목재공학 21(3) : 94~98(資料)
Mokchae Konghak. 21(3) : 94~98. 1993

地球環境과 木材除濕乾燥의 문제점 및 그 展望 *1

李 南 浩 *2

The Global Environments and The Difficulties in Dehumidification Drying for Woods, and Its Prospects *1

Nam-Ho Lee *2

1. 緖 言

목재의 제습건조(Dehumidification Drying)는 1960년대 이전까지만 해도 실제 목재가공산업에 적용되지 못하였으나, 이제는 매우 普遍化된 목재 건조기술이 되었다.

초창기 제습건조실은 관행적인 형태의 건조실에 오로지 표준적인 제습유니트만을 설비한 극히 단순한 형태에 불과하였다. 그래서 건조실내 공기의 온·습도 제어가 부정확하거나 심지어는 온·습도 제어라는 개념이 아예 존재하지 않았다. 히트펌프(Heat Pump)에서 R 22(HCFC 22)를 냉매로 사용할 경우 건조실내를 40~45℃ 이상의 온도로 유지하는 것이 불가능하였고, 제습용량과 공기순환도 미비하여 건조시간이 장기간 소요되거나 건조재가 변색되는 등의 문제점이 야기되었다.

제습건조의 가장 큰 잇점은 에너지를 回收하여 再使用하기 때문에 에너지를 절감할 수 있다는 점이다. 그러나 이러한 잇점은 목재를 생재에서 부터 함수율 약 17%까지의 건조단계에는 적용될 수 있으나, 고온이 요구되는 함수율 18~20% 이하의 저함수율 구간에서는 제습건조에 의해서 오히려 比에너지가 매우 급격하게 증가하기 때문에(Fig.2), 에너지 절감이라는 제습건조의 잇점이 목가구 공장 등에서 거론되는 것은 곤란하다. 그래서 초창기에는 목재의 제습건조에 대한 視覺이 상당히 비관적이었으며, 그 장·단점에 관해서도 논쟁이 끊이지 않았다.

그러나 그 이후 오늘까지 제습건조는 構造나 容量, 制御面에서 지속적인 발전을 해왔고, 냉매를 R 12(CFC 12)로 대체하므로써 건조실내의 온도를 70℃까지 상승시킬 수 있게 되었다. 또 보조 가열장치를 사용한다든가, 공기순환이나 제어장치를 개선하므로써 제습건조는 에너지 절감은 물론이고, 용량이나 건조결함 예방의 측면에서도 熱氣乾燥와 비교될 수 있는 수준에 이르렀다. 그래서 중소규모의 목재가공 공장에서는 제습건조에 의한

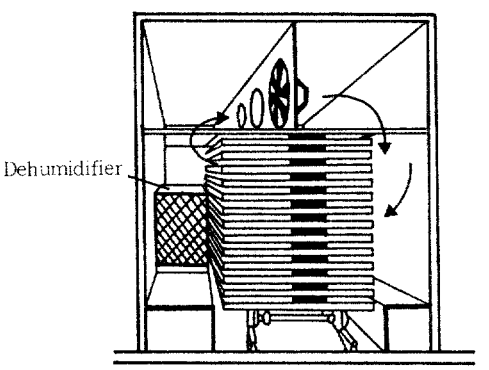


Fig 1. Use of standard dehumidification aggregate in a dry kiln (1)

*1 接受 1993年 7月 30日 Received July 30, 1993
*2 裡里農工專門大學 Iri Nat'l Coll. of Agri. & Tech., Iri 570-110, Korea

목재건조 방식이 경제성이 있는 것으로 평가되고 있다.

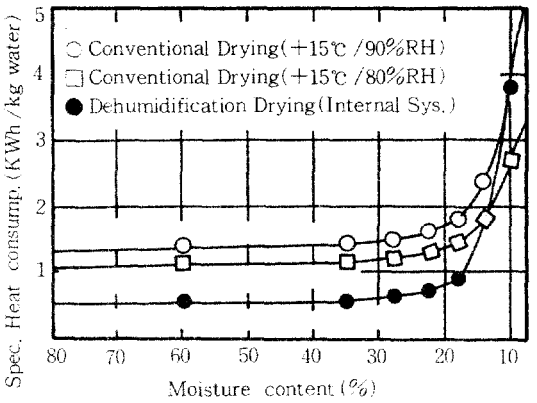


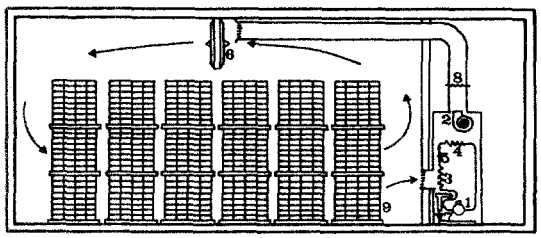
Fig 2. Specific energy consumption compared to conventional kiln drying (2)

2. 제습건조와 지구환경의 파괴

1980년대에 과학자들은 성층권내의 오존층 파괴에 대하여 경고한 바 있는데, 제습건조 장치에서 냉매로 주로 사용되는 CFC's(Chlorofluorocarbons)가 오존층 파괴의 주범이며, 게다가 CFC's는 대기의 온실효과를 촉발시키는 가스의 일종으로서 地球溫暖化 현상을 유발시키는 원인제공자임을 우리는 깊이 인식해야만 한다.

제습건조는 오로지 전기에너지만을 사용할 뿐아니라, 대기중으로의 가스 방출량도 무시할 정도인 무공해 공정으로 인식되어져 왔으나, 최근 이 공정은 매우 심각한 환경문제를 야기시키는 것으로 확인되고 있다.

오존층 파괴와 지구온난화 현상을 억제키 위한 여러가지 다각적인 노력이 이루어지고 있으며, 1991년에 개최된 UNEP(The United Nations Environment Program)는 매우 활발한 움직임을 보이고 있다. 1991년에 개최된 UNEP의 몬트리올 회담에서는 소위 "몬트리올 의정서"가 채택되기도 하였다. 이 의정서에서는 CFC's의 사용을 엄격히 규제할 것을 주장하고 있다. 최근의 정보에 의할 것 같으면, 전 세계의 CFC's 생산량은 1991년 한 해 동안 25만톤을 上廻하는 것으로 나타났고, 급기야 1992년 UNEP의 코펜하겐 회담에서는 1995년 말 까지는 CFC's의 생산금지를 결의하기에 이르렀다. 그리고 대부분의 전 세계 선진공업국가들은 이러한 UNEP의 결의에 따를 것으로 예상되며, 벌써부터 몇몇 국가들은 새로히 설립되는 공장에서는 CFC's의 사용을 금지시키고 있다.



1-Compressor 4-Condenser 7-Water drain
2-Blower 5-Control valve 8-Auxlliary heater
3-Evaporator 6-Main fan 9-Wood stack

Fig 3. Typical design of today's dehumidification kiln (3)

그러나 이러한 단계적 조치에도 불구하고, 약 2000년 까지는 오존층을 파괴하는 성층권내의 염소(chlorine)량이 계속 증가할 것으로 예상되며, 최소한 2030년~2050년에 이르러서야 겨우 1980년의 수준으로 되돌아 올 것으로 전문가들은 예측하고 있다.

냉매 HCFC 22도 역시 오존층을 파괴하고, 지구온난화를 야기시키지만 그 영향력은 CFC 12의 1/10배보다 작다. "몬트리올 의정서"에서는 HCFC 22를 "과도기적인 냉매(Transitionalrefrigerant)"로 정의하였고[4], 이 냉매의 사용 금지 시한을 좀 늦추었다. 그 정확한 금지 시한은 아직 결정되지 않았으나, 2005년~2010년 사이가 될 것 같다. 물론 CFC 12와 HCFC 22의 혼합 냉매 역시 동일한 규제를 받게 될 것이다.

제습건조 설비를 생산하는 업체나 또는 이러한 냉매들이 이용되는 여타의 제품 생산업체들은 심각한 고민에 빠져 있다. 우리는 과연 지금 무엇을 해야 하는 것인가?

그리고 목재가공업체들 역시 제습건조 설비에 대한 시설투자를 지금해도 괜찮은 것인가? 아니면 무공해 냉매에 의해서 가동되는 새로운 제습건조기가 개발될 때까지 목재제습건조기에 대한 설비투자를 구입을 보류해야 할 것인가? 또 CFC's나 HCFC's를 사용하는 제습건조 설비를 이미 갖추었을 경우 이것을 어떻게 개조하여 활용할 것인가? 등에 대한 깊이 있는 고민이 요구된다.

3. 새로운 冷媒

냉매 생산업체들(Du Pont, ICI 등)은 CFC's나 HCFC's의 대체 냉매를 개발하기 위해 이미 막대한 투자를 하고 있다.

현재까지는 목재의 제습건조설비용 대체 냉매로서 건조실내의 공기를 75~80℃로 유지할 수 있는 HFC 134A나 HFC 152A가 적극적으로 검토되고 있는 실정이다. 특히 HFC 134A가 더욱 적합한 냉매로 여겨지나, 아직 충분한 시험단계를 거치지 않았다. 콤프레셔의 윤활이 문제이고, 그래서 새로운 윤활유가 개발되어져야만 한다. HFC 134A 그 자체에 관해서나 새로운 윤활유의 개발 등에 관한 연구가 아직도 계속되고 있다.

그러나 HFC 134A 역시 長期的인 安定性이 불확실할 뿐만아니라, 지구를 온난화시킬 가능성(GWP : Global Warming Potential)이 남아 있기 때문에, 과연 이것이 최상의 냉매일 것이다고 하는 점에 대해서는 회의적이다. 아무튼 HFC 134A는 CFC's의 사용이 금지되는 시점(1995년 말)에 있어서는 당분간 냉매로서 매우 중요한 위치를 차지할 것이 분명하다. HFC 152A도 CFC's를 대체할 수 있는 냉매이다. 특히 열효율이나 윤활면에서는 오히려 134A를 능가한다. 물론 이 냉매는 가연성 물질이라는 문제점을 안고 있으나 적절한 안전 대책이 마련된다면 머지 않아 많이 사용되어지리라 믿어진다. 그러나 이것 역시 장기적인 안정성이 결여될 뿐 아니라, 지구 온난화에 영향을 미치는 문제점을 안고 있다. (Table 1)

Table 1. Ozon depletion potential (ODP) and global warming potential (GWP) of some actual refrigerants. (1)

Refrigerant	ODP	GWP
CFC 12	0.9	2.8-3.4
HCFC 22	0.04-0.06	0.32-0.37
HFC 134A	0	0.24-0.29
HFC 152A	0	0.026-0.033
NH_3	0	0

여러가지 냉매들을 혼합한 냉매의 개발에 관한 연구도 활발하게 진행되고 있으나, HCFC's가 혼합되어 있다면 이 혼합 냉매는 반드시 지구 환경문제를 야기시킨다는 점에 문제가 있다.

CFC's 냉매가 HFC's타입의 새로운 냉매로 대체되어 1995년경 부터는 HFC's의 수요가 급증할 것으로 전문가들은 예측하고 있다. 물론 아직 안정성에 대한 의문점이 있고, 가격이 비싸다는 점, 그리고 HFC's도 역시 지구온난화에 약간의 영향을 미친다는 점 등으로 미루어 볼 때 과연 오랜 기간 동안 최고의 냉매로 여겨질지는 의문이다.

4. 無公害 冷媒 NH_3

NH_3(암모니아)는 수년 동안 압축시스템과 흡수시스템의 냉매로 이용되어져 왔다. 이것은 자연의 화학반응에 의해서 매년 수 천톤이 생산되는 천연가스이면서, 오존층 파괴와 지구온난화에 전혀 영향을 미치지 않는 독특한 잇점을 지니고 있다.

몬트리올 의정서에서는 NH_3 냉매를 "가장 열역학적인 냉매, 가장 경제적인 냉매, 그리고 가장 무공해적인 냉매로서 CFC's를 대체할 최고의 냉매"로 규정하고 있다.(4) 그럼에도 불구하고 다음과 같은 이유들로 인하여 아직까지는 히트펌프에서 널리 사용되지 않고 있는 실정이다.

1. 앞서 언급했던 여러 냉매들이 지구환경에 악영향을 미치고 있다는 사실을 지금까지 파악하지 못하였기 때문이다.
2. NH_3는 2.5% 농도에서 독성을 갖는다. 그러나 암모니아의 독특한 냄새때문에, 그 농도가 2.5%에 도달하기 전에 사람은 먼 거리로 피신하게 될 것이다.
3. NH_3는 농도 18~25%에서 可燃性을 띠게 되고, 점화온도가 높다. 그러나 평상적인 주의만 기울인다면 실질적으로 암모니아는 전혀 위험한 냉매가 아니다.
4. 응축온도를 80℃까지 올리기 위해서는 高壓시스템이 요구되는데, 이러한 시스템을 구성하는 것이 상당히 어렵다.

무공해적이고, 열역학적인 NH_3의 잇점때문에, 이것을 냉매로 활용할 수 있도록 새로운 장치를 개발하기 위하여 많은 노력들이 이루어지고 있다. 이미 약 40기압(응축온도 78℃)을 허용할 수 있는 콤프레셔를 비롯한 시스템이 제조되어 2~3년 동안 가동되고 있는 중이다. 독성이나 가연성의 문제는 NH_3의 독특한 냄새를 이용한 早期警報 장치를 부착하므로써 해결 가능할 것이다.

몬트리올 의정서에 의할 것 같으면 NH_3 냉매의 사용량은 급속하게 증가될 것으로 기대되며, 2000년경에는 히트펌프에 사용될 총 냉매량의 약 20~25%를 점유할 것으로 예측된다.

5. NH_3 冷媒를 이용한 標準除濕乾燥室

NH_3를 냉매로 이용하여 건조실내의 온도를 65℃까지 상승시킬 수 있는 목재제습건조실이 노르웨이의 Hallingdalsbruket A/L회사에 최초로 설비되어 약 2년 동안 가동해 오고 있는 중이다. 이 장치는 Sabroe Refrigeration A/S의 자회사인 Sabroe Kulde A/S社가 제작한 것이다.

65℃ 이상의 건조실내 온도를 얻기 위해서 Sabroe社는 약 40기압을 허용할 수 있는 콤프레셔와 시스템을 새로 개발하였다. 이 제습건조실은 收容材積이 약 60m³인 3개의 건조실로 이루어져 있으나, 히트펌프는 Fig. 4에서 보는 바와 같이 건조로의 상부에 1개만을 부착하여 3건조실 모두를 커버하도록 하였다.

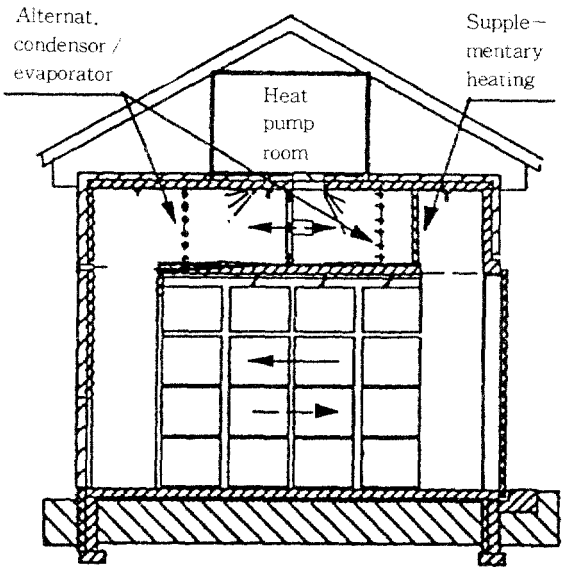


Fig 4. Principle design of the NH_3-based dehumidification kiln (2)

이 제습건조실은 사용된 냉매가 다르다는 점 외에도 다른 제습건조실들과 비교하여 몇 가지 특징을 지니고 있다.

1. 열교환기로 하여금 공기순환의 일부를 담당케하므로써 보다 정확한 온·습도 제어가 가능한 점
2. 건조재간의 함수율을 균일하게 하고자 송풍기를 적절한 시간 간격으로 역전시켰는데, 이를 위해서 열교환기 역시 동일한 시간간격으로 증발기와 응축기로 교호로 작동하게 한 점
3. 3건조실간의 상호 열교환이 가능하도록, 3건조실 모두를 가동시키는 히트펌프를 상호 연결된 시스템으로 구축한 점

예를 들어 3건조실중 A 건조실이 많은 량의 에너지가 요구되는 건조초기 단계일 때, 에너지 발생량은 많지만 소요 에너지는 적은 건조말기 단계의 B나 C건조실의 剩餘에너지를 A건조실로 유입시켜 활용할 수 있다. 또 3건조실 모두가 동시에 건조말기 단계로서 그 잉여에너지가 너무 많을 때에는 외부의 응축기로 그 에너지가 이동된다.

이 제습건조로는 노르웨이 임산물연구소팀에 의해서 그 성능이 평가되었는데, 몇 가지 기술적인 문제점은 있었지만 NH3 냉매을 이용한 고온형 제습건조가 가능하다는 사실이 확인되었다. 이러한 사실은 오존층과 지구온난화에 전혀 영향을 미치지 않는 새로운 형태의 목재 제습건조실도 개발될 수 있음을 시사한다.

6. 結　　言

현행 제습건조실에서 냉매로 채택하고 있는 CFC's나 HCFC's는 대기중으로 누출되어 성층권의 오존층을 파괴시키며, 지구온난화 현상을 야기시키는 등 지구환경에 악영향을 미친다.

그래서 대부분의 선진공업국가들은 1995년 이후부터는 CFC's를 냉매로 사용하는 것을 금지키로 이미 몬트리올 협정을 체결하였다.

당분간은 HFC 134A가 CFC's 냉매를 대체할 것으로 예상되나, 이것은 오존층을 파괴하지는 않지만 역시 지구온난화 현상을 유발시키고, 또 아직 장기간의 시험과정을 거치지 않은 문제점이 있다.

NH_3는 앞서 언급했었던 것과 같은 지구환경 문제를 전혀 야기시키지 않는다는 독특한 잇점때문에 天然의 최고 무공해 냉매로 평가되어 그것에 대한 관심이 크게 고조되고 있다. 노르웨이 임산물연구소의 시험결과에 의하면 NH_3를 냉매로 사용한 표준제습건조실은 건조실내의 온도도 65℃ 이상으로 유지할 수 있어 高溫型 제습건조도 가능한 것으로 밝혀졌다.

아무튼 지금까지 거의 규제를 받지 않고 사용해 왔던 환경공해적인 냉매들 (CFC 12, HCFC 22, HFC 134A, HFC 152A 등)이 이제 각종 국제간 협정에 의해서 조만간 그 사용이 금지될 것인 바, 앞으로의 제습건조실은 경제적인 측면 못지 않게 환경적인 측면도 重視되는 방향으로 改善·補完되

어져야 할 것을 강요 받고 있다.

이러한 세계적 흐름에 비추어 볼 때 우리의 목재 가공업체들은 CFC's, HCFC's 또는 HFC's와 같은 환경공해적 냉매를 사용하는 제습건조실을 새로 設備하는 것을 자제하는 것이 바람직할 것으로 판단된다. 아울러 머지 않은 장래에 환경공해적인 냉매의 생산이 중지될 것이므로 (CFC's의 경우 1995년말), 이미 이와 같은 제습건조실을 이용하여 목재를 乾燥加工하고 있는 업체들은 이들 시설을 개선하여 계속 활용할 수 있는 기술을 개발하거나, 乾燥材를 안정적으로 공급할 수 있는 需給對策을 마련하는 등 여러가지 다각적인 방안을 조속히 검토해야 한다.

參 考 文 獻

1. Sverre, Tronstad. 1992. Dehumidification drying-New techniques can meet the environmental problems with freons (CFC's) as refrigrents. Proc. of 3rd IUFRO International Wood Drying Conference.
2. Eggen, Geir. 1977. Drying of wood for furniture production. MIF Publication 13.
3. Forest Products Laboratory. 1988. Dry kiln operator's manual. USDA.
4. United Nations Environment Program. 1991. Montreal protocol, 1991 assessment. UNEP.
5. Cech, M. Y. and F. Pfaff. 1978. Dehumidification drying of spruce studs. *For. Prod. J.* 28 (3).
6. Chen, P. Y. S. and W. A. Helmer. 1982. Principles of dehumidification lumber drying. *For. Prod. J.* 32 (5)
7. Lee, A. W. C. and R. A. Harris. 1984. Properties of red oak lumber dried by radio-frequency/vacuum process and dehumidification process. *For Prod. J.* 34 (5)