

自然冷熱の有効利用へ向けた氷スラリーの蓄熱特性に関する研究

川南 剛 [北海道大学大学院工学研究科／助手]

背景・目的

北海道などの寒冷地では、人口が100万人を越える札幌市においても、冬期の最低気温が -10°C 以下になることも珍しくない。これら冬期の冷熱を低温エネルギーとして蓄熱し、冷熱供給システムの冷熱源として利用することが可能であれば、エネルギー的および経済的に大きな効果が期待できる。

本研究は、自然冷熱を冷熱源として利用した、新たな冷熱供給システムを構築することを目的として、その冷熱媒体として注目される、氷スラリーの生成、輸送、および蓄冷熱に関して実験的検討を行ったものである。

内容・方法

本研究では、水平直円管内を流れる氷スラリーの流動特性に及ぼす諸因子の影響について検討を行った。

本実験で用いた装置は、主に冷却用ブライン循環系、氷スラリー生成・貯留槽、試験部を含む氷スラリー循環系および各測定系より構成されている。試験部は、塩化ビニル製直円管を用いた水平流路であり、流路には3000mmの間隔をあけて、鉛直下向きに圧力測定用のタップが設置されている。圧力タップには圧力を取り出すためのビニルチューブが接続されており、チューブの他端は差圧変換器へと接続されている。

本実験ではまず、氷スラリータンクにて予め設定された濃度のエチレングリコール水溶液を冷却し、所定の水溶液濃度および氷充填率（氷スラリーに対する氷の質量割合）となるまでタンク内を攪拌しながら氷スラリーを生成する。その後、氷スラリーをポンプにより所定の流量にて試験部へ供給し、圧力タップ間の圧力差および氷スラリーの温度測定を行った。

結果・成果

本研究において得られた代表的な成果を、その考察とともに以下に示す。

1 氷充填率の影響

氷充填率の変化が流路内の圧力損失に及ぼす影響に関して実験的検討を行った。その結果、流速が低い領域では、圧力損失の値が単相の値とは異なる勾配で推移する傾向が認められた。これは、氷粒子が浮力によって管上部に堆積するような低流速の流れでは、氷粒子と管壁との摩擦力の影響により、圧力損失が増大するためと考えられる。また、流速が増加するに従い流れが均質浮遊流となるため、高流速域における圧力損失は、単相の値と同様の傾向を示すことが明らかとなった。さらに、氷充填率の増加に伴い、より高

い流速域で圧力損失の勾配が変わる傾向が認められた。これは、氷充填率が高いほど摺動流から浮遊流に遷移する流速が大きくなるためと考えられる。

2 水溶液濃度の影響

氷スラリー中のエチレングリコール水溶液濃度の変化が、流路内の圧力損失に及ぼす影響に関して実験的検討を行った。その結果、流速の高い領域においては、水溶液濃度が高い条件ほど圧力損失が増大する傾向にあることがわかった。これは、水溶液濃度が高くなるに従い、氷スラリーの温度、つまり熱力学的平衡温度が低くなり、液相の動粘度が高くなるため、浮遊流となる高流速域では水溶液濃度が高いほど圧力損失も高くなったものと考えられる。一方、低流速域においてはその傾向が逆転し、水溶液濃度が低いほど圧力損失が高くなる傾向が認められた。一般的に、水溶液濃度が高くなると、凝固点降下により、氷粒子同士の再凝結がおきにくくなり、粒子間の摩擦力が小さくなる傾向がある。従って、氷粒子が密集している低流速域においては、水溶液濃度が低いほど圧力損失が大きくなったものと考えられる。

3 流動曲線

氷スラリーの流動曲線は、広いせん断速度の範囲内では、一般的に擬塑性流体（shear-thinning粘性）であることが知られているが、せん断速度が小さい領域では流体固有の挙動を示すことが報告されている。本研究では、氷スラリーの堆積・摺動流における流動挙動に着目し、応力と変形速度の関係を表す流動曲線を用いて流動特性を検討した。流動曲線は、管内の圧力損失および体積流量の測定値から、壁面のせん断応力およびせん断速度の関係をRabinowitsch-Mooneyの方程式を用いて求めた。その結果、氷充填率が低い条件では、流動曲線が原点を通る線形の関係である、ニュートン流体的性質を示すが、氷充填率が高い条件においては、降伏応力が存在することが明らかとなった。これは、氷充填率の増加に伴う氷粒子数の増加によって、管壁と氷粒子の摩擦抵抗に加え、氷粒子同士の摩擦も大きくなり、氷スラリーが降伏応力に相当する力が加わるまで流動しない、ビンガム流体に類似した流体構造になるためと思われる。

今後の展望

本研究で用いた氷スラリーは、液相にエチレングリコールを用いることにより、氷粒子同士の再凍結を防止し流動性を高めることが出来るため、すでに空調システムなどで用いられているものである。一方、液相に水を用いた水-氷系のスラリーは、氷粒子同士の再凝結による管路の閉塞などが問題であるが、生成が容易であり安全であることから、医療や食品分野など用途を選ばない利用が可能であり、自然冷熱を利用した冷熱搬送システムの冷熱媒体として有望である。今後は、水-氷系のスラリーに関して、同様な流動特性の評価および圧力損失低減化に関する検討を行う予定である。