물의 열전도에 미치는 원적외선 고유효과에 관한 연구

1. 서 론

최근 몇 년간, 원적외선(FIR)은 근연파장(近緣波長)의 전자파에 비해 극히 특이한 성질을 가지고 있는 것으로 주목되고 있다. 그러나 오늘날 그러한 파장의 차이에 따른 성질의 차이를 학술적으로 검증한 예는 찾아볼 수 없다. 조사(照射)에 의한 물이나 식품의 맛을 좋게 하기 위한 것에서, 다양한 정수기나 가정용조리기구가 시판되고 있다. 더욱이 혈액순환을 좋게 하기도 하며, 암의 치료에 이용되기도 하며, 열(熱)의 건강과 밀접한 관계를 갖고 있다. 또 산소나 생체분자 등의 생성에 현저하게 영향을 주는 것으로 분자레벨에서의 연구도 활발하게 되어져 왔다.

이러한 FIR의 다양한 분야에 있어서, 그 효과는 결국 궁극적으로는 FIR가 물의 구조와 물성에 영향을 미치기 때문이라고 이해되고있다. 그러나 이것들의 특이한 효과가 정말로 존재하는지, 어떤지는 반드시 명확히 밝혀져 있지 않다. 지금, 이것들의 효과를 학술적으로 검증하는 것이 이 영역의 긴급의 과제로 되어있다. 필자들은 이러한 관점에서 연구를 실시해왔다.

이 FIR의 효과는 오늘날, 가열효과와 상온효과의 두 가지 면에서 연구되어 있다. FIR을 강하게 조사한 경우, 열적 효과가 크게 작용하기 때문에, FIR 고유의 특이적 효과를 명확하게 검증하는 것이 어렵다고 생각된다. 한편 미약한 FIR 조사의 경우는 열적 효과가 적기 때문(상온효과), 파장유래의 고유 효과의 검증이 기대된다.

FIR 파장은 물의 진동·회전에너지로서 흡수되며 열에너지의 높은 상태로 옮겨진다. 즉, 분자 내 운동이 높은 상태에서 변화하고 온도가 올라간다. 이때

의 온도상승이 흡수한 FIR 고유의 파장을 어느 일정 시간 기억하고 보존되어 있다고 한다면, 이것은 FIR 하나의 큰 특이적인 성질이 되어도 좋다고 생각된다. 즉 같은 온도라도 열에너지원인 다양한 분자 내 열운동 모드의 구성에 드랑젠드한 차가 발생해도 좋다고 선험적(先驗的)으로 생각된다.

만약 이러한 판정에서라면 FIR에서 얻어진 열에너지는 다른 파장의 흡수에 의해 얻은 열에너지와는 성질이 달라도 좋다고 예측된다. 따라서 이 경우 열의 전도나 열의 방열의 방법, 더불어 병진(並進), 진동, 회전의 각 에너지 사이의 에너지이동(교차완화) 등에 그 특징이 나타나도 좋다고 생각한다.

그 점에서 본 연구는 이러한 관점에서 물의 열전도의 측면에서 실험을 실시해 왔다. 먼저 셀 내에 물을 충분히 하고, 그 한 쪽에 전자파를 조사하고, 흡수된 열에너지가 다른 쪽으로 전번(傳幡)하는 상태를 조사했다. 양쪽에서의 승온 곡선을 작성하고 열 수송의 메커니즘을 검증하는 것에 의해, FIR의 물에 미치는 특이한 성질을 의논하는 것으로 했다. 더욱이 열 수송의 과정에 있어서 열에너지의 방출의 효과가 승온 곡선에 현저하게 영향을 주기 때문에 셀 주변에의 방열에 관한 각종의 실험조건의 부여에 대해서도 검토를 가했다.

2. 실 험

실험은 전체온도 23.0±0.1℃에 컨트롤된 항온실내에서 실시했다. 항온실내에서는 가시광선과 미광(迷光)의 영향을 받지 않게 하기 위하여 전체 조명을 끄고 실시했다. 더욱이 전자파 등의 영향을 피하기 위해, 그림1에서 가리키는 것처럼 알루미늄 판에 2개 방으로 나눈 상자를 제작하고, 그 내부에 물이 충분한 파이렉스 제의 원통형 셀을 설치했다. 셀 내의 물이 항온실내 온도와 평형이 되기까지 방치하고, 평형 후 셀의 한쪽에서 수직으로 원적외선 또는 근적외선을 조사했다.

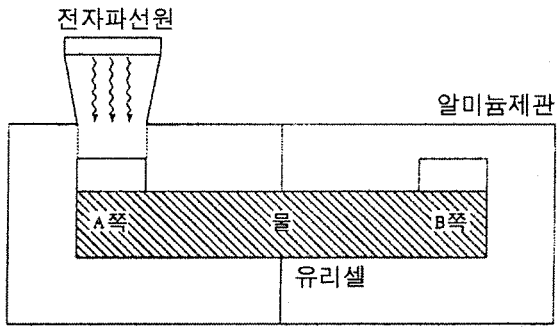
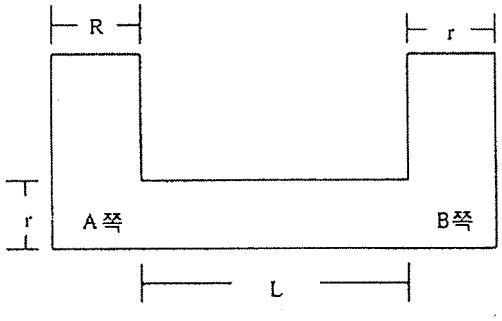


그림1 전자파조사 시스템

조사 직후부터 조사 쪽(A), 다른 쪽(B)의 온도변화를 관측하고 승온 곡선을 작제(作製)했다. 또 셀은 그림2에 나타난 폭(徑)과 길이가 다른 3종류 셀 1(Ø:50mm, ℓ;800mm), 셀2(Ø:50mm, ℓ;400mm), 셀3(Ø:10mm, 2;800mm)를 이용했다. 조사선원(照射線源)은 원적외선으로는 일본경금속(株)제 속적외선 히터(세라콘포R)를 근적외선(NIR)으로서 마쯔시타수(壽)전자공업(株) 제조의 적외선 램프를 이용했다. 또 각각의 파장영역은 그림3에 나타냈다. 또 온도측정에는 1/1000℃의 정도(精度)에서 온도측정이 가능한 테크노세븐(株) 제조의 정밀온도측정장치를 이용했다.



셀1 ; R=50 r=50 L=800 (mm)
셀2 ; R=50 r=50 L=400 (mm)
셀3 ; R=50 r=10 L=800 (mm)

그림2 유리셀의 형상(形狀) 및 크기

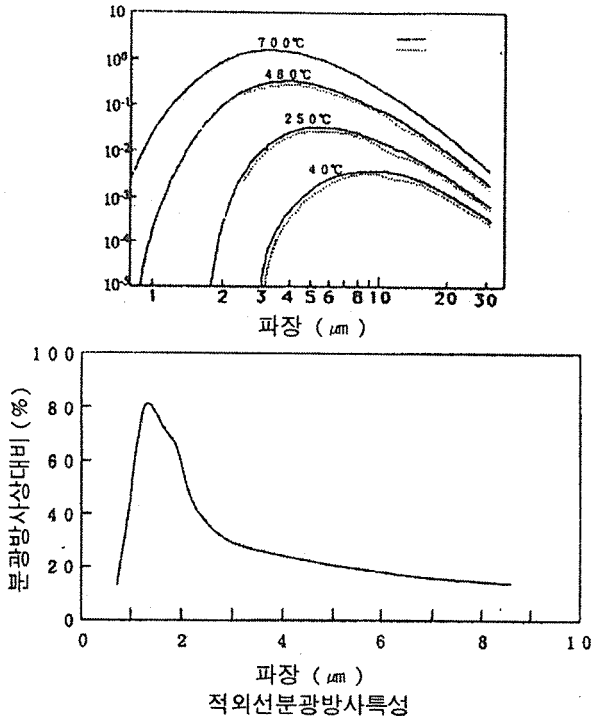


그림3 원적외선 및 근적외선램프의 방사파장의 특성

실험은 이하의 실험조건으로 실시했다.

①열전도체에 미치는 셀의 형상 (폭 및 길이)의 검토, ②열전도에 미치는 조사선원의 파장의존성의 검토 및 ③열전도에 미치는 셀에서의 방열의 영향(셀 주변의 환경) 등의 세 가지 항목에 대하여 검토를 했다.

3. 결과와 고찰

그림4는 폭50(mm), 길이800(mm)의 셀1을 가지고 원적외선을 계속적으로 조사한 경우에 조사 쪽(A) 및 다른 쪽(B)의 승온 곡선의 결과를 나타낸 것이다. A쪽의 온도는 FIR 조사 직후부터 상승하고, 0.3에 가까운 승온 커브를 그렸다. 한편 다른 쪽 B의 온도는 60분까지는 거의 온도상승이 보이지 않았지

만, 60분 후부터 온도상승이 시작되고, 0.22에 가까운 승온 커브를 그렸다. A쪽의 승온 곡선은 FIR의 직접적 흡수에 따라 일어나고, B쪽의 승온 곡선은 A쪽에서 열에너지의 수송에 따라 주어진 것으로 생각할 수 있다. 따라서 A쪽과 B쪽의 온도차는, 대체로 열 수송에 의존해서 결정되는 것이라고 생각해도 좋다. 또 열 수송의 경로(셀의 간[竿]의 부분)에 있어서 방열 때문에 A쪽보다 B쪽이 곡선의 곡율(曲率)이 조금 크게 나타났다. 여기서 곡선의 곡율이 큰 정도와 도중의 경로에 있어서 방열 효과가 크다고 생각할 수 있다.

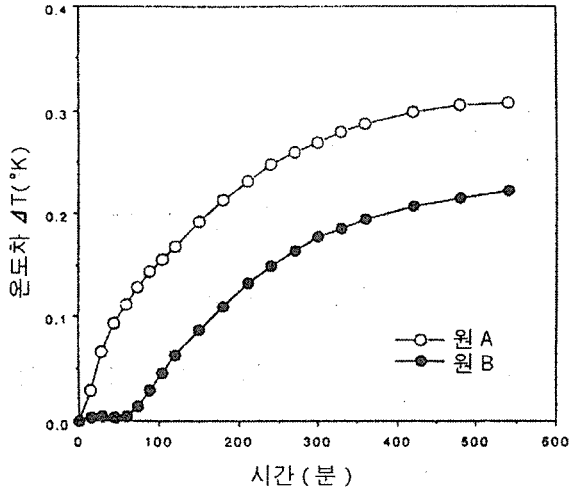


그림4　셀1을 이용한 경우 원적외선 조사에 의한 A쪽과 B쪽의 승온 곡선

그림5는 폭50(mm), 길이400(mm)의 셀2를 이용한 경우 A, B쪽에 있어서 승온 곡선의 결과를 나타낸 것이다. A쪽의 온도상승은 셀1보다도 높은 레벨의 온도상승 커브를 나타냈다(ΔT≒0.82). B쪽의 온도는 30분까지는 온도상승이 보이지 않았지만 30분경부터 승온을 시작해, 0.62에 가까운 승온 커브를 나타냈다. 또 A쪽과 B쪽의 승온 커브의 차는, 겨우(ΔT≒0.2k)이며, 그 차는 앞의 셀1의 결과에 대한 차보다도 적은 것으로 되었다. 이것의 결과는 셀 길이가 짧으면 열원에서 에너지 공급량이 대단히 일정한 것에 대해 샘플 량이 적어지기 때문에, 상대적으로 A쪽의 승온 커브가 높은 레벨로 이동한 것으로 해석되

어진다. 또 셀 길이가 짧으면 B쪽으로 열에너지의 도달양도 많아지며 AB 사이의 온도차가 상대적으로 적어졌다고 해석된다.

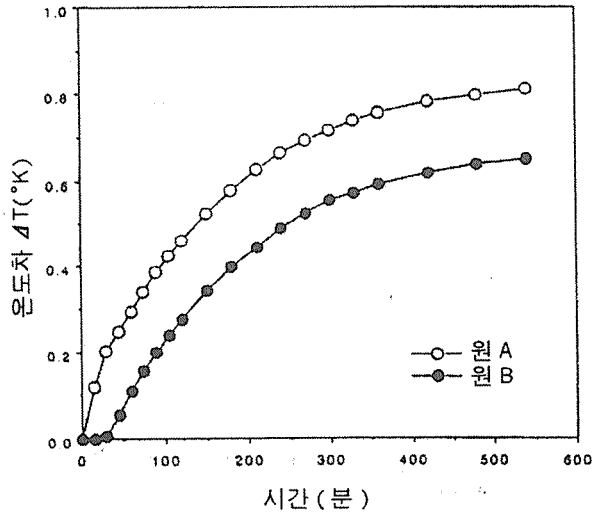


그림5 셀2를 이용한 경우의 원적외선 조사에 의한 A쪽과 B쪽의 승온 곡선

그림6은 폭10(mm), 길이800(mm)의 셀3을 이용한 경우의 승온 곡선의 결과를 나타낸 것이다. A쪽의 온도상승은 셀1, 셀2를 이용한 때의 결과와 비교해 승온 온도 곡선은 극히 큰 레벨로 나타났다($\Delta T \fallingdotseq 1.4$). 이것은 샘플의 절대량이 적어졌기 때문이며, 또 간(竿)부분의 폭이 가늘기 때문에 후방으로 열의 이동량이 적어지며 체류효과가 현저하게 되었기 때문이라고 생각된다. 한편 B쪽은 조사 직후부터 극히 낮은 레벨의 승온이 보였다($\Delta T \fallingdotseq 0.15$).

이것은 빠른 물의 열전도계수 [κ:$612\times10^{-3}W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$(300K)] 로부터 생각해 조사 직후부터 곧바로 B쪽에 열량이 도달해있는 것을 의미하고, 굵은 관(50mm)의 경우는 B점에 도달한 열이 곧 확산해 버려서, 적은 승온 커브라도 검출할 수 없었던 것이라고 생각된다. 또 A쪽의 온도가 높은 레벨에 있으면 B쪽의 승온 온도 차가 크게 되며 B쪽의 승온 곡선이 초기의 단계에서 응답한 것이라고 해석된다.

한편 B쪽의 승온 커브가 시작과 끝이 완만한 레벨로 유지되어온 것은 관이 가늘기 때문에 트틀에 도달하는 열량이 적은 것, 및 관이 가늘기 때문에 공기로 방열량이 무시할 수 없는 것 등이 원인이라고 생각되었다.

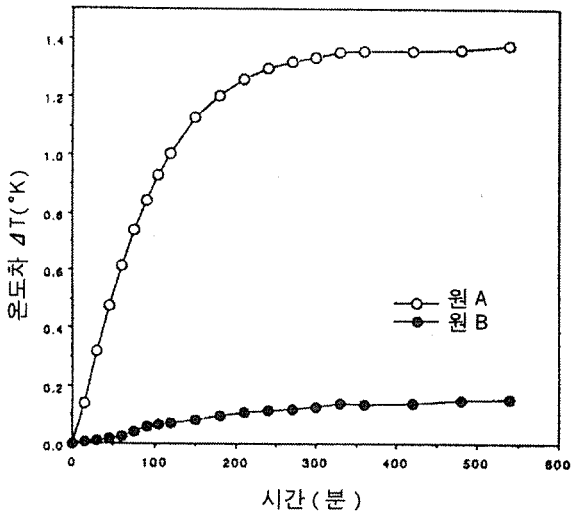


그림6 셀3을 이용한 경우의 원적외선 조사에 의한 A쪽 B쪽의 승온 곡선

이상의 결과는 원적외대역(帶域)의 선원을 이용한 경우의 열 수송이었다. 다음으로 근적외선대역의 선원(線源)을 이용한 경우의 열 수송에 대하여 조사하고, FIR의 결과와 대비하여 검토했다. 또한 선원의 파장 특성은 그림3을 참조한다. 원적외선원(세라콘포R)는 표면온도 67℃로 준비했기 때문에 8㎛부분에 정점(頂點)을 나타내는 파장 특성에 대해 실험한 것이다.

한편 근적외선 램프는 1㎛부분에 정점을 나타내는 파장 특성에 대하여 실험한 것이 된다. 이것은 2종류의 선원을 가지고 열전도의 실험 결과는 다음과 같이 되었다.

그림7은 셀1(폭50mm, 길이800mm)을 이용해, 근적외선을 조사하고, A쪽과 B쪽의 승온 곡선을 작성한 것이다. 그 결과, 근적외선을 흡수한 승온 곡선은 원적외선의 결과와 거의 같은 커브 모양을 나타냈다. 그러나 B쪽의 승온 곡선은 원적외선에 의한 승온 곡선보다도 상대적으로 높은 레벨로 나타났으며,

AB 사이의 온도차가 적은 것이 되었다. 그 결과는 외관상 원적외선을 흡수한 열에너지보다도 근적외선을 흡수한 열에너지의 쪽이 1)열의 이동이 많다(빠르다), 2)경로에서의 열의 방열이 적은 것 등이 생각되어진다. 또 근적외선 및 원적외선의 각 선원의 출력 및 효율 등이 다르기 때문이며, 비교에 도움이 되기 때문에 근적외선의 A쪽의 승온 곡선을 기준으로 보정(補正)해 작성했다.

전자파를 흡수해 변환된 열에너지는 조사 쪽(A쪽)에서 열류의 흐름으로서 다른 쪽(B쪽)에 순차전번(循次傳幡)되어 가지만 이 도중 과정에 있어서 셀에서 공기층으로 열이 나간다(방열). 이 방열의 효과는 A쪽, B쪽의 승온 곡선에 현저하게 영향을 주는 것으로 예측된다. 그곳에 셀 주변으로 방열 효과가 열전도에 미치는 영향에 대하여 검증을 했다.

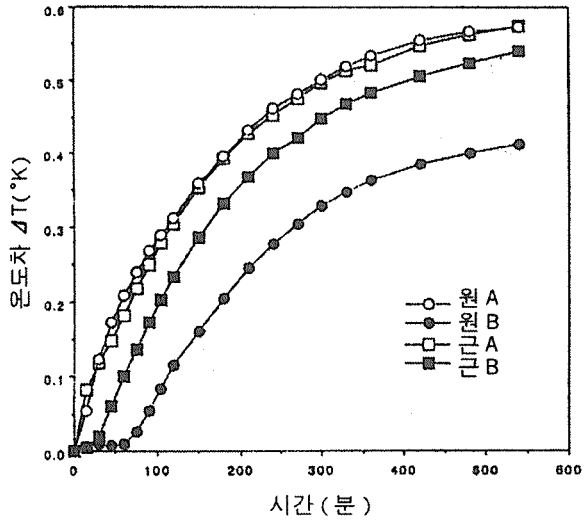


그림7　셀1을 이용해 근적외선 조사 후 A쪽, B쪽의 승온 곡선

원적외선의 결과와 비교하기 위하여, 원적외선의 데이터는
근적외선의 A쪽의 승온 곡선에 규격화해 표시했다

그림8은 셀1을 검정 웰트로 가리고 원적외선 조사한 경우의 A쪽, B쪽의 승온 곡선을 조사(調査)한 것이다. 웰트 권(券)의 A쪽은 감지 않는 경우에 비교

해서 큰 승온 곡선을 나타냈다. 그러나 B쪽의 승온 곡선은 두드러진 차이가 보여지지 않았다. 이것에서 웰트 권(券)의 쪽이 AB 사이의 온도차가 큰 것이 분명해졌다. 이 결과 웰트는 원적외선의 흡수를 잘 하도록 움직이지만, 그러나 웰트는 직접 접촉하는 시료(試料) 셀에서 열전도로 열을 흡수하고, 공기층으로 방열하는 가능성이 있는 것 등이 추측되었다.

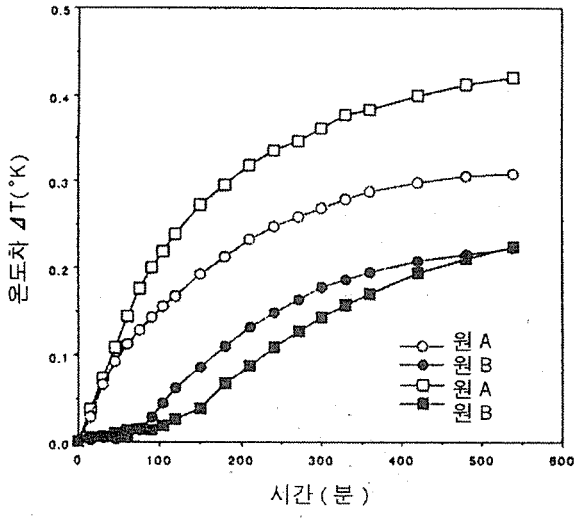


그림8 검정 웰트 권(券)의 셀1을 이용해, 원적외선 조사한 경우 A쪽, B쪽의 승온 곡선을 나타낸 것이다. 비교를 위해 검정 웰트를 감지 않은 경우의 결과와 같이 표시했다.

그림9는 셀1을 검정 웰트로 가리고 근적외선 조사한 경우의 A쪽, B쪽의 승온 곡선을 조사(調査)한 것이다. 웰트 권(券)의 A쪽의 승온 곡선은, 감지 않는 경우의 것보다 다소 작은 것으로, 거의 같은 레벨의 것이 되었다. 그러나 B쪽의 승온 곡선은 웰트 권(券)의 쪽이 감지 않는 경우에 비교해 낮은 레벨로 나타났다. 이 결과, 원적(원적외선)의 경우의 결과와 같이 웰트 권(券)의 쪽이 도중의 간(芊)부에 대한 방열 효과가 크다고 판단되었다. 그러나 근적(근적외선)을 흡수한 열 에너지는 원적 흡수의 경우에 비교해 웰트에서 열의 방열이 적은 것이 추정되었다.

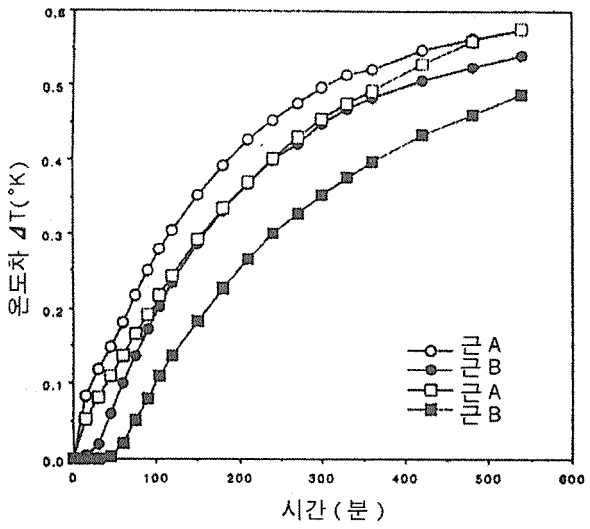


그림9 검정 웰트 권(券)의 셀1을 이용해, 원적외선 조사한 경우, A쪽, B쪽의 승온 곡선을 나타낸 것이다. 비교를 위해 검정 웰트를 감지 않은 경우의 결과와 같이 표시했다.

그림10은 발포 스티로폼에서 셀1의 간(芊)부를 가리고 단열하고, A쪽, B쪽의 승온 곡선에 미치는 방열이 효과를 본 것이다. 원적외선, 근적외선, 어떠한 선원에 의한 승온 곡선도 단열하지 않는 경우 및 웰트 권(券)의 경우의 결과에 비교하면 승온 커브의 곡율은 적어지며 직선에 가까운 것이 되었다. 이것은 도중 경로에 있어서 방열의 효과가 적어진 것을 시사(示唆)했다.

그림11은 근적(近赤)의 A쪽의 승온 곡선을 기준으로 규격화해 그려진 것이다. 원적외선 및 근적외선의 A쪽, B쪽의 승온 커브는 초기 단계를 제외한 시간 경과와 같이 다음으로 일치하도록 되었다. 이것은 단열 상태에서는 원적외선을 흡수한 열에너지도 근적외선을 흡수한 열에너지도 최종적으로는 같은 메커니즘에 의한 열 수송이 되는 것으로 생각되었다.

그러나 조사의 초기 과정에 있어서는 원적과 근적과의 결과에 현저한 차이가 인정되었다. 즉, B점으로 열의 수송량은 원적의 쪽이 근적보다도 많은 결과가 되었다. 이것은 원적이 근적에 의해 얻은 열에너지보다 열에너지의 수송 효율이 좋은 것을 시사했다. 또 그 결과는 비단열 상태에 있어서 FIR, NIR의

열 수송의 실험결과로 좋은 대조(對照)를 나타냈다. 이상의 결과는 다음과 같은 분자 내 열에너지의 시스템을 생각하는 것에서 모순없이 설명되었다. 먼저 어느 열평형이 되는 계(系)는 열원인 분자 내 운동(진동, 회전, 병진 등)이 평형한 격자진동 상태에 있다고 생각한다. 또 액체의 물은 수소결합의 망목(網目) 구조를 취하고 있으나, 고체에 있어서 리젠드한 격자는 아니고 부드럽게 결합한 응(凝)격자(pseud lattice)구조를 취한다고 생각한다. 그곳에서 원적외선 등의 전자파의 흡수에 의해 치우친 분자 내 운동의 천이에 따라서 열에너지를 얻은 경우, 일시적으로 비평형한 격자진동 상태로 된다.

이 치우친 분자 내 운동의 에너지는 교차완화하고 평형한 격자진동 상태로 돌아오려고 한다. 이렇게 생각하면, 전자파 조사 초기 파장의 차이에 따른 승온 곡선의 차이가 이해된다. 또 시간의 경과와 같이 계(系)는 평형한 격자진동 상태로 이행하기 때문에, 초기의 다른 여기(勵起)의 방법에는 무관계로 같은 양식의 열 수송으로 이행하는 것으로 이해된다. 이상의 것에서, 이 단열계에서 보여진 열 수송의 실험 결과의 차이야말로 원적외선의 고유의 효과라고 판단되었다.

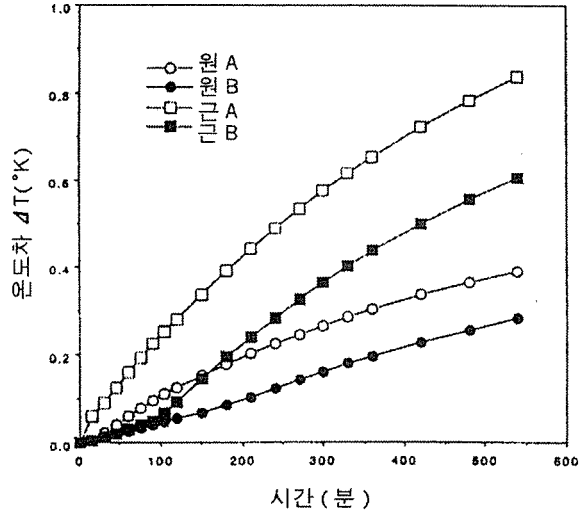


그림10　발포 스티로폼으로 가리운 셀1을 이용해 원적외선 및 근적외선 조사 후의 승온 곡선

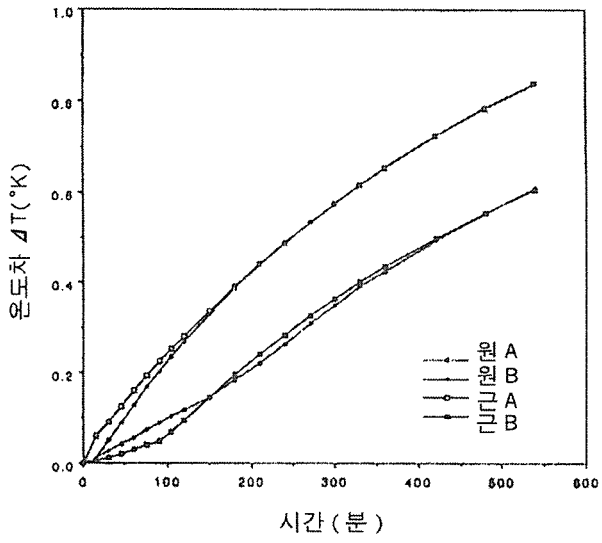


그림11 발포 스티로폼으로 가리운 경우, 원적외선, 근적외선 조사에 의한 승온 곡선의 비교.

양 곡선은 비교하기 위해 규격화해 표시했다.

4. 결 론

이상의 결과 단열 상태에서의 열전도에 있어서 FIR과 NIR로 조사의 초기에 유사한 차이가 나타난 것은, FIR의 특이한 성질을 시사하는 것으로서 주목될 것이다. 이 결과는 원적외선이 등심초(芯)에서 따뜻해지는 것이라든지, 혈액순환을 좋게 하는 것이라든지, 혼란스러운 것은, 구운 토란이 등심초(芯)에서 맛있게 구워지는 등의 원적외선 특유의 에너지의 침투성이나 보존성의 성질과 밀접하게 관련지을 수 있다. 현 단계에 있어서는 원적외선의 결정적인 검증이라고는 말할 수 없을지 모르지만, 실마리가 얻어진 것은 확실하다고 확신하고 있다. 이후에도 이것의 성과를 발판으로 해서 연구를 진행할 예정이며, 보다 결정적인 검증도 그리 멀지 않을 것으로 기대하고 있다.