



Teknik Konular: Yanabilirlik

Arka Plan:

Kigali Değişikliği kapsamında HFC'lerin üretim ve tüketiminin azaltılması süreci, en nihayetinde dünya çapında satışı gerçekleştirilebilen HFC'lerin miktarında %85'lik bir azalmaya yol açacaktır. Bu tür anlamlı azaltmalara ulaşılabilmesi için, HFC kullanıcılarının da mevcut HFC'lerden çok daha düşük Küresel Isınma Potansiyeline (KIP¹) sahip alternatif akışkanlar kullanmaları gerekecektir. HFC'lere alternatif olabilecek düşük KIP değerine sahip akışkanların çoğu² yanıcı akışkanlardır ve bu da hem muhtemel güvenlik sorunlarına yol açmakta hem de kullanımlarını kısıtlayabilmektedir. Yanıcı soğutucu akışkanların güvenli ve başarılı kullanımı ancak ilgili güvenlik sorunlarının gereken şekilde değerlendirilmesiyle mümkündür. Bu Bilgi Formu, yanıcı HFC alternatiflerinin kullanımının etkisine ilişkin bir kılavuz görevi görmektedir.

Çoğu HFC'nin yanıcı olmaması onları birçok son kullanıcı uygulaması için popüler bir seçenek hâline getirmektedir. Yanıcı olmamaları HFC'lerin üretimini ve bunların kullanıldığı soğutma, iklimlendirme ve ısı pompası (RACHP) sistemlerinin kurulumu ve bakımını görece kolaylaştırmaktadır. Yanıcı olmayan soğutucu gaz sızıntısı olması hâlinde herhangi bir yangın riski doğmaz. Aynı şekilde, bir ateş kaynağının bulunabileceği durumlarda yanıcı olmayan HFC itici kullanılan bir aerosol daha güvenli olabilir.

Çoğu HFC'nin yanıcı olmamasının bir nedeni de molekül yapılarının çok sabit olmasıdır. Ancak ne yazık ki, bu özellik HFC'lerin yüksek KIP değerlerine sahip olmasına da yol açmaktadır. Düşük KIP değerine sahip alternatifler genellikle daha az sabit moleküllere sahip olmakta, bu da birçok alternatifin yanabilir olmasıyla sonuçlanmaktadır.

Yanabilirlik Spektrumu:

Kigali Değişikliği'nden önce, piyasada birçok yanıcı olmayan akışkan vardı ve yanabilirliğe ilişkin basitleştirilmiş bir yaklaşım benimsenmişti. Yanabilir bir akışkanın istenmemesi hinde, birçok güvenlik kuralı ve standardı tutucu bir yaklaşım benimseyerek yanabilir akışkanların kullanılamayacağını belirtmiştir.

Daha az yanıcı olmayan akışkan seçeneğinin bulunduğu durumlarda, bu basitleştirilmiş yaklaşım pek de ideal değildir. Düşük KIP değerine sahip alternatiflerin kullanımının yaygınlaştırılması adına, çok geniş bir yelpazede çeşitlenen "yanabilirlik düzeylerinin" olduğunun anlaşılması önemlidir. Aşağıdakileri içeren ve süreklilik arz eden bir yanabilirlik spektrumu vardır:

- **Yanabilirliği yüksek akışkanlar** – bunlar çok kolay parlamakta ve patlayıcı etki yaratarak yanmaktadır.
- **Yanabilir akışkanlar** – bunların parlaması daha zor olmakla birlikte, bir kez parladıktan sonra yanmaya devam ederek kayda değer bir zarar meydana getirebilirler.
- **Yanabilirliği düşük akışkanlar** – parlamaları çok zor olup "hafifçe" yanarlar ve ateş kaynağı uzaklaştırıldığında sönebilirler. Hafifyanabilir akışkanlar, aynı miktarda olup yanabilirliği daha yüksek olan akışkanlardan daha düşük bir yağın riski oluştururlar.
- **Yanıcı olmayan akışkanlar** – parlamazlar.

Bazı önemli uluslararası soğutma güvenliği kuralları bu yanabilirlik spektrumunu tanımaktadır. Örneğin ISO 817, ISO 5149 ve EN 378 dört ayrı yanabilirlik sınıfını içermektedir. Ancak ne yazık ki tüm standartlar bu yaklaşımı benimsememekte, bazıları maddeleri basitçe yanabilir ya da yanmaz şeklinde sınıflandırmaktadır. Bu da yanabilirliği düşük akışkanların yanabilirliği yüksek akışkanlarla aynı muameleyi görmesinden dolayı bazı yanabilir akışkanların emniyetli bir şekilde uygulanmasının ciddi ölçüde kısıtlanması anlamına gelmektedir.

Yanabilirlik Parametreleri:

Hem güvenlik kurallarını çıkararak otoritelerin hem de yanabilir akışkanların son kullanıcılarının karşılaştıkları sorun yanabilirliğin karmaşık bir konu olması ve her akışkan için bir Güvenli Uygulama Çerçevesi tanımlamanın kolay bir yolunun bulunmamasıdır. Yanabilirlik bir dizi yolla ölçülebilmektedir. En önemli parametreler aşağıdaki gibidir:

¹ Kullanılan tüm kısa adları içeren terimce için bkz. [Kigali Bilgi Formu 14](#)

² Düşük KIP değeri olan alternatiflere ilişkin daha ayrıntılı bilgi için bkz. [Kigali Bilgi Formu 3](#)

1. **LFL, yanabilirlik alt sınırı:** LFL, bir gaz veya buharın havayla homojen karışımında alev oluşturabilecek minimum konsantrasyonudur.
2. **UFL, yanabilirlik üst sınırı :** UFL bir gaz veya buharın havayla homojen karışımında alev oluşturabilecek maksimum konsantrasyonudur.
3. **HoC, yanma ısısı:** HoC, bir bileşiğin standart koşullar altında oksijenle tamamen yanması sonucunda ısı şeklinde açığa çıkan enerjidir.
4. **BV, yanma hızı:** BV , alevin ortaya çıkma hızıdır.
5. **MIE, minimum yanma enerjisi:** MIE bir gaz ya da buharın yanmasını sağlamak için (bir kıvılcım ya da çıplak alev gibi) bir yanma kaynağında bulunması gereken enerji miktarını belirtir.

Bazı güvenlik kurallarında LFL , HoC ve BV Tablo 1’de gösterilen dört yanabilirlik sınıfının tanımlanması için kullanılmaktadır.

Tablo 1: ISO 817, ISO 5149 ve EN 378’deki Yanabilirlik Sınıfları

Yanabilirlik Sınıfı		Yanabilirlik Alt Sınırı LFL kg/m ³	Yanma Isısı HoC MJ/kg	Yanma Hızı BV cm/sn
3	Yanabilirliği Yüksek	<0,1	veya >19	n/a
2	Yanabilir	>0,1	ve <19	n/a
2L	Yanabilirliği Düşük	>0,1	ve <19	<10
1	Yanmaz	Yanamaz		

Yanabilirlik meselesi yanmayı etkileyen başka muhtelif faktörler tarafından daha da karmaşık hâle getirilmektedir. Bunun üç önemli örneği aşağıdaki gibidir:

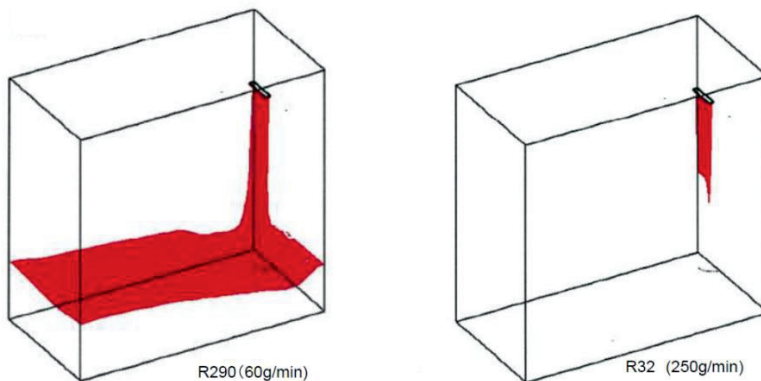
1. Bir yanma kaynağının tam geometrisi MIE’yi değiştirebilir.
2. Hava nem oranının yüksek olması bazı akışkanların yanma hızını artırabilir.
3. Sızan bir gaz etrafındaki havayla karıştığında bir seyrelme etkisi meydana gelir.

Şekil 1’de seyrelmenin ne şekilde meydana geldiği gösterilmektedir. Yanabilirliği yüksek Sınıf 3 bir buhar için LFL düşüktür (yani parlamanın gerçekleşebilmesi için havaya sadece az bir miktar gaz karışması yeterlidir) ve gaz konsantrasyonun LFL altına düşebilmesi için yüksek oranda seyrelme olması gerekmektedir. Yanabilirliği düşük Sınıf 2L bir buhar içinse LFL çok daha yüksektir ve LFL altında seyrelme çok daha hızlı gerçekleşebilir. Bu örnekte, yanabilirliği yüksek propanın sızma hızı, yanabilirliği düşük HFC-32’nin sızma hızının yalnızca çeyreği kadar olsa da çok daha büyük bir “parlama riski ayak izi” (kırmızı alan) oluşturmaktadır.

Bu meselelere yanabilirlik konusunun ne kadar karmaşık bir konu olduğunu göstermek için değinilmiştir. Yeterli teknik veri bulunmaması hâlinde güvenlik kurallarının muhafazakâr bir yaklaşım sergilemesi şarttır.

Şekil 1: Sızıntı ve LFL’yi aşan gaz konsantrasyonu alanlarının modellenmesi³

Duvara monte edilmiş bir soğutma, iklimlendirme ve ısı pompası (RACHP) ünitesinden R-290 (propan, Yanabilirlik Sınıfı 3) ve HFC -32 (Yanabilirlik Sınıfı 2) sızıntı olduğunda yanabilir bölgenin menzilin tahmini Kırmızıyla işaretlenmiş alanlar buharın yanabileceği alanı göstermektedir. R-290 sızıntısı 60 g/dk iken HFC-32 sızıntısının 250 g/dk ile bunun 4 katından fazla olduğu dikkate alınmalıdır.



³ Osami Kataoka, JRAIA, Ocak 2013, “Flammability of 2L Class Refrigerants “

Risk Olasılık ve Ciddiyetleri: Parlama olasılığı ile parlamanın sonuçlarının ciddiyeti arasında bir ayırım yapılması önemlidir. Parlama olasılığı çok büyük oranda LFL ve MIE'ye bağlıdır:

- Yanabilirliği yüksek bir akışkanın hem LFL değeri düşüktür (yani parlamanın gerçekleşmesi için havaya az miktarda gaz karışması yeterlidir) hem de MIE değeri düşüktür (yani küçük bir kıvılcım gibi düşük enerjili bir yanma kaynağı parlamayı başlatmaya yeterlidir).
- Yanabilirliği düşük bir akışkanın LFL değeri yüksektir ve bu da parlama riskinin bulunduğu alanın (Şekil 1'de de gösterildiği üzere çoğu normal şartlar altında) daha küçük olacağı anlamına gelmektedir. Ayrıca çok daha yüksek bir MIE değeri de gerektirmekte, bu da parlama riski alanında çok daha güçlü bir yanma kaynağının bulunmasını gerekli kılmaktadır.

Parlamanın sonuçlarının ciddiyeti büyük oranda BV ve HoC'ye bağlıdır:

- Yanabilirliği yüksek bir akışkanın BV değeri de yüksek olup bu konsantrasyonu LFL üzerinde olan bir gaz bulutunda patlayıcı parlamaya yol açabilir. HoC da yüksekse büyük tahribat meydana gelebilir.
- Yanabilirliği düşük bir akışkanın BV değeri de düşüktür yani parlama meydana gelirse yanma yavaş gerçekleşir. Yanma kaynağı ortamdaki uzaklaştırıldığında sıklıkla yanma devam ettirilemez.

Propan gibi Yanabilirlik Sınıfı 3 (yanabilirliği yüksek) gazlar hem yüksek bir parlama olasılığı barındırmakta hem de parlama sonrası ciddi sonuçlar doğurmaktadır.

HFO-1234yf veya HFC-32 gibi Yanabilirlik Sınıfı 2L (yanabilirliği düşük) gazların parlaması zordur (yüksek LFL ve yüksek MIE) ve bu gazların BV değerinin düşük olması parlama sonuçlarının çok daha az ciddi seyretmesini sağlar. Tablo 2, yukarıda değinilen kilit öneme sahip yanabilirlik özelliklerinin bazılarında meydana gelen çeşitlenmeyi göstermektedir.

Tablo 2: Örnek Kilit Parametreler

Akışkan	Yanabilirlik Sınıfı	LFL kg/m ³	MIE ⁴ mJ	HoC MJ/kg	BV cm/sn
Propan	3	0,038	0,3	46	43
HFC-152a	2	0,130	10	16	23
Amonyak	2L	0,116	100	19	7
HFC-32	2L	0,307	1000	9	6
HFO-1234yf	2L	0,289	5000	9	1,5

Amonyakın uzun yıllardır büyük endüstriyel sistemlerde yaygın bir biçimde kullanılıyor olması ilginçtir. Amonyak Sınıf 2L, yanabilirliği düşük bir akışkandır. Parlaması zor olduğundan, amonyak sızıntısından kaynaklanan çok az sayıda kaydedilmiş yangın vakası mevcuttur.

HFO-1234yf gibi KIP değeri son derece düşük akışkanlar ile HFC-32 gibi KIP değeri ortalama olan akışkanlar Kigali Değişikliği HFC üretim ve tüketiminin kademeli sonlandırılması hedeflerini karşılayabilecek önemli alternatiflerdir. Tablo 2 verileri, bu akışkanların parlamasının amonyaktan çok daha zor olduğuna (çok daha yüksek MIE ve LFL) ve parlama sonuçlarının sınırlı olduğuna (düşük BV ve düşük HoC) işaret etmektedir. Bu yeni soğutucu akışkanlara ilişkin daha fazla çalışma deneyimi elde edilinceye kadar bu tür akışkanlar için bir güvenli "çalışma çerçevesi" tanımlamanın zor olduğu vurgulanmalıysa da, bunlar yüreklendirici özelliklerdir.

HFC-152a'nın amonyaktan daha "az yanabilir" olduğunu söyleyen önceki güvenlik kurallarına bakılırsa, HFC-152a'nın LFL değeri amonyaktan daha yüksek, HoC değeri ise daha düşüktür. Buna karşılık pratikteki deneyimler HFC-152'nin amonyaktan çok daha kolay yanabildiğine işaret etmektedir. Bu da (parlamayı çok daha kolay hale getiren) düşük MIE değeri ve (sonuçları daha ciddi hale getiren) yüksek BV değeri ile açıklanabilir. En nihayetinde, bu da yanabilirliği kategorize etmeye ilişkin basite kaçan yaklaşımlardan kaçınmanın önemini göstermektedir.

⁴ Bu MIE değerleri yalnızca yaklaşık değerlerdir – test koşullarına bağlı olarak büyük ölçüde değişiklik gösterebilirler.

Yanabilir Akışkanların Mevcut Kullanımı:

Yanabilir akışkanların hem OTİM hem de HFC alternatifi olarak zaten yaygın bir kullanım alanı mevcuttur. Bu durumun en iyi bilinen örneklerinden bazıları aşağıdaki gibidir:

Yanabilirliği yüksek akışkanlar:

- Ev tipi soğutucularda izobütan
- Bağımsız ticari soğutucularda propan
- PU izolasyon köpüğü imalatında pentan
- Aerosol iticisi olarak hidrokarbon karışımları

Yanabilirliği düşük akışkanlar:

- Endüstriyel soğutma tesislerinde amonyak
- Araç klimalarında HFO-1234yf
- Su soğutucularında HFO-1234ze
- Küçük split klimalarda HFC-32

Kigali Değişikliği'nin başarılı olabilmesi için hem ulusal hem de uluslararası düzeyde koordineli çalışmalar gerektiren yanabilir akışkanların kullanımında kayda değer bir artış olması gerekmektedir.

Mevcut ekipmanın tadilat/modifikasyonuna ilişkin tehlikeler:

İlgili güvenlik meselelerinin tamamını dikkate alarak, yanabilir akışkanların kullanılması amacıyla gereken şekilde yeni ekipman tasarlanabilir. Yanmaz bir akışkan için tasarlanmış mevcut ekipmanın tadilat/modifikasyonu için yanabilir bir soğutucu akışkan kullanılması önemli güvenlik riskleri doğurmakla birlikte genellikle önerilen bir uygulama değildir. Yakın zamanda gerçekleştirilen bir Yürütme Kurulu toplantısında kabul edilen Karar no. 72/17 şunu belirtmektedir: "HCFC ile çalışan soğutma ve iklimlendirme ekipmanın yanabilir ya da toksik soğutucu akışkanlarla çalışacak ve bunlarla ilgili hizmetleri sunacak şekilde tadil/modifiye edilmesine karışan kişiler bunu ilgili tüm sorumluluk ve riskleri aldıklarının bilincinde olarak yapmış sayılır"⁵.

Montreal Protokolü'nü imzalamış olan kurum ve organlar, bunlar için tasarlanmamış ekipmanda yanabilir soğutucu akışkan kullanma tercihinden doğabilecek istenmeyen sonuçlara ilişkin hiçbir sorumluluk kabul etmezler.

Uluslararası Düzeyde Yapılması Gerekenler:

Aşağıdakileri de içeren çeşitli adımların atılması gerekmektedir:

- 1) Uluslararası standardizasyon kurumlarının yanabilir akışkanların soğutma ve iklimlendirme piyasası başta olmak üzere bir dizi uygulama alanında güvenli kullanımına ilişkin olanakları gereken şekilde yansıtan standartları güncellemeye yönelik devamlı çaba sarf etmesi gerekmektedir. Yanabilirlik spektrumunu tanımayan standartların tekrar gözden geçirilmesi gerekmektedir.
- 2) İlgili standartların güncellenmesine destek olacak kanıtların temin edilmesi amacıyla, araştırma kurumlarının yanabilir akışkanların etkili ve güvenli kullanımına ilişkin daha detaylı araştırmalar yapması gerekmektedir.
- 3) Ekipman imalatçılarının kimi ürünlerini yanabilir akışkanların güvenli kullanımını sağlayacak şekilde yeniden tasarlamaları gerekmektedir.
- 4) İleriki kullanımlarının teşvik edilmesi adına, yanabilir akışkanların başarılı kullanımına ilişkin verilerin yayılması gerekmektedir.

Madde 5 Ülkelerinde Yapılması Gerekenler:

Çoğu M5 ülkesinin yanabilir akışkanların daha fazla kullanılmasını desteklemek adına aşağıdakiler başta olmak üzere daha fazla adım atması gerekmektedir:

- 1) Bilinçlendirme yapılarak konunun daha iyi anlaşılması adına, yanabilir akışkanların güvenli kullanılabileceğinin ve bu akışkanların CFC'lerin üretim ve tüketiminin kademeli olarak sonlandırılması esnasında kimi pazarlara geniş bir kullanım alanıyla girdiklerinin açıklanması.
- 2) Kurulum ve bakım onarım teknisyenleri için eğitim imkânlarının sağlanması.
- 3) Özel ekipman ve aletlerin (örn. yanabilir bir buharın bulunabileceği bir alanda güvenle kullanılmak üzere tasarlanmış aletler) mevcut olduğundan emin olunması.
- 4) Güncel uluslararası güvenlik standartlarıyla uyumlulaştırılmak üzere güncellenmesi gerekebilecek tüm ulusal ve yerel mevzuat/standartların değerlendirmeye alınması.

⁵ Bkz. www.multilateralfund.org/72/English/1/7247.pdf