

|||||  
解 說  
|||||

## 吸收式 冷凍機에 對하여

박 대 휘\* 노 창 균\*

### The Theory and Application of Absorption Refrigerator

Dae Hui Park,\*Chang Kyun Ro\*\*

#### 1. 서 언

경제 발전과 생활 수준의 향상은 보다 쾌적한 생활 환경을 요구하게 되고 또, 최근의 High Technology 산업의 발달은 제조 공정에서의 보다 엄밀한 환경 조건을 요구하게 된다. 이에 따라 냉동기와 같은 공조 관련 기기의 수요는 점점 더 증가하고 있는 형편이다. 일반적으로 냉동기는 주로, 전기를 동력원으로 하는 압축식(물론 Engine 구동형과 같은 것도 있지만)과 주로, 외부 가열원을 주 동력원으로 하는 압축식 냉동기가 주종을 이루어 왔다. 그러나, 최근에 관련업계의 신제품 개발, 정부의 에너지 정책, 운전 비용의 절감, 흡수식 냉동기의 지식 보급, 확대 등은 점차 흡수식 냉동기가 공조 기기의 주역으로 탈바꿈 될 전망이다.

흡수식 냉동기는 1777년 그 이론이 처음 발표되고 1884년에 물-암모니아의 냉동기가 개

발되었다. 흡수식이 공조용으로서 사용되어 급속한 발전을 이루게 된 것은 1930년대 미국에서 중·소형기가 개발되고 1945년 대형기가 개발·제작된 이후이다. 국내에서도 1970년대 후반 1중효용 흡수식 냉동기가 제품화된 이후, 2중효용 흡수식, 흡수 냉온수 유니트등이 개발되어 그 보급이 점차 확대될 전망이다. 특히, 흡수 냉온수 유니트의 개발은 냉동기와 보일러를 일체화하여 기계실 부대 설비의 간략화, 수전 설비의 최소화, 대기 오염 방지, 하계 전력 수요 피크의 억제에 큰 기여를 하게 되었다.

이러한 공조기기로서의 흡수식 냉동기의 종류 및 원리로부터 보수·관리까지의 전반에 걸친 소개로, 최근 급격히 늘고있는 보급 추세에 부응하고 또한 흡수식 냉동기에 관심있는 분들의 이해를 돕고자 하는 바이다.

#### 2. 흡수식의 분류

흡수식에는 냉매-흡수제로서 <암모니아-물>

\* 경원기계공업(주) 설계과장

\*\* 경원기계공업(주) 설계과 주임기사

을 사용하는 암모니아 흡수 냉동기와 <물-Li Br 수용액>을 사용하는 LiBr 흡수 냉동기가 있다. 여기에서는 일반 공조용 기기로서 많이 사용되고 있는 <물-Li Br 수용액> 흡수식 냉동기

에 대하여 주로 설명하고자 한다.

흡수식 냉동기를 재생기의 가열 방법과 가열원의 종류, 재생 방법, 주기능등에 의해 분류하면 표1 및 표2와 같이 분류할 수 있다.

표 1. 흡수식의 분류

구분	취출 열원	가 열 원		흡 수 식 명 칭
		종별	사 양	
흡수식 냉동기	냉수 전용	증기	저압 증기(0.5~1.5 kg/cm <sup>2</sup> )	1중 효율 증기 흡수 냉동기
			중·고압 증기(2~8 kg/cm <sup>2</sup> )	2중 효율 증기 흡수 냉동기
	온수	저온수(70~95°C)	1중 효율 저온수 흡수 냉동기	
		중온수(110~150°C)	1중 효율 고온수 흡수 냉동기	
		고온수(180~200°C)	2중 효율 고온수 흡수 냉동기	
흡냉온수유닛식	냉온수 병용	직화 연료	가스연료(도시가스, LPG 등)	1중 효율 가스흡수식 냉온수 유닛 2중 효율 가스흡수식 냉온수 유닛 공기열교환기 부착가스흡수식 냉온수유닛
			오일 연료(등유, 경유, A중유등)	1중 효율 오일흡수식 냉온수 유닛 2중 효율 오일흡수식 냉온수 유닛
			가스·오일 병용 연료(도시가스, LPG, 등유, 경유, A중유등)	2중 효율 가스·오일전환 연소형 흡수식 냉온수 유닛
	폐열원	폐가스(300~800°C)	1중 효율 폐가스 흡수식 냉온수유닛 2중 효율 폐가스 흡수식 냉온수유닛	
폐온수(70°C 이상)		가열원 중별 온수 항목 참조		
흡수식 냉동기	냉수 전용	태양열	폐증기(0.5 kg/cm <sup>2</sup> 이상)	가열원 중별 증기 항목 참조
			온수(70~95°C)	가열원 중별 온수 항목 참조
			온수+보조증기(70~95°C + 2~8 kg/cm <sup>2</sup> )	태양열 이용 1중·2중 조합형 흡수식 냉동기
흡냉온수유닛식	냉온수 병용	양열	온수+직화 연료(70~95°C + 도시가스·등유, 경유, A중류)	태양열 이용 가스 흡수식 냉온수 유닛 태양열 이용 오일 흡수식 냉온수 유닛

표 2. 흡수식 사이클의 응용

기 종	사이클	주 기 능	가 열 원
흡수식 냉동기	1중 효율	냉수 제조	·증기 ·온수(고온수·저온수)
	2중 효율	· 4~10°C 냉수	
흡수식 냉온수 유닛	1중 효율	냉수 및 온수 제조	·연료(도시 가스, LPG 등유, 경유, A중유 등) ·공장 배기 가스
	2중 효율	· 4~10°C 냉수 · 40~80°C 온수	

기	종	사이클	주 기 능	가 열 원
흡수식 히트 펌프	온수 흡수식	1 중 효용	온수 제조 • 40 ~ 85°C 온수	• 연료 직화식 • 증기
	히트 펌프 (제 1 종)		2 중 효용	온수 제조 • 45°C 이하의 온수
	증기 발생 흡수식 히트 펌프(제 2종)	1 중 효용	증기 또는 온수 제조 • 140°C 이하의 증기 또는 온수	• 폐증기 • 폐온수

공조 업계에서 흡수식 냉동기 및 냉온수 유니트의 신장은 현저하며 특히 가스 직화식 흡수 냉온수 유니트는 빌딩 공조 분야에서 주된 열원 기기가 될 전망이다. 또한, 흡수식 발전의 기술적 배경으로서, 2중효용화로 대표되는 에너지 절약, 태양열 이용 및 폐열 이용등을 통한 광범위한 응용은 앞으로도 기술 개발의 큰 테마로 남아있다. 특히 흡수 히트 펌프는 폐증기 또는 폐온수를 가열원으로 사용하여 온수 또는 증기를 발생하므로써 산업용 및 업무용에 한층 에너지 절약화를 기할 수 있으므로 흡수식 히트 펌프의 신기술 개발 및 보급은 범 국가적인 에너지 차원에서 시급한 당면 과제임에 틀림없다.

### 3. LiBr 수용액의 성질

공조용 흡수식 사이클의 흡수제(용액)로 사용되는 LiBr 수용액의 일반적인 성질은 식염(NaCl)과 유사하며, 안정된 물질로, 대기중에서 변질, 분해, 휘발하지 않는다. 이것은 LiBr과 NaCl이 알칼리족 원소인 Li와 Na, 할로젠족 원소인 Br와 Cl의 화합물인 것으로도 예상할 수 있다. LiBr 무수물의 주된 성질은 표 3과 같다.

표 3. LiBr의 특성

화 학 식	LiBr
분 자 량	86.856
성 분	Li 7.99% Br 92.01%
외 관	무색 결정립
비 중	3.464 (25°C)
용 점	549°C
비 점	1265°C

#### 3-1. 용해도

상온에서 포화 용액의 농도는 약 60%로서 대단히 물에 용해하기 쉽다. LiBr의 물에 대한 용해도를 나타내면 그림 1과 같다.

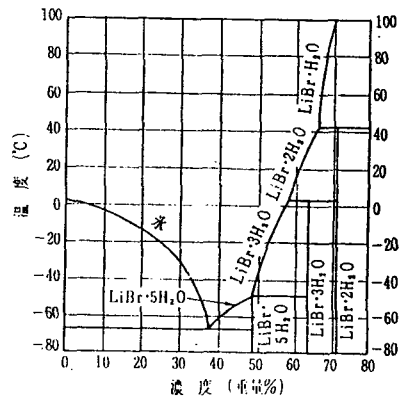


그림 1. LiBr 용해도 곡선

즉, LiBr 수용액을 가열하여 물을 증발시키거나, 수용액의 온도를 저하시키면 그림과 같이 1. 2. 3. 또는 5수염이 석출된다. 이것은 흡수식 사이클을 취급하는 경우, 운전 상태에 따른 농도의 변화범위에 대하여 결정이 석출되지 않도록 충분히 주의하여야 함을 보여준다.

3-2. 비중

LiBr 수용액은 Br 을 많이 함유하고 있으므로 비교적 그 비중이 크며, 흡수식에서 일반적으로 사용되고 있는 60% 수용액은 약 1.7이다. LiBr 수용액의 비중을 그림 2에 나타낸다.

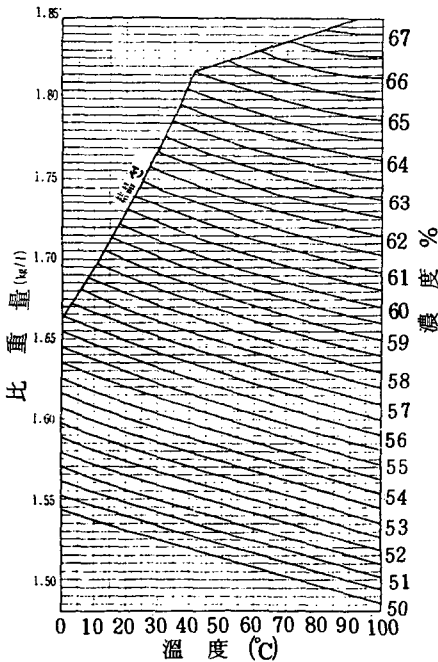


그림 2. LiBr 수용액의 비중

3-3. 비열

흡수액의 비열이 작으면 작을수록 흡수식 사이클의 효율은 높아진다. LiBr 수용액의 비열은 표 4와 같으며 흡수식 사이클에 실제로 적용되고 있는 농도에서는 비열이 상당히 작음을알 수 있다.

표 4. LiBr 수용액의 비열

농도(중량%)	온도 (°C)	실 측치 (kcal/kg °C)
10.9	24.0	0.902
	40.7	0.870
	55.2	0.840
	63.7	0.871
	79.8	0.882
14.9	95.0	0.921
	29.1	0.828
	39.8	0.810
	54.8	0.810
	66.6	0.819
23.5	97.0	0.868
	26.0	0.720
	38.9	0.653
	54.9	0.701
	67.7	0.724
42.5	83.6	0.686
	97.1	0.752
	40.0	0.554
	52.7	0.558
	71.8	0.563
63.1	86.7	0.566
	105.8	0.584
	39.0	0.367
	53.2	0.366
	79.8	0.373
66.2	97.5	0.384
	110.4	0.410
	51.7	0.332
	66.0	0.334
	81.9	0.337
	95.3	0.340
	113.5	0.357
	130.2	0.361

즉, <물-LiBr> 흡수식 사이클의 냉매로 사용되고 있는 물의 증발 잠열은 크고, LiBr 수용액의 비열은 작으므로 높은 열효율을 얻을 수 있다.

3-4. 수증기 분압

LiBr 수용액이 흡수제로 사용되고 있는 큰 이유중 하나는 수용액이 나타내는 수증기 분압이

작다는 데 있다. 즉, 흡수성이 굉장히 크다는 것이다. LiBr 수용액의 수증기 분압은 그림 3 듀링 선도를 통하여 알 수 있다.

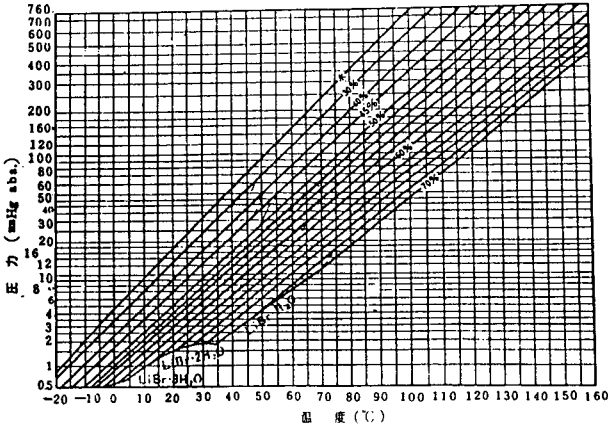


그림 3. 듀링 선도(Dühring Diagram)

3-5. 엔탈피

LiBr 수용액의 엔탈피-농도의 관계를, 실제로 많이 사용되는 농도 범위에 대하여 표시하면 그림 4 (a), (b)와 같다.

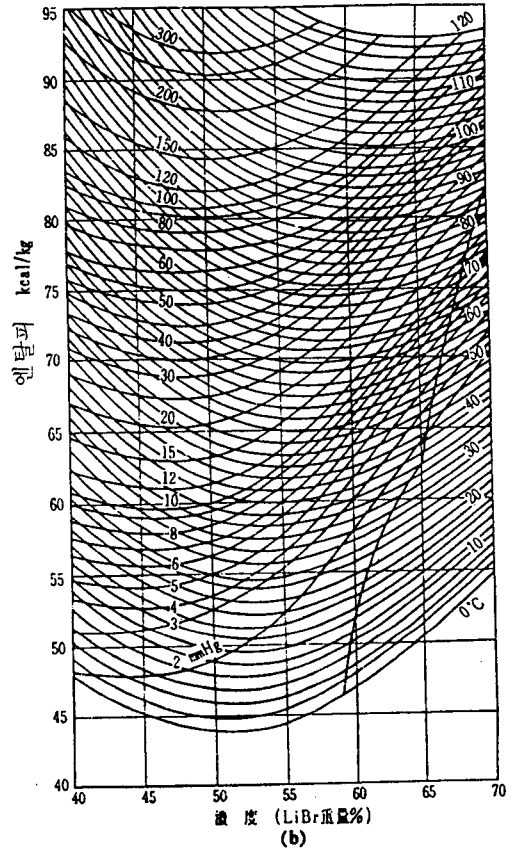
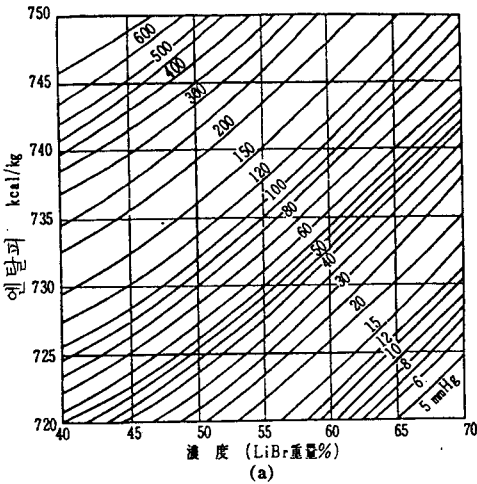


그림 4. LiBr 엔탈피-농도 선도



(a)

3-6. pH

순수한 LiBr 수용액은 화학적으로 거의 중성이다. 그러나 실제로는 다른 염류와 마찬가지로 농도에 따라 변화한다. 시판되고 있는 용액은 금속 재료에 대한 부식성을 고려하여 알칼리성으로 조정되어 있다 (알칼리도 0.02 N으로 조정되어 있다) LiBr 수용액의 농도에 따른 pH 값의 변화를 일례로 나타내면 그림 5와 같다.

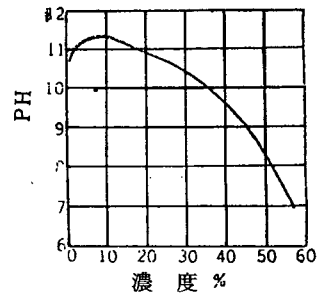


그림 5. LiBr 수용액의 pH

3-7. 부식성

LiBr 수용액의 금속에 대한 부식성은 식염수, 염화칼슘 수용액(브라인) 보다는 작지만, 흡수식 사이클의 설계상 그 부식성은 중요한 문제점이 된다. 시판되는 LiBr 수용액은 전항에서 설명한 것과 같이 알칼리성으로 조정되어 있는 외에  $LiNO_3$ ,  $Na_2CrO_4$  등의 부식억제제(inhibitor)가 첨가되어 있다. 이러한 부식억제제는 소모성이 있으므로 일정한 농도로 항상 유지시킬 필요가 있다. 즉, 기계의 사용 상태에 따라 정기적으로 용액을 분석하여 부식억제제의 소모 주기를 파악, 정기적으로 소요 용량만큼 충전시켜야 한다. 이것은 흡수식 사이클 내부의 부식을 억제시키기 위하여 충분히 유의하지 않으면 안된다. 참고로 시판되는 LiBr 수용액의 일례를 표시하면 표 5와 같으며, 60% 농도에 있어서 강 및 동에 대한 부식 시험 결과의 예를 그림 6 및 그림 7에 나타낸다.

표 5. 시판 LiBr 수용액의 예

		"A"	"B"
LiBr	중량%	$53^{+1.0}_{-0}$	$55^{+1.0}_{-0}$
부식억제제	중량%	0.25~0.29	$0.16 \pm 0.02$
알카리도	N	0.003~0.007	$0.02 \pm 0.004$

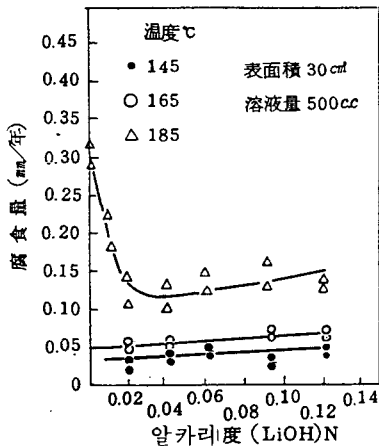


그림 6. LiBr 수용액 중의 강제 부식량과 용액의 알카리도

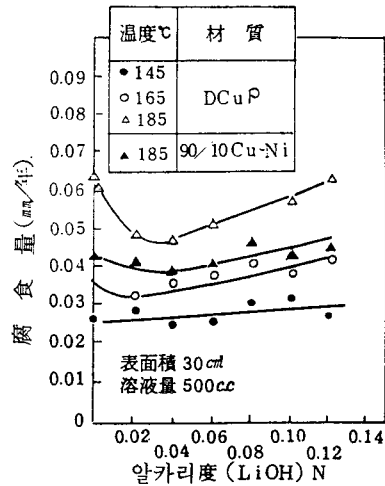


그림 7. LiBr 수용액 중의 동 및 90/10 큐프로 니켈(90-10 cupro-Nickel)의 부식량과 용액의 알카리도

3-8. 독성

LiBr 자체는 의약품으로도 사용될 만큼 독성이 전혀 없다. 물론, 대량으로 장기간 복용시에는 장애가 있지만, 흡수식 냉동기 취급상 발생되는 문제는 없다. 또한 수용액도 피부에 자극을 주지 않으므로 취급상 위험은 전혀 없다. 그러나, 시판되는 용액에는 미량이지만 부식억제제가 첨가되어 있으며, 그 종류에 따라서는 인체에 해를 끼치는 것도 있으므로, 부식억제제의 성질을 충분히 파악하고 메이커의 지시에 따라 취급할 필요가 있다.

지금까지 요약한 LiBr 수용액의 성질은 흡수식 사이클의 설계, 취급, 관리에 중요한 요소가 되므로 충분히 이해하여 흡수식 냉동기의 설계 및 관리에 도움이 되기를 바란다.

4. 1중효용 흡수 사이클의 원리

4-1. 증발 작용

대기압하에서 물(냉매)은 100°C에서 비등하

지만 대기압보다 압력이 낮은 고산 지방에서는 100°C 보다 낮은 온도에서 비등하게 된다. 이와 같은 원리를 이용한 것이 흡수식 사이클의 증발 과정이다. 즉, 그림 8 과 같이 냉매를 넣은 용기 내부를 6.1 mmHg · abs 정도의 고진공 상태로 유지하고 전열관 내부에 냉수를 흐르게 하면 냉매는 냉수로 부터 증발잠열을 빼앗아 4°C 정도에서 증발하게 되고 냉수는 냉각되어 공조용으로 사용된다. 이러한 증발작용을 효과적으로 행하기 위하여 증발기 내부에 산포(spray) 기구를 설치, 냉매를 전열관 상부에 산포(spray) 한다.

4-2. 흡수 작용

증발기 내부의 냉매가 증발함에 따라 수증기 분압은 점점 높아지고, 그 분압에 상당하는 만큼 증발온도도 상승하여 실제로 요구하는 냉수의 온도를 얻을 수 없게된다. 즉, 일정한 냉수 온도를 얻기 위해서는 증발기 내부의 압력을 그 온도에 상당하는 포화압력 이하로 유지시켜야 한다. 증발기 내부의 수증기(냉매 증기) 분압을 일정하게 유지시키기 위하여 그림 8과같이 LiBr 수용액을 넣은 용기(흡수기)를 증발기와 연결한다. 증발기에서 증발된 냉매는 흡수기의 LiBr 수용액에 흡수되고, 증발기는 LiBr 수용액의 농도에 상당하는 분압으로 유지되며, 그 분압에 상당하는 온도에서 증발작용을 계속 할 수 있다. 흡수기의 흡수작용을 효과적으로 행하기 위하여 증발기와 같이 내부에 산포(spray) 기구를 설치, LiBr 수용액을 산포(spray)시킨다. 한편, LiBr 수용액이 냉매 증기를 흡수할 때 발생하는 흡수열은 흡수기 내부의 온도를 상승시켜 LiBr 수용액의 흡수 능력을 저하시킨다. 즉, LiBr 수용액은 농도가 낮으면 낮을수록, 온도가 높으면 높을수록 흡수능력은 떨어진다. 흡수기 내부의 LiBr 수용액의 흡수능력을 일정히 유지시키기 위하여 흡수기 내부의 온도를 일정히 유지시킬 필요가 있다. 이러한 흡수열을 냉각수로서 냉각시키기 위하여 흡수기 내부에 전열관을 설치, 냉

각수를 흐르게 한다. 이렇게 하여 LiBr 수용액은 약 40°C 전후로 유지되고 흡수 작용을 계속 할 수 있다.

표 6. 물의 압력과 포화(증발) 온도와의 관계

	게이지 압력 kg/cm <sup>2</sup> G	절대 압력 kg/cm <sup>2</sup> abs	온도 °C	
증기압이 상 ↑ 대기압	22	23	218.5	이중효용 가열 증기압력
	16	17	203.4	
	10	11	183.2	
	9	10	179.0	
	8	9	174.5	
	7	8	169.6	
	6	7	164.2	
	5	6	158.1	
	4	5	151.1	
	3	4	142.9	
↓ 진공	2	3	132.8	1중효용 가열 증기압력
	1	2	119.6	
	0.5	1.5	110.8	
		760mmHg	100	
		650	95.5	고온재생기압력
		525.9	90	
		355.3	80	
		233.8	70	
		149.4	60	응축기(저온재생기) 압력
		92.5	50	
		61.0	41.5	
		55.3	40	
		31.8	30	
		17.5	20	증발기압력
		9.2	10	
		7.51	7	
		7.01	6	
		6.54	5	
		6.10	4	
		5.68	3	

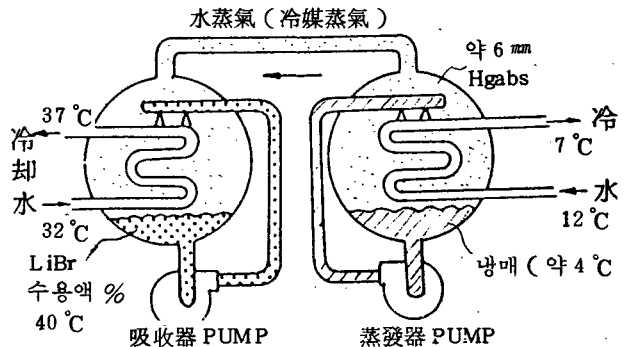


그림 8. 증발 및 흡수 작용





4-5. 1중 효용식의 듀링 선도(Dühring Diagram)

지금까지 설명한 각 과정을 듀링 선도상에 표시하면 그림 12와 같다.

(1) A→B : 흡수기에서 진한 용액(약 65%)이 냉매 증기를 흡수하여 그 농도가 약 60%로 묽어지며, 냉각수에 의해 약 43°C까지 냉각된다.

(2) B→C : 재생기에서 농축된 고온(약 120°C)의 진한 용액과 열교환하여 그 온도가 상승한다.

(3) C→D : 재생기 내에서 비등점(약 90°C)에 도달할 때 까지 가열된다.

(4) D→E : 비등점까지 가열된 묽은 용액(약 60%)이 냉매 증기를 발생하고 약 65%의 진한 용액으로 농축된다.

(5) E→F : 열교환기에서 묽은 용액과 열교환하여 그 온도가 저하된다.

(6) F→A : 흡수기에서 냉각수에 의해 약 48°C로 냉각된다. (계속)

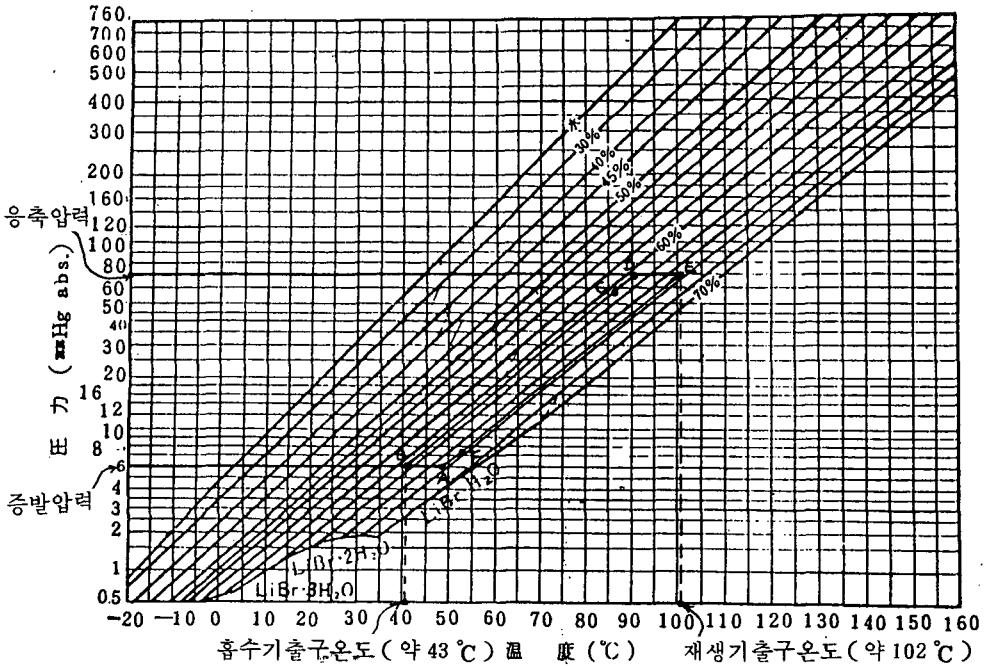


그림 12. 1중 효용식 흡수냉동기의 듀링 선도 (Dühring Diagram)