

최적성능을 위한 공기조화계의 균형에 대하여

How to Balance Automotive Air-conditioning Systems for Best Performance

Alwin B. Newton

(Ashrae Journal, Vol. 16, No. 1, 1974)

도

崔英悳譯

압축기(compressor) 구동을 위한 동력을 공급하기에 필요한 연료를 감축하고, 안락한 냉방을 최대로 하고 가격을 절감하는 몇가지 제안이 있다. 이 글은 공기조화요소성능을 위한 몇가지 변수를 제시하고 계의 성능의 비교에 대하여 논하였다.

공기조화계의 안전한 운전은 계의 요소들에 가해질 전 범위의 운전조건에 대한 각 요소 사이의 성능의 상호작용에 달려있다. 특히 이것을 해석하는데 다음의 사항이 필요하다.

- 압축기가 만날 전 범위의 흡입압력과 배출압력에 대하여 구동되는 모든 속도에 대한 압축기의 전 영역성능.
- 모든 예상되는 공기량과 온도, 냉매의 증발온도에 대한 증발기의 성능圖.
- 공급되는 공기의 전 범위에 대한 응축기(condenser)의 완전한 성능특성과, 압축기로부터 전 영역의 냉매의 유동과 그에 따른 냉매의 응축온도와 과냉도(degree of subcooling).

전술한 因子들은 모든 공기조화계의 이상적인 해석에 사용될 수 있고 그 과정은 아래에 논술될 것이다. 실제계(actual system)는 다음과 같은 점 때문에 이상적인 해석과 다를 것이다.

- 흡입관과 배출관의 압력강하.
- 증발기 내와 응축기 내에서의 압력강하.
- 증발기와 응축기에서 냉매공급의 不等性.
- 증발기와 응축기에서 공기의 불균일한 분포.
- 膨脹瓣(expansion valve)의 과열교축구역과 압축기의 oil pump level.

** 10ft³/min의 체적변위는 6in³ 용적압축기에 대해서는 2880rpm에 해당하고 10in³ 용적압축기에 대해서는 1728rpm에 해당한다.

대표적인 요소들

압축기의 성능

평균적인 R-12형 개방식 압축기들 사이의 일반화한 관계는 10 ft³/min의 체적변위(displacement)*에 대하여 표준화된 것이 그림1에 제시되어 있다. 이 일반도는 증발기온도, 응축온도와 용량, 압축기 구동하기 위한 制動馬力(brake horsepower) 사이의 관계를 보여준다. 그림에 나타나 있는 주목할만한 관계는 다음과 같다.

- 일정한 증발기 온도에서 응축온도의 증가는 항상 마력의 증가와 용량의 감소를 초래한다.
- 매우 낮은 응축온도일 때를 제외하면 증발온도의 강하는 응축온도가 일정할 때 마력의 감축을 초래한다.
- 매우 낮은 온도에서는 용량과 마력이 응축온도에 무관하게 감소한다.
- 증발기 온도의 증가에 따라서 톤당마력(hp/ton)은 항상 감소한다.

압축기의 일반화한 성능도는 자동압축기편람(Automotive Compressor Manual)의 응용부분에 주어진 것과 완전히 같은 단일점(single point)의 성능인자를 제공하지 않을 것이다. 왜냐하면 이 일반도는 여러 R-12 압축기를 평균한 것이기 때문이다.

대표적 6in³ 압축기—일반화한 성능 —특별한 그래프 용지를 사용하는 도면작성 방법이 계의 해석을 위해서 발전되었다. 수직눈금이 비선형이어서 이 방법에 의하여

- 고정된 흡입과열(suction superheat)과 응축온도에 대한 왕복압축기의 나타내는 선들이 거의 직선에 가깝다.
- 흐르는 공기를 공기를 냉각시키고 동시에 그것으로부터 습분을 응축하는 증발기의 용량선들이 거의 직선에 가깝다.
- 모든 재래의 왕복압축기에 대한 용량선들이 무용량인 상대적으로 고정된 기준점으로부터 시작될 것이다.

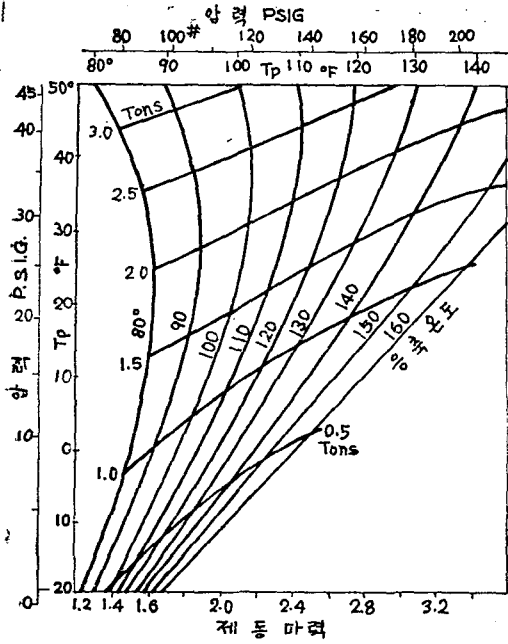


그림 1. 10cu. ft./min 의 대표적인 R-12형 압축기의 일반성능

따라서 각 압축기와 응축기의 조건에 대한 한 점의 성능을 알면 일반적용량선을 작성할 수 있다. 一群의 그와같은 선들로써 이상화한 공기조화계의 완전한 해석을 할 수 있다.

6in³ 압축기의 성능이 대표적 운전범위에 대하여 그림 2에 나와있다. 각 속력에 해당하는 선들은 그 특정한

선들에 해당하는 각속도의 1000rpm의 수를 나타내는 수로써 나타내진다. 각각의 속력에 대하여 용량선은 다음과 같은 3 가지의 배출압력에 대하여 제시되 있다.

150psig 배출압력은 실선으로 표시되었고, 180psig 배출압력은 쇄선으로 표시되었고, 240psig 배출압력은 점선으로 표시되었다. 보간법에 의하여 다른 중간의 속도와 배출압력에 대해서도 압축기의 성능을 측정할 수 있다.

대표적 10in³ 압축기

10in³ 압축기의 용량을 나타내는 그림은 그림 3에 제시되었다. 그것에 대한 세목은 6in³ 압축기의 모형에서 논술했것과 같다.

대표적 증발기의 성능

증발기 성능의 결정은 특수한 그래프용지를 사용하여 그림4에 표시되었다. 정상운전조건 하에서 증발기 온도가 충분히 낮아서 전 표면에서 감습된다고 가정한다. 그러할 경우 그 용량을 표시하기 위해서는 증발기에 들어가는 습구온도 만을 알면 족하다. 그림4에서 들어가는 공기의 습구온도가 67°F 라고 가정한다. 그러면 정상공기유동이 약 300cfm 인 정상크기의 증발기는 30°F 냉매온도에서 12000 Btuh 용량을 가졌다. 이것은 보여진바와 같은 증발기 용량선을 형성한다.

증발기 용량이 정상운전의 75%로 되거나 공기유동이 정상의 70%로 감소되면 증발기는 약간 구배가 큰 용량선으로 표시되는 용량을 갖는다.

반면에 증발기 용량이 정상의 125%로 증가하거나 공기유동이 정상의 130%로 증가하면 정상운전의 오른편

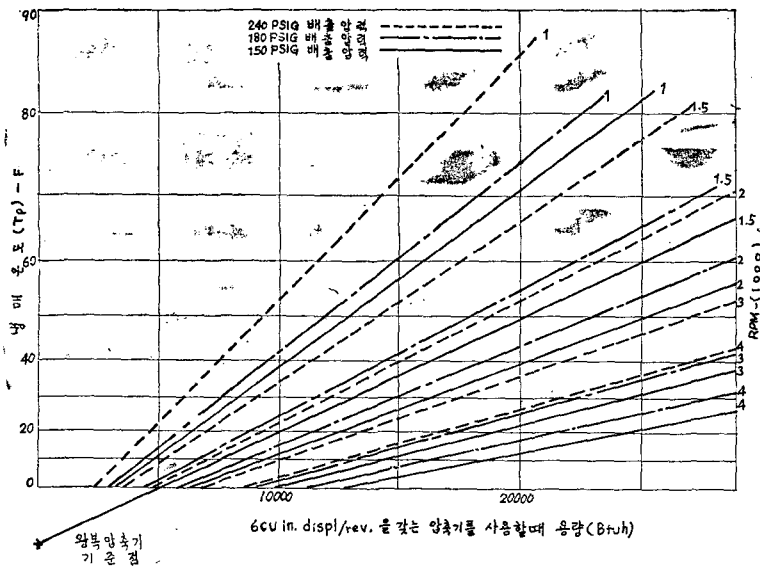


그림 2. 6cu in. displ./rev. 을 갖는 대표적 R-12형 압축기의 성능특성

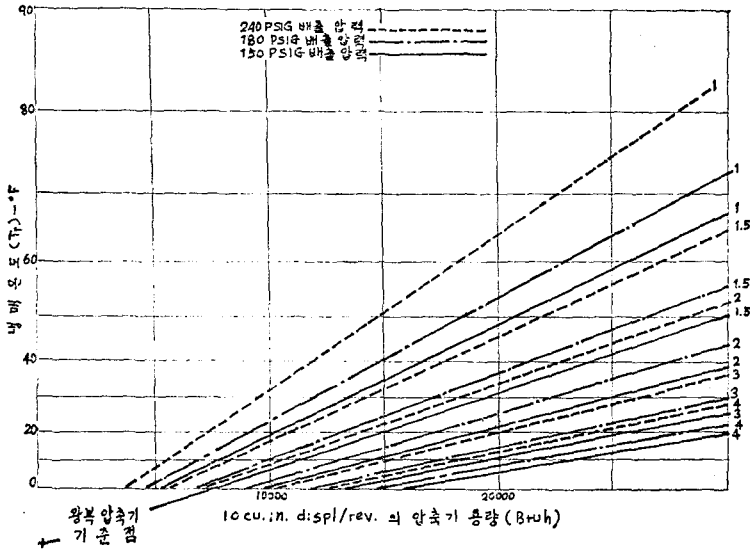


그림 3. 10w. in. displ./rev.의 압축기의 성능

첫째선으로 표시된다. 증발기의 크기를 정상의 158%로 증가시키거나 공기유동을 정상의 165%로 하면 최저구배를 갖는 선에 따른 용량을 갖게된다. 이 모든 선들은 67°F 습구온도에서 시작되었고 흡입구온도의 변화가 없이 증발기 용량을 변화시킨 것을 나타낸다는 것을 주의해야한다. 정상유동의 정상증발기를 가정하고 흡입습구온도가 90°F 되게 시작하는 빠른온도강하조건(pull down condition)을 조사할 수 있다. 이 용량선은 그림 4에서 최상선이고 높은 습구온도에 의해서 증발기 용량이 크게 증가한다는 것을 보여준다.

그림 4의 90°F의 습구온도는 더운 여름날 해별이 내려비치는 주차장에서 여러시간 동안 머무른 후의 밀폐된 차의 여객실 조건의 대표적인 경우이다. 그와같은 조건에서는 빠른온도강하(pull down)를 위해서 많은 공정의 공기조화된 차량들에서 하는 완전한 재순환 "Max Ac" 단추를 사용하지 말고 분명히 80°F 이하의 더 낮은 습구온도를 갖을 정상 혹은 완전의기를 사용하여야 한다.

그림 4의 다른 또 하나의 눈금이 중요하다. 즉 가장 위의 눈금은 대표적 증발기에 있는 판(tube)에서 냉매 온도 이상으로 fin 온도의 상승을 보여준다. 상승은 증발기의 하중에 거의 비례하고 그것을 알면 감습에 대해서 상대적인 온도강하를 수반하는 냉동의 관점에서 계의 성능을 평가하는데 유용하다. 예를들면 12000Btu/h의 용량과 30°F의 증발기 온도의 정상크기의 증발기에서 fin 온도 상승은 거의 6.7°F이다.

끝으로 그림 4에 관하여, 30°F선이 강조되었고 그림의 오른쪽에 표시되어서 이 선의 아래는 냉결을 초래하

고 이 선의 위에서는 냉결하지 않는다. 다시 말해서 냉매온도가 30°F 이하로 될때 냉결이 증발기의 몇몇 부분에 쌓이고 냉매온도가 30°F 이상일 때는 그렇지 않다.

계의 성능 비교

6in³ 압축기를 사용한 계

완전한 계의 성능은 그림 5에서 보여지는 바와같이 전술한 내용의 자료 들을 결합하므로써 거의 근사하게 구할 수 있다. 그림 2에 있는 6in³ 압축기의 성능은 그림의 대표적 증발기 성능과 결합된다.

하나의 계가 안전하게 운전되기 위해서는 증발기의 용량과 냉매온도가 증발기의 압력에 해당하는 압축기 용량과 온도와 같아야 한다. 따라서 증발기의 성능선과 압축기의 용량선의 교차점이 계의 운전점을 나타낸다.

예를들면 그림 5에서 점 1은 압축기가 배출압력 180 psig에서 1000rpm으로 운전될때 정상증발기 성능선과 압축기 용량선과의 교점이다. 이에 따른 용량은 증발기 온도 40°F에서 9650Btu/h이다.

만약 응축온도를 변화시키지 않은채 압축기속도를 1500rpm으로 증가시키면 균형점은 점 2가 될 것이다. 그러면 계의 용량은 증발기 온도 31°F에서 11,800Btu/h이다.

배출압력을 180psig로 유지하고 압축기속력을 3000 rpm으로 증가시키면 균형점은 그림 5에서 점 3이 될 것이다. 시동기간 동안에는 계의 용량이 증발기 온도 15.5°F에서 15,150Btu/h가 될 것이다. 이것은 과용량 압축기 문제를 일으킨다. 균형점이 30°F 이하이고 얼음이 증발기표면에 얼어서 공기유동을 방해할 것이다. 2

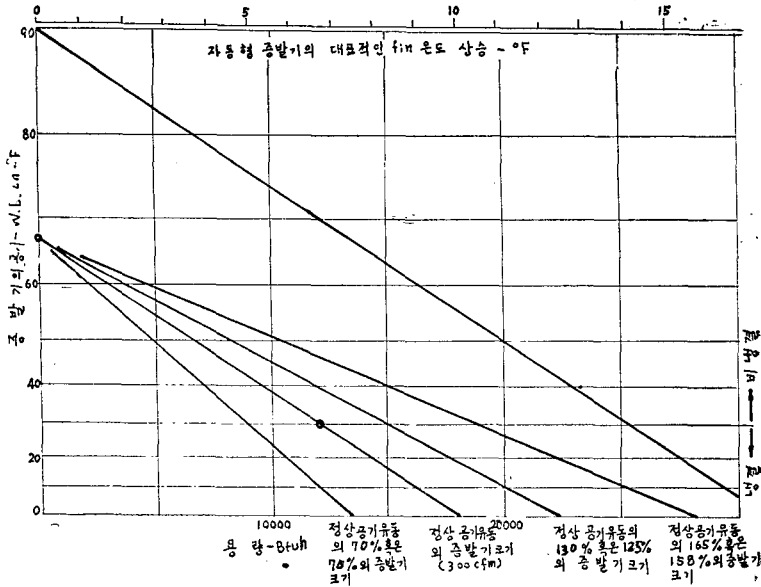


그림 4. 대표적인 자동증발기의 성능특성

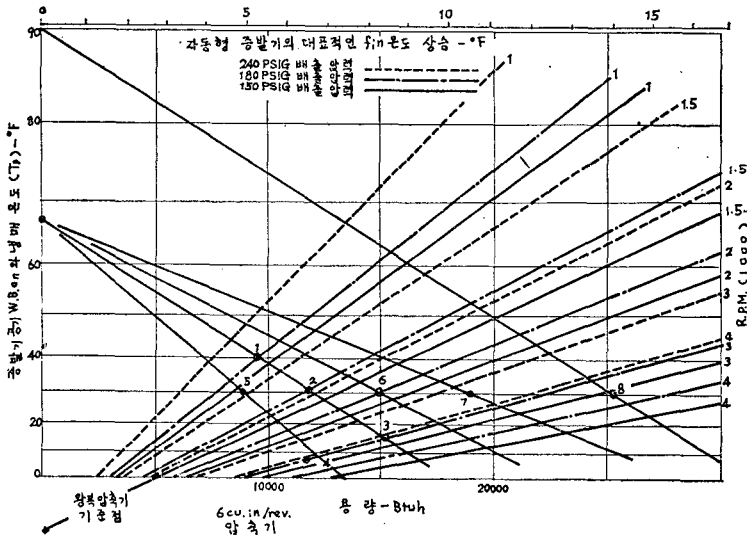


그림 5. 6cu. in/rev.의 압축기의 완전한 계의 성능

가지 보완법중의 하나가 적용되어야 한다.

1. 증발기가 주어진 입구의 습구온도에서 얼지않도록 압축기의 평균용량이 12000Btuh를 넘지 않도록 압축기를 구동하는 클러치를 주기적으로 작동시키기 위해 fin temperature sensor를 사용한다.
2. 혹은 압축기가 용량이 12000Btuh를 넘지 않도록 운전하기 위하여 증발기압력조절기가 설치될 것이다. 증발기의 압력강하는 점4에서 7.5°F에 해당하는 압력과 30°F의 증발기에 해당하는 출구비교축압력의 차

이 이다. 이 차이는

$$28.45 - 13.15 = 15.3 \text{ psi}$$

의 증발기에서의 압력강하이고, 그것은 톤당마력(hp/ton)을 50% 이상으로 증가시킨다.

더 안락한 결과는 균형점이 흡입관을 교축하거나 클러치를 주기적으로 작동시키지 않도록 충분히 높은 기간동안에 더 낮은 톤당마력(hp/ton)에서 얻어진다. 만약 증발기 크기가 변하면 다음과 같은 운전형식이 초래된다.

최적성능을 위한 공기조화계의 균형에 대하여

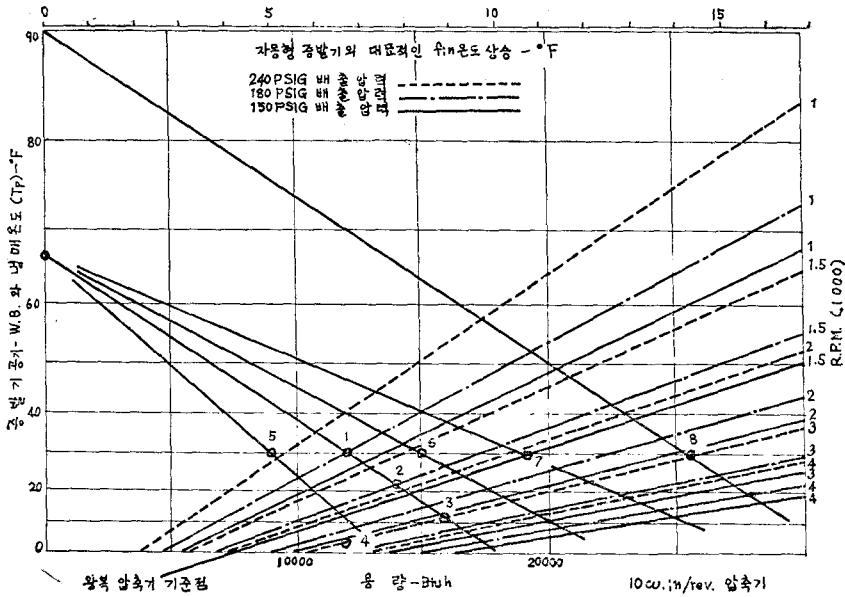


그림 6. 10cu.in/rev. 압축기의 완전한 계의 성능

- 정상용량의 75%의 증발기에 대해서는 압축기 용량선이 점5 이하로 내려가는 조건하에서의 계의 운전은 계의 톤당마력(hp/ton)의 증가를 일으키는 주기적 클러치의 작동이나 교축을 요한다. 그와같은 계는 용량이 9000Btuh 보다 크면 증발기 온도가 30°F 보다 아래로 내려가기 때문에 효율적이 되지 못한다.
- 정상용량의 125%의 증발기에 대해서는 하중이 16000Btuh 인 점을 넘거나 같으면 교축과 주기적 클러치 작동을 시켜야 한다. 따라서 이와같이 큰 증발기를 갖는 계는 상당히 적은 톤당마력(hp/ton)을 요한다.
- 정상용량의 158%되는 증발기를 갖는 계에 대하여는 계의 용량이 19000Btuh 인 점7 보다 클때까지 교축과 주기적 클러치의 작동은 요하지 않는다. 따라서 그와같은 계는 비교되는 다른것 중에서 가장 경제적이다.
- 빠른온도강하(pull down) 기간동안 90°F의 습기온도에서 시작된 증발기용량선이 고려되어야 하고 점8에 보여지는 바와같이 정상크기의 증발기에 3000~4000rpm 범위 속력에서 주기적으로 클러치를 작동시키지 않고 운전할 수 있다는 것이 주목된다.

10in³ 압축기를 사용한 계들

전술된바와 같은 증발기를 사용하는 공기조화계의 성능은 그림 6에서 10in³의 압축기에도 사용되도록 도시되었다. 뿐만아니라 2개의 압축기가 같은 속력으로 운전된다고 가정된다. 그림6의 성능도를 해석할 때 몇개의 차이점이 명백하다. 점1은 정상증발기 성능선과 30°F 이고 12000Btuh 용량의 압축기의 1000rpm 일 때 180

psig의 배출압력선과의 교점이다. 그러면 압축기용적은 67% 증가하고 성능은 24% 증가한 것이된다. 그러나 1000rpm 이 정상증발기의 습기온도의 순환공기에 대하여 주기적 클러치 작동없이 작동되거나 증발기가 어는 것을 막기위해 EPR 밸브를 사용하지 않고 압축기를 운전할 수 있는 최대속도라는 것이 주목된다.

압축기의 속력이 같은 응축온도에서 1500rpm으로 증가했을때 균형점은 그림6의 점 2이다. 그러므로 6in³의 압축기가 연속적으로 운전되는 속도에서 10in³의 압축기는 주기적으로 운전해야 한다.

압축기 속력이 3000rpm으로 증가하면 균형점은 증발기온도 12°F 용량 15900Btuh 인 점3이된다. 다시 냉결을 방지하기 위하여 흡입관의 교축과 클러치의 주기적 작동이 요구된다. 교축밸브에 의해서 주어지는 압력 차이는

$$28.45 - 9.93 = 18.52 \text{ psi}$$

가 될 것이다.

교축은 10in³의 압축기에서 6in³의 압축기와 같은 조건하에서 3.2psi 크고 톤당마력(hp/ton)은 흡입온도 30°F의 완전히 균형된 운전보다 67% 증가한다.

계의 균형이 흡입기의 교축과 클러치의 주기적 작동을 최소로 하도록 되면 더 안락한 결과가 얻어진다는 것을 주목해야 한다. 만약 증발기의 크기가 변하면 다음과 같은 운전형식을 갖게된다.

- 정상증발기용량의 75%의 증발기에 대하여 압축기 용량선이 점5 아래로 내려오는 모든 조건 아래서의 계

의 운전은 톤당마력을 증가시키고 교축과 주기적운전을 요한다. 10in³의 압축기를 사용하는 그와같은 계는 이 감축된 증발기에 대해서 증발기온도가 항상 점 5 이하로 내려가기 때문에 비효율적이다.

○ 정상용량의 125%의 증발기를 갖는 계에 대해서는 교축과 주기적운전은 하중이 15000Btuh를 넘을때 시작된다. 10in³의 압축기에서 교축과 주기적운전은 낮은 배출압력에서는 압축기속력 1000rpm 보다 약간 클때 사용되고 높은 수두 압력에서는 1500rpm 보다 약간 적은압력에서 사용된다.

○ 정상용량의 158%의 증발기를 갖는 계에 대해서는 주기적운전이 낮은 응축온도에서는 1500rpm에서 시작되고 높은 압축온도에서는 2000rpm에서 시작된다.

○ 빠른온도강하(pull down)기간 동안에는 10in³의 압축기는 주기적운전이 낮은 응축온도에서는 속력이 2000rpm 보다 약간 클때 요구되고 높은 응축온도에서는 3000rpm에서 요구된다.

따라서 압축기의 크기를 증가시키면 정상운전용량을 증가시키고 이 증가는 증가된 톤당마력을 희생하여 얻어진다. 그러나 빠른온도강하(pull down)기간에는 증발기에 들어가는 공기의 습구온도가 높은 온도를 유지하는한 큰 압축기가 더 유용하다. 그러나 습구온도가 감소되면 큰 압축기를 사용하므로써 더 많은 주기적 운전을 해야된다는 것이 명백하다.

정상운전시 감열비의 측정

온도를 감소시키기 위해서 제거되어야 하는 감열과 습도를 감소시키기 위해서 제거되어야하는 잠열의 상대적 비는 모든 안락공기조화 계에 관련된다. 이것은 덩고 습한 지방과 증간의 기후조건에서 특히 중요하다. 감열의 전 열량에 대한 비는 그림5와 6을 사용하여 평형점이 발견된 후 연속적으로 운전되는 계에 대해서 결정될 수 있다. 그것의 결정은 다음과 같다.

○ 증발기에 들어가는 공기의 조건은 건구온도 77°F 이고 습구온도 67°F 라고 하자. psychrometric chart 그림 7에서 이 점은 점 1로 표시된다.

○ 그림 5에서 평형점 2를 참고하면 증발기온도는 30.5°F 이고 용량은 11,800 Btuh 이다. 그림 5의 최상부 눈금에서 이 용량은 fin temperature 6.6°F 상승에 해당한다.

○ 30.5°F 증발기온도는 그림 8에서 점 2에 표시되었다. 증발기와 fin의 평균온도가

$$30.5 + 5.6 = 36.1^{\circ}\text{F}$$

가 될 것이다. 이 밸브는 그림7의 포화선위의 점 3으로 표시된다.

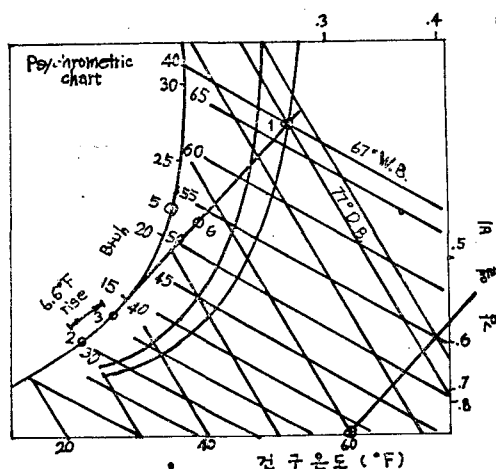


그림 7. 감열비의 해석

○ 점3과 점1 사이의 직선은 거의 감열비를 결정하는 구배를 결정한다. 감열비를 결정하기 위해서 습구온도 60°F의 하부의 기준점으로부터 선 1-3과 같은 기울기의 직선이 그려진다. 이 선은 그림7의 도표 외부의 눈금까지 연장되어 1.245라고 읽혀진다. 이것은 제거된 감열과 잠열의 비이다.

○ 최근의 표준은 감열과 잠열비 대신에 감열과 제거된 전열량의 비를 사용한다. 변환시키기 위해 다음과 같은 식을 사용한다.

$$\frac{S}{T} = \frac{1.245}{1 + 1.245} = 0.55$$

흡입교축밸브가 사용되더라도 감열과 잠열 제거에 대한 해석은 어떤 연속적으로 운전되는 조건 아래서도 해결될 수 있다. 그러나 주기적 클러치를 사용하는 것에는 상당한 양의 습분이 압축기의 off-cycle 기간 동안 기류로 재증발되고 감열비는 연속운전제보다 크다. 보통 그 차이는 해석적으로 보다 실제적 실험으로 결정되야 한다.

미래의 개발 가능한 것들

전술한 해석은 속력과 응축압력을 변화시킴으로 야기되는 광범위한 압축기 용량이 빠른온도강하(pull down) 시간과 저속구동시 좋은 용량을내고 차가 길 위를 운전하는동안 코일이 어는것을 방지하기 위하여 약간의 조절수단을 요구한다. 상당한 노력이 자동적으로 조절되는 용량을 갖는 압축기를 설계하는데 들여졌다. 이 새로운 압축기가 유용되려면 몇년이 걸릴 것이고 우리는 그림 8에서 기대되는 성능을 표시했다. 이 그림에서 대표적 빠른 온도강하(pull down) 조건은 점선으로 표시되었다. 선1은 어떤 주어진 속도와 수두하에서 대표적 압

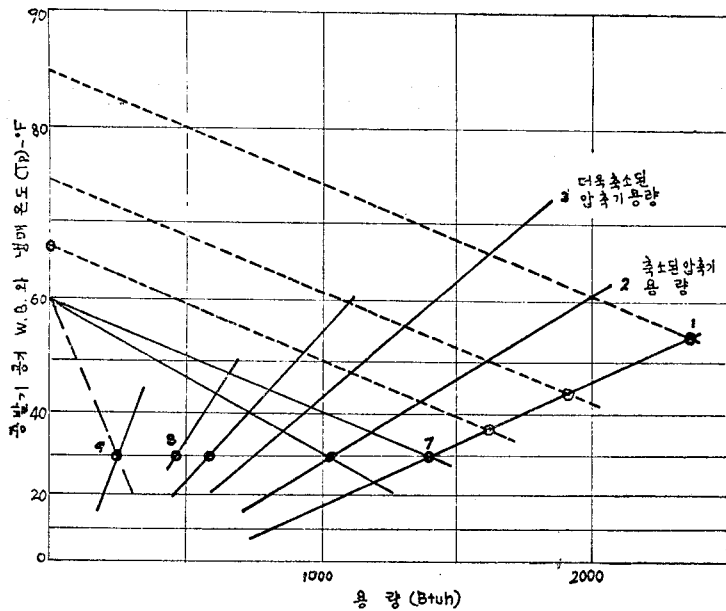


그림 8. 용량 조절하는 압축기를 사용할 때의 계의성능

축기의 용량을 표시한다. 압축기는 이 조건하에서 작동 되고 습구온도 85°F, 75°F, 67°F, 60°F인 여러 증발기 용량선들과 일연의 균형점을 이룬다. 차가 습구온도 60°F로 된후에는 약간의 냉각이 필요하나 증발기 온도가 30°F로 내려가서는 않된다. 이 조건이 되었을 때 변하는 용량의 압축기가 어떤 증발기 용량을 감소시키는 계의 변화에도 채택되어 점 4, 5-9로써 표시되는 균형점들을 이룰 수 있다. 이때 증발기는 30°F를 유지한다. 동시에 압축기를 구동하는 압력은 대단히 감소한다.

증발기 용량은 증발기를 둘러싸는 약간의 fan air 를 by pass 시켜서 차에서의 전 공기유동을 상대적으로 일정한 값으로 유지하고 증발기 자체를 통과하는 양을 감소시키므로 가장 쉽게 조절된다. 의심할 여지없이 이 개량된 압축기와 공기조화 계들은 다음 10년 내에 혹은 그이상 진지한 연구를 요한다. 그것들은 더 안락한 결과를 제공하고 압축기를 구동하는 동력을 제공하는데 필요한 연료를 감소시킬 것이다.