

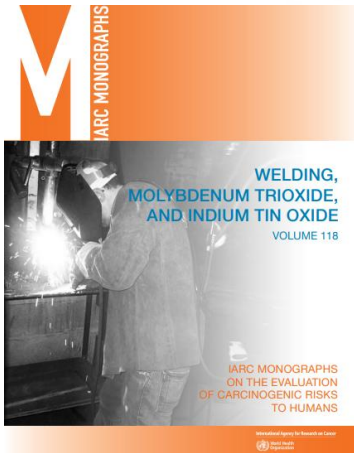
국내 용접 현장의 용접흄 노출 실태와 개인보호구 중심의 관리 전략

2026 한국산업보건학회 라운드테이블 발제

발표자: EHS 프렌즈 정태진 대표

1. 용접흠 관리 패러다임의 변화

- **배경:** 2017년 국제암연구소(IARC)가 스테인리스 뿐만 아니라 연강을 포함한 용접흠을 1군 발암물질(Group 1)로 재분류함에 따라, 용접흠 관리는 단순한 분진 저감을 넘어 ' 고독성 성분 중심의 정밀 리스크 관리 ' 로 전환.



‘There is sufficient evidence in humans for the carcinogenicity of welding fumes. Welding fumes cause cancer of the lung. Positive associations have been observed with cancer of the kidney.

There is sufficient evidence in humans for the carcinogenicity of ultraviolet radiation from welding. Ultraviolet radiation from welding causes ocular melanoma’.

- **발제의 목적:** 법적 기준 준수 여부를 떠나 실제 현장에서 근로자가 겪는 노출 실태를 다각도로 분석하고, 공학적 한계를 보완할 수 있는 개인보호구(PPE) 중심의 실효성 있는 관리 전략을 제언.

1. 용접흄 관리 패러다임의 변화

정의: 금속이 고열에 녹아 증기가 되었다가 급냉되며 형성된 $0.01\sim 1\mu\text{m}$ 초미세 고체 입자.

복합 유해성: 단순 분진이 아닌 독성 중금속의 콕테일.

망간(Mn), 6가 크롬(Cr^{6+}), 니켈(Ni), 카드뮴(Cd), 오존, NO_x



2. 국내 용접 현장 노출 실태

- **고농도 노출군**: 건설 현장 내 일반건축물 배관용접공의 용접흠 노출 수준은 기하평균 $4.75\text{mg}/\text{m}^3$ 로, 철골 용접공($3.76\text{mg}/\text{m}^3$)이나 플랜트 용접공($0.71\text{mg}/\text{m}^3$)에 비해 월등히 높고, 특히 지하 공간 작업 시 농도는 $7.75\text{mg}/\text{m}^3$ 에 달해 지상 작업 대비 3.6배 높게 나타남(2016, 박현희 등).
- **간접 노출의 위험**: 직접 용접을 하지 않는 천장크레인 운전원의 경우도 용접흠이 상승 기류를 타고 천장에 정체됨에 따라, 평균 $0.159\text{mg}/\text{m}^3$ 의 용접흠에 지속적으로 노출되고 있으며, 이는 용접사의 약 5% 수준이지만 장기간 노출 시 건강 영향을 무시할 수 없음(2015, 이경민 등).
- **밀폐공간**: 선박 내부나 탱크 등 환기가 불충분한 밀폐 공간(Confined Spaces)의 경우, 기하평균 농도가 $16.6\text{mg}/\text{m}^3$ 에 달해 노출 기준을 3배 이상 초과하는 사례가 빈번함(1997, 곽영순 등).

2. 국내 용접 현장 노출 실태

- 국내 외 노출기준의 차이: 망간, 6가 크롬의 국내기준은 해외 기준에 비해 50배 느슨하여, 국내 법적 기준 준수만으로는 건강 장해 예방을 담보할 수 없음.

유해인자	한국 (MOEL)	미국 (ACGIH Data Hub - 2026)	시사점
망간(Mn)	1.0mg/m ³	0.02mg/m ³ (호흡성)	국내 대비 50배 엄격, 미세입경(호흡성) 관리필수
6가크롬	0.01mg/m ³ (불용성) 0.05mg/m ³ (수용성)	0.0002mg/m ³ (흡입성)	국내 대비 50배 엄격, 사실상 무노출 수준 요구

3. 용접흠에 의한 건강 영향 및 직업병 사례

사고 사망자
(Accident Deaths)

812명

질병 사망자
(Disease Deaths)

1,206명

화학물질 및 업무상 질병자는
전체 재해의 **21%** (28,796명)를
차지하며 매년 증가 추세입니다.

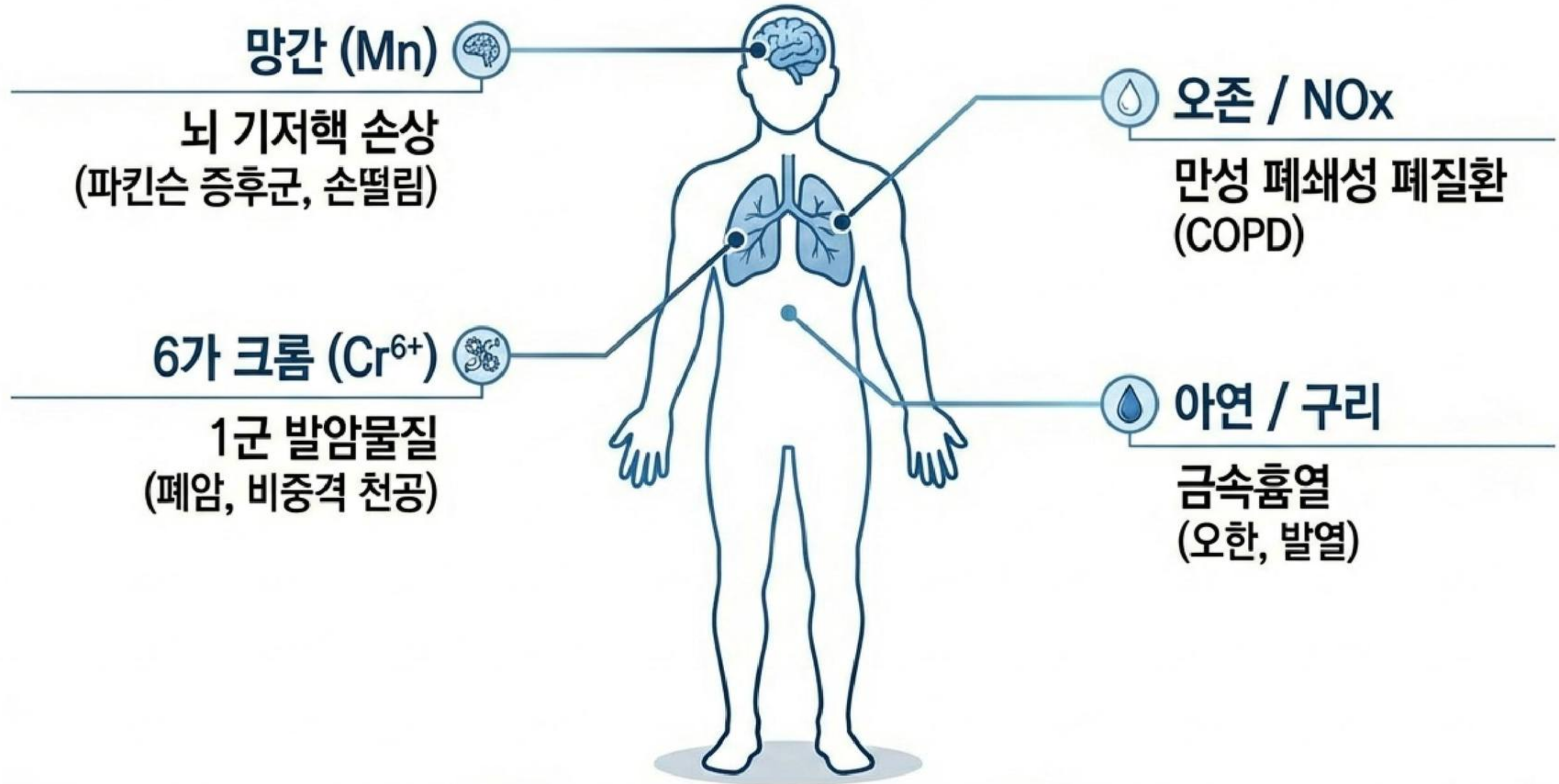
“

용접흠은 “**천천히
진행되는 살인자
(Slowly progressing
murderer)**”와 같습니다.

”

출처: 2023년 산업재해 통계

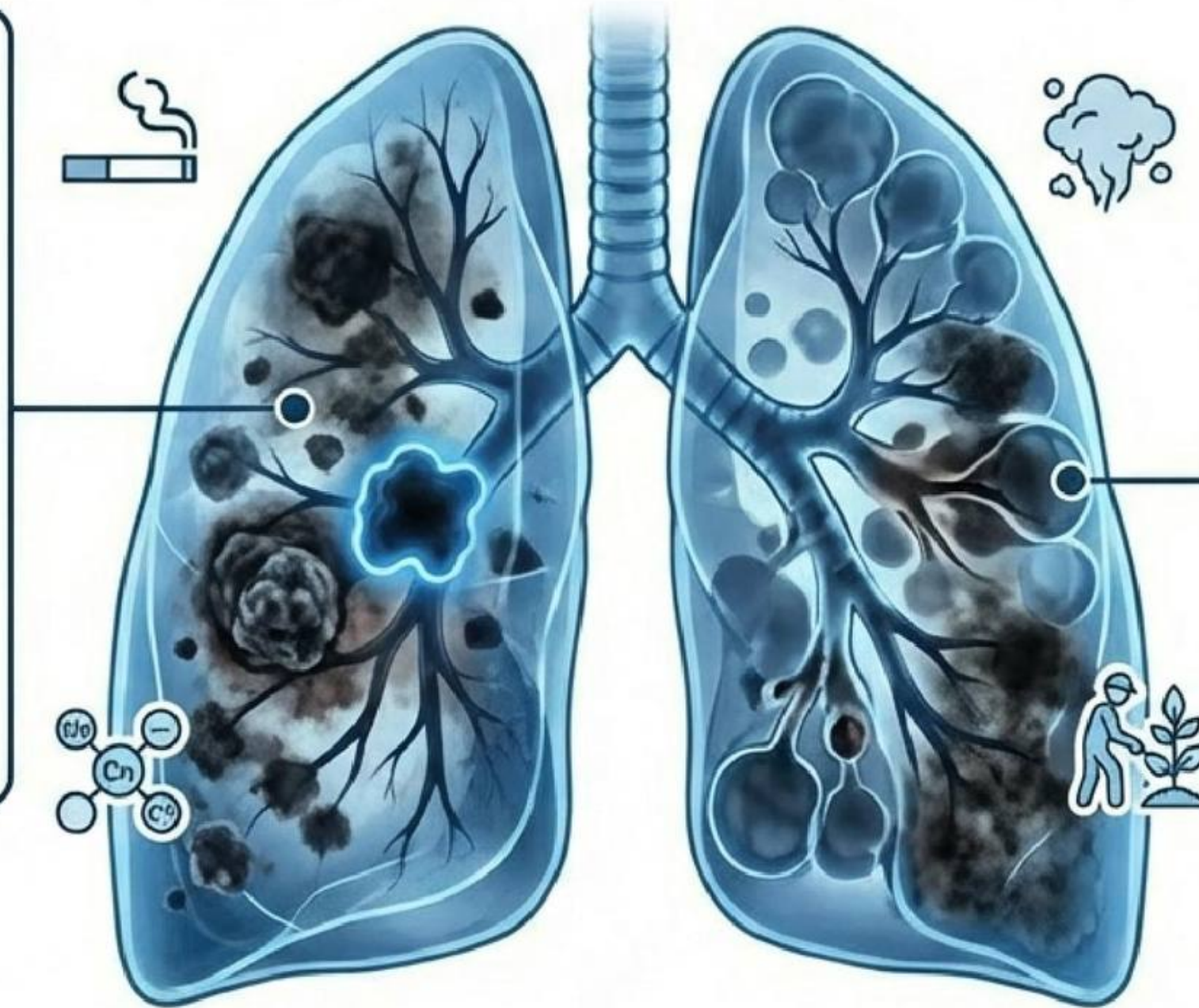
3. 용접흠에 의한 건강 영향 및 직업병 사례



3. 용접흡에 의한 건강 영향 및 직업병 사례

Case 1: 폐암 (Lung Cancer)

- 조선소 20년 근속.
흡연력이 있어도
6가 크롬, 니켈
복합 노출 인정되어
산재 승인.



Case 2: COPD (만성 폐쇄성 폐질환)

- 플랜트 건설 현장
(비흡연자).
- 장기간 흡과 가스
흡입에 의한
폐기능 회복 불능
인정.

3. 용접흠에 의한 건강 영향 및 직업병 사례



MRI 소견 – 기저핵(Basal Ganglia) 이상

- **Case Detail:** 자동차 부품 제조 15년 근무.
- **증상:** 손떨림, 보행 장애, 마스크 착용 곤란.
- **Critical Finding:** **혈중 망간 농도가 기준치 이하였음에도 불구하고, MRI 소견과 작업 환경의 열악성을 근거로 승인.**



Lesson: 기준치 이하 수치가 안전을 보장하지 않는다.

3. 용접흙에 의한 건강 영향 및 직업병 사례



- **IARC (국제암연구소):**
2017년 용접흙을 발암물질 Group 1으로 상향 조정.

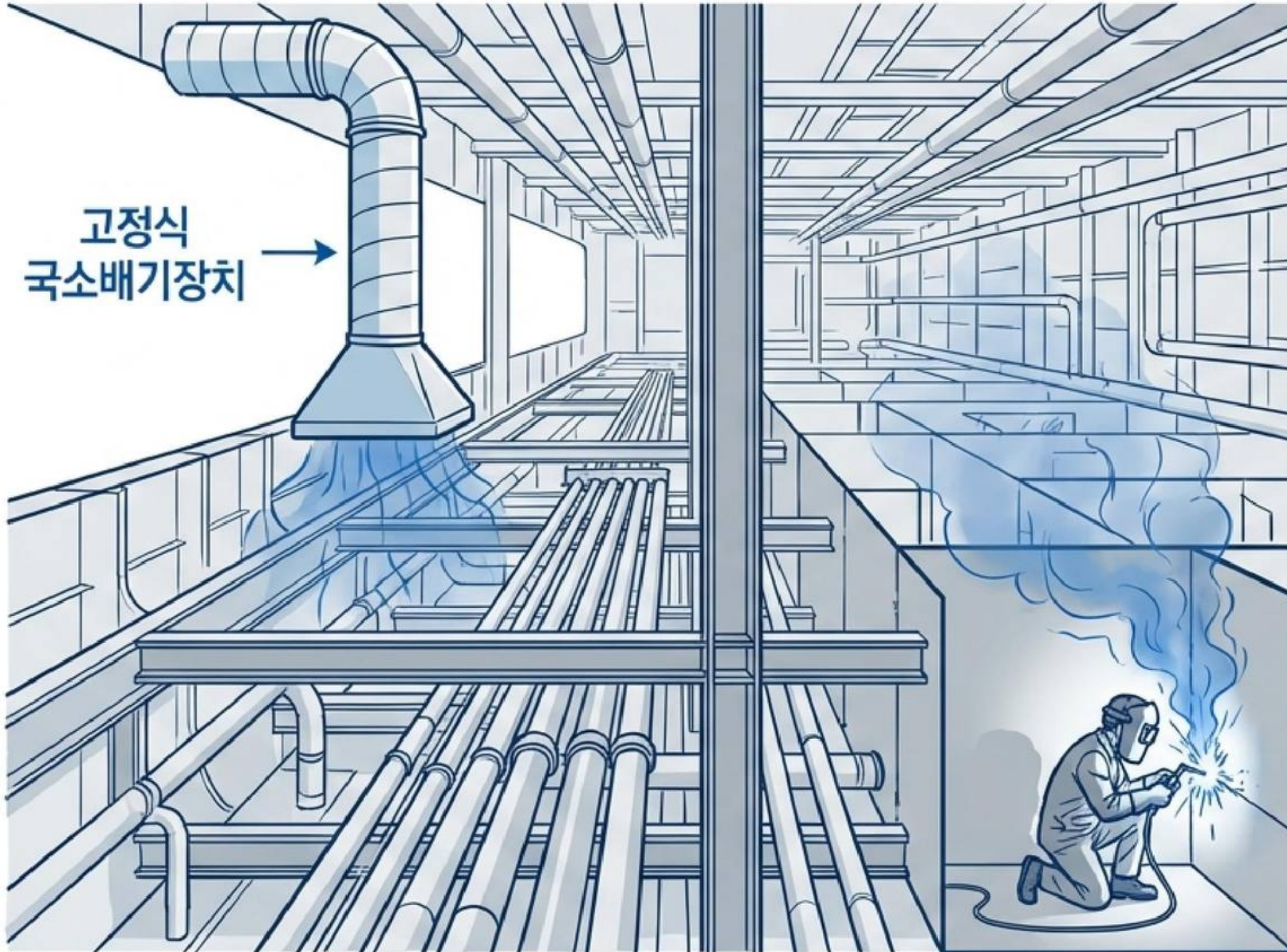


- **법적 추세 변화:**
 - ↳ 과거: 근로자가 유해성 직접 입증.
 - ↳ 현재: 유해 인자 노출 사실 확인 시 인과관계 추정 (입증 책임 완화).



- **Implication:** 기업의 산재 보험료 인상 및 중대재해처벌법상 리스크 직결.

4. 관리대책의 현실적 한계와 개인보호구(PPE)의 중요성



- **이동성 (Mobility):**
수시로 이동하는 용접 포인트
→ 고정식 장치 적용 불가.



- **구조적 난제:**
복잡한 배관, 고소 작업,
협소 공간에서의 덕트 설치 난해.



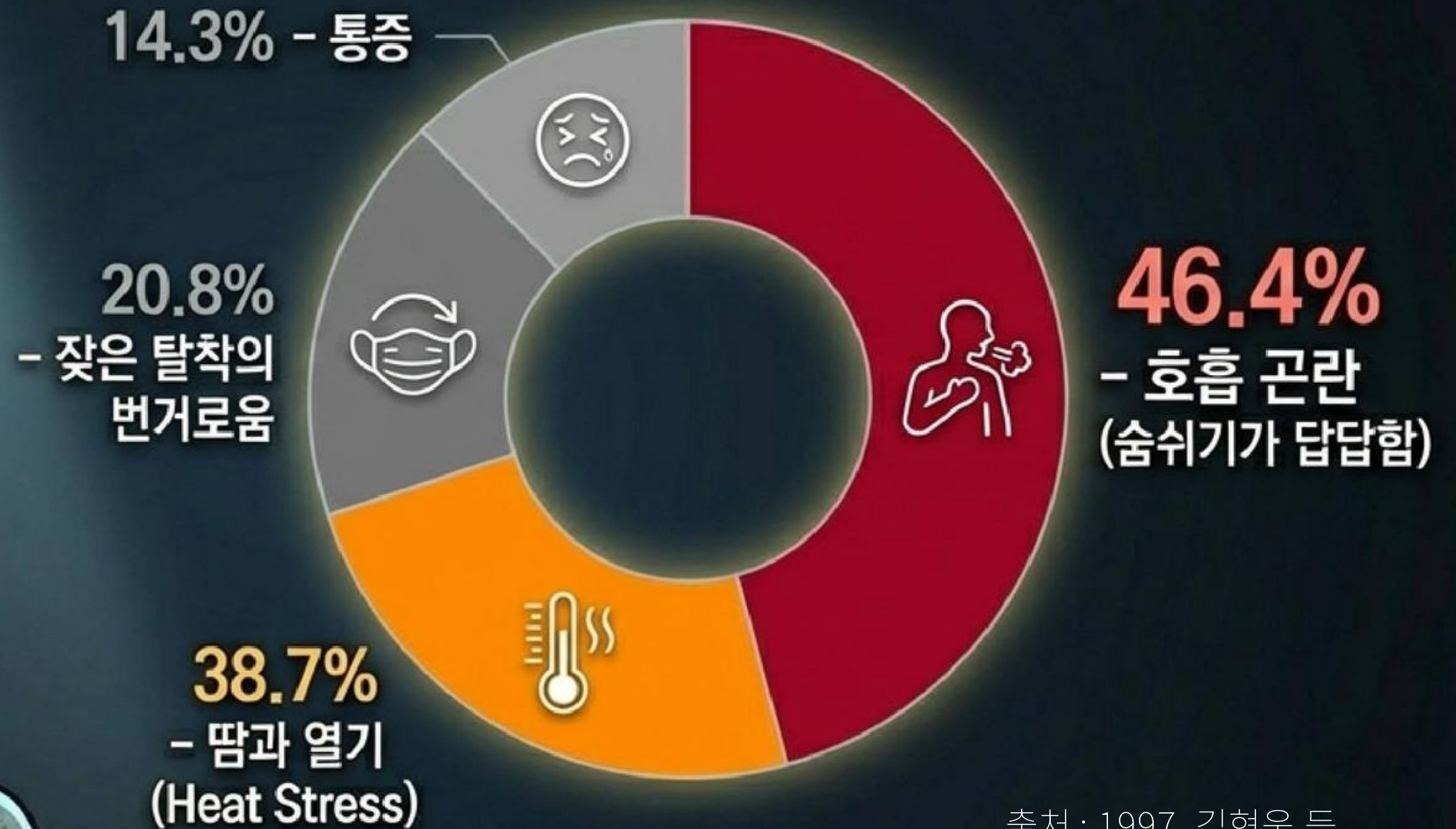
- **효율 급감:**
후드가 용접부에서 조금만
멀어져도 포집 효율 급격 저하.

4. 관리대책의 현실적 한계와 개인보호구(PPE)의 중요성



산업안전보건법상 공학적 대책이 우선이나, 유동적인 용접 현장 특성상 PPE가 사실상 **‘유일한 현실적 대안’**임. 불완전한 환기 시스템을 보완하고 작업자의 호흡기를 직접 방어.

5. 현장의 목소리: 왜 보호구를 기피하는가?



출처 : 1997, 김현욱 등

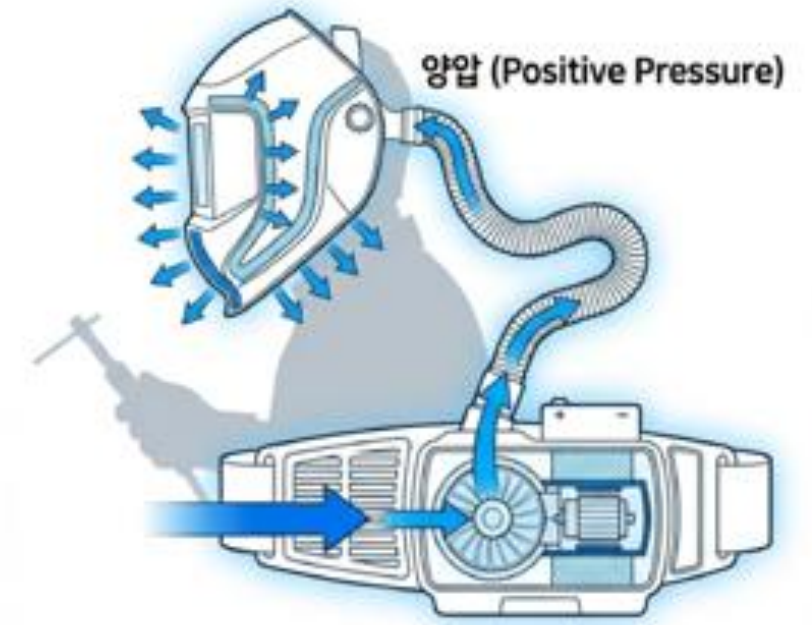
불편함은 단순한 불만이 아니라, **안전 수칙 위반을 유발하는 구조적 원인**입니다.

5. 현장의 목소리: 왜 보호구를 기피하는가?

- **작업방해:** 기존 방진마스크는 용접면과 물리적으로 간섭을 일으키거나, 김서림(Fogging)으로 시야를 방해하여 정밀 작업을 어렵게 함.
- **잘못된 인식:** 일부 현장에서는 방진 효과가 없는 면 마스크를 보호구로 오인하여 사용하는 비율이 38%에 달함(1998, 김현욱 등).
- **의도적, 비의도적 밀착도 실패:** 보호구 지급 시 얼굴에 맞는지 확인하는 절차가 부재하여, 콧대 부분 누설이나 끈 탄성 저하로 인해 보호 성능이 무력화되는 사례가 빈번히 발생. 총 2,930건의 검사결과 463건(16%)가 적정 밀착도 확보 실패(2025, 정태진).

6. 현장 중심의 개인보호구(PPE) 관리 전략 제언

• **PAPR 도입 및 복합 방호:** 전동식 호흡보호구(PAPR)는 양압(Positive Pressure)을 형성하여 틈새 누설을 차단하고(APF 50~1000), 시원한 공기를 공급하여 열 스트레스와 호흡 곤란 문제를 동시에 해결함. 오존 및 TVOCs 발생이 확인된 현장(특히 TIG 용접)에서는 방진 기능뿐만 아니라 가스 제거 필터가 결합된 겸용 마스크 혹은 해당 기능이 있는 PAPR 지급이 필요.



• **밀착형 보호구에 대한 Fit test의 제도화:** 아무리 좋은 보호구도 얼굴에 맞지 않으면 무용지물이므로, 미국이나 영국처럼 보호구 지급 시 정량적/정성적 밀착도 검사(Fit Test)를 의무화하여 개인별 적정 보호구를 선정하고, 올바른 착용법을 교육 훈련해야 함.



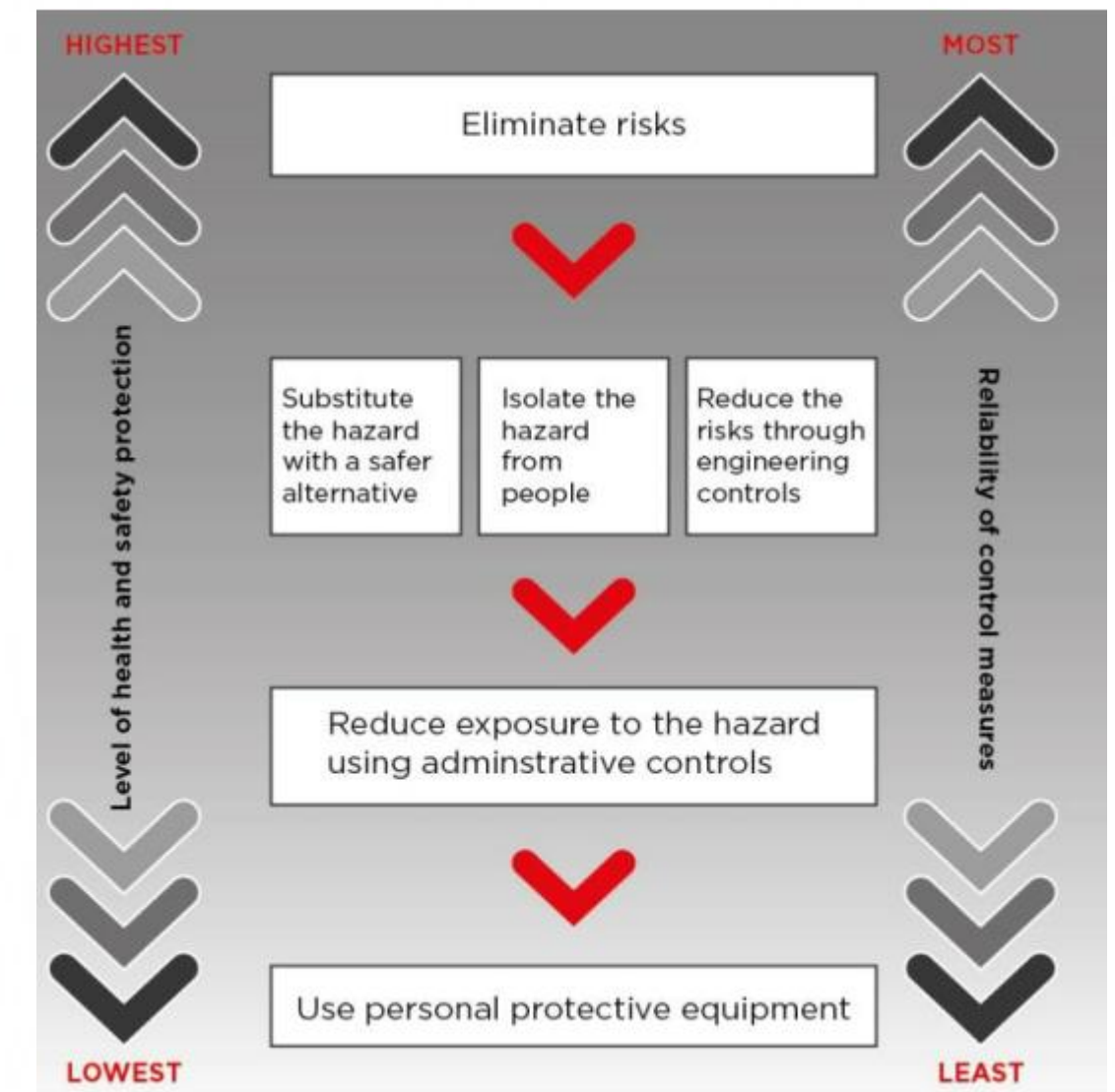
7. 요약 및 결론

- '법적 기준 준수'에서 '실질적 독성 관리'로 전환:
 - 2017년 국제암연구소(IARC)가 용접흙을 1군 발암물질로 재분류되었고, 국제적인 노출기준과의 차이 등을 감안했을 때 국내 노출기준을 준수한다는 것만으로는 근로자의 안전을 보장할 수 없음.
 - 6가 크롬, 니켈, 망간 등과 같은 고독성 물질에 대한 인식과 폐포 깊숙이 침투하는 호흡성 미세 입자 특성을 고려한 리스크 관리가 필요.

7. 요약 및 결론

- 개인보호구(PPE)의 위상에 대한 재인식:

- 산업안전보건의 원칙상 공학적 대책이 우선되나, 수시로 이동하고 구조가 복잡한 용접 현장 특성상 환기 설비만으로는 현실적인 한계가 존재하므로 ‘실용적인 접근’이 필요.
- 개인용 호흡보호구는 Hierarchy of Control 에 따라 보호효과와 보호의 신뢰도가 가장 낮다고 일반적으로 알려져 있지만, 또 한편으로는 현실에서 가장 널리 사용되고 있는 ‘최후의 방어선’으로서의 위상도 지님.
- 작업환경 및 특성에 따라 전동식 호흡보호구(PAPR)와 같은 고성능 장비를 작업자의 생명을 지키는 ‘현실적 대안’으로써 재인식.



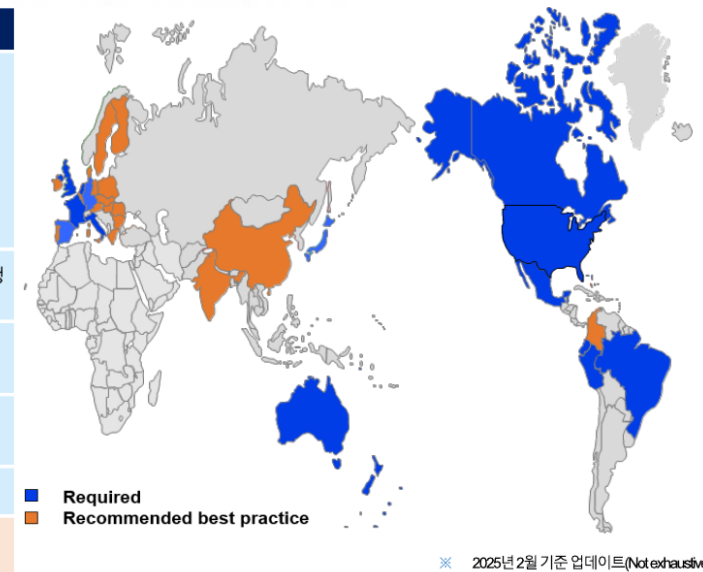
How to manage work health and safety risks(Queensland,2021)

7. 요약 및 결론

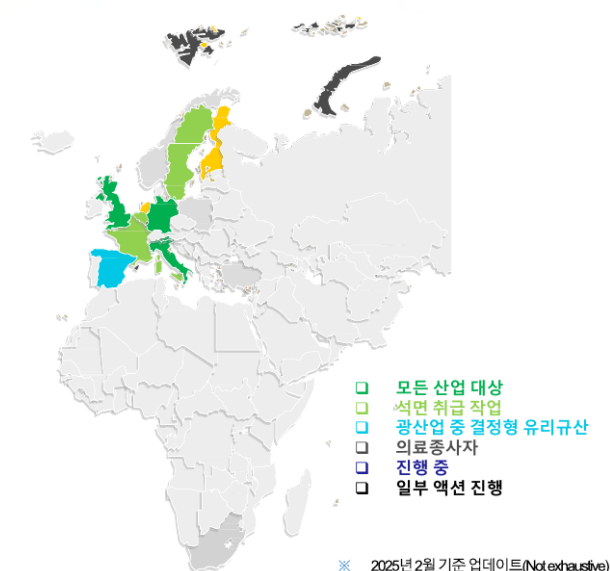
• '단순 지급'에서 '밀착도 검사의 제도화'로 전환:

- 아무리 좋은 보호구도 얼굴 틈새로 새면 무용지물이 되므로, 마스크를 단순히 나누어주는 관행에서 벗어나야 함.
- 선진 외국처럼 근로자의 얼굴에 잘 맞는지 과학적으로 검증하는 밀착도 검사(Fit Test)를 의무화하고, 실질적인 착용 교육을 체계화해야 함.

국가	법규 및 지침	현황
미국	OSHA 29 CFR 1910.134 (Respiratory protection program)	모든 산업 대상 의무사항
캐나다	CSA Z94.4	
호주/뉴질랜드	AS/NZS1715	
싱가포르	SS548 : 2009 (Code of practice for selection, use and maintenance of respiratory protective Devices)	직원 수 200명 초과 시, 시행 * 2020년 7월 1일부터 시행
대만	呼吸防護計畫及採行措施 指引	
일본	New Chemical Substance Regulation (Published in May 2022)	Class 3 산업 대상 의무사항 * 2024년 4월부터 시행 (JIS T8150 protocol)
말레이시아	Guidelines on the Use of PPE Against Chemical Hazards(2005)	정유업계* 대상 의무사항 *Malaysia Petroleum Management(MPM)
중국	GB 18664-202x	2026년말 시행 예정
인도	Indian standard IS 9623:2008 SELECTION, USE AND MAINTENANCE OF RESPIRATORY PROTECTIVE DEVICES — CODE OF PRACTICE (First Revision)	의무사항 아님(권고사항)



국가	법규 및 지침	현황
영국	INDG 479 (2019)	모든 산업 대상 의무사항
독일	DGUV regulation	DGUV 규정 업데이트
프랑스	AFNOR(석면 대상) / ED6273(2016)	석면 대상 의무사항
이탈리아	Law No. 215 17/12/2021 (Std. UNI 11719 (2018))	모든 산업 대상 의무사항
폴란드	National guide	밀착도 검사 홍보 중
스페인	BOE-A-2021-11458(UNE-EN 529)	광산업 내 결정형 유리규산 대상 의무사항 (다른 분야는 권고사항)
벨기에	논의 진행 중	석면 대상 암묵적 의무사항(필수교육에 통합됨)
네덜란드	Nr 68771 6, Dec 2018	석면 대상 의무사항(조선평소&철도는 6가 크롬에 대해 요구사항으로 규제)
스웨덴	AFS 2006:1	2025년 1월부터 의무화
핀란드	논의 진행 중	석면 대상 의무사항 (2023년부터 인증제도 시행)
남아프리카	National OSH	의료종사자 대상 의무사항
아랍에미리트	PPE OSH revision	밀착도 검사 제안 중



국가별 밀착도 검사 기준 및 최근 동향(이상영, 2025)

7. 요약 및 결론

- 위험성 평가 내실화 및 지원 확대:
 - 형식적인 서류 작업에 그치지 않고 실제 현장의 유해 인자의 유해성과 노출 특성에 기반한 위험성 평가를 통해 중대한 위험을 관리해야 함.
 - 중소규모 사업장에서도 PAPR 등 고성능 보호구를 현실적으로 사용할 수 있도록 비용 및 기술적 지원을 대폭 확대.



7. 요약 및 결론

불편을 강요하는 안전으로는
안전이 확보되지 않습니다