

에어컨디셔너의 가연성 냉매 사용에 따른 국제 표준화 동향

전기응용과 공업연구관 송양희

02) 509-7332 songyh@ats.go.kr

1. 개 요

현재 우리나라에서는 에어컨디셔너의 냉매가스로 HCFC 계열의 R22 냉매를 대부분 사용하고 있으나, 대체냉매(R410A, R407C 등)를 사용하고 있는 유럽과 미국에서 가연성 냉매 사용에 따른 많은 연구개발이 진행되고 있으며, IEC/ISO 국제규격 제정 및 개정 작업을 위한 JWG(Joint Working Group) 위원회가 구성되어 통합적 기술검토가 이루어지고 있다.

프로판가스나, 부탄가스 계열과 같은 가연성 냉매를 에어컨디셔너 등 가전기기에 다량으로 사용할 경우, 우리나라와 같은 밀집지역에서는 가스 Leak시 화재 및 폭발 등 안전상에 문제가 크게 대두될 수 있는 실정이다.

2. 국제 동향

1) 기존에 사용하는 냉매가 오존층 파괴와 지구 온난화 현상의 원인이 되고 있다는 사실이 알려진 후, 1997년까지 AREP(Alternative Refrigerant Evaluation Program)에 의해 대체냉매로서 일반 냉동기기에는 R410A가 대용량 냉동기기에는 R407C가 추천되어 사용되고 있으며, 선진국의 경우 CFC계열 냉매는 이

미 일체 사용하지 않고 기존 HCFC 계열의 냉매에 대해서도 2010년까지 완전 폐기하기로 결정하였다.

2) CFC 및 HCFC 계열의 냉매사용을 HFC 계열의 냉매사용으로 변경하는 과정에서 오존층 파괴라는 전세계적 환경문제가 해결될 수 있는 반면에 지구 온난화 문제가 더욱 가속화되는 실정에 있어 지구온난화지수(GWP)가 낮은 냉매 사용을 규제하는 조치를 일부 완화시켜 보다 많은 냉동공조기류에 가연성 및 독성이 포함된 냉매를 사용할 수 있도록 관련 IEC/ISO 국제규격을 개정하고 있는 추세에 있다.

3) 따라서, 1997년 12월 150개 국가가 참가한 일본의 교토국제회의에서 이산화탄소(CO₂) 및 HFC를 포함하는 5개의 GHG 방출을 규제하기로 합의한 교토 국제협약의정서(The Kyoto Protocol)가 채택되어 지구온난화 가스(Greenhouse Gases, GHGs)방출에 대한 규제가 실질적으로 시작되었고, 그 결과 2008년에서 2012년까지 GHG 방출량을 1990년 수준에서 5.2% 삭감하기로 결정되어, HFC(R32)계열의 혼합 인공냉매나 프로판가스, 암모니아가스, CO₂ 가스 등 천연 자연 냉매가 신 대체냉매로 사용되고 있다.

4) 최근 대체냉매 개발을 위하여 약 10년 동안 자본을 투자한 미국, 일본, 중국, 유럽 등의 국가에서 냉

동공조산업 전반에 걸쳐 막대한 비용을 추가로 지불해야 하는 부담이 커지자 교토국제협약의 정서로 채택되어 이행하기로 한 일정을 연기할 것을 검토 중에 있음

3. 국내 동향

1) 국내 관련업계에서도 R12 등 CFC 계열 냉매사용을 이미 중단하고, R134A 등 대체냉매 사용으로 전환하였으며, R22 및 R502 등의 HCFC 계열의 냉매를 대체할 R410A 및 R407C 냉매 사용제품을 일부 업체에서 개발에 성공한바 있습니다.

2) 그러나 우리나라와 같이 개발도상국가의 경우, HCFC 계열 냉매 사용을 2016년까지 그 사용량을 동결하고 2040년에 전량 사용금지하는 일정이기 때문에, 내수제품 및 수출제품에 대하여 HCFC 계열인 R22 냉매를 사용한 제품들이 주류를 이루고 있는 실정이다.

4. 가연성 냉매 사용에 따른 국제규격(IEC 60335-2-40)개정 내용

1) 규격 개정안 및 합동워킹그룹(Amendment and Joint Working Group(JWG))

○ 목적(Objectives) : 주로 탄화수소 계열의 가연성 냉매를 사용하는 에어컨디셔너가 급속하게 증가될 것으로 예상되기 때문에 관련 제품의 제조 및 설치에 따른 안전성을 확보하고 유지하기 위하여 가연성 냉매를 사용한 제품에 대한 일반 요구사항들을 추가로 규정하는데 목적이 있다.

○ 역사(History) : 규격개정 초안 작성에 약 6년이 소요되었다. 그 이유는 부분적으로 안전성 시험에

있어서의 어려움과 가연성에 대한 각 국가(NC : National Committee)의 다양한 의견도출과 입장 때문이었다.

- 최초 초안은 불충분한 안전성 요구사항 때문에 거부되었다.
- 합동워킹그룹(JWG)은 1998년에 구성되어 약 2년 동안의 작업 거쳐, 2000년에 위원회 초안이 준비 완료되었다.
- 위원회 초안(CD)은 2000년 11월에 IEC SC 61D 위원회와 2001년 3월에 합동워킹그룹(JWG) 회의에서 구체적으로 논의되었다.
- 2개의 CDV(Committee Draft for Voting) 초안이 대립되어 IEC SC 61D 위원회와 합동워킹그룹(JWG) 회의에서 논쟁이 지속되었기 때문에 2가지 안전에 대한 분리된 투표를 실시하였다.

2) 충전량에 대한 요구사항(Requirements for Charge Amount)

○ 규격 개정안의 가장 중요한 부분은 최대 허용 가능한 충전량(Charge Amount)을 결정하는 절(clause)이며, 여기에서 2개의 CDV 초안의 요구사항이 각각 서로 다르기 때문에 충전량(Charge Amount)에 따라 좌우된다.

- $m < m1$
- $m1 < m < m2$
- $m2 < m$

여기서, "m"은 제품에 대한 냉매가스 충전량(Charge Amount)을 나타내고 있으며, $m1$ 은 $m1[kg]=4[m3]*LFL$ 으로 $m2$ 는 $m2[kg]=26[m3]*LFL$ 으로 각각 정의된다. 또한, LFL 은 가연성 냉매의 최소 가연성 한계(lower flammable limit)

[kg/m³] 값을 나타낸다.

※ 세부내용 : CDV 초안의 21.115. page 11 참조

○ 프로판(Propane)이 적용될 때, 프로판의 LFL이 0.03kg/m³이기 때문에 m₁=0.15kg이고 m₂=1.0kg이다.

○ 각 카테고리에서의 요구사항은 다음과 같다.

- m < m₁ : 충전량과 실내 면적크기 사이의 관계에 대한 특별한 예방 조치는 제품설치시(Installation) 및 제품 보관시에 필요하지 않다.

- m₁ < m < m₂ : 통풍이 잘 되지 않는(Unventilated) 면적에서 최대 허용 가능한 충전량 m_{max} [kg]은 다음과 같이 계산된다.

$$m_{max} = 2.5 * (LFL)^{(5/4)} * h_0 * (A)^{1/2}$$

..... (a) 방정식

여기서, LFL :

최소 가연성 한계(Lower flammable limit)[kg/m³]

A : 제품이 설치된 바닥 면적(Floor area)[m²]

h₀ : 제품이 설치된 높이(Installation height)[m]

제품이 설치된 바닥 위치 단위(Floor Unit)의 경우, = 0.6

제품이 설치된창문 위치 단위(Window Unit)의 경우, = 1.0

제품이 설치된벽 위치 단위(High-Wall)의 경우 = 1.8

제품이 설치된천장 위치 단위(Ceiling Unit)의 경우 = 2.2

적절한 자연적 또는 기계적인 통풍이 있을 경우, 더 많은 충전량이 허용된다.

- m₂ < m : 통풍이 잘 되지 않는 면적에서의 설치는 허용되지 않는다. 이것은 21.115b) 또는 21.115c)를 따르는 자연적 또는 기계적 통풍이 m₂ < m에서 요구되는 것을 의미한다.

※ 세부내용 : CDV 초안의 21.115. page 12~16 참조

○ 0.15kg(150g) 프로판(Propane) 가스의 충전량과 실내 크기(Room Size) 사이의 관계에서 제품설치시 및 제품보관시 등의 특별한 예방조치 없이 다른 IEC 표준에 의해 전기냉장고에서 허용되기 때문에 주로 m₁이 선택된다. 다른 가연성 냉매에 적용 가능한 규정을 만들기 위해서, m₁은 m₁[kg]=4[m³]*LFL으로 정의된다.

○ m₁의 선택과 m < m₁에 관한 요구사항들이 충분한 과학적 이론을 근거로 작성되지 않았기 때문에 오히려 전기냉장고 표준에 대한 일관성에 기초를 둔다는 점에 주목해야 한다.

- 프로판, R32 및 R152A를 포함한 거의 모든 가연성 냉매들은 공기보다 무겁다.

따라서, 사용공간내부 바닥면 가까이에 층을 별도의 가스층을 이루는 경향이 있다.

위 방정식 "(a)"가 핵심적으로 중요한 특성들을 고려하여 유도되었기 때문에, 이것은 제품설치 높이의 기능(Function)이다.

결과적으로, 가장 적은 가스충전량은 바닥 단위 면적으로 허용치가 결정된다.

- 그러나, 바닥 단위면적은 표 1에서 보는바와 같이 m < m₁ 절에 의해 가장 큰 특성을 가지고 있다는 점을 주목해야 한다.

허용 가능한 프로판 가스 충전량은 방정식 "(a)"가 35m² 보다 작은 바닥 면적단위에 적용 가능하다면, 150g보다 적게 될 것이다. 그러나 m < m₁절은 어떠한 방(Room)의 바닥 면적단위 에서도 150g 프로판을 사용할 수 있도록 허용한다. 예를 들어, 15m² 방(Room)에서, 바닥 면적단위는 방정식 "(a)"로 계산된 충전량(Charge) 보다 50% 더 많은 충전을 사용할 수 있다.

3) 내부 통풍기 절(Internal Fan Clause)

○ 위의 가스 충전량 요구사항과 $m < m_1$ 절의 제반 특성을 만족시키지 못하는 프로판 가스 충전용 에어컨디셔너를 생산 판매하고 있는 유럽의 제조업자들은 통풍이 잘 되지 않는 면적에 대한 대체 요구사항을 다음과 같이 제시하였다.

- 그 제안 내용에 따르면 압축기가 운전될 때 내부에 설치된 통풍기(실내 통풍기)가 항상 작동되도록 하여 시험이 이루어진다는 것을 가정하여 최대 허용 가능한 가스 충전량을 방정식 "(a)" 대신에 다음과 같이 계산될 수 있다고 주장한다.

※ 세부내용 : CDV 초안의 21.115. page 14 참조

$$m_{max} = 0.25 LFL * A * 2.2$$

..... (b) 방정식

여기서 $LFL * A * 2.2$ 는 $A * 2.2$ 의 전체 방(Room) 면적에서 일정하게 퍼질 때, LFL에 도달하는 충전량이다. (다만, 0.25는 안전성계수이며 2.2는 천장 높이[m]를 나타낸다.)

- 따라서, 방정식 "(b)"는 가연성 냉매가스가 사용 공간 내부 바닥면에 대하여 결코 계층화

(Stratification) 되는 것을 고려하지 않고 있으며, 제품 설치 높이의 기능(Function)도 나타내지 않고 있기 때문에 표 1에서 보는 바와 같이 방정식 "(a)" 대신에 방정식 "(b)"를 사용할 경우, 동일한 크기의 바닥 면적단위 내에서 결과적으로 매우 큰 가연성 냉매 충전량을 허용하고 있다.

- 방정식 "(a)"를 사용할 경우와 방정식 "(b)"를 사용할 경우를 상호 비교할 경우, 방정식 "(b)"를 사용함에 따라 바닥 면적단위는 15m² 방에서 150g의 2배 이상인 310g 프로판 가스를 사용할 수 있으며, 35m² 방에서는 더욱더 많은 150g에서 730g까지 무려 5배까지 사용 가능함을 알 수 있다.

- 여기서 "내부 통풍기 절(The Internal Fan Clause)"은 정속도 단압축기를 가진 냉각용(Cooling-Only) 장치에서만 유효하다는 것을 주목할 필요성이 있다.

히트 펌프 타입의 경우, 실내 통풍기가 시동되는 동안 및 서리를 제거시키는 동안 멈추어있어야 하며, 가변속형(Variable Speed Type) 장치는 일반적으로 실내 통풍기의 속도를 조절하기 때문에 결론적으로 적은 용량 조건하에서 요구된 실내 통풍기 흐름을 유지할 수 없다.

표 1. 허용 가능한 프로판 충전량
(Allowable Propane Charge Amount)

바닥 면적 [m ²]	높은-벽 단위 [kg]	바닥 단위[kg]		
		$m < m_1$	방정식 (a)	방정식 (b)
7.5	0.21	0.15	0.07	0.16
10	0.24	0.15	0.08	0.21
15	0.29	0.15	0.10	0.31
35	0.45	0.15	0.15	0.73

4) 2개의 CDV 초안들 및 투표(Two CDV draft and Voting)

○ “내부 통풍기 절”의 안전성 대해(Arguments on The “Internal Fan Clause”) JWG 회의에서 논의된 내용 중 “내부 통풍기 절”에 찬성하지 않는 JWG 회원들이 제기한 중요한 문제점은 다음과 같이 요약할 수 있다.

- 방정식 “(b)”에서 결정된 증가한 충전량 냉매 가스량은 너무 큰 양이어서 안전성을 확보할 수 없다.
- 통풍기가 운전되지 않을 때, 냉매 가스 충전량 (Charge)은 LFL에 도달하기 전에 통풍기에 의해서 전량 배출되지는 않기 때문에 반드시 누출(Leak)이 고려되어야 하나, 이를 반영하지 않고 있음.
- 제품을 설치하는 동안에 누출(Leakage)되는 냉매 가스량을 포함시키지 않고 있기 때문에 위험을 모르는 사람들은 일체의 안전성이 확보되지 않는다.

5) 가연성 냉매 사용에 따른 우리나라의 검토의견

- 본 투표문건은 에어컨디셔너에서 사용가능한 최대 대체 냉매 가스 충전량(Charge) “m”을 결정하기 위한 것으로서 그 Category 를 다음과 3가지로 구분할 수 있다.

(A) $m < m_1$ (B) $m_1 < m < m_2$ (C) $m > m_2$

여기서 m_1 과 m_2 는 제품 적용 공간의 부피 × LFL (Lower Flammable Limit)로 정의되며

- $m < m_1$ 경우

$m < m_1$ 의 경우는 아직 과학적으로 안정성을 증명한 Formula가 결정된 것은 아니지만 현재까지 최적한 대안이 없는 실정인바, 일본에서 본 건에 대하여 시험이 진행중임.

- $m_1 < m < m_2$ 경우

$$m_{\max} = 2.5 \cdot (LFL)^{(5/4)} \cdot h_0 \cdot (A)^{1/2}$$

..... (a) 방정식

$$m_{\max} = 0.25 LFL \cdot A \cdot 2.2$$

..... (b) 방정식

가장 논란이 심한 부분으로서 방정식 “(a)” 는 사용 공간 내부의 높이를 고려한 것이고 방정식 “(b)” 는 단순히 사용 공간 내부의 면적과 안전계수만을 고려한 것임.

따라서 방정식 “(b)”로 계산할 경우 방정식 “(a)” 보다 “최대 5배” 이상의 가연성 냉매를 주입하여 충전할 수 있는 결론을 얻을 수 있으나, 안전성이 확보되지 않아 사용할 수 없음. 또한, 프로판가스는 공기보다 무거워 사용공간 내부에서 누출(Leak)시 층을 형성하는데 방정식 “(b)” 는 그 영향을 무시하고 실내에 균일 하게 분포한다는 가정하에 사용하고 있으며, 이 부분은 공간 내부에서 실내기 Fan이 정격운전 상태로 연속 운전하는 경우이기 때문에 오직 Cooling Only Fixed Speed 제품에만 적용 될 수 있는 것이고 Fan Off 시, 제품 설치시, 제품 수리시, 제품 폐기시(Disposal) 등에 누출(Leak)되는 것에 대한 검토가 미흡하여, 안전성을 보증할 수 없음.

5. 결 론

○ IEC 사무국(Office)에서 제시한 2가지 CDV 초안에 대하여 아래와 같이 투표를 하였음.

- 22.115 a)2 단락을 가진 전체 문서에서 61D/10L/CDV “내부 통풍기 절”에 반대하고

22.115 a)2 단락 없이 전체 문서에서 61D/100/CDV 다른 부분들은 찬성한다. ♣