

R-410A SOĞUTKANLI SOĞUTMA SİSTEMLERİNDE DİKEY EMİŞ BORUSU ÇAPININ BELİRLENMESİ

Arif Emre ÖZGÜR *

Özet

Bu çalışmada amaçlanan, soğutma ve ısı pompası sistemlerinde yaygın olarak kullanılan, alternatif bir soğutkanın (R-410A) kullanıldığı buhar sıkıştırırmalı soğutma sistemleri için dikey emiş (dönüş) borusu çapının belirlenmesidir. Analiz kapsamında, kompresöre etkili yağ dönüşü sağlanabilmesi amacıyla, minimum akış hızı kriteri dikkate alınmıştır. Soğutkanın emiş borusundaki sıcaklığı, eşdeğer boru uzunluğu ve sistemin kondenser sıcaklığı değerleri değişken olarak seçilmiştir. L tipi bakır boruların farklı iç çap değerlerine göre sistemin soğutma kapasitesi, soğutkan debisi ve soğutkan hızı değerlerinin minimum sınırları belirlenmiştir. Sonuçlar tablo olarak sunulmuştur.

Anahtar kelimeler: R-410A, minimum soğutkan hızı, emiş borusu, çap, dikey yükselme.

DETERMINATION OF VERTICAL SUCTION PIPE DIAMETER AT REFRIGERATION SYSTEMS USING R-410A

Abstract

Aim of this study is determination of suction pipe diameters for an alternative refrigerant (R-410A) which is widely used in refrigeration and heat pump systems. To obtain effective oil returning to the compressor, minimum oil velocity criterion is considered in the analysis. Refrigerant temperature in the suction pipe, equivalent pipe length and condenser temperature of the system are selected as variable parameters. The values of refrigeration capacity, refrigerant mass flow rate and minimum refrigerant velocity are determined for L type copper pipes. The results are presented with tables.

Key words: R-410A, minimum refrigerant velocity, suction pipe, diameter, vertical riser.

1. Giriş

Soğutma tesisatlarında boru çapı hesabı kritik bir önem taşır. Gaz fazında soğutkanın taşındığı boru çaplarının olması gerekenden küçük seçilmesi akış hızını arttırır. Bu durum kompresörde kapasite kaybı ve ses gibi sorunlara yol açar. Boru çapının gereksiz yere büyük seçilmesi ise ilk yatırım maliyetini arttırdığı gibi kompresöre etkili bir yağ dönüşünün sağlanmasını güçleştirir. Kompresörler içerisinde bulunan yağ ile soğutkan arasında bir etkileşim vardır. Kompresör yağının bir kısmı soğutkan ile karışır ve soğutma tesisatının tüm bileşenlerinde birlikte hareket ederler. Bu karışım sınırlı miktarlarda da olsa, soğutkan ile birlikte giden yağın kompresöre geri dönüşü sağlanmalıdır. Aksi takdirde, sistem bileşenleri içinde, biriken yağ hem ısı transferi hem de kompresörün yağlanması açısından sorunlara yol açabilir.

Emiş borusu, soğutma tesisatlarının en kritik boru hattı olarak tanımlanabilir. Soğutma tesisatlarında genellikle gaz fazında soğutkanın aktığı en uzun boru hattıdır. Bu hattın bir kısmında dikey yükselti bulunması daha fazla dikkati gerektirir. Çünkü soğutkan buharının içinde barındırdığı yağı, yerçekimine karşı, sürükleyebilmesi gerekir. Bu sebeple minimum

* Süleyman Demirel Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Enerji Sistemleri Mühendisliği Bölümü 32260 Çünür, Isparta
E-posta: emreozgur@sdu.edu.tr

bir soğutkan hızı hesaplanmalıdır. Özellikle kapasite veya frekans kontrollü kompresörlerin mevcut olduğu sistemlerde bu hızın belirlenmesi gerekir.

Kesim vd., dikey soğutma borularında, minimum soğutkan hızı ve soğutma kapasitesi için bazı bağıntılar türetmişlerdir. Ayrıca bu bağıntıların verdiği sonuçları, R-134a için sayısal olarak, sunmuşlardır (Kesim vd. 2000). Mehendale ve Radermacher (2011), 8 mm iç çapa sahip bir dikey boru içindeki yağ dönüşünü teorik ve deneysel olarak incelemişlerdir. R-410A ve POE (Polyol Ester) yağ karışımları için kritik soğutkan debisini bilinen değerlere göre yüksek değerler önermişlerdir. Çünkü POE yağ R-410A içine karışabilir. Bu durumda da boru çeperinde daha ince bir yağ filmi oluşur ve bu yağı sürükleyebilmek için daha yüksek soğutkan hızı gerekir. Ramakrishnan (2012) R410A, R-134a ve R-1234yf soğutkanlarının POE yağı dikey emiş borularında sürükleyebilmeleri için gerekli akış hızlarını deneysel ve kuramsal olarak incelemişlerdir. Çalışmalarında emiş hattındaki soğutkan sıcaklığını -5 °C, 5 °C ve 15 °C olarak belirlemişlerdir. R-410A için elde edilen akış hızı değerlerinin diğerlerine göre yüksek olduğunu göstermişlerdir. Bulgurcu ve İsa (2011), R-410A kullanılan soğutma sistemlerinde, dikey emme hattı yükseltilerinde yağın sürüklenmesini sağlayacak minimum soğutma kapasitesi değerlerini, sadece -12 °C emme hattı soğutkan sıcaklığı şartında sunmuşlardır.

Bu çalışmada, R-410A ve POE yağ ikilisinin mevcut olduğu dikey emiş borularının farklı eşdeğer boru uzunlukları ve çapları için minimum soğutkan hızı, soğutma kapasitesi ve soğutkan debisi değerleri kuramsal olarak hesaplanmıştır. Soğutma sistemlerindeki dikey borularda, yağın sürüklenmesini mümkün kılan minimum soğutkan hızı Kesim vd. tarafından önerilen bağıntı yardımıyla belirlenmiştir. Düz borulardaki sürtünme faktörü ve oluşturulan modelin çözümü, EES (Engineering Equation Solver) yazılımı ile akış şartları dikkate alınarak gerçekleştirilmiştir. Boru hattındaki basınç kaybı, 1,1 °C doyma sıcaklığı kaybı olarak sınırlandırılmıştır.

2. Teorik Analiz

R-410A soğutkanı iki farklı akışkanın eşit karışımıdır. Bu iki akışkan R-32 ve R-125 tir. Bu akışkanlar HFC grubu akışkanlar olduğu için POE yağlar ile uyumludur. Bu çalışmada, yoğunluğu 967 kg/m³ ve dinamik viskozitesi 0,041kg/m.s olan POE türü yağ seçilmiştir (Everest Product Data Sheet, 2014).

Soğutma sistemlerinin emiş borusu çapının belirlenmesinde iki temel husus göz önüne alınır. Bunlardan ilki basınç kaybı veya bu basınç kaybına karşılık gelen doyma sıcaklığı kaybıdır (Özkol, 1999). Bu çalışmada, literatürde önerildiği üzere, doyma sıcaklık kaybı 1,1 °C olarak belirlenmiştir. Bu değer emiş borusunun başlangıcı ve bitişi arasındaki basınç kaybına karşılık gelir ve boru uzunluğu ne olursa olsun sabit alınır. Boru hattında basınç kaybı iki kısımda ele alınmıştır. İlki düz borudaki basınç kaybı diğeri ise ek parçaların (dirsek, vana vb. bağlantı parçaları) sebep olduğu yerel basınç kaybıdır. Yerel basınç kaybı genellikle eşdeğer boru uzunluğu cinsinden ifade edilir. Bu çalışmada eşdeğer boru uzunluğu 10 m ile 90 m arasında değişken olarak alınmıştır. Eşdeğer boru uzunluğu, basınç kaybı için belirlenen sınır değer ve ortalama akış hızı değerleri kullanılarak boru çapı için

$$D = f \frac{L_{eşdeğer} \rho V_{ortalama}^2}{\Delta P} \quad (1)$$

ifadesi yazılabilir (Özkol, 1999). Burada $V_{ortalama}$ soğutkanın ortalama hızıdır. Bu hız değeri, soğutkanın dikey emiş borusunda yağı sürükleyebilmesi için sahip olması gereken minimum soğutkan hızına eşit alınmıştır ($V_{ortalama} = V_{min}$). Minimum soğutkan hızı ise

$$V_{min} = \left(\frac{ag\rho_{yağ} D_{tahmin}^{1.25}}{0.1582 a \rho_{ref} v_{soğ}^{0.25} - 0.402 \rho_{ref} v_{soğ}^{0.25} D_i} \right)^{1/1.75} + \frac{0.1a^2 g}{v_{yağ}} \left(\frac{D_{tahmin}}{0.1582 a - 0.402 D_i} \right) \quad (2)$$

ifadesi ile elde edilmiştir (Albayrak vd. 2000). Bu değer in hesaplanabilmesi için tahmini bir boru çapı değerine ihtiyaç vardır. (2) numaralı denklemde, dikey emiş borusu içinde sürüklenmesi gereken yağ filmi kalınlığı literatürde öngörüldüğü üzere

$$a = \frac{D_i}{50} \quad (3)$$

olarak belirlenmiştir (Albayrak vd. 2000). Akışın kütleli debisi dikkate alınarak (1) numaralı bağıntı

$$D = \left(f \frac{L_{EES} \dot{m}_{EES}^2}{\Delta P \pi^2 \rho} \right)^{1/5} \quad (4)$$

şeklinde düzenlenebilir. (2) numaralı bağıntıda verilen tahmini boru iç çapı (D_{tahmin}) ile (4) numaralı bağıntının verdiği boru iç çapı değeri (D) aynı oluncaya kadar analize devam edilmiştir. Analizin çözümü ve soğutkana ait termofiziksel özellikler EES (Engineering Equation Solver) yazılımı ile sağlanmıştır (Klein, 2013). (4) numaralı bağıntıdaki Darcy Sürtünme Faktörü (f), Re sayısı ve L tipi bakır borunun bağıl pürüzlülük değerine göre, Moody diyagramından, yine EES yazılımı aracılığıyla, belirlenmiştir.

(4) numaralı bağıntıda yer alan soğutkanın kütleli debisi, sistemin farklı soğutma yükleri dikkate alınarak,

$$\dot{Q}_{EV} = \dot{m} \Delta h \quad (5)$$

ifadesi ile elde edilmiştir. Burada Δh , evaporatör çıkış ile giriş şartlarında arasındaki, soğutkanın entalpisindeki değişimdir. (2) ve (4) bağıntılarında yer alan boru iç çaplarının aynı olduğu durumdaki soğutma yükü ve soğutkan debisi değerleri kaydedilmiştir. Elde edilen bu değerler, dikey emiş borularında yağın, farklı çapa sahip borularda R-410A soğutkanı tarafından sürüklenmesini mümkün kılan minimum soğutma kapasitesi ve soğutkan debisidir. Bu sonuçlar kullanılarak dikey emiş borularının çapları, emiş borusundan geçmesi öngörülen soğutkan debisi veya sistemin soğutma kapasitesi dikkate alınarak belirlenebilecektir. Bu amacı gerçekleştirebilmesi için analiz sonuçları tablo formatında sunulmuştur.

3. BULGULAR

R-410A soğutkanın kullanıldığı buhar sıkıştırımlı soğutma sistemlerinde, emiş borularının dikey bölümleri (soğutkanın yerçekiminin aksi yönünde aktığı kısımlar) için elde edilen soğutma kapasitesi ve minimum soğutkan hızları, L tipi boru çaplarına göre, tablo 1 de 40 °C ve tablo 2 de ise 50 °C kondenser sıcaklıkları için sunulmuştur.

Tablo 1. R-410A soğutkan için emiş borularının dikey bölümlerinde, yağın sürüklenmesi amacıyla gerekli minimum soğutma kapasitesi ve soğutkan hızları ($T_{kon} = 40\text{ }^{\circ}\text{C}$)

Boru çapları (mm)		Eşdeğer boru uzunluğu (m)					$T_{akış}$ ($^{\circ}\text{C}$)	V_{min} (m/s)
Dış (inç)	İç (mm)	10	30	50	70	90		
		Q_{EV} / \dot{m}	Q_{EV} / \dot{m}	Q_{EV} / \dot{m}	Q_{EV} / \dot{m}	Q_{EV} / \dot{m}		
7/8"	20	39.2/0.114	22.2/0.065	17/0.050	14.3/0.042	12.5/0.036	-10	7.6
		53.7/0.155	30.4/0.088	23.3/0.067	19.6/0.056	17.2/0.05	0	6.5
		71.8/0.205	40.8/0.117	31.3/0.089	26.3/0.075	23.1/0.066	10	5.7
1-1/8"	26.2	79.9/0.233	45.3/0.132	34.8/0.101	29.2/0.085	25.6/0.075	-10	9.2
		109/0.315	62/0.179	47.6/0.137	40/0.116	35.2/0.101	0	7.9
		146/0.418	83/0.238	63.9/0.183	53.6/0.153	47.1/0.135	10	6.9
1-3/8"	32.2	137/0.4	78/0.227	60/0.174	50.4/0.147	44.2/0.129	-10	10.7
		188/0.541	107/0.308	82/0.237	69/0.199	60.6/0.175	0	9.2
		251/0.719	143/0.41	110/0.314	92.4/0.264	81.1/0.232	10	8
1-5/8"	38.3	217/0.631	123.2/0.359	94.7/0.276	79.5/0.231	69.9/0.203	-10	12.1
		296/0.854	169/0.486	130/0.373	109/0.314	95.7/0.276	0	10.4
		396/1.132	225/0.644	173/0.496	146/0.417	128/3.666	10	9.1
2-1/8"	50.5	448/1.303	255/0.742	196/0.57	165/0.479	145/0.421	-10	14.9
		611/1.762	348/1.004	268/0.772	225/0.649	198/0.571	0	12.8
		816/2.33	465/1.334	358/1.02	301/0.86	265/0.758	10	11.2
2-5/8"	62.7	789/2.297	449/1.308	346/1.006	291/0.846	256/0.744	-10	17.4
		1076/3.102	613/1.768	472/1.362	397/1.146	349/1.006	0	15
		1435/4.107	819/2.344	631/1.8	531/1.52	467/1.336	10	13.1
3-1/8"	74.9	1256/3.65	716/2.083	551/1.603	463/1.35	407/1.185	-10	19.9
		1712/4.934	976/2.816	752/2.168	632/1.824	556/1.604	0	17.2
		2283/6.533	1304/3.731	1004/2.873	846/2.42	744/2.128	10	15
3-5/8"	87.1	Hız 20 m/s den büyüktür. Önerilmez					-10	22.3
		2536/7.313	1448/4.18	1116/3.214	939/2.71	826/2.37	0	19.3
		3382/9.677	1934/5.53	1489/4.262	1255/3.59	1103/3.16	10	16.8
4-1/8"	99.3	Hız 20 m/s den büyüktür. Önerilmez					-10	24.6
		Hız 20 m/s den büyüktür. Önerilmez					0	21.3
		4759/13.6	2721/7.787	2097/6	1766/5.05	1554/4.45	10	18.6

Tablo 1 ve 2, R-410A soğutkanın kullanıldığı, mekanik soğutma sistemlerinin projelendirilmesinde önemli veriler sunmaktadır. Çünkü sistemin emiş borusu çapının belirlenmesi, bu sürecin en kritik aşamasıdır. Soğutkanın kompresörde karıştığı ve beraberinde tüm sistem boyunca taşıdığı yağı tekrar kompresöre geri getirmesi beklenir. Soğutkanın yer çekimi etkisinde aktığı bölümlerde yağın sürüklenmesi sorun teşkil etmezken, proje gereği olabilecek emiş borusunun dikey yükseltilerinde soğutkanın minimum bir hız değerine sahip olması zorunludur. Bu minimum soğutkan hızı, soğutkanın buharlaşma sıcaklığına bağlı olarak, minimum bir evaporatör kapasitesine ve minimum soğutkan debisi değerine de karşılık gelir. Eğer boru içerisinden geçen soğutkanın debisi veya evaporatörde sağlanan soğutma kapasitesi, Tablo 1 ve 2 de verilen değerlerden düşük ise soğutkan hızı da olması gereken değerden düşüktür. Dolayısıyla projelendirme yapılırken, Tablo 1 ve 2 de sunulan değerler ve soğutkan hızının 20 m/s değerini aşmaması kriterine dikkat edilerek uygun boru çapları belirlenebilir. Projelendirilen sisteminin soğutma kapasitesi veya soğutkan debisi, Tablo 1 ve 2 de, verilen değerler ile karşılaştırılarak boru çapı belirlenmelidir. Burada ölçüt, sisteminin soğutma kapasitesi veya soğutkan debisine en yakın olan bir büyük değer seçilmesi şeklinde olmalıdır.

Tablo 2. R-410A soğutkan için emiş borularının dikey bölümlerinde, yağın sürüklenmesi amacıyla gerekli minimum soğutma kapasitesi ve soğutkan hızları ($T_{kon} = 50\text{ }^{\circ}\text{C}$)

Boru çapları (mm)		Eşdeğer boru uzunluğu (m)					T _{takış} (°C)	V _{min} (m/s)
Dış (inç)	İç (mm)	10	30	50	70	90		
		Q _{EV} / m	Q _{EV} / m	Q _{EV} / m	Q _{EV} / m	Q _{EV} / m		
7/8"	20	38/0.114 52/0.155 69.7/0.206	21.5/0.065 29.5/0.088 39.6/0.117	16.5/0.05 22.7/0.067 30.4/0.09	13.9/0.042 19/0.057 25.5/0.075	12.2/0.036 16.7/0.05 22.4/0.066	-10 0 10	7.6 6.5 5.7
1-1/8"	26.2	77.5/0.233 106/0.315 142/0.418	43.9/0.132 60.2/0.179 80.6/0.238	33.7/0.085 46.2/0.137 62/0.183	28.3/0.085 38.8/0.115 52/0.154	24.9/0.075 3.41/0.101 45.8/0.135	-10 0 10	9.2 7.9 6.9
1-3/8"	32.2	133/0.399 182/0.541 244/0.718	76/0.227 104/0.308 139/0.409	58.1/0.174 79.6/0.237 107/0.314	48.8/0.147 66.9/0.199 89.7/0.264	42.9/0.128 58.8/0.175 78.9/0.233	-10 0 10	10.7 9.2 8
1-5/8"	38.3	210.2/0.631 287.2/0.854 384/1.132	119/0.359 163/0.486 129/0.645	91.8/0.276 126/0.373 168/0.496	77.1/0.232 105.6/0.314 142/0.417	67.8/0.203 92.8/0.276 124/0.367	-10 0 10	12.1 10.4 9.1
2-1/8"	50.5	434.1/1.303 593/1.762 792/2.334	247/0.742 338/1.003 451/1.331	190/0.57 260/0.772 347/1.024	160/0.479 219/0.649 292/0.862	140/0.421 192/0.571 257/0.758	-10 0 10	14.9 12.8 11.2
2-5/8"	62.7	765/0.063 1044/3.101 1393/4.108	436/1.308 595/1.769 795/2.345	335/1.006 458/1.361 612/1.806	282/0.846 385/1.145 515/1.52	248/0.744 339/1.007 453/1.336	-10 0 10	17.4 15 13.1
3-1/8"	74.9	1217/3.655 1660/4.935 2215/6.532	694/2.083 947/2.816 1265/3.731	534/1.603 730/2.168 975/2.874	449/1.349 614/1.825 821/2.42	395/1.185 540/1.604 722/2.128	-10 0 10	19.9 17.2 15
3-5/8"	87.1	Hız 20 m/s den büyüktür. Önerilmez					-10	22.3
		2461/7.314	1405/4.176	1082/3.217	911/2.708	801/2.381	0	19.3
		3282/9.677	1876/5.531	1445/4.262	1217/3.59	1071/3.157	10	16.8
4-1/8"	99.3	Hız 20 m/s den büyüktür. Önerilmez					-10	24.6
		Hız 20 m/s den büyüktür. Önerilmez					0	21.3
		4617/13.62	2641/7.786	2035/6	1714/5.054	1508/4.445	10	18.6

4. SONUÇLAR

Her geçen yıl içinde alternatif soğutkanların adedi artmaktadır. Çevre açısından en uyumlu ve kullanılması amaçlanan sistemde, en uygun sonuçları sunan soğutkan arayışları hızla sürmektedir. Bu arayışlar soğutma sistemlerinin projelendirmesinde, pratiklik sağlayan tabloların da yenilenmesini gerekli kılmaktadır. Bu amaçla, soğutma sistemlerinin en kritik hattı olan emiş borusunun dikey yükseltilerinin çapı, R-410A soğutkanı özelinde belirlenmiştir. Bu tablolar günümüzde çok yaygın olarak kullanılan R-410A soğutkanlı sistemlerin projelendirmesi ve tesisi ile uğraşan mühendis ve teknik elemanlar için kullanışlı olacaktır. Bu tablolar dikkate alınan soğutkan sıcaklıkları sebebiyle, hem ısı pompası hem de soğuk muhafaza sistemleri için geçerlidir.

Soğutma sistemlerinin doğru şekilde projelendirilebilmesi ve alternatif soğutkanlar için referans kaynak olması için sunulan tabloların diğer alternatif soğutkanlar için de geliştirilmesi önemlidir. Çünkü doğru projelendirilmeyen sistemlerde enerji ve maddi kayıplar görülebileceği gibi, sistemin en kritik parçası olan kompresörün de hasar görmesi olasıdır. Dolayısıyla etkin bir yağ dönüşünün sağlanabilmesi için de akış hızlarına dikkat edilmelidir.

5. KAYNAKLAR

Bulgurcu H., İsa K., 2011. Alternatif Soğutucu Akışkan Kullanan Paket Soğutma Sistemleri İçin Boru Çaplarının Belirlenmesi. X. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi, Bildiri Kitabı s.1041-1065, 13/16 Nisan 2011, İzmir.

Engineering Equation Solver (EES), Version V9.433-3D, 2014.

Kesim S., İleri A., Albayrak K., 2000. Oil Entrainment in Vertical Refrigerant Piping. International Journal of Refrigeration, Cilt: 23, No: 8, s. 626-631.

Mehendale S.S., Radermacher R., 2011. Experimental and Theoretical Investigation of Annular Film Flow Reversal In a Vertical Pipe: Application To Oil Return In Refrigeration Systems. HVAC&R Research Journal, Cilt: 6, No: 1, s. 55-74.

Özkoç N., 1999. Uygulamalı Soğutma Tekniği. MMO Yayınları No:115.

Ramakrishnan A. 2012. Investigation Of Oil Retention And Pressure Drop in Suction Lines Using R1234yf, R134a and R410a With POE ISO 100. Master of Science Thesis, University of Illinois, s. 136.