연마스크는 재난안전제품 인증을 통해 성능을 정성적으로 평가받을 수 있는 체계가 마련되어 있다. 따라서 방연마스크에 대해 새로운 인증제도를 도입하더라도, 기존 인증제도와 실질적으로 동일한 성능 기준을 사용하게 된다. 또한 방연마스크는 근로자와 일반 시민이 모두 사용하는 제품이기 때문에, 새로운 산업용 인증제도가 도입된다면 하나의 제품에 산업용 인증과 민간 인증을 모두 받아야 하는 부담이 발생하고, 시장 혼란 및 인증 기준의 충돌 등이 야

기될 수 있다.

- 그러므로 새로운 인증제도를 도입하기보다, 기존의 인증제도를 사용하는 것이 합리적일 수 있다. 다만, 재난안전인증은 방연마스크의 성능을 정량적으로 평가하지 않기 때문에, 화재감시자에게는 KS나 KFIS 인증 방연마스크를 제공하는 것이 바람직하다. 또한 근로자용 방연마스크도 가급적 KS 또는 KFIS 인증 제품을 사용하도록 유도하는 것이 필요하다.

V. 결론



V. 결론

- 본 연구는 일반 근로자에게 방연마스크를 확대 지급하는 방안의 필요성을 체계적으로 검토하고, 방연마스크의 안전성과 성능을 확보할 수 있는 기준, 규격 및 인증 제도의 방향을 마련하기 위해 진행되었다.
- 방연마스크 지급 확대의 필요성을 판단하기 위해 선진국 등 각국의 방연마스크 지급에 관한 법령 및 유사제도를 조사하고, 화재사고 사례 분석을 통해 화재 시 사망 원인 등을 분석하였다. 또한 설문조사를 통해 다양한 업계의 의견을 분석하고, 실험을 진행하여 화재 발생 시 방연마스크 사용에 따른 화재 대피 효과를 분석하며, 비용-편익분석을 통해 의무 지급의 타당성을 검토하였다.
- 방연마스크의 안전성 및 성능 확보를 위한 기준과 규격 설정을 위해서, “방연마스크”를 정의하고 제품 인증의 필요성을 구체적으로 검토하며, 국·내외 성능 인증 기준과 표준을 비교 및 분석하였다.
- 방연마스크와 관련한 각국의 법령 및 유사제도를 분석한 결과 미국, 영국, 일본 등 주요 선진국은 방연마스크의 보급과 사용 확대를 위해 노력을 하고 있다. 하지만, 주요 선진국도 방연마스크를 의무 지급하는 규정이나 제도는 없는 것으로 조사되었다.
- 많은 연구에 따르면 화재 사고 시 사망의 주요 원인은 유독가스와 연기로 나타났다. 특히 화재 사고 사망자의 상당수는 일산화탄소 중독이 심각한 수준인 것으로 분석되었다.
- 한편, 다양한 계층을 대상으로 한 설문조사에서, 응답자의 대다수가 방연마스크의 지급 확대를 필요로 하고 피해 저감에 도움이 될 것으로 기대하였다. 또한 방연마스크의 기본적인 성능인 연기 차단이나 열기의 차단 이외에도 착용의 편리성 및 신속성을 중요한 요소로 응답하였다.
- 2010년부터 2020년 9월까지의 산업 화재 통계 자료를 정밀 분석한 결과, 산업 화재의 연도별 발생 건수는 감소 추세지만 화재 사망자는 감소

하지 않았다. 한편 산업 화재로 인한 재해자의 약 72%가 제조업(47%)과 건설업(25%)에서 발생하고 있지만, 제조업과 건설업의 화재 Risk(화재 사고 천인율, 사망 만인율, 화재 빈도)는 전체 산업의 화재 Risk와 유사하거나 조금 높은 수준인 것으로 분석되었다.

- 3048건의 산업 화재 개요를 대상으로 Text-mining 분석을 실행한 결과, 산업 화재 중 화기 작업에 의해 발생한 화재는 약 28.71%이고, 전기 작업은 약 4.97%, 기타 작업은 약 66.32%로 분석되었다. 이처럼 화기 작업에 의한 화재의 발생 비율이 높지 않기 때문에, 화재 위험이 높은 작업이나 장소를 특정하여 방연마스크를 의무 지급하는 것이 어렵다는 것을 알 수 있다.
- 방연마스크 착용성과 활동성을 평가한 결과, 평균 약 50초의 착용 시간이 소요되고 활동 시 시야, 호흡, 의사소통 등 다양한 불편함을 유발하기 때문에, 매우 긴급한 대피가 필요한 상황에서는 방연마스크의 의무 지급과 착용이 새로운 어려움을 초래할 수도 있다는 것을 알 수 있다.
- 방연마스크 지급 확대 시 다양한 시나리오를 가정하여 비용-편익 분석을 한 결과, 제조업과 건설업 전체 근로자를 대상으로 한 방연마스크 지급의 B/C Ratio는 0.09(자급식) 또는 0.13(정화식)으로 낮기 때문에, 전면적인 의무 지급 사업은 적합성을 확보하기 어렵다. 하지만 근로자의 10%에게 제한적으로 정화식 또는 자급식 방연마스크를 지급한다면, 편익/비용 비율(B/C ratio)이 0.88(정화식) 또는 1.21(자급식) 이상으로 수용이 가능한 수준인 것으로 분석되었다.
- 이러한 결과를 종합해 볼 때, 근로자(특히, 제조업과 건설업 근로자)에 대해 방연마스크 지급을 의무화하는 것은 신중할 필요가 있으며, 기업이 자율적으로 방연마스크의 비치율을 늘리도록 하는 것이 바람직하다고 판단한다.
- 한편 현존하는 화재 대피용 방연마스크는 소방관의 화재 대응에 사용되는 전문 마스크와 달리, 정화식이나 자급식 등의 형태에 따라 보호 방식

과 성능에 있어 장단점이 뚜렷하다. 따라서 특정 형태의 방연마스크만 사용하도록 방연마스크의 개념을 정의하는 것은 바람직하지 않다.

- 이러한 문제점을 고려하여, 방연마스크의 개념을 다음과 같이 정의하는 것을 제안한다. “방연마스크란 화재로 인한 유독가스와 연기를 거르거나 차단할 수 있도록 제조되어 화재 장소로부터 피난 또는 대피에 사용되는 것을 말한다.”
- 위와 같은 방연마스크의 정의는 정화식과 자급식 형태를 모두 포함하며, 넓은 의미에서 재난안전제품으로 인증된 간이형 제품도 활용할 수 있게 하므로, 방연마스크의 자율적인 지급 확대에 기여할 수 있다.
- 국내와 국외 방연마스크 성능에 관한 인증 기준을 비교분석한 결과, 국내 인증 기준으로 KS M 6766(정화식), KFIS 024(자급식), 재난안전제품 인증이 있으며, KS와 KFIS 인증 기준은 국제 성능기준과 시험항목을 충실하게 반영하고 있다.
- KS 또는 KFIS 인증을 받지 못하는 방연마스크는 재난안전제품 인증을 통해 성능을 정성적으로 평가받을 수 있는 체계가 마련되어 있다. 따라서 방연마스크에 대해 새로운 인증제도를 도입하더라도, 기존 인증제도와 실질적으로 동일한 성능 기준을 사용하게 된다.
- 또한 방연마스크는 근로자와 일반 시민이 모두 사용하는 제품이기 때문에, 새로운 산업용 인증제도가 도입된다면 하나의 제품에 산업용 인증과 민간 인증을 모두 받아야 하는 부담이 발생하고, 시장 혼란 및 인증 기준의 충돌 등이 야기될 수 있다.
- 따라서 새로운 인증제도를 마련하여 도입하기보다, 기존의 인증제도를 사용하는 것이 바람직하다고 판단된다. 다만, 재난안전인증은 방연마스크의 성능을 정량적으로 평가하지 않기 때문에, 화재감시자에게는 KS나 KFIS 인증 방연마스크를 제공하는 것이 바람직하다. 또한 근로자용 방연마스크도 가급적 KS 또는 KFIS 인증 제품을 사용하도록 유도하는 것이 바람직하다고 판단된다.

참고문헌

- [1] 건축물 마감재료의 난연성능 및 화재 확산 방지구조 기준. [시행 2021. 3. 29.] [국토교통부고시 제2020-1053호, 2020. 12. 28., 일부개정]
- [2] 고용노동부. 사업체노동실태현황. 2021
- [3] 고용노동부. 산업재해 현황분석(産業災害 現況分析). 2019
- [4] 국가기술표준원. Mask for emergency escape from fire — Filtering devices with hood for escape from fire — Requirements, testing, marking. KS M 6766. 2016
- [5] 국가법령정보센터. 중대재해 처벌 등에 관한 법률. 2021
- [6] 김태권. 화재대피용 간이호흡기구 기술기준 개발 연구(12098181000). 소방청;2009
- [7] 모철민, 김영수, 김범규, 박용환. An Experimental Evaluation on the Performance of the Fire Escape Masks. 한국화재소방학회 학술대회 논문집 2012;77-80.
- [8] 박재만, 김덕기, 신채호, & 신창섭. A Study on the Characteristics of $\text{CO}_3\text{O}_4\text{-}\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ Catalysts for the Emergency Escape Mask Cartridge. 한국화재소방학회 학술대회 논문집;2005;119-125.
- [9] 박찬임·이해춘. 산업재해의 경제적 손실비용 관련연구. 한국노동연구원. 2018
- [10] 배수용. 화재대피용 간이호흡기구, 누구를 위한 연구용역인가?〈1〉. <http://www.safekoreanews.com/4241>. 2010
- [11] 산업안전보건연구원. 2010~2020.09 산업재해현황. 2021
- [12] 산업안전보건인증원. (n.d.). 방호장치·보호구 안전인증 (KCs마크) 제도.
- [13] 소방청, 국가화재정보센터, <https://nfds.go.kr/stat/trend.do>

- [14] 소방청. 불 나면 대피먼저」교육·홍보사업 본격 착수.
https://www.nfa.go.kr/nfa/news/pressrelease/press/?boardId=bbs_0000000000000010&mode=view&cntId=450&category=&pageIdx=%20%20%20%20%20%20%20%20%20%20%20%20%20%20%203. 2019
- [15] 송윤아. 산재보험 비급여 의료비의 문제점과 개선방안. 한국보험연구원 2017
- [16] 안준기. 사고대비물질의 확대지정에 따른 비용편익분석. 국립교통대학교 석사학위논문 2017
- [17] 여인규. 「단열재 가스시험 우레탄 ‘미달’…업체 ‘반박’」, 『냉난방공조 신재생 녹색건축 전문 저널 ‘칸’』. 2021년 04월 04일,
<http://www.kharn.kr/news/article.html?no=15647>)
- [18] 이민호 외. 사회적 비용편익분석 사례 조사. 한국행정연구원 2018
- [19] 임상범. [기동] 지하철 ‘방연 마스크’, 오히려 안전 위협.
https://news.sbs.co.kr/news/endPage.do?news_id=N0311641229. 2004
- [20] 자치법규정보시스템. 해당지역 자치법규 목록.
http://www1.elis.go.kr/newlaib/renew_laibLaws/h1126/search_window_end_new.jsp?from=manage&sido=&sigungu=000&mode=title&value=%B9%E6%BF%AC%B8%B6%BD%BA%C5%A9
- [21] 조남욱, 이종천, 이동호. 연소독성지수와 마우스 행동정시시간 비교 연구, 한국화재소방학회논문지;2011
- [22] 최영. 간이호흡기구 논란 13개월째, 도데체 무슨일이?.
<https://www.fpn119.co.kr/10486>. 2010
- [23] 한국개발연구원. 예비타당성조사 수행을 위한 세부지침 일반부문연구. 2021
- [24] 한국산업안전보건공단. 작업환경실태조사. 2021
- [25] 한국소방산업기술원. 화재대피용 자급식호흡기구의 KFI인정기준.

KFIS 024. 2020

[26] 한국지방행정연구원. 소방활동 서비스로 인한 사회경제적 효과 분석. 2020

[27] 한국표준협회. (n.d.). KS인증제도 개요.
https://ks.ksa.or.kr/ksa_kr/959/subview.do

[28] 행정안전부. 재난 및 안전관리 기본법 시행령. 2021

[29] 행정안전부. 재난 및 안전관리 기본법. 2017

[30] 행정안전부. 재난안전제품 인증제도 운영규정. 2021

[31] American National Standards Institute. Standard Specification for Air-Purifying Respiratory Smoke Hood Escape Devices (RPED). ASTM E2952. 2014

[32] American Society for Testing and Materials. Standard Specification for Air-Purifying Respiratory Protective Smoke Escape Devices(PRED). ASTM E2952-17. 2017

[33] British Standards Institution. Respiratory protective devices — Self-contained closed-circuit breathing apparatus for escape — Requirements, testing, marking. BS EN 13794. 2002

[34] British Standards Institution. Respiratory protective devices for self-rescue — Filtering devices with hood for escape from fire — Requirements, testing, marking. BS EN 403. 2004

[35] Cone, D. C., Van Gelder, C. M., & MacMillan, D. Fireground use of an emergency escape respirator. Prehospital emergency care 2010;14(4):433-438.

[36] Giebułtowicz, J., Rużycka, M., Wroczyński, P., Purser, D. A., & Stec, A. A. Analysis of fire deaths in Poland and influence of smoke toxicity. Forensic science international, 277, 77-87. 2017

[37] Japanese Standard Association. Closed-circuit oxygen self

rescuers. JIS M 7651. 1996

[38] M Stefanidou, S Athanaselis, C Spiliopoulou. Health impacts of fire smoke inhalation. *Inhalation toxicology*. 2008;20(8);761-766.

[39] Zhang, X., Wargocki, P., & Lian, Z. Physiological responses during exposure to carbon dioxide and bioeffluents at levels typically occurring indoors. *Indoor air*, 2017;27(1);65-77.

Abstract

- Smokes from fires can make it difficult to secure visibility during evacuation from the fire, and toxic gases can reduce evacuation capacity and lead to death. Therefore, it is important to prepare effective evacuation equipments from the fire. In this context, regulations on industrial safety standards of the industrial safety requires employers to provide fire smoke and gas masks to fire monitors at hot work sites. However, specific discussion and consideration have not been made on necessities and methods of providing the fire smoke and gas masks to ordinary workers who account for the major victims of the industrial fires. The obligative supply of the fire smoke and gas masks to the ordinary workers may improve the efficiency of fire evacuation. However there are concerns that new regulations for the obligative supply of the masks will increase burdens and difficulties on companies and organizations. Therefore, the purpose of this study is to systematically investigate the necessity of the obligative supply of fire smoke and gas masks to the ordinary workers, and to establish proper direction to standards and certification systems for ensuring the performance and safety of the fire smoke and gas mask.
- In this study, it was found that major developed countries such as the US, UK and Japan, and Korea are trying to expand the use of the fire smoke and gas masks. However, major

developed countries do not have regulations or systems that oblige the employer to provide the fire smoke and gas mask to the ordinary workers. According to various researches of US, UK and Korea, smoke and toxic gases from the fire have caused a significant number of fire casualties. An on-line survey on 235 respondents was also conducted to investigate opinions of industrial workers on the fire smoke and gas masks. In the survey, 77% of respondents said that they knew about the fire smoke and gas mask, but only 22% of respondents had actually used them. 84% of respondents answered that the fire smoke and gas masks may reduce fire damage to workers.

- Statistic data for 3,048 fire accidents occurred in industrial facilities from January 2010 to September 2020 were thoroughly analyzed to evaluate fire risks of industrial sectors and hot-works. The number of industrial fires has been decreasing year by year, but the number of fire deaths has not decreased. About 72% of fire victims occurred in the manufacturing and construction companies. However, the fire risk of the manufacturing and construction companies was about the same or slightly higher, as compared to the averaged fire risk of the all sectors of industries. In addition, a text-mining analysis for root causes of the 3,048 fire accidents revealed that only 28.71% of the industrial fires can be attributed to the hot work. 66.32% of the industrial fires were not directly related to welding and cutting processes which were considered as major causes of industrial fires. Therefore,

it was difficult to find specific processes and sectors of the industrial that are highly vulnerable to the fire. In addition, analyses of the benefit to cost ratio (B/C ratio) revealed that the obligatory provision of the masks to ordinary workers is not suitable and plausible policy, since the B/C ratio for the policy was low of 0.09 ~ 0.13. In the donning test of the masks, it took about 50 seconds to wear the fire smoke and gas masks. This result implies that the fire smoke and gas masks may impede the fire evacuation. It was also found that subjects felt significant inconvenience such as unclear vision and respiratory difficulty. When all the studies were combined, the obligatory supply and use of the fire smoke and gas masks could bring more drawbacks than advantages in the short term. Therefore, It is desirable for companies to voluntarily increase the number and use of the fire smoke and gas masks.

- Various types of the fire smoke and gas mask have been devised and distributed, and each type of the mask has its own advantages and disadvantages. Therefore, it is not desirable to limit the types of the fire smoke and gas mask that can be used in the work places. Therefore the definition of the fire smoke and gas mask can be described as a mask that is manufactured to filter or block toxic gases or smoke caused by fire and to be used for evacuation from a fire site. KS and KFI certification standards for the fire smoke and gas mask fully reflect international performance standards and test items. In addition, an expert committee has been set up to evaluate fire smoke and gas masks outside the scope of KS

and KFI certification through disaster safety product certification. Therefore, the introduction of new certification standards and systems for certifying fire smoke and gas masks could cause confusion in the market and lead to conflicts in certification standards. Therefore, it may be reasonable to use the existing certification standards and systems for the fire smoke and gas mask. On the other hand, the certification system of disaster safety products does not quantify the performance of the fire smoke and gas mask. Therefore, fire monitors, who need to stay relatively long at fire sites, should be provided fire smoke and gas masks with sufficient protection, such as KS and KFI certified products.

연구진

연구기관 : 충북대학교

연구책임자 : 최영보 (부교수, 충북대학교)

연구원 : 이호규 (연구교수, 고려대학교)

연구원 : 강찬규 (조교수, 한경대학교)

연구원 : 최상원 (이사, (사)과학기술연우연합회)

연구원 : 안준모 (부교수, 고려대학교)

연구원 : 장봉조 (대표이사, 주식회사 릴라이어블)

연구보조원 : 손현우 (박사과정, 충북대학교)

연구보조원 : 이동해 (석사과정, 충북대학교)

연구보조원 : 김호림 (석사과정, 충북대학교)

연구보조원 : 김은지 (석사과정, 충북대학교)

연구보조원 : 박영은 (석사과정, 충북대학교)

연구상대역 : 임진호 (차장, 산업안전보건연구원)

연구기간

2021. 05. 01. ~ 2021. 10. 31.

본 연구는 산업안전보건연구원의 2021년도 위탁연구 용역사업에 의한 것임

본 연구보고서의 내용은 연구책임자의 개인적 견해이며,
우리 연구원의 공식견해와 다를 수도 있음을 알려드립니다.

산업안전보건연구원장

방연마스크 지급의무화 및 인증기준 마련에 관한 연구

(2021-산업안전보건연구원-613)

발 행 일 : 2021년 10월 31일

발 행 인 : 산업안전보건연구원 원장 김은아

연구책임자 : 충북대학교 부교수 최영보

발 행 처 : 안전보건공단 산업안전보건연구원

주 소 : (44429) 울산광역시 중구 종가로 400

전 화 : 052-7030-500

팩 스 : 052-7030-342

Homepage : <http://oshri.kosha.or.kr>

I S B N : 978-89-93948-90-5