

777
K-95
3
=2

工學碩士 學位論文

도료 조성 변화에 따른 단열 효과 연구

指導教授 文 明 俊

이 論文을 工學碩士學位論文으로 提出함



2003年 2月

釜慶大學校 大學院

工業化學科

金 奉 贊

金奉贊의 工學碩士 學位論文을 認准함

2002年 12月 日

主 審 理學博士 李 鍾 武



委 員 理學博士 郭 三 鐸



委 員 理學博士 文 明 俊



<목 차>

목 차	I
List of Figures	IV
List of Tables	VIII
Abstract	IX
1. 서 론	1
1.1 저항형 단열	2
1.2 반사형 단열	3
1.3 용량형 단열	3
2. 이론적 배경	6
2.1 열전달	6
2.1.1 전도	6
2.1.2 대류	7
2.2.3 복사	9
2.2 흡수율의 측정	12
2.2.1 흡수율	12

2.2.2 표면흡수율시험	12
3. 실험방법	14
3.1 사용재료	14
3.2 시편제작	16
3.3 온도측정방법	17
3.3.1 다점온도측정기	17
3.3.2 Heating과 cooling system을 이용한 표면온도 측정	18
3.4 분석기기	21
4. 결과 및 고찰	22
4.1 Heating system에서의 단열효과 측정	22
4.1.1 수성도료와 단열도료의 단열효과	22
4.1.2 수성도료에 첨가물을 가한 도료의 단열효과	24
4.1.3 단열도료에 첨가물을 가한 도료의 단열효과	28
4.1.4 첨가제 농도에 따른 단열성능 비교	32
4.2 Cooling system에서의 단열효과 측정	41
4.2.1 수성도료와 단열도료의 단열효과	41

4.2.2 수성도료에 첨가물을 가한 도료의 단열효과	43
4.2.3 단열도료에 첨가물을 가한 도료의 단열효과	46
4.3 DSC 측정	48
4.4 표면물성분석	50
5. 결 론	52
6. 참고 문헌	53

<List of Figures>

Figure 1. Thermal transfer of the convection on the hot plate.	8
Figure 2. Thermal transfer of the radiation between the internal surface of material.	12
Figure 3. Experimental apparatus for measuring the water absorption rate.	13
Figure 4. SEM micrography of additive materials; (a) $K_2Ti_8O_{17}$, (b) Al_2O_3 , (c) Mica, (d) Aluminum powder, (e) 3M cell, (f) cell 701.	16
Figure 5. The sample sheet for measuring temperature.	17
Figure 6. C8600 multithermometer.	17
Figure 7. Experimental apparatus of the heating system.	19
Figure 8. Experimental apparatus of the cooling system.	20
Figure 9. Time dependence of the temperature difference between surface temperature and inner temperature during heating.	22
Figure 10. Time dependence of the relative ratio of surface temperature during heating; (a) water borne paint, (b) adiabatic paint.	23
Figure 11. Time dependence of the temperature difference between surface temperature and inner temperature during heating for the water borne coating.	24

Figure 12. Time dependence of the relative ratio of surface temperature for the water borne paint; (a) none, (b) $K_2Ti_8O_{17}(3\%)$, (c) $Al_2O_3(3\%)$, (d) Mica(3%), (e) Aluminum powder (3%), (f) 3M cell(3%), (g) cell 701(3%).	26
Figure 13. SEM micrography of the water borne paint including various additives; (a)none, (b) $K_2Ti_8O_{17}(3\%)$, (c) $Al_2O_3(3\%)$, (d) Mica(3%), (e) Aluminum powder(3%), (f) 3M cell(3%), (g) cell 701(3%).	27
Figure 14. Time dependence of the temperature difference between surface temperature and inner temperature during heating for the adiabatic paint.	28
Figure 15. Time dependence of the relative ratio of surface temperature for the adiabatic paint; (a) none, (b) $K_2Ti_8O_{17}(3\%)$, (c) $Al_2O_3(3\%)$, (d) Aluminum powder(3%).	30
Figure 16. SEM micrography of the adiabatic paint including various additives; (a) none, (b) $K_2Ti_8O_{17}(3\%)$, (c) $Al_2O_3(3\%)$, (d) Aluminum powder(3%).	31
Figure 17. Time dependence of the temperature difference between surface temperature and inner temperature during heating by changing cell 701 concentration (3%, 5%, 10%, 15%) for the water borne paint.	32
Figure 18. Time dependence of the relative ratio of surface temperature on the heating system by changing the cell 701 concentration for the water borne paint; (a) 3%, (b) 5%, (c) 10%, (d) 15%.	33
Figure 19. SEM micrography by charging cell 701 concentration; (a) 3%, (b) 5%, (c) 10%, (d) 15%.	34

Figure 20. Time dependence of the temperature difference between surface temperature and inner temperature during heating by changing $K_2Ti_8O_{17}$ concentration (3%, 5%, 10%) for the water borne paint.	35
Figure 21. Time dependence of the relative ratio of surface temperature on the heating system by changing $K_2Ti_8O_{17}$ concentration for the water borne paint; (a) 3%, (b) 5%, (c) 10%.	36
Figure 22. SEM micrography by changing $K_2Ti_8O_{17}$ concentration; (a) 3%, (b) 5%, (c) 10%.	37
Figure 23. Time dependence of the temperature difference during heating between surface temperature and inner temperature by changing Mica concentration (3%, 5%, 10%, 20%) for the water borne paint.	38
Figure 24. Time dependence of the relative ratio of surface temperature during heating by changing Mica concentration for the water borne paint; (a) 3%, (b) 5%, (c) 10%, (d) 20%.	39
Figure 25. SEM micrography by changing Mica concentration; (a) 3%, (b) 5%, (c) 10%, (d) 20%.	40
Figure 26. Time dependence of the temperature difference between surface temperature and inner temperature during cooling for the water borne coating.	41
Figure 27. Time dependence of the relative ratio of surface temperature during cooling for the water borne coating; (a) water borne paint, (b) adiabatic paint.	42

Figure 28. Time dependence of the temperature difference between surface temperature and inner temperature during cooling for the water borne coating.	43
Figure 29. Time dependence of the relative ratio of surface temperature during cooling for the water borne paint ; (a)none, (b) $K_2Ti_8O_{17}(3\%)$, (c) $Al_2O_3(3\%)$, (d) Mica(3%), (e) Aluminum powder(3%), (f) 3M cell(3%), (g) cell 701(3%).	45
Figure 30. Time dependence of the temperature difference between surface temperature and inner temperature during cooling for the adiabatic paint.	46
Figure 31. Time dependence of the relative ratio of surface temperature during cooling for the adiabatic paint; (a)none, (b) $K_2Ti_8O_{17}(3\%)$, (c) $Al_2O_3(3\%)$, (d) Aluminum powder(3%).	47
Figure 32. DSC curves for various coatings used inthe work ($10^{\circ}C/min$).	48
Figure 33. The derivative values of heat flow for various coatings ($10^{\circ}C/min$).	49

<List of Tables>

Table 1. Test methods for the thermal transport properties of insulator	5
Table 2. The Emissivity of various materials	10
Table 3. Recipe of the adiabatic paint	15
Table 4. The contact angle, absorptivity and moisture content for various coatings including additives	50
Table 5. Variation of the contact angle, absorptivity and moisture content by changing the concentration of additive	51

The effect of the thermal protection by varying
the composition of coating system

Bong-Chan, Kim

Department of Industrial Chemistry, Graduate School
Pukyong National University

Abstract

Our house contains many problems due to energy conservation and saving although thermal protective materials have been developed. Therefore the thermal protection paint was becoming the important part of domestic architecture instead of various thermal protective materials. Thermal protection paint prevents not only thermal conduction through organic coating but also thermal radiation. The object in this work develop the novel paint by adding the materials of low thermal conductivity and investigate the mechanism for the thermal protective properties of organic coating film. It could be evaluated the thermal protective property by measuring temperature difference between outer and inner surface during heating and cooling. It was found that the major effect for thermal insulation was the decrease of rate of thermal transport within organic coating on the metal surface, because thermal transport through the water borne paint was inhibited by hollow structure of inorganic silicate void, such as cell 701, 3M cell.

1. 서론

오늘날 에너지자원의 고갈로 인한 에너지의 수급 불균형과 에너지 절약 및 불완전연소로 인한 환경오염 문제 등이 크게 대두되고 있다.¹⁾ 우리가 생활하고 있는 주택에 있어서 주된 에너지 손실은 열방출로 천정, 마루, 창호, 문, 그리고 틈새바람이다.

단열재는 크게 나누어서 충전형 단열재와 반사형 단열재로 나눌 수 있다. 충전형 단열재는 보통내부에 공기가 가득 차 있는 많은 기포를 포함하거나 광면(鑲面), 식물성 섬유, 식물성 종이, 기포 플라스틱, 석면 섬유를 함유한 팽창퍼라이트, 유리섬유, 실리카겔, 규조토, 내화벽돌 등이 있고, 반사형 단열재는 보통 알루미늄이나 알루미늄지(紙)가 있고, 경우에 따라서는 금면이나 은면도 사용되고, 고온에서는 특수 내열성 금속이 사용되는데 이들의 단열성은 열방사에 대한 낮은 방사율에 기인되는 것으로써 blanket, 표면을 금속판막으로 처리한 blanket bat 보온재, Al 박판으로 처리한 석고보드, 열반사 코팅 등이 있다.²⁾

최근에는 건설기술의 발달로 건물의 기밀성이 향상되고 또한 모든 건물에 난방시설이 보급됨에 따라 결로 발생에 대한 문제가 대두되고 있다. 단열은 단순히 열의 전도만을 막는 것이 아니라 열의 전도를 막으므로 인한 결로방지의 목적도 함께 가지고 있다.³⁾

결로 현상은 물체의 표면온도가 그 물체에 접하는 공기의 노점온도(습도 100%가 되는 상태)이하일 때 생기는 것이므로 결로를 방지하기 위해서는 물체의 표면온도를 높이고 결로 온도를 낮추면 된다.³⁾

단열도료는 열전도율이 낮은 물질을 첨가하여 도막의 열전도율을 낮추어 단열의 목적을 이루는 것이다. 물질 중에서 가장 전도율이 낮은 것은 기체이므로 기

체를 포함한 물질을 첨가하는 것이 가장 열전도율을 낮추는 방법이다.⁴⁾ 종래에 사용되고 있는 단열재중 가장 많이 사용하고 있는 스티로폼이나 폴리우레탄폼이 그 예라고 할 수 있다. 단열도료에서도 중공체를 사용함으로써 단열 및 결로방지 효과를 얻을 수 있다.

단열이라 함은 열의 출입이 없는 것을 말한다.⁵⁾ 단열에는 저항형, 반사형과 용량형의 3가지 형태의 단열 종류가 있다. 이 중에서 저항형(기포형)과 반사형은 순간적인 효과가 있는데 반하여, 용량형은 시간의 함수로써 작용하는 것이 특징이다.

1.1 저항형 단열

열전도를 적게 하는 재료들은 구성원자들이 멀리 떨어져있고 다공질이며 밀도가 낮은 것이 대부분이다. 기체는 원자가 가장 멀리 떨어져 있으므로 전도에 대하여는 최고의 단열재이다. 기체의 혼합물인 공기는 기포에 의한 경량 콘크리트, 발포 플라스틱 그리고 중공(cavity)에서와 같이 저항형 단열재의 기본이 되고 있다.

이때 단열재의 역할을 하는 공기는 움직여서는 안 된다. 만약에 움직이게 된다면 대류에 의하여 열전달을 하게 될 것이기 때문이다. 일반적으로 다공질 또는 섬유질의 기포성단열재는 무수한 기포로 구성되어 있기 때문에 열전도율이 낮다. 물론 이 경우 공기가 충전된 작은 입자내에서는 대류와 복사 열전달은 무시할 정도이며, 재료의 열전도율은 정지된 공기의 값에 가까워진다. 즉 기포단열재의 역할은 공기를 정지시키는 것이다.

1.2 반사형 단열

반사형 단열은 열방사에 비해 낮은 방사율을 가지는 재료로써 복사열에너지를 방사해서 단열작용을 하는 경우를 말한다. 약 60%의 열전달이 복사에 의해 이루어지는 중공벽이나 약 50-140%의 열전달이 복사에 의해 이루어지는 나락이나 마루에서와 같이, 복사의 형태로 열전달이 이루어지는 공기층에 매우 유효한 단열 방법이다.

복사에 의한 열전달은 복사열의 흡수 및 방사가 적은 표면의 사용으로 억제될 수 있다. 이러한 표면은 빛나게 보일 뿐만 아니라 빛과 같이 행동하는 전자기파의 복사열을 반사한다. 이러한 유형에 속하는 단열재의 예로는 알루미늄 호일이 있으며 매우 얇아서, 이에 의한 전도의 영향은 무시될 정도이다.

1.3 용량형 단열

일반적으로 모든 건축재료는 열전달을 억제하는 성질과 열전달을 지연시키는 성질을 동시에 가지고 있으며 재료에 따라 한가지 성질이 우수하면 다른 성질은 그렇지 못한 것이 일반적이다. 예를 들어 벽돌이나 콘크리트는 많은 양의 열을 흡수할 수 있으나 열전달을 억제하는 능력은 극히 작으며 반면에 유리 섬유와 같은 단열재는 열전도를 억제하는 능력은 크나 열에너지를 흡수하거나 열전달을 지연시키는 능력은 극히 적다. 따라서 이들 재료들이 복합적으로 구성되는 벽체도 상기 두 가지 성질을 지니면서 그 구성재료 및 방식 등에 따라 성질간의 차이를 나타나게 된다.

벽체에서 이 두 성질 즉, 열전달을 억제하는 성질은 벽체의 단열성능(주로 저항형과 반사형 단열성능)으로 표현되며, 열전달을 지연시키는 성질은 벽체의 축열성능으로 표명되는데, 이 성능은 벽체가 지니는 열용량에 의한 것으로 바로 열전달

을 지연시키는 후자의 성질을 이용한 단열을 유도하는 방법을 용량형 단열이라 한다.

이 같은 열전도율을 측정하는 방법은 표 1과 같이 네 가지 형태가 있다.

본 연구에서는 일반 건축용 수성도료에 각각 다른 첨가물을 첨가하여 단열성에 미치는 효과를 조사하기 위하여 potassium octatitanate ($K_2Ti_8O_{14}$), aluminum oxide(Al_2O_3), aluminum(Al) powder, mica 그리고 무기질 중공체를 첨가하여 가열과 냉각 시스템에서 시편의 도장된 표면과 내부표면 그리고 단열장치 내부의 온도를 측정하여 그 온도차이와 시험도막표면의 가열 또는 냉각속도를 측정하여 단열성을 비교 조사하고, 유기도막의 단열 메카니즘을 규명하고자 하였다.

Table 1. Test methods for the thermal transport properties of insulator ⁶⁾

종류	개요	적용가능한 시험체
평판직접법 (보호열판법)	시험체를 통과하는 열류량을 직접 전기적으로 측정하고, 그때의 시험체 온도차를 측정하여 열전도율을 구하는 방법. 주 열판에서의 발생열량이 1차원으로 시험체를 통과하도록 보호 열판을 갖추고 있다 시험체 1매방식과 2매 방식이 있다.	정사각형 또는 원형의 평판 1변 또는 지름은 200±2mm, 300±2mm, 450±2mm 두께 ⁽¹⁾ 는 80mm 이하
평판비교법	시험체를 표준판에 겹쳐서 각각의 온도차를 측정하고, 그 비를 구하여 열전도율을 구하는 방법. 표준판을 필요로 한다	정사각형의 평판 1변은 200±2mm 두께 ⁽¹⁾ 는 25mm 이하
평판 열류계법	시험체를 통과하는 열류량을 열류계를 사용하여 측정하고, 그 때의 시험체의 온도차를 측정하여 열전도율을 구하는 방법. 시험체와 거의 동등한 치수의 열전도율 교정판을 필요로 한다. 1매의 열류방식과 2매 열류계방식이 있다.	정사각형 또는 원형의 평판 1변 또는 지름은 200±2mm, 300±2mm, 450±2mm 두께 ⁽¹⁾ 는 200mm이하
원통법	시험체를 통과하는 열류량을 직접 전기적으로 측정하고, 그 때의 시험체 온도차를 측정하여 열전도율을 구하는 방법. 이 방법은 외곽 보온판을 필요로 하는 외곽 보정법이라 부르는 원통법의 일종이다.	안지름이 가열판과 일치하는 원통 안지름은 가열판의 호칭방법 ⁽²⁾ 20A, 25A, 50A, 100A 두께 ⁽¹⁾ 는 10~145mm

주⁽¹⁾ 시험체의 두께가 10mm 미만인 것은 겹친다.

⁽²⁾ 호칭방법은 KS D 35014에 따른다.

2. 이론적 배경

2.1 열전달⁴⁾

열은 전도, 대류, 및 복사의 3가지 형식으로 전달이 된다. 모든 열전달은 온도차가 있어야만 가능하며, 열은 높은 온도의 물체로부터 낮은 온도의 물체로 전달이 되는 것이다.

2.1.1 전도

전도(conduction)는 입자간 상호 작용의 결과로써 보다 활동적인 물질의 입자로부터 주변의 활동이 적은 입자로의 에너지 전달이다. 전도는 고체, 액체 또는 기체 내에서 일어날 수 있다. 고체에서의 전도는 격자내의 분자 진동과 자유전자에 의한 에너지 수송에 의해 일어난다.

일정한 두께 Δx 를 통한 열전달을 Q_{cond} 는 두께층이 온도차 ΔT 와 열전달 방향에 수직인 면적 A 에 비례하고 층의 두께에 반비례한다는 것이다. 따라서 다음 식 (1)과 같이 나타낼 수 있다.

$$Q_{\text{cond}} = kA \frac{\Delta T}{\Delta x} \quad (\text{W}) \quad (1)$$

비례상수 k 는 재료의 열전도율로 재료의 열전도 능력을 나타내는 척도이다. $\Delta T \rightarrow 0$ 인 극한적인 경우에는 다음과 같은 미분형태가 되며, 이 식을 열전도에 대한 Fourier 법칙이라고 한다.

$$Q_{\text{cond}} = -kA \frac{dT}{dx} \quad (\text{W}) \quad (2)$$

이 식(2)는 열전달율이 열전도 방향으로 온도 구배에 비례한다는 것을 나타낸다. 열은 온도가 감소하는 방향으로 전도되며, x 가 증가함에 따라 온도가 감소할 때 온도 구배는 음의 값이 된다. 그러므로 식(2)의 온도 부호는 양의 x 방향으로 열전달률이 양의 값이 되도록 하기 위한 것이다.

고체에서의 열전도는 격자내에서 상대적으로 고정된 위치에 있는 분자들의 진동운동으로 발생한 격자 진동과와 고체 내의 자유 전자를 통한 에너지 수송이라는 두 가지 결과 때문에 일어난다. 고체의 열전도율은 격자 성분과 전자 성분의 합이다. 순수 금속의 열전도율은 주로 전자 성분이고, 반면에 비금속의 열전도율은 주로 격자성분에 기인한다. 격자성분의 열전도율은 분자가 배열된 방법에 따라 크게 달라진다.

2.1.2 대류

대류(Convection)란 고체 표면 주위에서 운동중인 액체 또는 기체와 고체 표면 사이의 에너지 전달이며, 전도와 유체 운동효과의 조합이다. 유체운동이 빠를수록 대류 열전달이 크다. 유체 운동이 없는 경우에는 고체 표면과 주위의 유체 사이의 열전달은 순수한 전도이다. 따라서 유체운동은 고체표면과 유체 사이의 열전달을 증진시키지만, 유체운동과 관련한 열전달율을 구하는 것은 상당히 복잡하다.

Fig. 1은 판 위에 차가운 공기를 불어 내어 뜨거운 판을 냉각하는 과정을 생각한다. 처음에는 열은 전도에 의해 표면에 인접한 공기층에 전달된다. 그 다음에 열은 대류에 의해 표면으로부터 전달되어 나간다. 즉 기체분자들의 불규칙 운동에 기인한 공기내부의 복합 전도효과와 판 주위의 가열된 공기를 밀어내어 차가운 공기로 대체시키는 대량의 유체운동 또는 거시적 운동에 의해 열이 전달된다. 송풍기, 펌프 또는 바람 등과 같이 외부 수단에 의해 유체가 관내나 표면 위에서

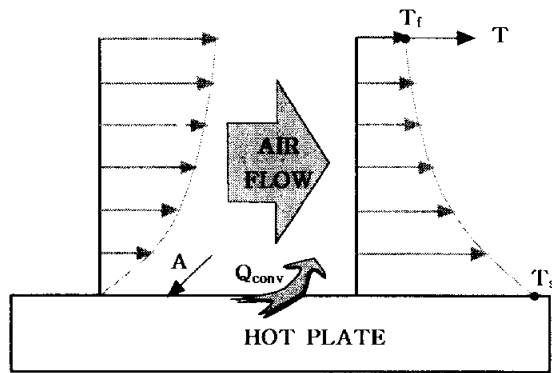


Figure 1. Thermal transfer of the convection on the hot plate.

역지로 유동시키는 경우의 대류를 강제 대류라고 한다. 이에 대하여 유체내의 온도변동에 의한 밀도차 때문에 생긴 부력에 의하여 유체 운동이 일어난 경우의 대류를 자연대류 라고 한다. 만일 공기와 판 사이의 온도차가 공기의 저항을 이겨내고 움직여 자연대류 유동을 일으킬 정도로 충분히 크지 않다면 판과 주위 공기 사이의 열전달은 전도이다.

대류 열전달을 Q_{cond} 는 뉴턴의 냉각법칙으로부터 구해지며 다음 식(3)과 같다.

$$Q_{cond} = hA(T_s - T_f) \text{ (W)} \quad (3)$$

여기서 h 는 대류 열전달계수, A 는 열전달이 일어난 표면적, T_s 는 표면온도, 그리고 T_f 는 표면으로부터 떨어진 유체의 온도이다. 이때 표면에 접한 유체온도는 고체표면의 온도와 같다. 대류 전달계수 h 는 유체의 상태량이 아니고, 실험적으로 구한 계수이다.

2.1.3 복사

복사(Radiation)란 원자나 분자의 전자배열의 변화 때문에 전자기파나 광양자의 형태로 물질로부터 방출되는 에너지이다. 전도나 대류와는 달리 복사에 의한 에너지 전달은 매개 물질을 필요로 하지 않는다. 또한 복사에너지는 광속으로 전달되며, 진공을 통과할 때 에너지가 감소하지 않는다.

열전달 연구에서 열복사는 물체의 온도 때문에 물체로부터 방출되는 복사이다. 이것은 온도와 관계가 없는 X선, 감마선, 극초단파, 라디오파 및 텔레비전파와 같은 전자기 복사와는 다르다. 절대온도 0도 이상의 모든 물체는 복사열을 방출한다.

복사는 체적현상이며 모든 고체, 액체 및 기체가 그 크기는 다르지만 방출하고, 흡수하고 또한 전파한다. 그러나 금속, 나무 및 바위와 같이 고체의 내부에서의 복사는 표면에 도달할 수 없고, 입사된 복사는 표면으로부터 수 마이크로 내에서 흡수가 끝나기 때문에, 이와 같이 열복사가 통과할 수 없는 고체에 대한 열복사는 보통표면 현상으로 생각한다.

절대온도 T_s 로 표면으로부터 방사되는 최대 복사열은 다음과 식(4)와 같이 Stefan-Boltzmann법칙에 의해 주어진다.

$$Q_{emit,max} = \sigma A T_s^4 \text{ (W)} \quad (4)$$

여기서 A 는 표면적이고, $\sigma = 5.614 \times 10^{-8} \text{ W(m}^2 \cdot \text{K}^4)$ 는 Stefan-Boltzmann상수이다. 최대 복사열로 복사하는 이상적인 표면을 흑체라고 하며, 이 흑체에 의해 방사된 복사를 흑체 복사라고 한다. 실제 표면에서의 복사는 동일한 온도에서 흑체에 의한 복사보다 작으며, 다음과 식(5)와 같이 표현할 수 있다.

$$Q_{\text{emit}} = \epsilon \sigma A T_s^4 \text{ (W)} \quad (5)$$

여기서 ϵ 은 표면의 방사율이다. 방사율은 물질의 상태량으로서 $0 \leq \epsilon \leq 1$ 의 범위 값이며, 표면이 $\epsilon=1$ 인 흑체에 얼마나 가까운가에 대한 척도이다.

여러 가지 물질에 대한 방사율 ϵ 는 표 2에 나타내었다.

Table 2. The Emissivity of various materials

Material	Emissivity(ϵ)
Aluminum foil	0.014
Aluminum oxide	0.41 ~ 0.69
Anodized aluminum	0.82
Polished cooper	0.03
Polished gold	0.03
Polished silver	0.02
Polished stainless steel	0.114
black paint	0.98
paint(Aluminum)	0.40 ~ 0.50
white paint	0.90
white paper	0.92 ~ 0.914
Asphalt pavement	0.85 ~ 0.93
Red brick	0.93 ~ 0.96
Human skin	0.95
Wood	0.82 ~ 0.92
Soil	0.82 ~ 0.96
Water	0.93
Vegetation	0.92 ~ 0.96

또 하나의 중요한 표면 복사에 관한 상태량은 흡수율 α 이다. 이것은 표면에 입사한 복사에너지에 대하여 표면이 흡수하는 복사에너지의 비율이다. 방사율과 마찬가지로 흡수율의 값은 $0 \leq \alpha \leq 1$ 의 범위이다. 흑체는 입사한 복사 에너지를 모두 흡수한다. 즉 흑체는 완벽한 방사물질일 뿐만 아니라 $\alpha=1$ 인 완벽한 흡수물질이다.

일반적으로 표면의 ε 과 α 는 온도 및 복사과장에 따라 달라진다. 동일한 온도와 과장에서 표면의 방사율과 흡수율이 같다는 것이 복사에 관한 Kirchoff의 법칙이다. 대부분 실제 적용에서는 온도와 과장에 따른 ε 과 α 의 변화는 무시할 수 있고, 따라서 표면의 평균 방사율은 평균흡수율과 같다고 본다. 단위시간 당 표면이 흡수한 복사에너지는 다음 식(6)과 같이 구해진다.

$$Q_{abc} = \alpha Q_{inc} (W) \quad (6)$$

여기서 Q_{inc} 는 표면에 입사한 에너지율이고, α 는 표면의 흡수율이다. 불투명한 표면의 경우, 입사한 복사에너지 중에서 표면에 의해 흡수되지 않는 부분은 다시 반사된다.

표면에 의해 방사된 복사율과 흡수율 사이의 차이가 정미 복사 열전달이다. 흡수 복사율이 방사복사율 보다 크면, 이 표면은 복사에 의해 에너지를 얻는다고 하고, 반대의 경우에는 복사에 의해 에너지를 잃는다고 한다. 그러나 Fig. 2와 같이 절대온도 T_{surr} 인 매우 큰 면으로 완전히 둘러싸여 있고, 두 표면사이에는 공기가 들어 있어서 복사를 방해하지 않는 특별한 경우에는 두 면사이의 정미 복사 열전달율은 다음 식(14)과 같이 결정된다.

$$Q_{rad} = \varepsilon \sigma A(T_s^4 - T_{surr}^4) (W) \quad (14)$$

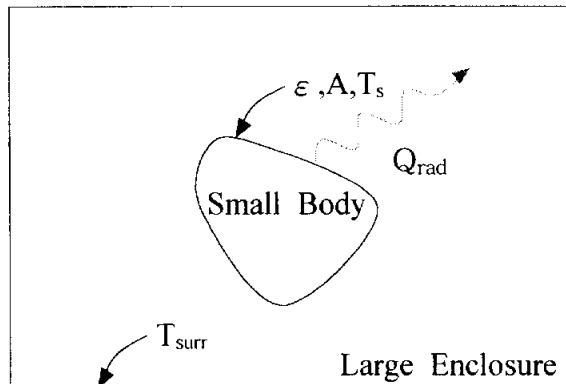


Figure 2. Thermal transfer by the radiation between the internal surface of material.

2.2 흡수율의 측정⁷⁾

2.2.1 흡수율

흡수율 시험은 건조 전 무게(M_1)인 시험편을 온도 $40 \pm 2^\circ\text{C}$ 로 조정된 건조기 속에서 일정량이 될 때까지 건조시킨다. 건조 후 무게(M_0)를 0.1mg의 정밀도로 측정하여 다음 식(8)에 따라 구한다.

$$\text{흡수율(\%)} = \frac{M_1 - M_0}{M_0} \times 100 \quad (8)$$

2.2.2 표면흡수량시험

시험편을 흡수율 측정과 같은 방법으로 건조하였을 때 무게(M_0)를 0.1mg의 정밀도로 측정한다. 다음에 Fig. 3과 같이 표면이 위로 오도록 하여 수평으로 유지하고 그 윗면에 안지름 약 60mm 유리관 또는 금속관에 높이 50mm가 되도록 $20 \pm 3^\circ\text{C}$ 의 물을 넣고 그 상태에서 그대로 2시간을 놓아둔다. 2시간 경과 후 유리관

또는 금속관 안에 물을 찰 형식으로 시험편에 묻어 있는 수분을 닦아내고 시험편의 무게(M_3)를 0.1mg의 정밀도로 측정한다. 표면흡수량은 다음 식(9)에 따라 구한다.

$$\text{표면흡수량(g)} = M_3 - M_0 \quad (9)$$

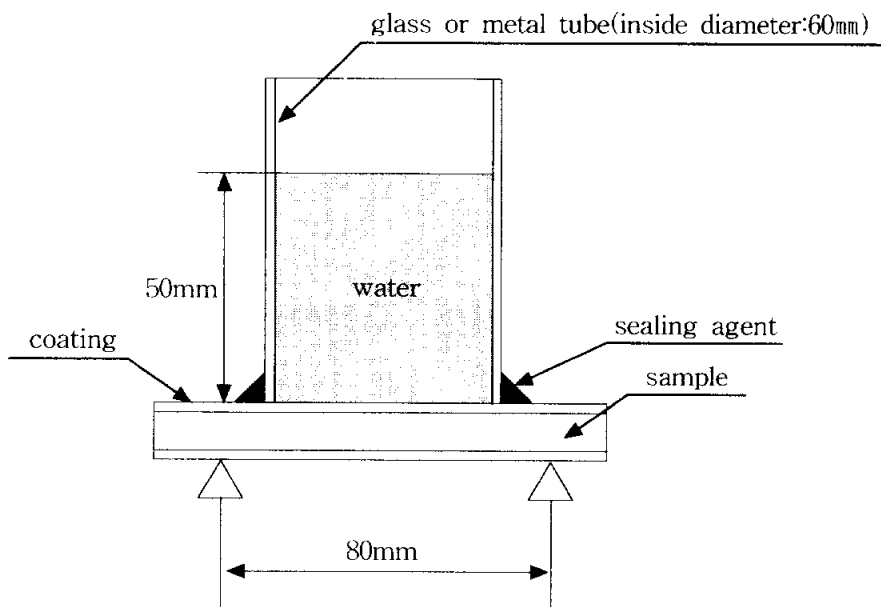


Figure 3. Experimental apparatus for measuring the water absorption rate.

3. 실험방법

3.1 사용재료

본 실험에서는 도막의 단열성능을 측정하기 위하여 내부건축용 수성에멀전도료(신동페인트, WB paint)를 사용하였고, 시편으로는 PCM 도료 시험용 시편을 사용하였다.

단열성능을 평가하기 위한 첨가물로는 Potassium Octatitanate($K_2Ti_8O_{17}$) (Otsuka Chemical, (Japan)), Aluminum Oxide(Al_2O_3) (Junsei Chemical, (Japan)), Mica((주)서경, Korea), Aluminum(Al) powder(Japan)를 사용하였고, 중공체로는 무기실리케이트 중공체(3M)와 cell 701(micro sphere, (주)서경, Korea)을 사용하였다. 표 3과 같은 조성으로 cell 701 중공체를 포함한 단열도료(선진테크, AD paint)를 제조하고, 다른 첨가제와 중공체를 추가한 도료를 제조하여 첨가제와 중공체가 미치는 단열성능을 수성에멀전도료와 같은 방법으로 측정하였다.

Fig. 4는 첨가제로 사용된 $K_2Ti_8O_{17}$, Al_2O_3 , Mica, Al powder, 3M cell, cell 701의 SEM 사진으로, 첨가제의 각각 다른 형상의 차이를 확인할 수 있다. Fig. 4(a)의 $K_2Ti_8O_{17}$ 는 티탄산 알칼리로 표시되는 공지화합물 중의 하나이며, 터널구조로 되어있다. 입상 또는 섬유상 미세 결정의 형태로 되어 있고, 이는 비열이 높으므로 단열효과가 기여된다.⁹⁾ (b)는 Al_2O_3 로 모두 무색 또는 백색이며 물에는 녹지 않으나,¹⁰⁾ 단위 질량 당 표면적($100\sim400m^2/g$)이 매우 크고, 열전도도는 $36.0\sim46.0 W/m \cdot K$ 이며, 방사율은 $0.41\sim0.69$ 이다.⁴⁾ (c)는 주성분이 Aluminum silicate 복합물인 Mica의 불규칙한 입자이다.¹¹⁾ (d)는 판상의 Al powder 입자이다. (e)는 무기실리케이트 중공체인 3M cell로써 입자의 속이 비어져있는 것을 볼 수 있다.

(f) 무기실리케이트 cell 701은 3M cell과 달리 격막을 가진 다공체로 이루어져있다.

Table 3. Recipe of the adiabatic paint⁸⁾

Material	Composition ratio (unit:weight%)
Emulsion resin	35
Pigment	5
Leveling agent	0.3
Defoamer	0.3
Dispersing agent	0.5
Thickening agent	2
Inorganic silicate void	10
Mica	30
Antifreezing agent	1.5
Antiseptic	0.2
pH control agent	0.2
Solvent	5
Water	10
Total	100

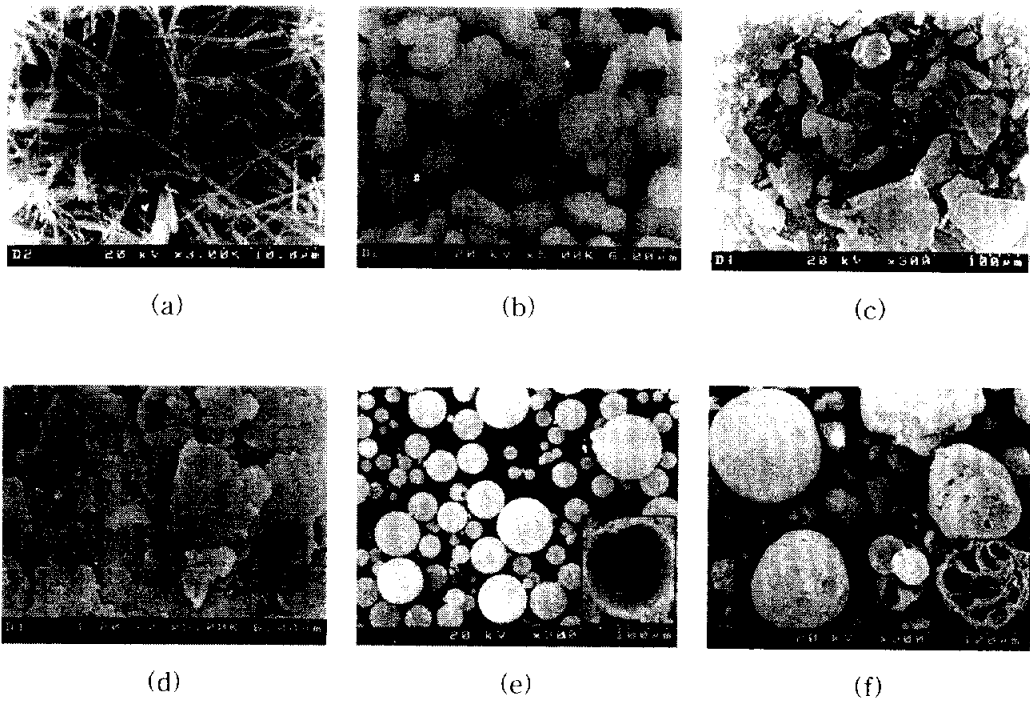


Figure 4. SEM micrography of additive materials; (a) $K_2Ti_8O_{17}$, (b) Al_2O_3 , (c) Mica, (d) Al powder, (e) 3M cell, (f) cell 701.

3.2 시편제작

PCM 시편에 첨가물의 양을 전체 수성도료의 3%로 하여 도료를 제조하고, Fig. 5와 같이 도장이 되어 있지 않은 면에 도장하였다. 도료의 도장은 붓으로 도장하였으며, 도막의 두께가 $1000 \sim 1200 \mu m$ 정도가 얻어질 때까지 $70^\circ C$ 에서 2시간동안 강제 건조하면서 중복 도장하였다. 건조 후 도막두께는 도막두께측정기 (MEGA-CHECK 5FN-ST, Germany)로 측정을 하였다.

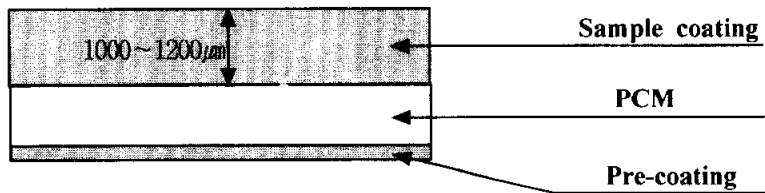


Figure 5. The sample sheet for measuring temperature.

3.3 온도측정방법

3.3.1 다점온도측정기

Fig. 6의 다점온도측정기(C8600 TEMPSCAN, COMARK, UK)는 본체와 1개의 Module, 3개의 magnetic temperature sensor, 그리고 1개의 K type temperature sensor로 구성되어 있다.

PC와 다점온도측정기를 연결하고, 호환이 가능한 프린터(HP 500K)를 설치하였다. 다점온도측정기 Module(4개의 channel을 가지는 K type module)의 A, B, C channel에 각각 Magnetic temperature sensor를 설치하여 각각 시편의 도막온도, 내부 표면 온도, 단열장치 내부의 공간온도를 측정하고, D channel에는 1개의 K type sensor를 설치하여 실내온도를 측정하였다.

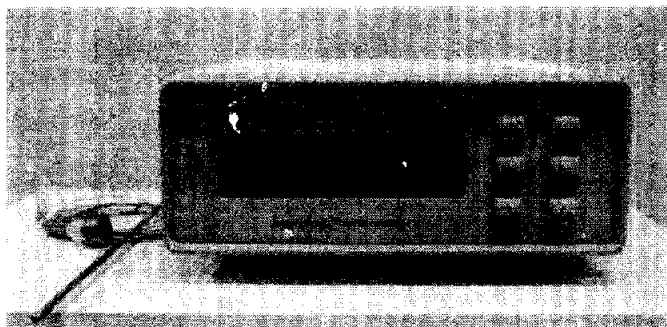


Figure 6. C8600 multithermometer.

3.3.2 Heating과 cooling system을 이용한 표면온도 측정

본 연구에서는 heating system과 cooling system에 다점온도측정기(C8600 TEMPSCAN, COMARK, UK)를 이용하여 단열 성능을 측정하였다.

Heating system에서는 Fig. 7과 같이 단열도료가 입혀진 표면(probe A)과 내부 표면(probe B) 그리고 단열장치 내부의 분위기 온도를 보기 위한 센서(probe C)를 부착하였다. 시편을 단열장치에 설치한 후, 적외선 등을 시편에 적당한 온도(약 $65^{\circ}\text{C} \sim 70^{\circ}\text{C}$)로 올라갈 수 있는 위치에 설치하고 다점온도측정기를 작동시킴과 동시에 시편에 적외선을 비춘다. 장치가 작동된 후에는 1분마다 온도를 측정한다. 3개 probe의 온도가 일정한 값에 도달할 때까지 실시하였다.

또한 cooling system에서는 Fig. 8과 같이 시편의 도막 표면(probe A)과 내부 표면(probe B) 그리고 단열장치 내부의 분위기온도를 보기 위한 센서(probe C)를 부착하였다. 저온항온조의 온도를 상온과 일치하게 설정을 하고, 시편을 단열장치에 설치한 후, 저온항온조의 온도를 -25°C 까지 낮춘다. 그리고 장치가 작동된 후에는 1분마다 온도를 측정하였다. 3개 probe의 온도가 더 이상 내려가지 않고 일정한 값에 이를 때까지 실시하였다.

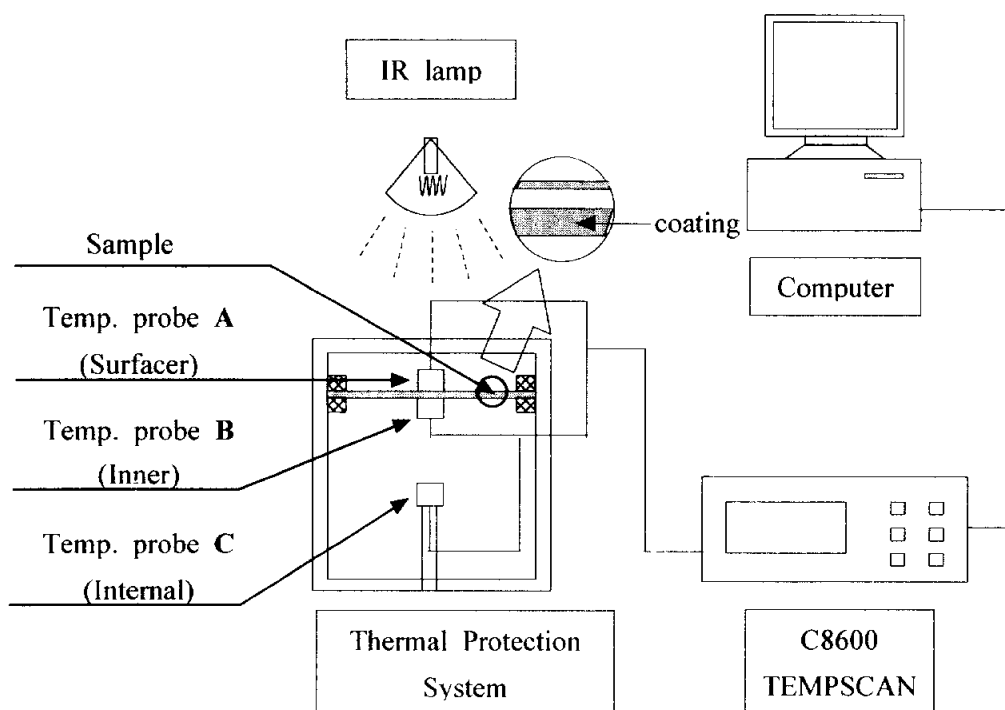


Figure 7. Experimental apparatus of the heating system.

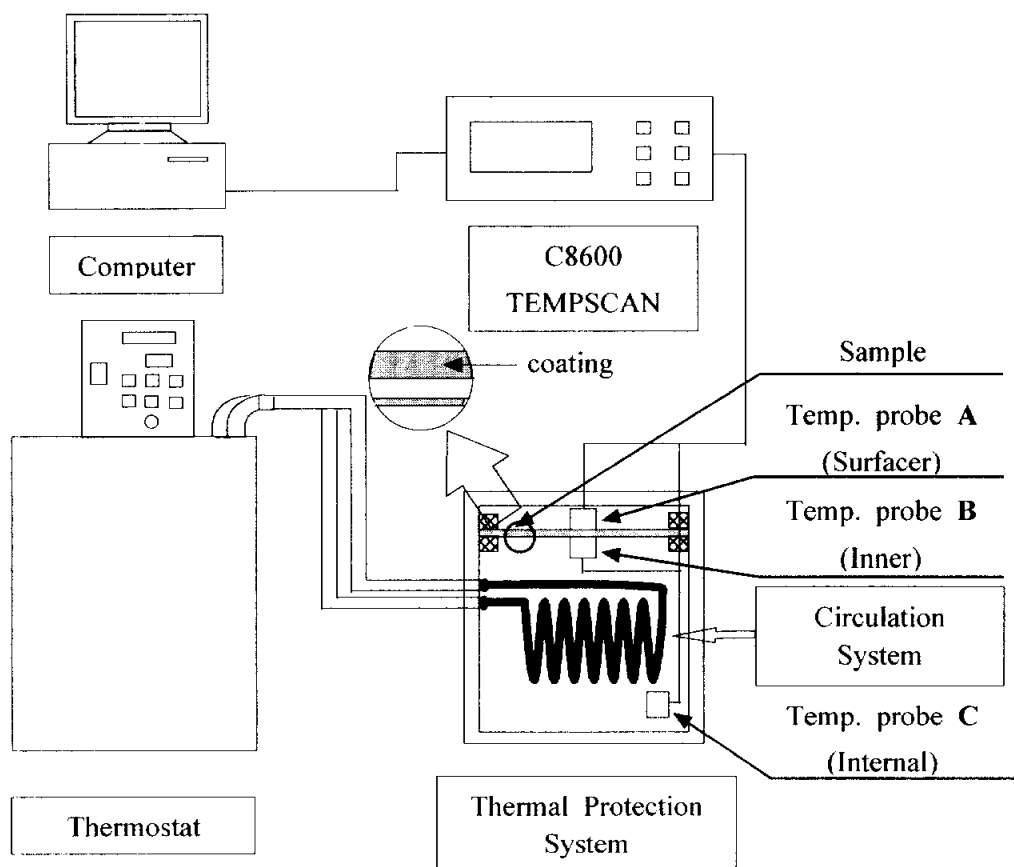


Figure 8. Experimental apparatus of the cooling system.

3.4 분석기기

본 실험에서는 도막형성분석을 위해서 SEM(S-2400, HITACHI Ltd., Japan)을 이용하여, 첨가제의 형상과 각 도료조성비에 따른 도막의 첨가물의 배열 및 도막의 형상을 관찰하였다. 그리고 도막의 특성분석을 위하여 DSC(Pyris 1, Perkin-Elmer, U.S.A.)를 측정하였고, DSC는 측정 온도 내에서 도막의 열용량을 측정하였다.^{12,13)}

4. 결과 및 고찰

4.1 Heating system에서의 단열효과 측정

4.1.1 수성도료와 단열도료의 단열효과

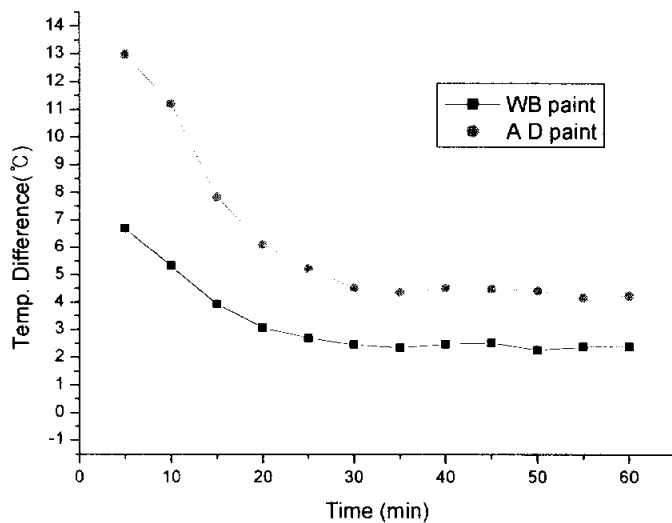


Figure 9. Time dependence of the temperature difference between surface temperature and inner temperature during heating.

Fig. 9는 수성도료와 단열도료의 도막표면과 내부표면의 온도차를 나타낸 그래프이다. 이 두 도막의 가장 큰 차이점은 속이 빈 cell(중공체)을 가지고 있느냐 없느냐는 것이다. 이 cell의 유무에 따라 가열 후 5분에서 수성도료와 단열도료의 온도차이에서 단열도료의 온도차이가 큼을 볼 수가 있다.¹⁴⁾ 여기서의 온도차이는 적외선 등에서 보내지는 열이 도막에 도달하여 도막을 통과하는 속도 즉 전도에 의해 차이가 난다. 단열도료에 있는 중공체가 열이 지나가는 속도를 늦추어 온도

차이가 나게 하는 것이다. 또한 일정한 시간이 지나 평행에 도달한 후에도 수성도료보다 약 2℃정도 더 큰 온도차이를 나타냄을 볼 수가 있다.

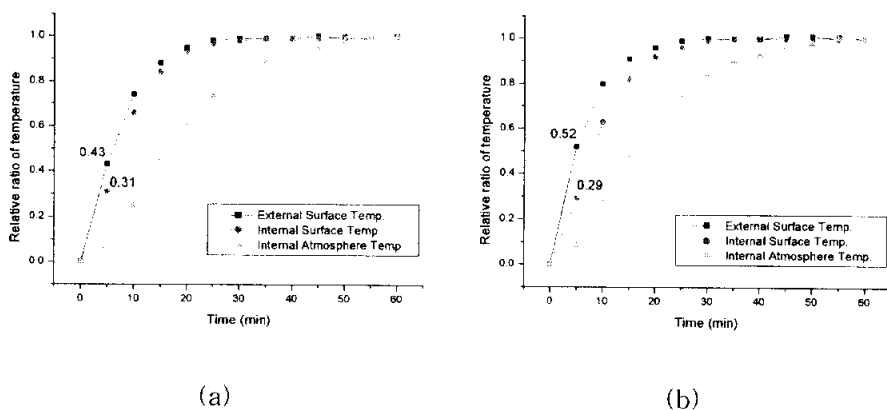


Figure 10. Time dependence of the relative ratio of surface temperature during heating; (a) water borne paint, (b) adiabatic paint.

Fig. 10은 도막 각 부분의 온도 상승비를 나타낸 그래프이다. 도막 표면과 내부 표면의 온도상승비의 차이를 보여주고 있다. Fig. 9의 결과와 같이 단열도료 도막이 온도상승비의 차이가 0.23으로 수성도료 도막의 0.12보다도 더 크다. 도막 표면의 온도가 모두 같을 때, 단열도료 도막의 표면온도가 수성도료 도막의 표면보다 빨리 상승하지만 내부 온도의 상승속도는 더 느리다는 것을 알 수 있다.

4.1.2. 수성도료에 첨가물을 가한 도료의 단열효과

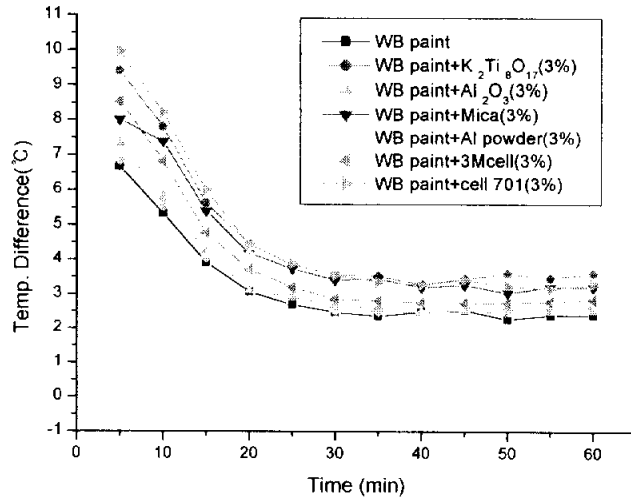
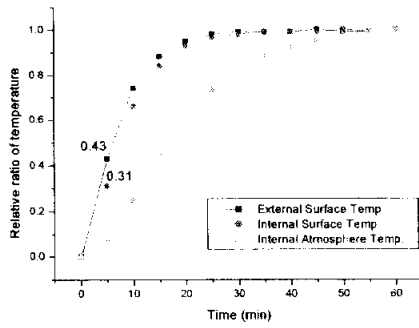
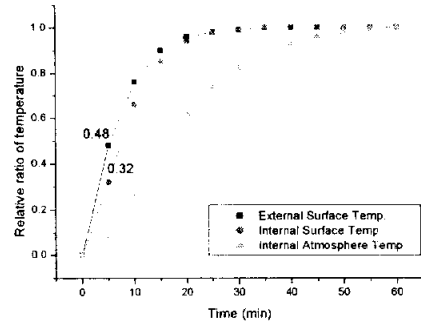


Figure 11. Time dependence of the temperature difference between surface temperature and inner temperature during heating for the water borne coating

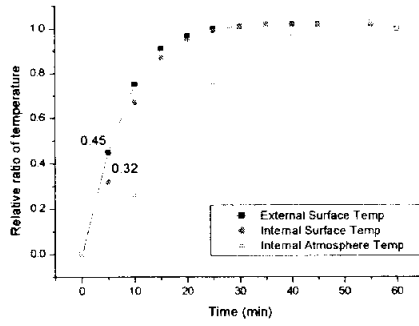
Fig. 11에서는 시간 변화에 따른 도막 표면의 온도와 도막의 반대방향의 온도차를 나타낸 것이다. 그래프에서 보듯이 수성도료에 각종 첨가물을 무게비 3%로 첨가한 도막에서는 cell 701, 3M cell과 $K_2Ti_8O_{17}$ 을 넣은 도막에서 큰 온도차이를 보였다. 이것은 도막의 열전도율의 차이에 의한 것으로 도막에 도달하는 열은 모두가 같지만 그 열을 내부로 전달하는 차이 때문에, 열전도율이 낮은 물질을 함유한 도막이 열이동 거리가 길어져 온도차이가 큰 것을 알 수가 있다. 수성도료 도막에서는 $2.38^{\circ}C$ 정도였던 도막표면의 온도와 반대방향의 온도차가 $K_2Ti_8O_{17}$ (3%)를 넣은 도막에서는 $3.59^{\circ}C$, cell 701을 첨가한 도막에서는 $3.29^{\circ}C$, 3M cell을 첨가한 도막에서는 $2.84^{\circ}C$ 로 일반 수성도료 도막에 이 같은 물질을 첨가함으로써 단열효과를 나타냄을 알 수 있었다.



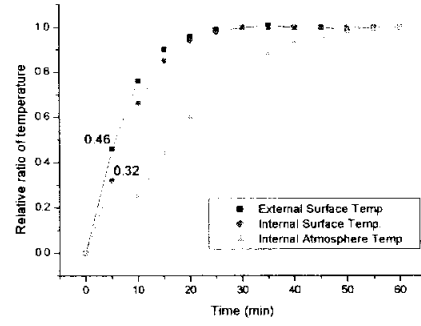
(a)



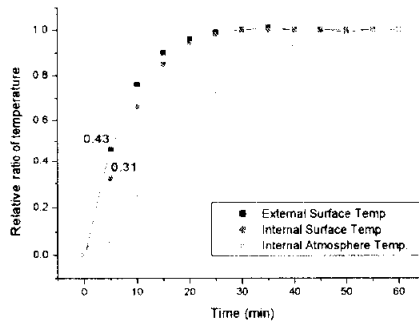
(b)



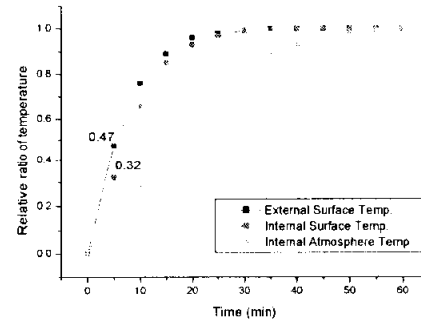
(c)



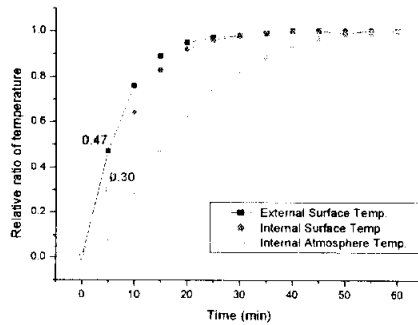
(d)



(e)



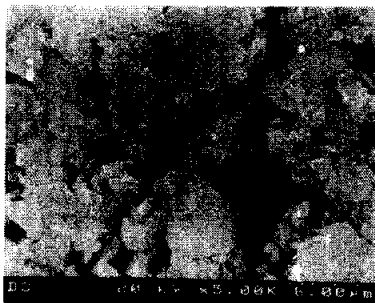
(f)



(g)

Figure 12. Time dependence of the relative ratio of surface temperature for the water borne paint; (a) none, (b) $K_2Ti_8O_{17}$ (3%), (c) Al_2O_3 (3%), (d) Mica(3%), (e) Al powder (3%), (f) 3M cell(3%), (g) cell 701(3%).

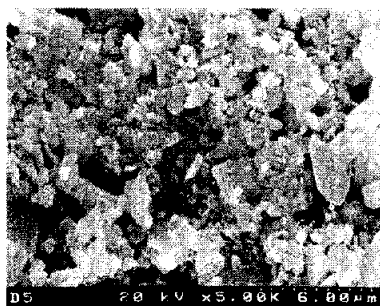
Fig. 12는 각 수성도료도막의 온도 상승비를 나타낸 그래프이다. 수성도료에서 5분 후에 도막 표면과 내부 표면의 온도 상승비의 차이가 0.12인데 반하여 $K_2Ti_8O_{17}$ 을 첨가한 도막과 3M cell을 첨가한 도막은 각각 0.16, 0.15이고, cell 701을 첨가한 도막은 0.17의 차이를 보였다. 그리고 일정시간이 지난 후의 단열효과도 $K_2Ti_8O_{17}$, 3M cell, cell 701을 첨가한 도막에서 좋은 결과를 얻을 수 있었다.



(a)



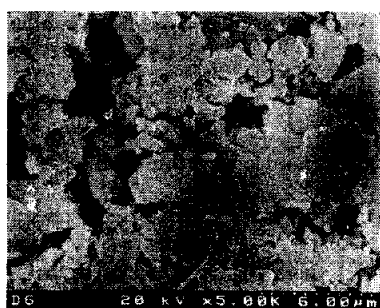
(b)



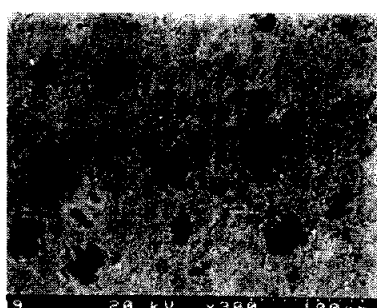
(c)



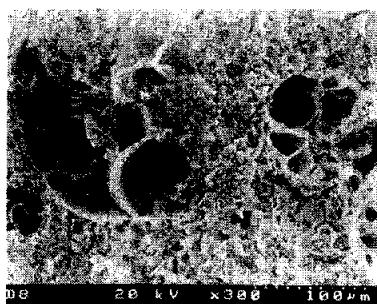
(d)



(e)



(f)



(g)

Figure 13. SEM micrography of the water borne paint including various additives; (a)none, (b) $K_2Ti_8O_{17}$ (3%), (c) Al_2O_3 (3%), (d) Mica(3%), (e) Al powder (3%), (f) 3M cell(3%), (g) cell 701(3%).

Fig. 13은 수성도료와 첨가물인 $K_2Ti_8O_{17}$, Al_2O_3 , Mica, Al powder, 3M cell, cell 701을 첨가한 수성도료도막의 단면 SEM사진이다. 수성도료도막과 비교하여 (b), (c), (d), (e)는 첨가된 입자들이 도막에 나타나 있고, 특히 $K_2Ti_8O_{17}$ 의 경우 다른 것에 비해 도막 내에 공간이 매우 많이 형성되어 있음을 알 수 있다. (d)의 Mica는 기공이 거의 나타나지 않고, 이는 다른 안료와 비슷한 형상을 가지고 있기 때문인 것으로 보인다. (e)도 Al powder가 도막 표면에 나타나 있다. (f)와 (g)는 다른 도막 단면 사진이 5000배인 것과 비해 300배로 관찰한 것으로 중공체 cell의 모양이 보이고, 이와 같이 도막의 기공이 Fig. 13에서 본 것처럼 단열에 열 이동의 거리를 증가시키는 역할을 할 것으로 생각된다.

4.1.3 단열도료에 첨가물을 가한 도료의 단열효과

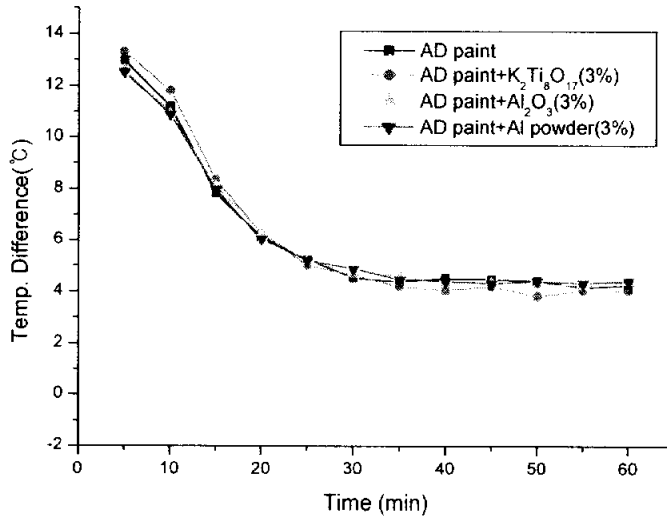
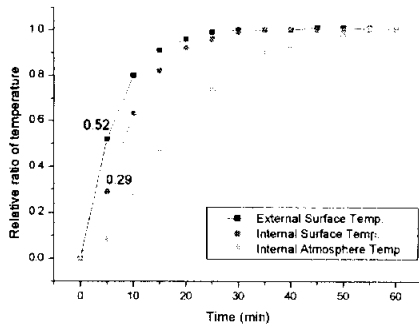
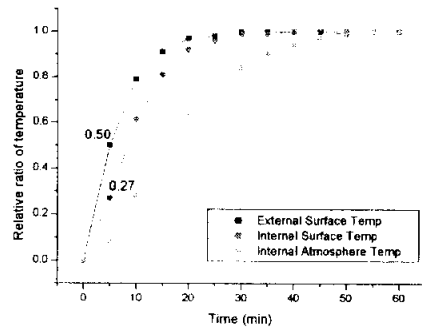


Figure 14. Time dependence of the temperature difference between surface temperature and inner temperature during heating for the adiabatic paint.

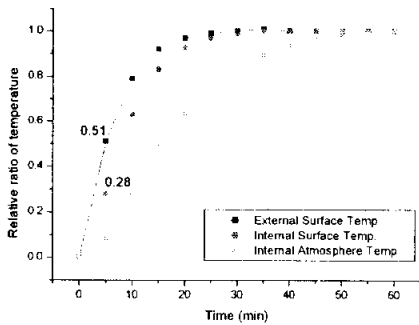
Fig. 14는 도막표면의 온도와 내부표면의 온도의 차이를 보여주는 그래프로 4가지 도막의 온도차이가 뚜렷하게 나타나지 않으므로 단열도료의 중공체가 단열의 주 역할을 함을 알 수 있으나 $K_2Ti_8O_{17}(3\%)$ 를 넣은 단열도료도막의 온도차이가 다른 것에 비해 조금 큰 편이고, 가열초기에는 거의 차이가 나지 않지만 20~25분 후부터는 다른 도막에 비해서 $K_2Ti_8O_{17}(3\%)$ 의 열용량이 커 들어있는 도막의 도막표면과 내부표면의 온도차이가 5분에서는 다른 도막에 비해 온도차이가 컸지만 40분 후에는 단열도료는 $4.51^{\circ}C$, $K_2Ti_8O_{17}(3\%)$ $4.04^{\circ}C$, $Al_2O_3(3\%)$ $4.31^{\circ}C$, Al powder(3%) $4.40^{\circ}C$ 의 온도 차이를 보여 다른 도막에 비하여 오히려 온도차이가 더 적은 것을 알 수 있었다. 이것은 $K_2Ti_8O_{17}$ 가 단열장치내부의 열이 외부로 나가는 것을 다른 도막에 비하여 많이 차단할 하기 때문에 시간이 지날수록 두 표면의 온도차이가 줄어들음을 보여준다.



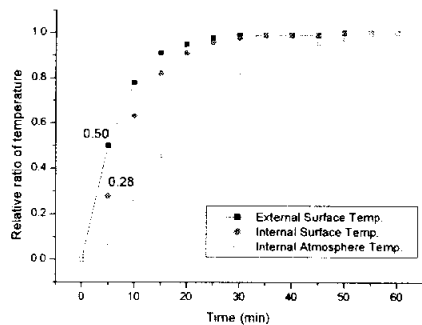
(a)



(b)



(c)



(d)

Figure 15. Time dependence of the relative ratio of surface temperature for the adiabatic paint; (a) none, (b) $K_2Ti_8O_{17}(3\%)$, (c) $Al_2O_3(3\%)$, (d) Al powder(3%).

Fig. 15는 4가지의 단열도료도막의 표면온도, 반대방향의 내부온도와 내부분위기 온도상승비를 나타낸 그래프이다. 여기서 도막의 표면온도와 내부표면온도의 상승비의 차이는 각각 0.23, 0.23, 0.23, 0.22로 거의 비슷하다. 따라서 첨가물이 초기의 온도상승비에는 거의 영향을 주지 않고 단열은 주로 중공체에 의해 이루어짐을 알 수 있었다.

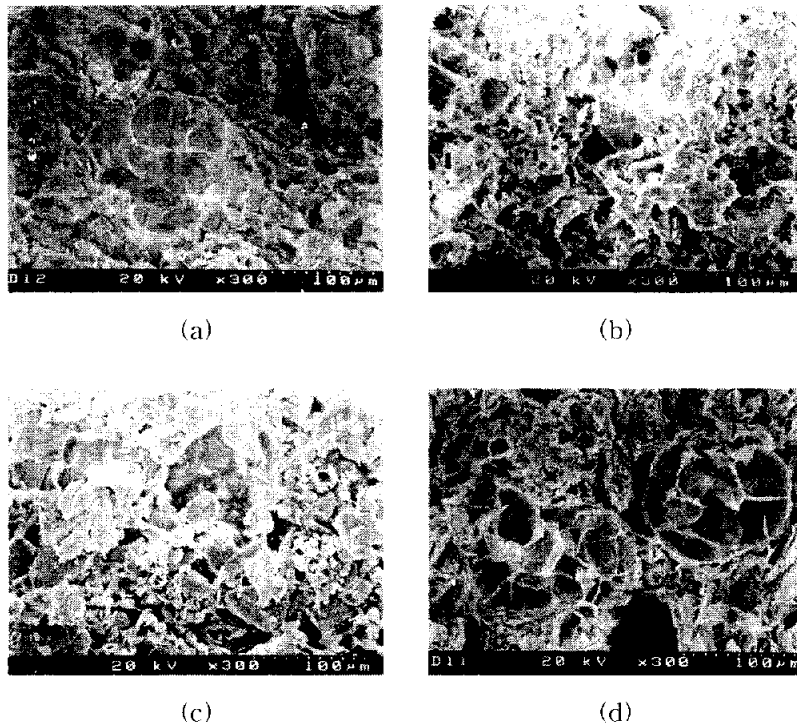


Figure 16. SEM micrography of the adiabatic paint including various additives; (a) none, (b) $K_2Ti_8O_{17}(3\%)$, (c) $Al_2O_3(3\%)$, (d) Al powder(3%).

Fig. 16은 단열도료에 첨가물을 추가 첨가한 도막의 SEM 사진으로 각 사진마다 cell 701이 보이고 있으며 각 도막에 첨가되어 있는 첨가물의 입자도 보이고 있다. 사진에서 보이는 cell 701은 이 도막의 가장 큰 특징이며, 각 도막 (b), (c), (d)에 첨가되어 있는 첨가물인 $K_2Ti_8O_{17}(3\%)$, $Al_2O_3(3\%)$, Al powder(3%)가 첨가되는 양과 물리적 성질에 따라서 영향을 주고 있다. 단열도료도막은 cell 701이 많은 기공을 가지고 있을 뿐만 아니라, 도막 자체에도 많은 공극을 가지고 있어 그 효과를 더하고 있다.

4.1.4 첨가제 농도에 따른 단열성능 비교

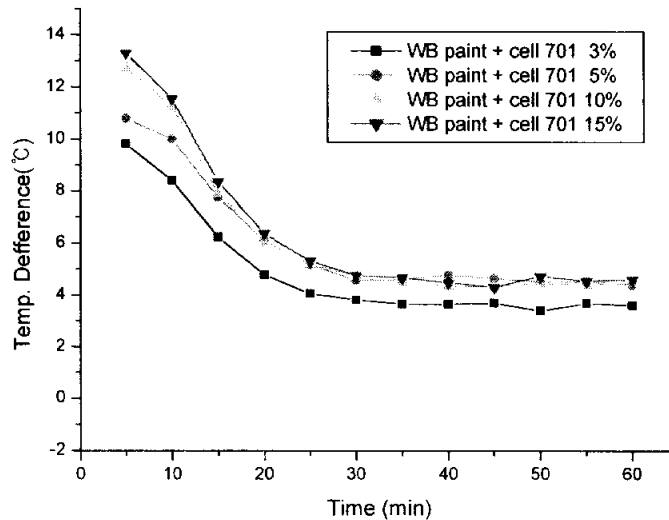
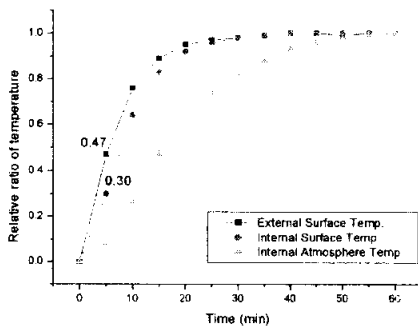
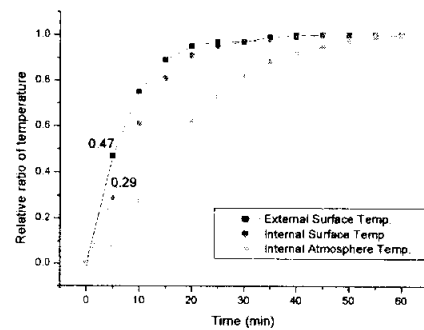


Figure 17. Time dependence of the temperature difference between surface temperature and inner temperature during heating by changing cell 701 concentration (3%, 5%, 10%, 15%) for the water borne paint.

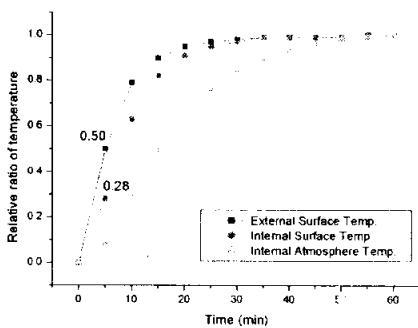
Fig. 17은 cell 701이 농도변화에 따른 도막표면과 내부표면의 온도차를 나타낸 것이다. 그래프에서 보는 것과 같이 농도가 진할수록 온도차이가 커짐을 알 수 있다. 3%, 5% 10%에서는 거의 농도의 증가에 비례해 차이가 커졌지만, 10%와 15%에서는 온도차이가 그렇게 크지가 않다. 농도가 진할수록 단열 효과는 좋을 지라도 도막에 공극이 너무 많이 생성되어 도막의 치밀도가 낮아져 외기에 의한 열손실 효과가 나타나고 따라서 온도차이가 크게 나지 않는 것으로 생각된다.



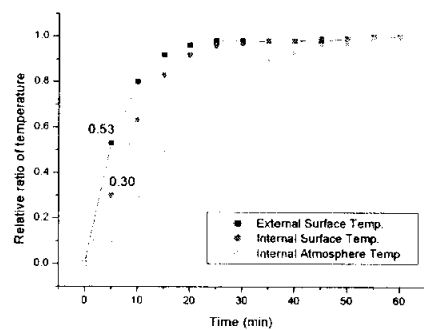
(a)



(b)



(c)



(d)

Figure 18. Time dependence of the relative ratio of surface temperature during heating by changing the cell 701 concentration for the water borne paint; (a) 3%, (b) 5%, (c) 10%, (d) 15%.

Fig. 18은 cell 701의 농도비에 따른 도막의 온도증가비를 나타낸 그래프이다. (a) 3%에서는 도막 표면의 온도증가비와 내부표면의 증가비의 차이가 0.47과 0.30으로 차이가 0.17, (b) 5%는 0.18, (c) 10%는 0.22, (d) 15%는 0.23의 차이를 보이고 있다. 따라서 중공체의 농도가 증가할수록 단열의 효과는 더 커짐을 알 수 있었다.

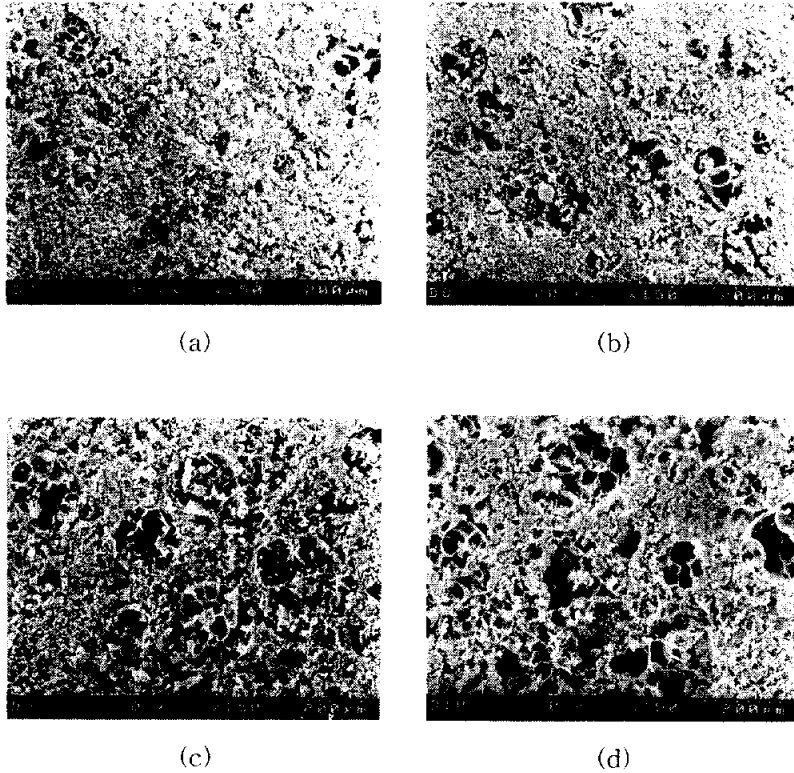


Figure 19. SEM micrography by charging cell 701 concentration; (a) 3%, (b) 5%, (c) 10%, (d) 15%.

Fig. 19는 cell 701의 농도 변화에 따른 도막의 단면 사진이다. (a)에서 (d)로 점도 농도가 진할수록 cell 701의 다공체가 많이 나타난다. cell이 많이 보이면서 도막에 공극도 함께 증가하고 도막을 통한 열전도는 상당한 방해받을 것으로 생각된다.

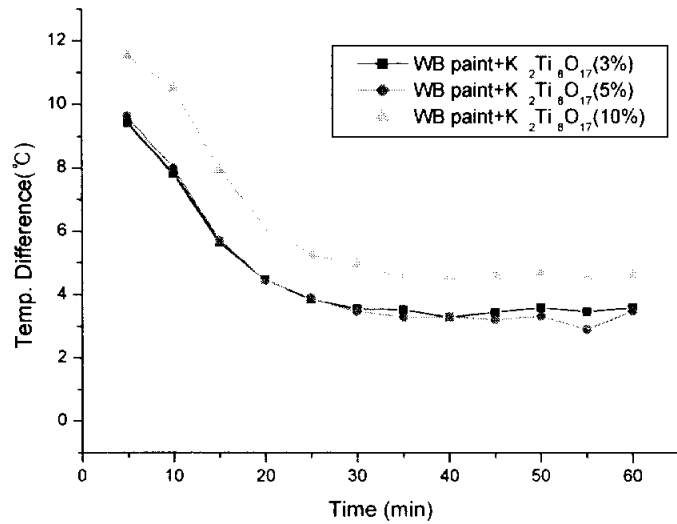


Figure 20. Time dependence of the temperature difference between surface temperature and inner temperature during heating by changing $K_2Ti_8O_{17}$ concentration (3%, 5%, 10%) for the water borne paint.

Fig. 20은 $K_2Ti_8O_{17}$ 의 농도 변화에 따른 도막표면과 내부표면의 온도차를 나타낸 그래프이다. 그래프에서 보듯이 수성도료보다는 온도차이가 크나 첨가량이 3%, 5%,에서는 거의 비슷하나 10%로 농도가 증가하면서 온도차가 커짐을 알 수 있다.

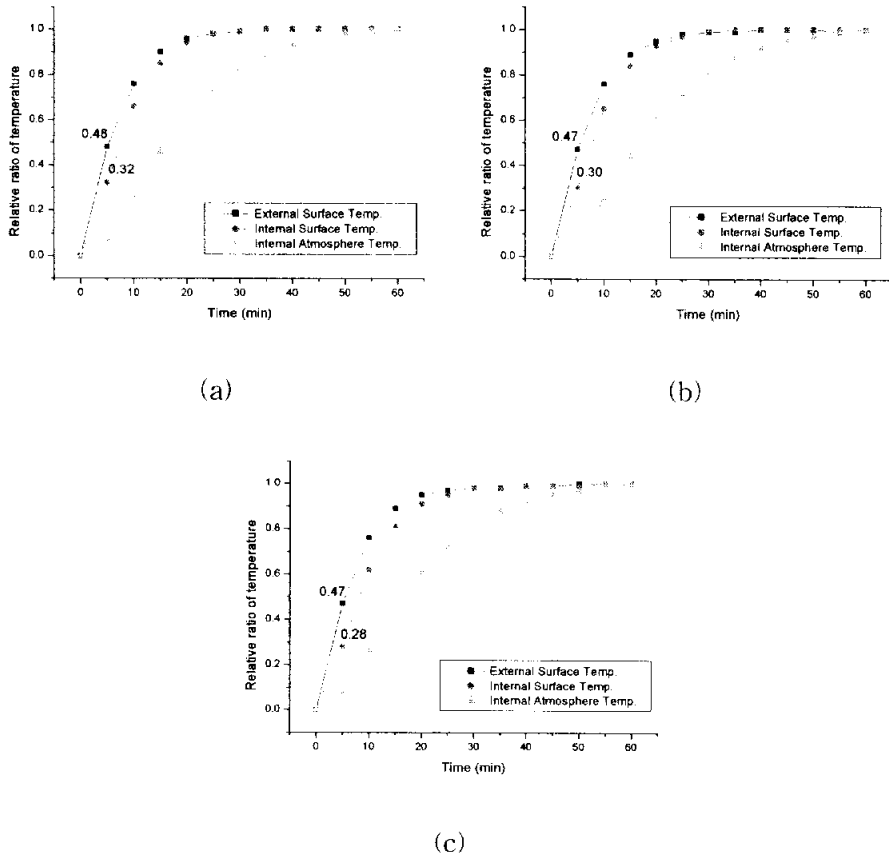


Figure 21. Time dependence of the relative ratio of surface temperature during heating by changing $K_2Ti_8O_{17}$ concentration for the water borne paint; (a) 3%, (b) 5%, (c) 10%.

Fig. 21은 $K_2Ti_8O_7$ 의 농도 변화에 따른 온도증가비를 나타낸 그래프이다. (a)는 도막표면의 온도증가비와 내부표면의 온도증가비 차이가 0.16, (b) 0.17 (c)는 0.19로 온도증가비는 크게 차이가 나타나지 않지만 온도가 증가할수록 온도증가비의 차이가 증가함을 볼 수 있으나, 중공체 첨가에 비해서는 낮은 농도에서 효과가 크지 않으므로 공극 증가에 의한 단열효과보다는 열용량에 의한 열저장 효과가 주요 단열방법일 것으로 생각된다.

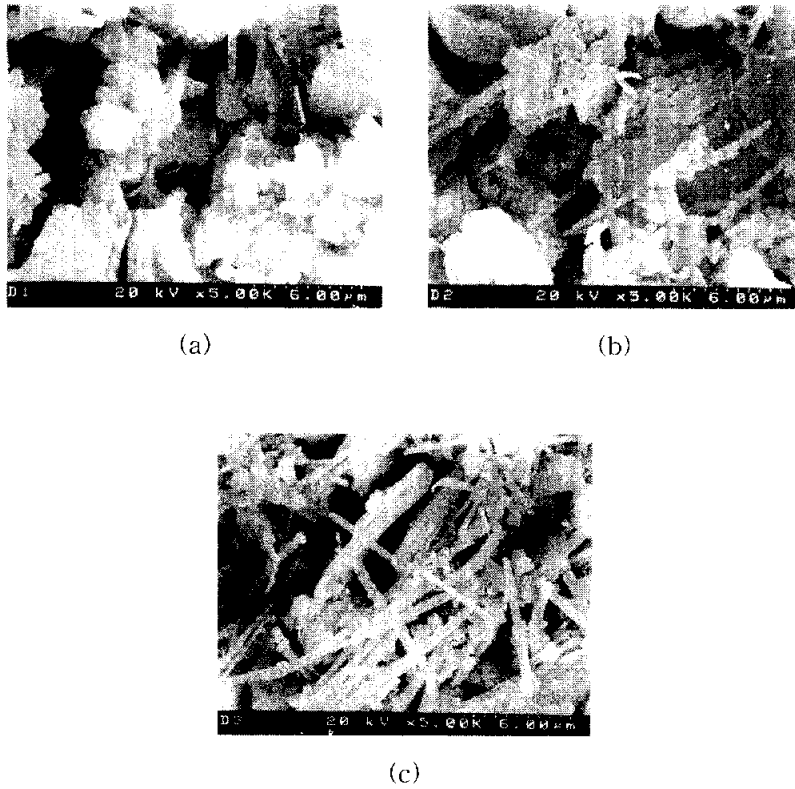


Figure 22. SEM micrography by changing $K_2Ti_8O_{17}$ concentration; (a) 3%, (b) 5%, (c) 10%.

Fig. 22는 $K_2Ti_8O_{17}$ 의 농도에 따른 도막의 사진을 보여주는 것으로 농도가 짙어 질수록 침상의 $K_2Ti_8O_{17}$ 입자가 많이 보이고 있다. 또한 도막사이의 공극이 (c)에서와 같이 커지면 단열효과도 증가함을 알 수 있다. $K_2Ti_8O_{17}$ 의 낮은 열전도성과 도막 사이의 공극이 단열성능을 높여주는 역할을 하였다.

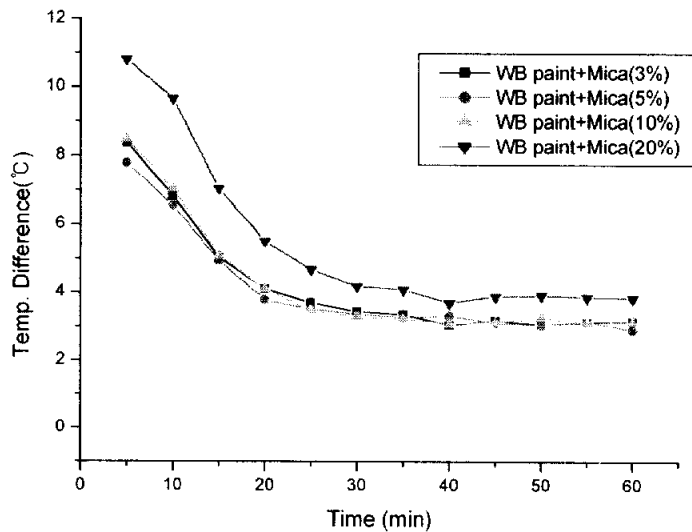


Figure 23. Time dependence of the temperature difference during heating between surface temperature and inner temperature by changing Mica concentration (3%, 5%, 10%, 20%) for the water borne paint.

Fig. 23은 Mica의 농도 변화에 따른 도막표면과 내부표면의 온도차이를 보여주는 그래프이다. 그래프에서 보듯이 Mica 첨가량이 3%, 5%, 10%에서는 수성도료와 거의 비슷하고 각 도료간의 온도차이도 거의 보이지 않았고, 20%정도의 양이 첨가 된 도막에서 온도차이가 발생하는 것을 알 수가 있다.

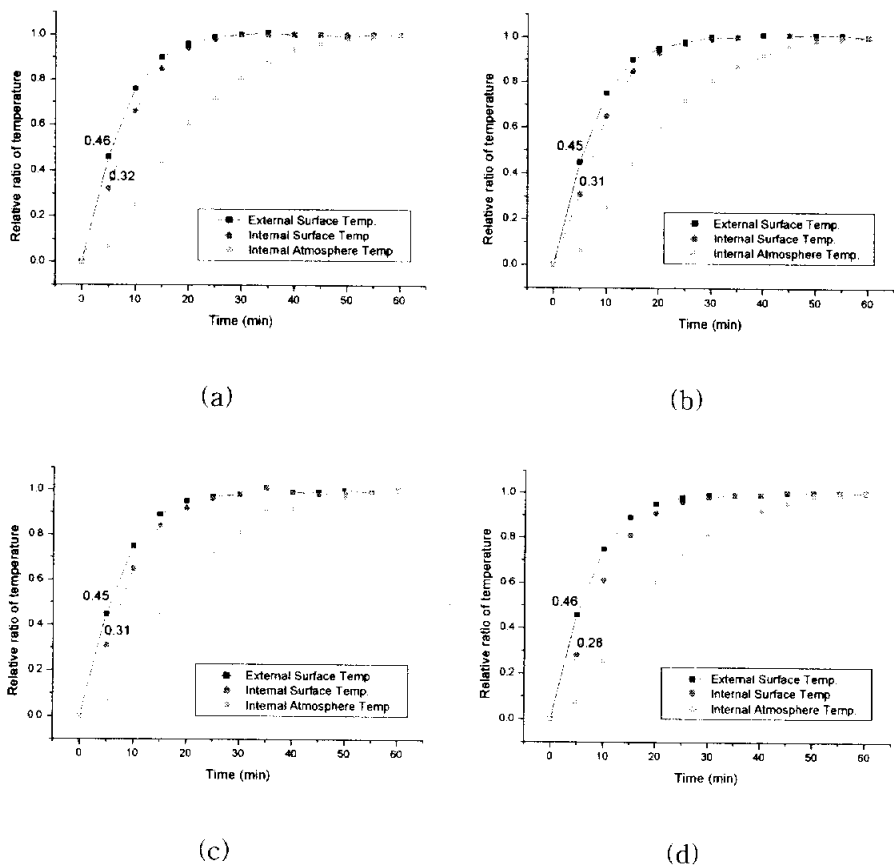


Figure 24. Time dependence of the relative ratio of surface temperature during heating by changing Mica concentration for the water borne paint; (a) 3%, (b) 5%, (c) 10%, (d) 20%.

Fig. 24에서도 (a), (b), (c)에서는 볼 수 있듯이 온도증가비가 0.14로 거의 차이가 없었다. 하지만 20%의 경우에는 도막표면과 내부표면의 온도증가비의 차이가 0.46에서 0.28로 0.18의 차이를 보이고 있어 (a), (b), (c)에 비하여 단열효과가 있음을 알 수가 있다.

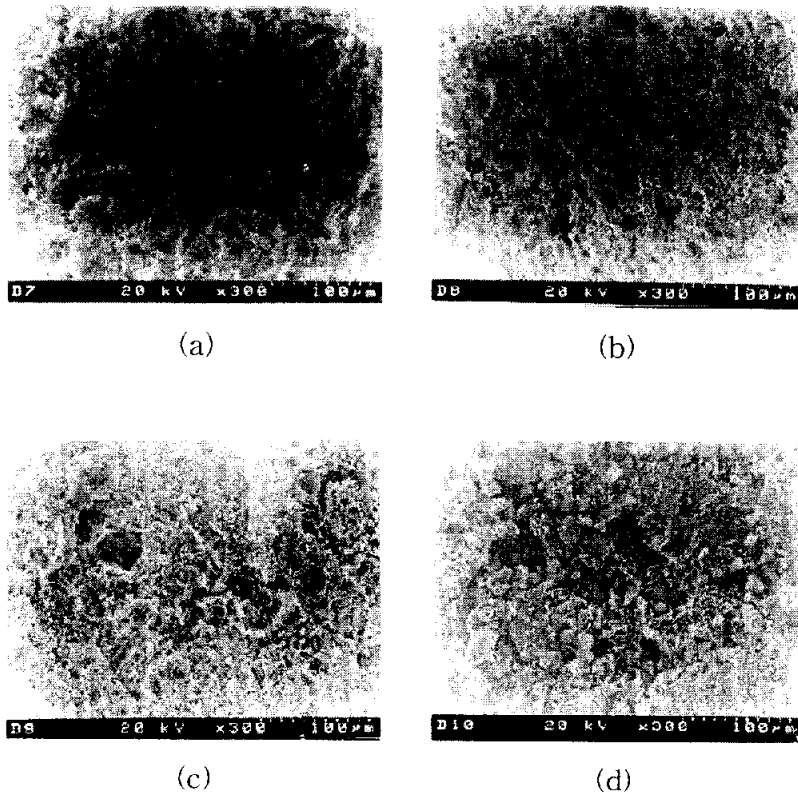


Figure 25. SEM micrography by changing Mica concentration; (a) 3%, (b) 5%, (c) 10%, (d) 20%.

Fig. 25의 SEM 사진은 Mica의 농도 변화에 따른 도막의 형상을 보여주고 있다. Mica의 함량이 (a)에서 (d)로 증가할수록 도막이 거칠어지고 도막내의 공극이 증가하는 것을 볼 수 있으나, (a)-(c)에서는 온도차이가 거의 없고 (d)에서 20%에 이를 때 온도차이를 확인할 수 있었다. 따라서 Mica의 경우 입자자체는 단열 효과를 나타내지 않고, 도막에 공극을 형성할 정도가 될 때 단열 효과가 나타남을 알 수 있다.

4.2 Cooling system에서의 단열효과 측정

4.2.1 수성도료와 단열도료의 단열효과

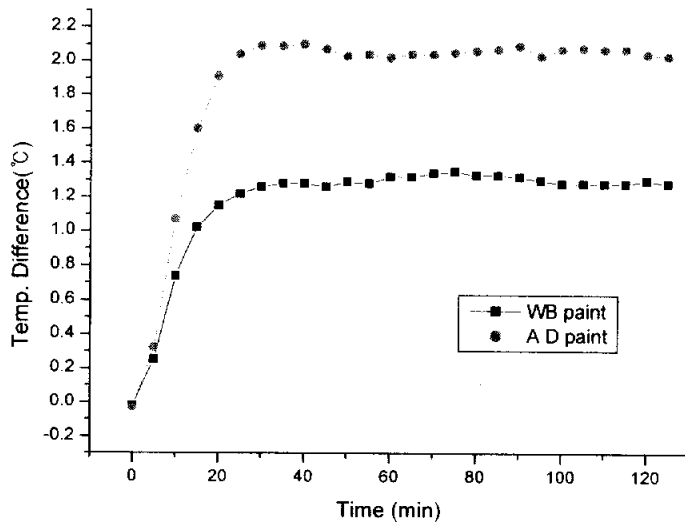
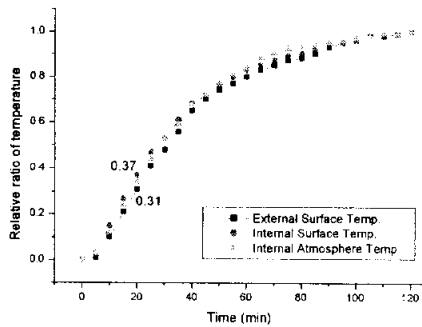
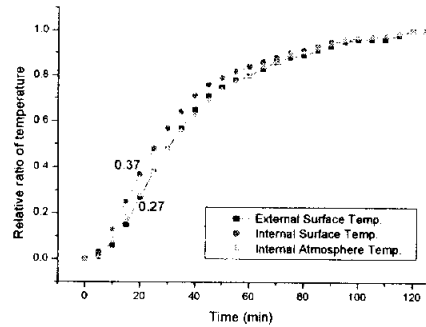


Figure 26. Time dependence of the temperature difference between surface temperature and inner temperature during cooling for the water borne coating.

Fig. 26은 cooling system에서 수성도료와 단열도료의 도막표면과 내부표면의 온도차를 나타낸 그래프이다. 중공체인 cell 701이 첨가된 단열도료가 수성도료에 비하여 1°C 정도의 온도차를 더 보여주고 있다.



(a)



(b)

Figure 27. Time dependence of the relative ratio of surface temperature during cooling for the water borne coating; (a)water borne paint, (b) adiabatic paint.

Fig. 27은 냉각 20분 후의 온도증가비를 나타낸 그래프이고, 표시된 숫자는 도막표면 온도증가비와 내부표면 온도증가비를 나타내었다. (a) 수성도료도막에서는 0.06의 차이를 보였고, (b) 단열도료 도막은 0.10의 차이를 나타내었다.

4.2.2. 수성도료에 첨가물을 가한 도료의 단열효과

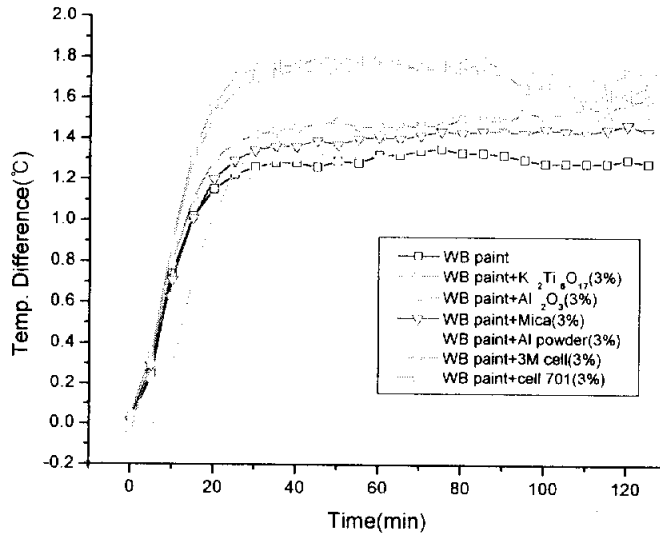
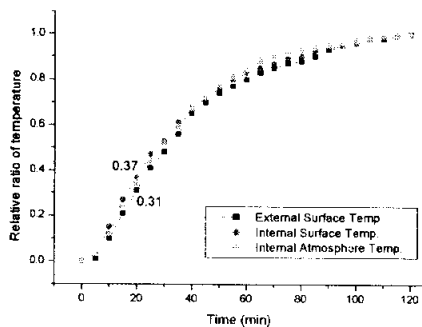


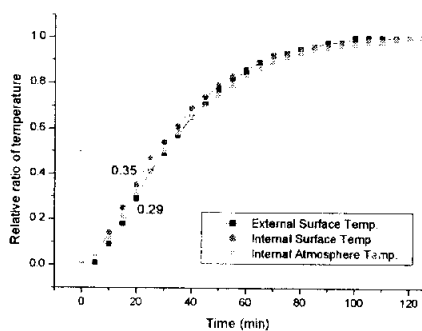
Figure 28. Time dependence of the temperature difference between surface temperature and inner temperature during cooling for the water borne coating.

Fig. 28의 그래프는 수성도료와 수성도료에 첨가물을 무게비 3%로 추가한 도막을 cooling system에서 온도변화를 시간에 따라 측정한 것이다.

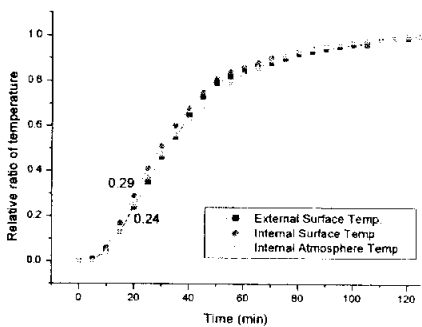
수성도료에 첨가물을 가한 도막 중에서는 cell 701, 3M cell과 Al powder를 첨가한 도막에서 좋은 결과를 얻을 수 있었다. K₂Ti₈O₁₇(3%)가 첨가된 도막에서는 초기에는 온도차이가 크지가 않았지만 시간이 지날수록 온도차가 점점 커짐을 알 수가 있다. 이는 K₂Ti₈O₁₇가 열용량이 높아 내부로 유입되는 열을 저장해 차단하는 것으로 볼 수 있다.



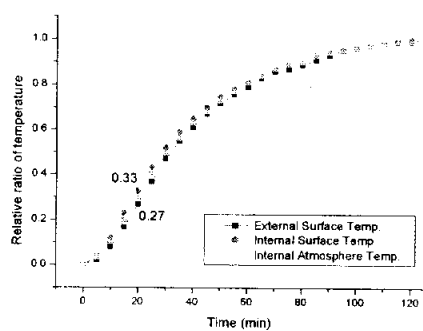
(a)



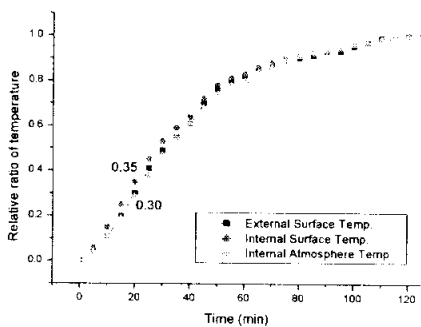
(b)



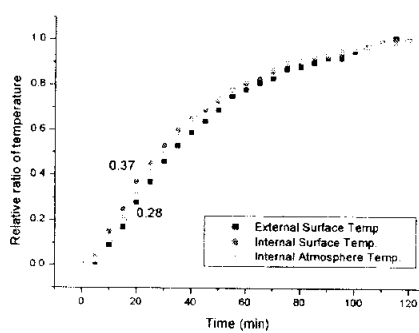
(c)



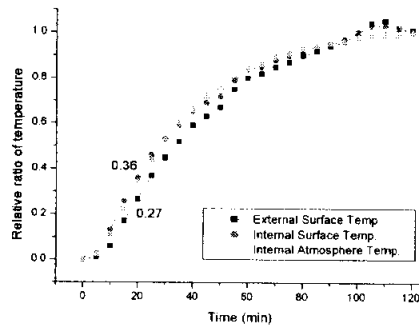
(d)



(e)



(f)



(g)

Figure 29. Time dependence of the relative ratio of surface temperature during cooling for the water borne paint ; (a)none, (b) $K_2Ti_8O_{17}(3\%)$, (c) $Al_2O_3(3\%)$, (d) Mica(3%), (e) Al powder(3%), (f) 3M cell(3%), (g) cell 701(3%).

Fig. 29는 cooling system에서의 온도증가비를 나타낸 것이다. 결과에서 보듯이 도막의 온도증가비에서도 cell 701, 3M cell과 Al powder에서 가장 크게 나타나고 있다. 여기에서도 $K_2Ti_8O_{17}(3\%)$ 가 첨가된 도막이 다른 도막과는 달리 내부 분위기 온도가 느리게 상승하는 것을 볼 수가 있다.

4.2.3 단열도료에 첨가물을 가한 도료의 단열효과

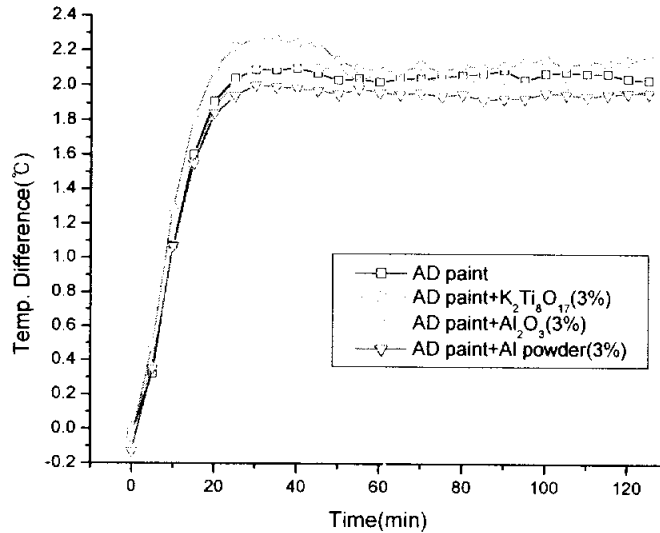
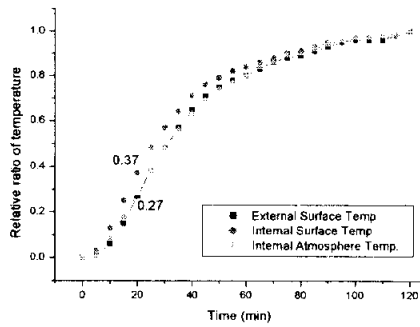
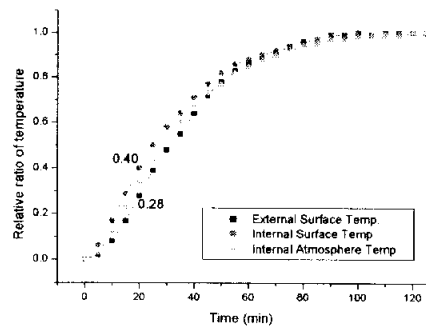


Figure 30. Time dependence of the temperature difference between surface temperature and inner temperature during cooling for the adiabatic paint.

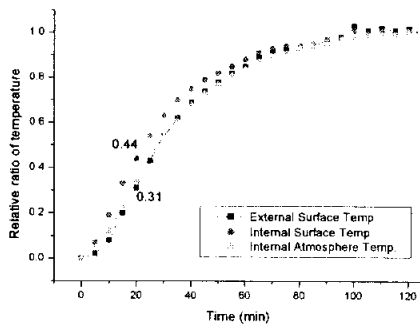
Fig. 30은 단열도료에서 도막표면의 내부표면의 온도차이를 나타낸 것으로 단열도료에 첨가물을 넣어 단열도료에서 첨가물의 단열효과를 알아보았다. 다른 실험에서와 마찬가지로 $K_2Ti_8O_{17}$ 이 단열효과를 보였고, Al_2O_3 와 Al powder는 첨가물을 넣지 않은 단열도료와 비슷하거나 오히려 나쁜 영향을 주었다. 이것은 이들 첨가물의 열전도도가 높은 것에 기인한 것이다.



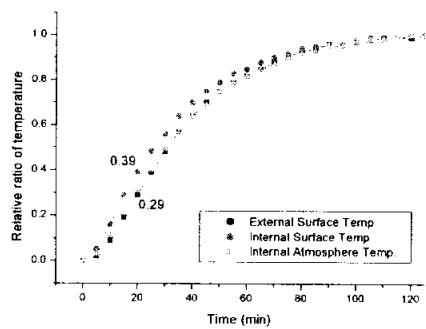
(a)



(b)



(c)



(d)

Figure 31. Time dependence of the relative ratio of surface temperature during cooling for the adiabatic paint; (a)none, (b) $K_2Ti_8O_{17}$ (3%), (c) Al_2O_3 (3%), (d) Al powder(3%).

Fig. 31은 단열도료도막의 온도증가비를 나타낸 그래프이다. 냉각 20분 후의 온도증가비는 (a)-(d)가 거의 비슷하지만 $K_2Ti_8O_{17}$ 과 Al_2O_3 가 조금 차이가 있었다.

4.3. DSC 측정

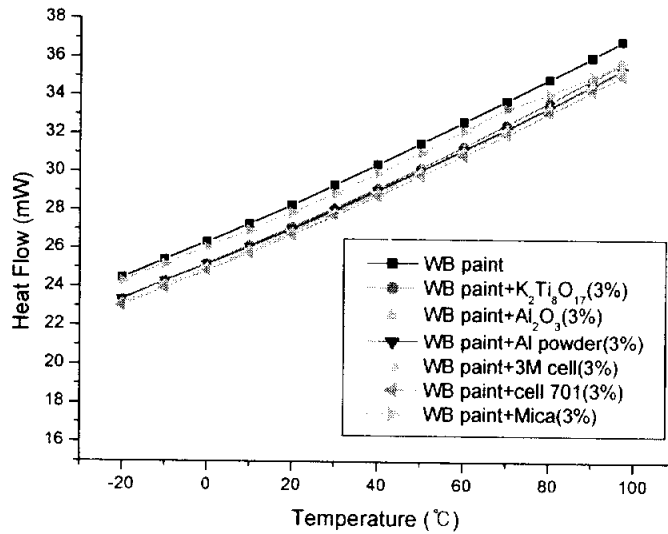


Figure 32. DSC curves for various coatings used in the work (10°C/min).

Fig. 32는 각 도막의 DSC 측정값을 온도 증가 속도를 10°C/min, 측정범위를 -20°C에서 100°C로 하였다. 그림에서 보듯이 모든 도막이 온도 상승에 따른 물리적 특성 변화는 보이지 않고, 첨가된 물질에 따라 각 온도에 따른 기울기, 즉 열 용량에서 약간의 차이를 보여준다.

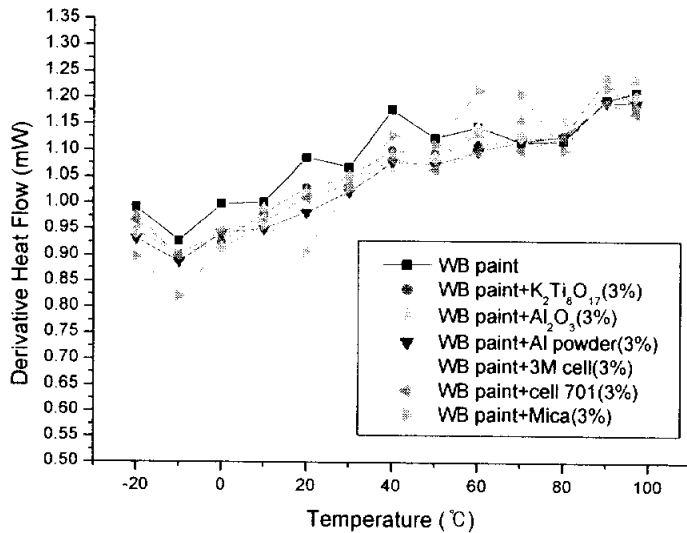


Figure 33. The derivative values of heat flow for various coatings (10°C/min).

Fig. 33은 DSC 측정값을 미분한 값으로 각 온도에서 도막의 열용량을 나타낸다. 수성도료도막에 첨가물을 첨가한 도막, 단열도료도막은 온도가 상승하면서 0.9에서 1.2의 범위로 열용량이 증가하여 50°C 정도부터 일정한 값을 유지하고 있음을 알 수 있다. Mica가 첨가된 경우 온도에 따른 열용량의 편차가 크고 상온에서는 K₂Ti₈O₁₇의 열용량이 높아 온도차이가 적고, 고온으로 가면서 Al₂O₃가 첨가된 도막의 열용량이 높은 양상을 보이고, Al powder가 첨가된 경우는 metal의 열전도 특성이 높아 열용량이 낮은 것을 보여준다.

4.4 표면물성분석 (접촉각, 흡수율, 함수율)

Table 4. The contact angle, absorptivity and moisture content for various coatings including additives

species of paint	contact angle(°)	absorptivity(%)	moisture content (%) $\times 10^{-3}$
WB paint	67	0.204	0.378
WB paint+K ₂ Ti ₈ O ₁₇ (3%)	60	0.282	0.133
WB paint+Al ₂ O ₃ (3%)	72	0.209	0.378
WB paint+Mica(3%)	71	0.266	0.400
WB paint+Al powder(3%)	75	0.241	0.138
WB paint+3M cell	65	0.287	0.882
WB paint+cell 701	62	0.322	0.692
AD paint	76	0.264	102.6

표면과 도막의 특성을 알아보기 위해서 Table 4와 같이 접촉각, 흡수율, 함수율을 측정하여 보았다. 수성도료와 첨가물을 가한 수성도료도막은 대체로 흡수율이 빠른편이라 접촉각을 측정하기가 곤란하였고, 첨가물에 따라 많은 영향을 받았다. 단열도료(AD paint)는 대체로 높은 접촉각을 보였다. 흡수율은 단열성능이 뛰어난 도막인 WB paint+K₂Ti₈O₁₇, WB paint+3M cell, WB paint+cell 701, 단열도료의 흡수율이 높게 나타났다. 이는 주로 기공이 많은 cell이 들어 있거나 도막이 기공을 많이 가질 수 있는 것에 기인한다고 생각된다.

Table 5. Variation of the contact angle, absorptivity and moisture content by changing the concentration of additive

species of paint	contact angle(°)	absorptivity(%)	moisture content (%) $\times 10^{-3}$
WB paint+Mica(3%)	71	0.265	0.400
WB paint+Mica(5%)	73	0.279	0.511
WB paint+Mica(10%)	64	0.296	0.404
WB paint+Mica(20%)	41	0.337	0.413
WB paint+K ₂ Ti ₈ O ₁₇ (3%)	60	0.287	0.133
WB paint+K ₂ Ti ₈ O ₁₇ (5%)	45	0.392	0.162
WB paint+K ₂ Ti ₈ O ₁₇ (10%)	40	0.605	78.49

Table 5는 첨가물의 농도를 달리한 도막의 접촉각, 흡수율, 함수율을 측정한 값이다. K₂Ti₈O₁₇와 Mica의 농도를 달리한 도막에서 접촉각은 농도가 짙어질수록 접촉각이 떨어지고, 흡수율은 증가하였다. 이는 첨가물의 양이 많아질수록 도막에 침수성이 커질 뿐만 아니라 SEM에서 보았듯이 도막 내의 공극도 증가함에 기인한 것이라고 생각된다. 이와 같이 표면의 특성분석을 통해 단열효과에 영향을 미치는 것은 도막 내의 기공이 가장 중요한 역할을 함을 알 수 있었다.

5. 결론

본 연구에서는 일반 건축용 수성도료에 각각 다른 첨가물을 첨가하여 단열성을 높이기 위해 $K_2Ti_8O_{17}$, Al_2O_3 , Al powder, mica 그리고 무기질 중공체(cell 701, 3M cell)를 첨가하여 가열과 냉각 시스템에서 시편의 도장된 표면과 내부표면 그리고 단열장치 내부의 온도를 측정하여 도막 표면과 내부 시편 표면사이의 온도 차이를 평가하여 열이 얼마나 느리게 이동되는지를 측정함으로 단열성능을 알 수가 있었다. 그리고 시간이 경과한 후 평형이 되면 단열 성능이 우수한 도막은 가열 시에는 내부온도가 더 상승하고, 냉각 시에는 내부온도가 더 내려가는 것을 알 수가 있었다.

도막의 단열성질은 첨가물의 기공이나 열용량과 같은 물리적 성질이나 그 첨가물이 도료에 첨가되어 도막이 형성될 때 도막의 내의 공극이 단열성능에 영향을 미친다는 것을 알 수가 있었다.

도막 내·외부의 온도변화에 따른 단열측정을 통해 cell 701, 3M cell과 같은 다공체, 중공체들과 $K_2Ti_8O_{17}$ 과 같이 입자 사이의 공간이 많은 형상을 가진 물질들이 다른 첨가물들에 비하여 높은 단열효과를 나타내었다.

6. 참고문헌

- 1) J. O. Chae, 空氣調和・冷凍工學 論文集, **6(4)**, 399 (1994).
- 2) Lee, Jong-Ho, 태양에너지, **3(1)**, 51 (1983).
- 3) T. S. Woo, 空氣調和・冷凍工學, **19(2)** 82 (1990).
- 4) Y. A. Cengel, "Introduction to thermodynamics and heat transfer", 인터비전, 2002.
- 5) 李禹永, "最新化學用語辭典", 採求堂.
- 6) KS M 3808.
- 7) KS L 9016.
- 8) 정인수, 대한민국특허청, 특2000-0017699.
- 9) 모리우찌 다꾸오, 대한민국특허청, 특1986-0001648.
- 10) 化學大辭典編集委員會, "化學大辭典", 共立出版株式會社, 1989.
- 11) Kirk-Othmer, "Encyclopedia of Chemical Technology", Wiley Interscience, 1981.
- 12) 황인옥, "주사전자현미경의 기초", 半島出版社, 1998.
- 13) D. A. Skoog · J. J. Leary, "器機分析의 原理", 採求堂, 1994.
- 14) V. Schuchkin, M. Osipov, W. Shyy and SThakur, International Journal of Heat and Mass Taransfer, **45**, 4451 (2002).

감사의 글

어느덧 2년이라는 시간이 흘렀습니다. 시간이 참 빨리 간다는 것을 새삼스럽게 느껴집니다. 우여곡절 끝에 부족하지만 논문을 쓰게 되었습니다. 많은 분들의 도움과 관심이 있었기에 가능한 일이었습니다.

대학원 생활 2년 동안 지도교수님으로 항상 곁에서 많은 가르침과 조언으로 이끌어 주시고, 바쁘신 와중에서도 끊임없이 논문지도를 해주신 문명준 교수님께 깊은 감사를 드립니다. 그리고 꼼꼼하게 논문을 검토해 주시고 격려해 주셨던 이종무 교수님과 객상탁 교수님께도 진심으로 감사드립니다. 땀은 격려와 채찍으로 이끌어 주셨던 서차수 교수님, 이근대 교수님, 오대희 교수님, 박진환 교수님께도 진심으로 감사드립니다.

그리고 많은 선·후배님의 도움이 없었다면 지금 여기까지 오지는 못했으리라는 생각이 듭니다. 어려움 시기에 항상 조언을 해주고 지켜봐 준 최진숙 선생님과 필요할 때 말벗이 되어준 윤선화 선생님, 김민정 선생님, 표면공학실험실에서 한해 먼저 졸업했던 종탁이, 까다로운 선배에게 끝까지 잘 버텨준 진호, 진혁이, 선혜, 새로이 실험실에 들어와서 열심히 공부하고 생활할 지웅이, 민진이, 소영이 그리고 대학원생이 된 안섭에게도 고마움을 전합니다. 또한 2년 동안 함께 공부하고 생활했던 박민하, 신정한, 정순기, 정연주 학우에게도 감사의 말을 전하고 싶습니다.

그리고 누구보다도 늦각기 학생을 뒷바라지 해주신 어머니, 누나, 형, 자형 그리고 항상 나의 정신적 지주이신 하늘에 계신 아버지 그리고 사랑하는 이에게도 진심으로 감사의 인사를 전하고 싶습니다. 끝으로 지금까지 저를 도와주신 모든 분께 진심으로 감사 드리고 졸업 후에도 좋은 모습을 보여드리도록 노력하겠습니다.

2003년 2월

김 봉 찬