

論文審査の結果の要旨

氏名 汪 琳琳

オゾン層保護のために、冷凍空調機器に用いられてきた冷媒 CFC 類や HCFC 類は HFC 類に転換されてきた。しかし、冷媒 HFC 類は高い温室効果係数(GWP)を持つため、地球温暖化の防止のために、GWP の低い冷媒への転換が迫られている。その中で、GWP が 4 の R1234yf という冷媒が注目されている。しかし、R1234yf は従来冷媒に比べて蒸発潜熱が 5 割程度小さいため、同等の冷暖房性能を得るためには冷媒循環量が 5 割程度増加する。その結果、冷凍空調機器内の圧力損失が増加し、成績係数(COP)が大幅に低下するという欠点が指摘されている。その欠点を克服するために、蒸発潜熱が大きく、GWP が中程度の冷媒を R1234yf に混合し、COP の欠点を克服し、GWP も許容される範囲に抑える試みが検討されている。本研究は、GWP が 675 の冷媒 R32 を R1234yf に混合する系の実用化を目指して、凝縮器における伝熱性能を明らかにすることを目的としている。

本論文は 7 章より構成されており、第 1 章では序論で従来の研究の紹介、研究の目的が記載されている。第 2 章では、純冷媒の凝縮熱伝達のメカニズムと実験相関式が説明されている。第 3 章では、混合冷媒の凝縮熱伝達のメカニズムと実験相関式が説明されている。第 4 章では、管内凝縮熱伝達を測定するための実験装置と実験方法、測定の不確かさ解析が説明されている。第 5 章では、純冷媒の実験結果と従来相関式が比較されている。従来相関式では説明できない条件については、新しい相関式が提案されている。第 6 章では、混合冷媒の実験結果と従来相関式との比較、新提案式との比較がされている。第 7 章は、結論で本研究を総括している。

内径 4mm と 2mm の円管内を冷媒が流れ、管外を冷却水が流れ、管内の冷媒が凝縮するときの凝縮熱伝達率を測定する実験装置を製作し、広範囲な条件で測定を行っている。使用した冷媒は、純冷媒 3 種 R1234yf, R32, R134a, 混合冷媒 2 種 R1234yf/R32(0.77:0.23), R1234yf/R32(0.48:0.52) で、質量流束 100~400 kg/m²s, 蒸気クオリティ 0.9~0.1, 飽和温度 40°C, 45 °C, 50 °C の範囲で実験がされた。熱伝達メカニズムを理解するために、高速ビデオカメラを用いて流動様式が記録され、解析された。

純冷媒の凝縮熱伝達については以下の結果を得ている。(1)熱伝達に対してせん断力が支配的な領域では、質量流束やクオリティの影響が大きい。(2)内径 4mm 管内熱伝達率は、既存の 4 種の相関式と比較され、Haraguchi らの相関式が最も精度よく相関することが分かり、平均偏差は 10.8%であった。(3)しかし、内径 2mm 管内熱伝達率は、従来の相関式では相関できないことを明らかにした。その理由は、凝縮液膜が 4mm 管では乱流であるが、2mm 管では層流の場合が多いこと、そして表面張力の影響が強くなっているからだと推定している。(4)2mm 管内凝縮熱伝達について、上記の効果を考慮した相関式を提案し、±20%の精度で相関できることを示している。

混合冷媒の凝縮熱伝達については以下の結果を得ている。(1) R1234yf/R32 系は非共沸混合冷媒であるので、凝縮時に気液界面近傍で物質伝達に伴う伝熱低下が起こることを示している。物質伝達に伴う伝熱低下は温度グライドの大きさに関係していることを確認している。(2)物質伝達に伴う伝熱低下がなければ、R1234yf/R32 系の熱伝達率は構成物質である R1234yf 純冷媒と R32 純冷媒の熱伝達

率の間にあるはずであるが、そのどちらより低い場合が多い。最も温度グライドの大きい R1234yf/R32 (0.77:0.23)混合冷媒の熱伝達率は R1234yf 純冷媒, R32 純冷媒, R1234yf/R32(0.48:0.52)いずれよりも低いことを明らかにした。(3)物質伝達に伴う熱伝達率の低下を予測するモデルを構築し、実験結果と比較している。その結果、合理的な精度で熱伝達率を予測できることを示している。

以上総括すると、これまでの凝縮熱伝達率は内径 4mm 以上の円管を用いて実験される場合がほとんどで、内径 2mm のような細管を用いて実験されることはほとんどなく、今回得られた実験データは貴重である。内径 2mm 程度の細管では従来の熱伝達相関式は適用できないことを明らかにし、新しい相関式を提案したことは意義がある。新冷媒として注目されている R1234yf/R32 系混合冷媒の熱伝達率を測定し、伝熱低下が温度グライドと強い相関を持つことを確認し、伝熱低下モデルを組み込んだ伝熱相関式を提案している。これは低 GWP 冷媒を実用化する上で、非常に有効で、工学的意義も大きい。

本研究の全般にわたって論文提出者が主体となって実験及び解析を行ったもので、論文提出者の寄与が十分であると判断する。

したがって、博士（環境学）の学位を授与できると判定する。