

1, 2 종 흡수식 히트펌프의 작동 매체에 따른 성능 해석 [I]

Thermodynamic Analysis of an Absorption Heat Pump System with New Working Pairs [I]

원 승 호* 이 원 용** 정 현 생**
S. H. Won, W. Y. Lee, H. S. Chung

ABSTRACTS

Performance analysis of an absorption heat pump system for solar energy recovery has been done by computer simulation to find improved working pairs. Based on the thermodynamic analysis, the coefficient of performance and mass flow ratio have been calculated to compare two aqueous solutions [LiCl-water, LiCl-CaCl₂-Zn(NO₃)₂-water] which were developed for cooling by others, with the conventional LiBr-water solution.

As a result of this analysis, the performances of the new aqueous solutions were found to be better than that of LiBr-water solution not only in cooling systems, but also in heating and in heat transformer systems. Their theoretical thermodynamic performance data were given here with.

기 호 설 명

COP: 성능계수
E : 열교환기유효율
FR : 질량유량비
H : 엔탈피 (kJ/kg)
M : 질량유량 (kg/s)
P : 압력 (Pa)
Q : 유량 (m³/s)
X : 농 도
T : 온도 (°C)

<하 첨 자>

ab : 흡 수 기
co : 응 축 기
ev : 증 발 기
ge : 발 생 기
re : 냉 매

1. 서 론

흡수식 히트펌프는 저온의 열에너지를 흡수하는데 효과적인 시스템으로 전력 소모가 적

* 정회원, 한국동력자원연구소

** 한국동력자원연구소

고 소음과 진동이 적으므로 운전 및 보수가 용이하며 수명이 길다. 따라서 이 시스템은 태양에너지 활용 및 폐열 회수에 적용하고자 하는 연구가 매우 활발히 진행되고 있다. 현재 실용화되고 있는 작동유체로는 물-LiBr, 암모니아-물 등이 있으며, 이에 대한 열역학적 연구는 1940년대부터 수행되었으며 최근에도 Holland^{1),2),3)}, Eisa^{4),5),6)}, Tyagi⁷⁾, Ibele^{8),9)} 외에 많은 연구가 심도있게 수행되고 있다.

작동유체로써 실용화되어 있는 물-LiBr, 암모니아-물 외에도 주로 냉장 냉동용에 적용될 수 있는 작동매체를 개발하려는 연구가 현재 활발하게 수행되고 있다. Aker 등¹⁰⁾은 메탄올-염, 에탄올-복합염을 작동유체로 적용하려는 시도를 하였고 Zhuravienko¹¹⁾은 메탄올-LiBr을 작동유체로 사용하여 냉장(-15℃) 상태에서 비교적 높은 성능계수(0.63, 0.65)를 얻는 실험을 수행하였으며, Dan¹²⁾은 R22-DMETEG를 작동유체로 하여 히트펌프 시스템의 작동온도 영역을 계산하는 연구를 수행하는 등, 많은 연구가 수행되고 있다.

냉방용으로 개발된 작동매체인 물-LiCl¹³⁾, 물-LiCl-CaCl₂-Zn(NO₃)₂ (Multi-component salt, 복합염)¹⁴⁾에 대한 연구가 수행되었으나 주로 냉방에 적용하였고 특히 복합염 수용액의 경우는 1종, 2종 효용 냉방에 대한 적용 연구^{14),16)}가 수행되었으나, 난방과 열변환기의 적용 가능성에 대한 연구는 거의 없었으며, 이들 작동매체에 대한 적용 비교 연구도 거의 없었다.

본 연구에서는 이들 작동매체를 사용하는 경우와 이미 실용화 되어있는 LiBr수용액과의 성능을 비교하고, 난방, 열교환기에서의 성능 비교 해석도 수행하고자 하였다. 본 연구에서 사용한 작동 온도범위는 LiBr 수용액을 사용하며, 태양열을 이용하기 위한 작동온도 범위중 성능계수와 질량유량비가 우수한 영역을 계산을 통하여 결정하고, LiCl 수용액과 복합염수용액에도 이 온도범위를 적용하여 계산하였으므로 LiCl 수용액과 복합염수용액

의 경우는 보다 성능이 우수한 온도 영역이 존재할 수도 있으나 실용화 되어있는 LiBr 수용액과의 성능비교를 위하여 LiBr 수용액 작동온도 범위를 기준으로 하였다. 그리고 Holland^{1),2),3)} 등이 사용한 방법과 기준을 적용하여, 이들 작동유체에 대한 냉방, 난방 및 열변환기로서의 열역학적 해석을 수행함으로써 작동유체별 용도별 성능을 비교 분석하였다.

2. 열역학적 이론해석

1종 흡수식 히트펌프는 저온의 열을 이용하여 냉난방에 사용하는 시스템이며, 2종 흡수식 히트펌프는 저온의 열을 이용하여 고온의 열을 얻는 목적으로 사용하는 시스템으로 각각의 경우 기본적으로 4가지의 운영온도와 2가지의 압력상태로 작동된다. 1종의 경우 작동범위는 다음과 같으며

$$\begin{aligned} \text{냉방시} : T_{ge} > T_{ab} \geq T_{co} > T_{ev} \quad \text{or} \\ & T_{ge} > T_{co} > T_{ab} > T_{ev} \\ \text{난방시} : T_{ge} > T_{ab} \geq T_{co} > T_{ev} \quad \text{or} \\ & T_{ge} > T_{co} > T_{ab} > T_{ev} \\ & P_{co} = P_{ge} > P_{ab} = P_{ev} \end{aligned}$$

2종의 경우는 다음과 같다.

$$\begin{aligned} & T_{ab} > T_{ge} \geq T_{ev} > T_{co} \quad \text{or} \\ & T_{ab} > T_{ev} > T_{ge} > T_{co} \\ & P_{ab} = P_{ev} > P_{co} = P_{ge} \end{aligned}$$

그림 1은 1, 2종 흡수식 히트펌프 시스템의 부품 구성도이며 그림 2는 이 시스템의 작

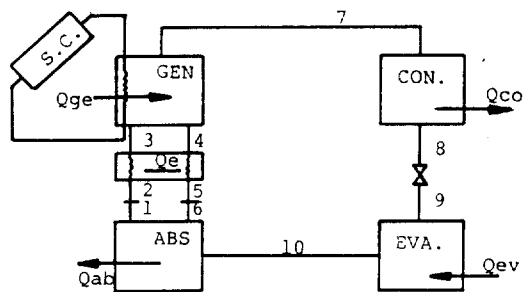


Fig.1 System diagram

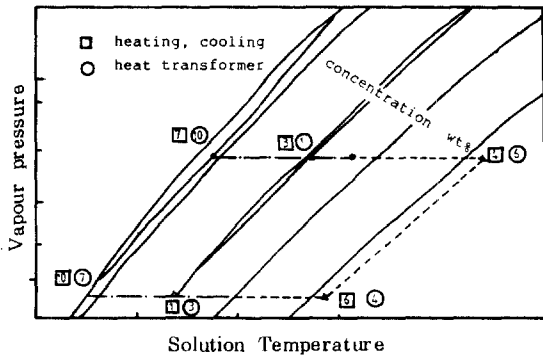


Fig. 2 Thermodynamic processes on P-T-X diagram

동유체에 대한 P-T-X 선도를 나타낸다. 이 선도에서 각 과정의 설명은 다음과 같다.

- 1-4.7 : 집열기에서 공급된 열을 받아 농도가 낮은 용액을 증발, 농축시켜 농용액을 흡수기로 보내는 과정
- 7-8 : 발생기에서 발생한 증기를 응축기에서 응축시켜 응축열 방출하는 과정
- 9-10 : 응축기에서 보내진 응축액을 외부에서 열을 공급받아 증발시키는 과정
- 10-1.6 : 증발기에서 보내진 증기와 발생기에서 송출된 농용액간의 흡수작용에 의한 흡수열을 외부로 방출하는 과정
- 1.3-4.6: 희용액과 농용액 사이에서 열교환을 수행하는 과정

흡수식 히트펌프 사이클 열역학적 성능해석을 위한 기본적인 가정은 Kaushik¹⁵⁾이 사용한 가정을 인용하였다. 그 가정은

- 1) 발생기에서 송출되는 냉매의 온도와 압력은 발생기 내부와 같다.
- 2) 응축기에서 송출되는 냉매는 응축기 온도에서의 포화액(포화수)이다.
- 3) 증발기로 유입되는 냉매는 포화증기상태이다.
- 4) 흡수기에서 송출되는 LiBr 수용액과 열교환기를 통과하여 발생기로 주입되는 희용

액은 평형상태에 있다.

흡수식 히트펌프의 특성을 나타내는 가장 중요한 변수는 질량유량비(FR)의 성능계수(COP)로써 본 연구에서의 질량유량비는 농용액의 질량유량을 냉매의 질량유량에 대한 비로 정의하였다.^{1),2),3)} 즉

$$FR = M_{ab} / M_{re} = X_{ge} / (X_{ge} - X_{ab}) \dots (1)$$

로 표기되며, 이 질량유량비는 냉매에 대한 발생기와 흡수기사이에서 송출되는 용액의 양을 나타내므로 과도한 질량유량비는 펌프의 용량, 배관 및 열교환기의 크기 등에 직접 관련되므로 성능해석시에 반드시 고려해야 할 성능변수이다.

성능계수(COP: Coefficient of Performance)는 다음과 같이 정의된다.

$$\text{냉방시} : COP_c = Q_{ev} / Q_{ge} \dots (2)$$

$$\text{난방시} : COP_h = (Q_{ab} + Q_{co}) / Q_{ge} \dots (3)$$

$$\text{열변환시} : COP_p = Q_{ab} / (Q_{ge} + Q_{ev}) \dots (4)$$

또한 P-T, H-T-X의 관계자료는 물-LiBr, 물-LiCl, 물-LiCl-CaCl₂-Zn(NO₃)₂ 각각 참고문헌4, 참고문헌13, 참고문헌14를 사용하였고, 관계자료는 기존의 실험값과 비교하여 오차가 가장 적은것을 사용하였다.

열교환기 성능을 나타내는 유효율(Heat Exchanger Effectiveness)은 각각 다음과 같이 정의하였다.

$$1 \text{ 종시스템} : E = (T_4 - T_5) / (T_4 - T_2) \dots (5)$$

$$2 \text{ 종시스템} : E = (T_3 - T_2) / (T_3 - T_4) \dots (6)$$

또한 용액의 농도는 용액의 P-X-T 관계의 특성상 70% 이하로 제한하였고 P-X-T 관계는 부록에 첨부하였다.

3. 계산결과 분석

발생기, 응축기, 증발기, 흡수기온도 및 열교환기 유효율을 변수로 하여 흡수식 히트펌프의 성능을 해석하였다. 용액열교환기 유효율은 전체 시스템 해석시 0.6으로 고정하였

Table 1 Comparison of COP and Flow Rate at Cooling

Tge	LiBr				LiCl				LiCl-CaCl ₂ -Zn(NO ₃) ₂			
	COP	Xg	Xa	FR	COP	Xg	Xa	FR	COP	Xg	Xa	FR
70.0	—	—	—	—	.75	32.63	29.31	9.82	—	—	—	—
75.0	—	—	—	—	.80	37.07	29.31	4.78	—	—	—	—
80.0	.69	52.00	48.96	17.13	.81	41.51	29.31	3.40	.66	44.26	42.54	25.76
85.0	.74	54.56	48.96	9.75	.81	45.95	29.31	2.76	.81	46.57	42.54	11.55
90.0	.76	56.96	48.96	7.12	.81	50.39	29.31	2.39	.86	48.63	42.54	7.98
95.0	.76	59.21	48.96	5.78	.80	54.83	29.31	2.15	.88	50.52	42.54	6.33
100.0	.77	61.34	48.96	4.96	.79	59.26	29.31	1.98	.89	52.32	42.54	5.35
105.0	.76	63.36	48.96	4.40	.79	63.70	29.31	1.85	.89	54.09	42.54	4.68
110.0	.76	65.27	48.96	4.00	.78	68.14	29.31	1.75	.90	55.99	42.54	4.16
115.0	.76	67.10	48.96	3.70	—	—	—	—	.90	58.46	42.54	3.67
120.0	.76	68.86	48.96	3.66	—	—	—	—	—	—	—	—

70 °C ≥ Tge ≤ 120 °C, Tco = 50 °C, Tev = 10 °C, Tab = 30 °C

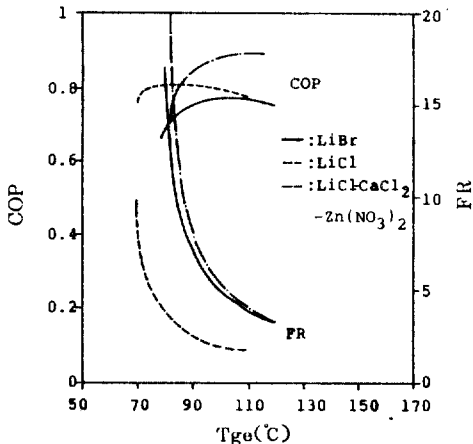


Fig.3 Comparison of COP and FR at cooling

고 각각 용도별에 따른 온도범위는 다음과 같이 정하였다.

- 1 종 냉방시 : 70 ≤ Tge ≤ 120 °C, Tco = 50 °C, Tev = 10 °C, Tab = 30 °C
- 난방시 : 70 ≤ Tge ≤ 140 °C, Tco = 50 °C, Tev = 30 °C, Tab = 50 °C
- 2 종열변환시 : 30 ≤ Tge ≤ 70 °C, Tco = 10 °C, Tev = 70 °C, Tab = 100 °C
- 60 ≤ Tab ≤ 150 °C, Tco = 20 °C, Tev = 50 °C, Tge = 60 °C

응축기, 증발기, 흡수기의 온도 등 각 부분의 온도변화가 흡수식 히트펌프의 성능에 크게 영향을 미치지만 여기서는 작동유체별 성능변화 경향만을 비교하기 위해 LiBr 수용액을 기준으로 하여 성능계수와 질량유량비 및 작동온도 범위가 우수한 영역을 선정하고, 이 작동온도 영역에 대하여 LiCl, 복합염 수용액을 해석하였다.

Table 1 과 Fig.3 은 냉방용으로 사용하는 경우 Tco = 50 °C, Tev = 10 °C, Tab = 30 °C 이고, Tge가 70 °C에서 120 °C까지 변화할때의 성능계수와 질량유량비의 변화를 각 작동매체에 대하여 비교한 것이다. 성능계수는 복합염 수용액이 가장 우수하며, 다음이 LiCl 수용액이고, LiBr수용액이 가장 낮다. 질량유량비는 LiCl수용액이 가장 우수하며, LiBr수용액과 복합염 수용액은 거의 같다. Table 1 에서 작동온도 폭은 3가지 작동매체가 거의 유사하나, 발생기 온도의 최저온도에 있어서 LiCl수용액이 다른 작동매체에 비하여 10 °C정도 낮으므로 태양열 등 낮은 온도범위에서 작동하는데 유리하다는 것을 알 수 있고, 복합염 수용액의 경우도 실용화 되어있는 LiBr수용액과 유사하므로 개발가능성이 크다.

Table 2 와 그림 4 는 난방용으로 사용하는

Table 2 Comparison of COP and Flow Rate at Heating

T _{ge}	LiBr				LiCl				LiCl-CaCl ₂ -Zn(NO ₃) ₂			
	COP	X _g	X _a	FR	COP	X _g	X _a	FR	COP	X _g	X _a	FR
85.0	1.58	48.60	47.54	45.97	1.79	36.52	31.98	8.05	—	—	—	—
90.0	1.76	51.33	47.54	13.54	1.81	40.83	31.98	4.61	—	—	—	—
95.0	1.79	53.89	47.54	8.49	1.82	45.14	31.98	3.43	1.62	43.30	42.04	34.32
100.0	1.80	56.28	47.54	6.44	1.81	49.45	31.98	2.83	1.80	45.25	42.04	14.07
105.0	1.80	58.51	47.54	5.33	1.81	53.77	31.98	2.47	1.86	47.01	42.04	9.45
110.0	1.79	60.62	47.54	4.64	1.80	58.08	31.98	2.23	1.88	48.62	42.04	7.38
115.0	1.79	62.60	47.54	4.16	1.79	62.39	31.98	2.05	1.89	50.13	42.04	6.19
120.0	1.79	64.48	47.54	3.81	1.79	66.70	31.98	1.92	1.90	51.56	42.04	5.41
125.0	—	—	—	—	—	—	—	—	1.90	52.97	42.04	4.84
130.0	—	—	—	—	—	—	—	—	1.90	54.39	42.04	4.40
135.0	—	—	—	—	—	—	—	—	1.90	55.92	42.04	4.03
140.0	—	—	—	—	—	—	—	—	1.90	57.77	42.04	3.67

70 °C ≤ T_{ge} ≤ 140 °C, T_{co} = 60 °C, T_{ev} = 30 °C, T_{ab} = 50 °C

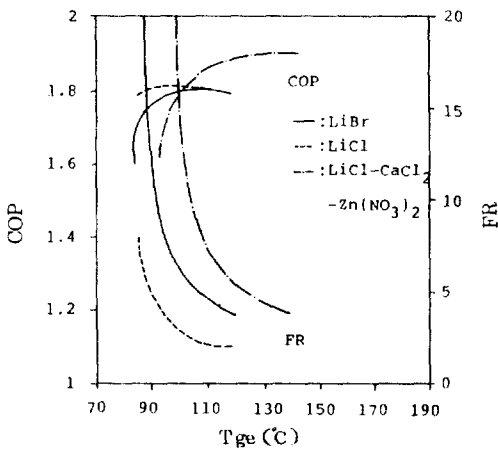


Fig. 4 Comparison of COP and FR at heating

경우에 대하여 T_{co} = 60 °C, T_{ev} = 30 °C, T_a = 50 °C이고 T_{ge}가 70 °C에서 100 °C까지 변화시켰을 때 성능계수와 질량유량비 변화를 각 작동매체에 대하여 비교한 것이다. 성능계수는 복합염 수용액이 가장 높고 다음이 LiCl 수용액, LiBr 수용액이 가장 낮다. 그리고 발생기 온도변화에 따른 성능계수의 변화는 LiCl 수용액이 가장 우수하다. 질량유량비는 LiCl 수용액, LiBr 수용액, 복합염 수용액 순으로

낮은 값을 나타낸다. 난방용으로 사용하는 경우에 LiCl 수용액이 가장 우수한 작동매체이나 발생기의 온도가 고온인 경우는 복합염 수용액을 사용하면 높은 성능계수를 얻을 수 있으며, 작동온도 폭도 다른 작동매체에 비하여 10 °C 정도 크다는 것을 알 수 있다.

1 종시스템(냉, 난방)으로 사용하고자 하는 낮은 발생기 온도(100 °C 이하)에서는 LiCl 수

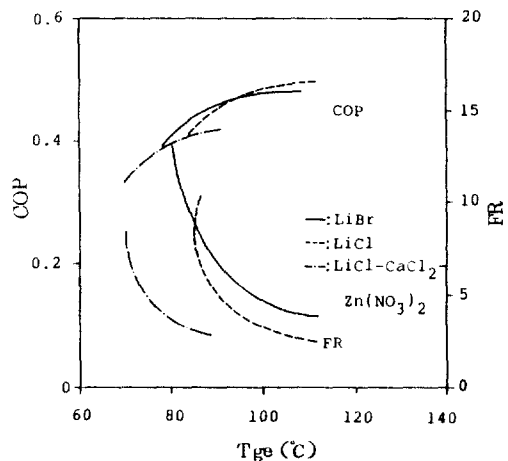


Fig. 5 Comparison of COP and FR at heat transformer

Table 3 Comparison of COP and Flow Rate at Transformer

T _{ge}	LiBr				LiCl				LiCl-CaCl ₂ -Zn(NO ₃) ₂			
	COP	X _g	X _a	FR	COP	X _g	X _a	FR	COP	X _g	X _a	FR
30.0	—	—	—	—	—	—	—	—	.33	42.54	37.50	8.45
35.0	—	—	—	—	—	—	—	—	.38	47.53	37.50	4.74
40.0	.40	54.83	50.69	13.23	—	—	—	—	.40	52.29	37.50	3.54
45.0	.44	57.45	50.69	8.50	.42	44.14	39.64	9.82	.41	57.32	37.50	2.89
50.0	.46	59.94	50.69	6.48	.46	49.08	39.64	5.20	—	—	—	—
55.0	.47	62.36	50.69	5.34	.48	54.02	39.64	3.76	—	—	—	—
60.0	.48	64.72	50.69	4.61	.48	58.97	39.64	3.05	—	—	—	—
65.0	.48	67.06	50.69	4.10	.49	63.91	39.64	2.63	—	—	—	—
70.0	.49	69.40	50.69	3.71	.50	68.85	39.64	2.36	—	—	—	—

30 °C ≤ T_{ge} ≤ 70 °C, T_{co} = 10 °C, T_{ev} = 70 °C, T_{ab} = 100 °C

용액이 가장 우수하며, 발생기 온도가 비교적 높은 경우(140 °C이하)에서는 복합염수용액도 작동매체로서 우수하다는 것을 알 수 있다.

Table 3 과 그림 5 는 열변환기로 사용하는 경우에 대하여 T_{ge} 는 30 °C에서 70 °C까지 변화시키고, T_{co} = 10 °C, T_{ev} = 70 °C, T_{ab} = 100 °C인 경우 성능계수와 질량유량비의 변화를 각 작동매체에 대하여 비교한 것이다. 성능계수는 LiCl 수용액과 LiBr 수용액이 거의 같

은 정도를 나타내고 복합염 수용액이 가장 낮다. 질량유동율은 복합염수용액이 가장 우수하고 LiCl 수용액, LiBr 수용액 순위이다. 작동온도 폭(Table 3)은 LiBr 수용액, LiBr 수용액이 비슷하나 복합염 수용액은 약 10 °C 정도 좁다. 종합성능 면으로는 LiCl 수용액이 가장 우수하다고 할 수 있으며, 질량유동율이 중요한 변수로 작용하는 경우에는 성능계수가 비록 약간 낮으나 복합염 수용액도 개

Table 4 Comparison of COP and Flow Rate at Transformer

T _{ab}	LiBr				LiCl				LiCl-CaCl ₂ -Zn(NO ₃) ₂			
	COP	X _g	X _a	FR	COP	X _g	X _a	FR	COP	X _g	X _a	FR
70.0	—	—	—	—	.49	50.16	23.58	1.89	.45	60.70	38.42	2.72
75.0	.49	59.15	42.55	3.56	.49	50.16	27.89	2.25	.44	60.70	41.59	3.18
80.0	.49	59.15	45.67	4.39	.49	50.16	32.20	2.79	.44	60.70	44.26	3.69
85.0	.48	59.15	48.60	5.61	.49	50.16	36.52	3.68	.43	60.70	46.57	4.30
90.0	.48	59.15	51.33	7.57	.48	50.16	40.83	5.37	.43	60.70	48.63	5.03
95.0	.46	59.15	53.89	11.24	.46	50.16	45.14	9.99	.42	60.70	50.52	5.96
100.0	.42	59.15	56.28	20.60	—	—	—	—	.40	60.70	52.32	7.24
105.0	—	—	—	—	—	—	—	—	.39	60.70	54.09	9.18
110.0	—	—	—	—	—	—	—	—	.35	60.70	55.99	12.89
115.0	—	—	—	—	—	—	—	—	.19	60.70	58.46	27.09

T_{ge} = 60 °C, T_{co} = 20 °C, T_{ev} = 50 °C
60 °C ≤ T_{ab} ≤ 150 °C

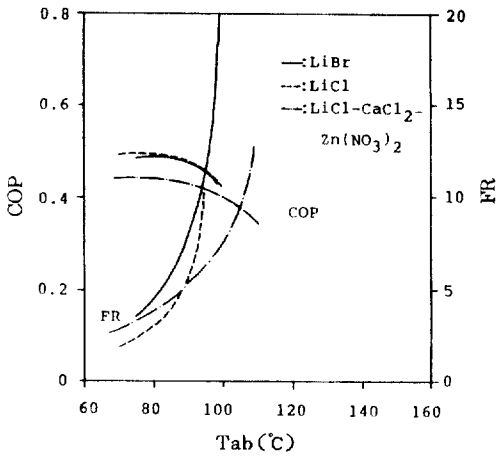


Fig. 6 Comparison of COP and FR AT TRANSFORMER

발 가능성이 크다.

Table 4 와 그림 6 은 열변환기로 사용하는 경우에 대하여 $T_{ge} = 60^{\circ}\text{C}$, $T_{co} = 20^{\circ}\text{C}$, $T_{ev} = 50^{\circ}\text{C}$ 이고 T_{ab} 를 60°C 에서 150°C 까지 변화시켜 각 작동매체의 성능계수와 질량유량비의 변화를 비교한 것이다. 발생기의 온도를 변화시킨 경우와 유사한 경향을 나타내고 있다. 성능계수는 LiCl 수용액과 LiBr 수용액이 근사하고 복합염 수용액은 다소 낮다. 질량유량비는 LiBr이 가장 크고 다음이 LiCl 수용액, 복합염 수용액이 가장 낮다. 따라서 저온용 열변환기로 사용하는 경우는 LiCl 수용액이 가장 좋으나 적용온도 폭은 복합염 수용액 쪽이 가장 크며(약 20°C) 최고 사용온도도 가장 높다.

따라서 1, 2 종시스템에 모두 성능(성능계수, 질량유량비, 작동온도영역)이 우수한 작동유체는 없으나 비교적 고온의 열원을 이용하는 경우는 복합염 수용액이 대체로 우수하며 비교적 낮은 열원을 이용하는 경우는 LiCl 수용액이 우수하다.

4. 결 론

작동유체로서 실용화 되어있는 LiBr 수용액, 암모니아 수용액외에 주로 냉방용으로 개발되고 있는 LiCl 수용액과 LiCl-CaCl₂-Zn

(NO₃)₂ 수용액에 대하여 냉방 뿐만아니라 난방, 열변환기로서의 적용을 위한 열역학적 해석을 수행하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 냉방용으로 사용하는 경우의 우수성
성능계수 : 복합염수용액, 질량유량비 ; LiCl 수용액

(2) 난방용으로 사용하는 경우의 우수성
성능계수 : 복합염수용액, 질량유량비 ; LiCl 수용액

(3) 열변환기용으로 사용하는 경우의 우수성
성능계수 : LiCl 수용액, 질량유량비 : 복합염수용액

(4) 새로운 작동유체의 개발은 흡수식 히트펌프의 열역학적 성능을 향상시킬 수 있으며, 냉·난방, 열변환에 하나의 작동유체를 사용하는 경우 기존의 LiBr 수용액 보다 복합염, LiCl 수용액의 성능이 우수하며, 비교적 고온의 열원을 이용하는 경우는 복합염 수용액이 대체로 우수하고, 비교적 낮은 온도의 열원을 이용하는 경우는 LiCl 수용액이 우수하다.

후 기

본 연구는 1989년도 대체에너지 사업의 일부로 수행되었으며 관계자 제위께 감사를 표한다.

참 고 문 헌

1. M.A.R. Eisa, I.G.A. Rashed, S. Devotta and F.A. Holland, "Thermodynamic design data for absorption heat pump systems operating on water-lithium bromide: Part I, cooling", J. Appl. Energy 5, 83-94, 1986.
2. M.A.R. Eisa, I.G.A. Rashed, S. Devotta and F.A. Holland, "Thermodynamic design data for absorption heat pump systems operating on water-lithium bromide: Part II, heating, J. Appl. Energy 5, 95-105, 1986.
3. M.A.R. Eisa, I.G.A. Rashed, S. Devotta

- and F.A. Holland, "Thermodynamic design data for absorption heat Transformers: Part III. Operating on water-lithium bromide", *J. Appl. Energy* 5, 106-117, 1986.
4. R. Best, M.A.R. Eisa and F.A. Holland, "Thermodynamic design data for absorption heat pump systems operating on Ammonia-water-Part I. cooling", *Heat Recovery systems & CHP*, vol. 7, No. 2, pp.167-175, 1987.
 5. R. Best, M.A.R. Eisa and F.A. Holland, "Thermodynamic design data for absorption heat pump systems operating on Ammonia-water-Part II, heating", *Heat recovery systems & CHP*, Vol.7, No.2, pp.177-185, 1987.
 6. R. Best, M.A.R. Eisa and F.A. Holland, "Thermodynamic design data for absorption heat pump systems operating on Ammonia-water-Part III. Simultaneous cooling and heating", *Heat recovery systems & CHP*, Vol.7, No.2, pp.187-294, 1987.
 7. K.P. Tyagi, "Cut-off temperatures of aqua-ammonia absorption refrigeration system", *Heat recovery systems & CHP*, Vol.8, No.4, pp.371-373, 1988.
 8. W. Koehler, W.E. Ibele, E.R. Winter and J. Soltes, "Entropy values of aqueous solutions of lithium bromide approximation equation", *ASHRAE Trans.* 93(2), 1987.
 9. W.J. Koehler, W.E. Ibele, J. Soltes and E.R. Winter, "Availability simulation of a lithium bromide absorption heat pump", *Heat recovery systems & CHP*, Vol.8, No.2, pp.157-171, 1988.
 10. J.E. Aker, R.G. Squires, and L.F. Albright, "An evaluation of alcohol-salt mixtures as absorption refrigeration solutions", *ASHRAE Trans. Paper No.*1989, 1965.
 11. E.R. Grossman and V.A. Zhuravienko, "An investigation of absorption refrigeration plant working on a solution of methanol-LiBr", *kholodilnaya Tekhnika*, No.1, 4-6, 1968.
 12. R.D. Dan and S.S. Murthy, "Thermodynamic data on vapour absorption heat pump working on R22-DMETEG pair", *Heat recovery systems & CHP*, Vol.8, No.2, pp.87-93, 1988.
 13. 김지동 외, "가스 보급확대를 위한 기술 개발 연구", 동력자원연구소 연구보고서, 1985.
 14. O.A. Pinchuk, I.I. Orekhov and S.V. Karavan, "Investigation of thermodynamic properties of multi-component solution for absorption refrigeration machine", *Kholodilnaya Tekhnika*, No.6, 36-38, 1982.
 15. S.M.B. Gadhi, R.S. Agarwal, and S.C. Kaushik, "Thermodynamic properties state equations for alcohol-salt mixtures (methanol-LiBr-ZnBr.) used in absorption air conditioning", *SOLERAS Meeting on Solar Building Workshop at Riyadh at Riyadh Univ., Saudi*, 1984.
 16. S.C. Kaushik, S.M.B. Gadhi, R.S. Agarwal and R. Kumari, "Modeling and simulation studies on single/double-effect absorption cycle using water-multicomponent salt (MCS) mixture", *Solar energy* Vol.40, No.5, 431-441, 1988.
 17. *ASHRAE handbook 1981 Fundamentals*, p.17.142.

Appendix

각 작동매체의 P-T-X diagram에 의한 관계식은 다음과 같다.

$$1) \text{LiBr-H}_2\text{O}^{17)}$$

$$T = \sum_0^3 B_n X^n + T' \sum_0^3 A_n X^n \dots\dots (A-1)$$

$$T' = (T - \sum_0^3 B_n X^n) / \sum_0^3 A_n X^n \dots\dots (A-2)$$

$$\text{Log} P = C + D/(T + T_0) + E/(T + T_0)^2 \quad (\text{A-3})$$

$$T = \frac{-2E}{D + [D^2 - 4E(C - \text{log} P)]^{0.5}} - T_0 \quad (\text{A-4})$$

- $A_0 = -2.00755$
- $A_1 = 0.16976$
- $A_2 = -3.133336E - 3$
- $A_3 = 1.97668E - 5$
- $B_0 = 124.937$
- $B_1 = -7.7165$
- $B_2 = 0.152286$
- $B_3 = -7.9509E - 4$
- $C = 7.05$
- $D = -1596.4$
- $E = -104095.5$
- $T_0 = 273.15$

2) $\text{LiCl-H}_2\text{O}^{13)}$

$$\text{Log} P = A - B/(T + 230) \quad \dots\dots\dots (\text{A-5})$$

$$A = 7.9520 - 6.6585E - 3X - 1.3277E - 5X^2$$

$$B = 1678.6 - 2.4237X + 7.5696X^2$$

3) $\text{MCS-H}_2\text{O}^{14)}$

$$P = A_1 + A_2 X + A_3 X^2 + A_4 X^3 \quad \dots\dots (\text{A-6})$$

$$A_1 = 6.47 - 0.401T + 0.0108T^2$$

$$A_2 = 0.01(10.323 - 0.530T + 0.00564T^2)$$

$$A_3 = -0.01(0.859 - 0.0482T + 0.00097T^2)$$

$$A_4 = 0.0001(0.886 - 0.0495T + 0.00102T^2)$$

각각 $T(^{\circ}\text{C})$ 는 용액온도이며 $T'(^{\circ}\text{C})$ 는 냉매온도, X 는 농도 P 는 압력(kPa)을 나타낸다.