자재 시공면의 온습도 측정을 위한 간이 온·습도 측정지의 성능 연구

허 정 용†, 최 창 호, 이 윤 규*
광운대학교 건축공학과, *한국건설기술연구원 건축·도시환경연구실

A Study on Performance of Thermo-Humidity Indicator Card for Measuring Thermo-Humidity of Work Surface

Jung-Yong Heo†, Chang-ho Choi, Yun-Gyu Lee*
Department of Architectural Engineering, Kwangwoon University, Seoul 139-701, Korea
**Building&Urban Reaseach Department, Korea Institute of Construction Technology, Gyeonggi-do 411-712, Korea*

(Received November 4, 2008; revision received March 3, 2009)

ABSTRACT: In finishing work, defects are often taken place by many factors. One of them is the thermo-humidity condition on the work surface as coating and anointing adhesives. Thus, the condition of thermo-humidity on work surface should be checked prior to the finishing work. However, many construction companies show a tendency to overlook it because not only are measurement tools so expensive but they don't have skilled hands about those tools. Therefore, we propose the measurement method that makes it easy to recognize surface thermo-humidity condition so as to reduce constructional flaws. And then we test this product. The test progresses to four stages with various conditions. We evaluate its usefulness and application possibility of this product in the field.

Key words: Moisture content(함수율), Surface thermo-humidity(표면온습도), Amount of water evaporation(수분증발량), IAQ(실내공기질)

1. 서 론

1.1 연구의 배경 및 목적

접착제를 사용하는 도배지나 바닥재의 경우, 0℃ 이하 또는 30℃ 이상에서 시공할 경우, 동결이나 접착제 용제의 이상증발과 조기 경화로 인해 접착력 저하 등의 하자가 발생하게 된다.[1-2] 또한 마루바닥재는 일반적으로 시공면의 함수율이 4% 이상일 경우에는 온돌마루 시공 후에 누적된 수분과 미 경화된 구조체에서 표면으로 방출되는 수분이 마루재로 흡수되어 자재가 팽창하는 하자가 발생하는 등, 각종 마감재는 시공면의 온도와 습도에 큰 영향을 받는다.[1-2] 이러한 문제를 개선하기 위해 현재 건축공사 표준시방서, 전문시방서, 업체별 시방서 및 자재업체 시방서 등에서는 시공 시 온습도 조건에 대하여 명기하고 있으나, 이를 측정하기 위한 표면온습도계가 고가이며, 측정장비에 대한 기술적 숙지가 필요하여 건설사 및 인테리어 업체에서는 이를 간과하는 경우가 많다. 실제로 인건비 및 측정시간, 장비보유 측면

† Corresponding author
Tel.: +82-2-940-5566; fax: +82-2-940-5566
E-mail address: hzy81@kict.re.kr

에서의 한계로 현장에서는 실내 온습도만을 측정하기 때문에 정확한 시공면의 조건 파악이 힘든 실정이다.

따라서 본 연구에서는 접착제 및 도료를 사용하는 건축공사에서 시공면의 온습도 확인이 용이하도록 함으로써 하자를 저감할 수 있는 방법을 제시하고자 한다. 또한 이 기술 적용으로 불필요한 공사비의 상승, 시간적 손실을 막고, 하자로 인한 책임소재를 명확히 함으로써 국내 건축기술을 향상시키는 것에 목적을 두고 있다.

1.2 연구의 절차 및 방법

본 연구에서는 G사와 공동으로 연구를 진행하여 얻은 결과물인, '간이 온습도 측정지'에 대한 검증실험을 통하여 성능 및 적용 가능성을 평가 하였다. 간이온습도측정지에 대한 검증실험은 4단계에 걸쳐 진행하였다.

1단계 실험은 실제 공동주택의 벽, 바닥과 동일한 시편을 제작하여 그 시편을 대상으로 진행하였다. 이 실험에서는 함수율 및 표면온도가 상이한 각 시편에 대한 간이온습도측정지의 반응을 살펴보았다. 2단계 실험에서는 습도지시부의 정확도에 대한 검증을 실시하였으며, 실물(Mock-up) 실험동의 바닥면을 대상으로 진행하였다. 실험은 춘추계의 온습도 조건을 유지하며 진행되었고, 바닥면의 함수율에 따라 고함수율, 중간함수율, 저함수율로 실험군을 나누어 간이온습도측정지의 함수율에 대한 반응을 살펴보았다. 3단계 실험에서는 온도지시부의 정확도에 대한 검증을 실시하였다. 한 측정점을 지정하여 측정방식 별로 비교 실시하여 각각의 오차를 살펴보았다. 4단계 실험은 실제 건설현장에서의 현장 적용가능성에 대해 평가해 보았다. 이 실험은 한 세대 내에 다양한 측정점을 지정하고, 각 측정점의 표면온도와 습도에 대한 간이온습도측정지의 반응을 살펴보았다.

2. 예비적 고찰

2.1 작업면의 온습도 조건에 따른 시공하자

접착제와 도료는 시공면의 온습도 조건에 영향을 받으며 실내의 온습도는 공간내부의 표면온습도와는 차이가 있다. 시공면의 온습도 조건에 의한 하자를 살펴보면 다음과 같다.

내벽 및 외벽의 도장공사시 표면건조도 차이에 따른 문제점으로는 얼룩발생, 도막건조속도 차이, 접착공사 시 접착력 저하, 자재의 수축팽창으로 인한 하자 등이 있을 수 있으며, 계단실, 옥상, 창호, 벽체의 경우를 살펴보면 우수유입, 내외부의 온도차로 인한 표면 결로 발생으로 마감재가 손상되거나 접착제의 강도가 떨어지는 문제가 발생되기도 한다. 지하주차장의 경우에는 환기가 극히 불량하기 때문에 바닥에폭시 마감 및 벽체도장 시 표면 결로 등에 의한 하자가 발생하는 문제점이 있다. 또한 형태가 복잡한 건물에서는 누적 수열량에 따라 동, 서, 남, 북면의 표면온도가 다르기 때문에 표면 건조 상태에 차이가 발생하며, 동일면일 경우도 형태 및 외부돌출물에 따른 그림자로 인해 상태차이가 있을 수 있다.

2.2 시공면 온습도 관련 규정

시공면의 온습도에 따른 문제 때문에 현재 건축공사 표준시방서, 전문시방서, 업체별 시방서 및 자재업체 시방서 등에서는 시공 시 온습도 조건에 대하여 명기되어 있다. 건축공사에서 요구되는 온도와 함수율 조건은 공사의 종류와 사용되는 자재에 따라 상이하며 대표적인 공정별 규정은 다음과 같다.

마루바닥재, PVC바닥재, PVC타일, 벽지에 대한 접착제의 시공 가능 온도는 5℃~30℃, 시공 가능한 함수율은 각각 4.5%, 7%, 8% 이하이다. 또한 내부, 외부, 방수공정에 대한 도료의 시공 가능 온도는 5℃~30℃, 시공 가능한 함수율은 각각 6%, 8%, 10% 이하이다.[3]

2.3 함수율의 측정방법

함수율은 시료의 건조 중량에 대한 수분 중량비를 백분율로 표시하는 건시료 중량기준을 통상적으로 사용하고 있으나, 수분을 포함한 총 중량에 대한 함유 수분비를 백분율로 표시하는 습시료 중량 기준도 많이 사용하고 있다.[4] 그러나 "포화함수율에서의 상대 함수율"이나 "주위 공기의 상대습도에 의한 평형 함수율"등 함수율과 관련된 많은 정의가 생겨나고 있으며, 최근에는 시료의 총체적에 대한 함유 수분 체적비를 백분율로 표시하는 체적함수율도 일부 사용되고 있다.[5]

중량법과 체적법에 의한 측정방법은 상대적으로 정확하지만 측정장비가 크고 고가이며, 현장에서 유지관리가 어렵다. 또한 측정장소의 시료채취가 필수적이기 때문에 측정면의 파손이 발생하여 현장에서 적용하기 어려운 단점이 있다. 따라서 현장에서는 함수율 측정을 위한 장비로 고주파용량식 측정기를 사용하고 있다. 고주파용량식 측정방법은 각 측정재료별 전기적 저항값을 기초로 온도와 하부에 존재하는 수분에 따라 변화되는 저항값을 기초로 하여, 입력되어 있는 데이터와 연산을 통한 함수율 값을 지시하는 방법이다. 본 연구에서도 고주파 용량식 측정기를 함수율 측정에 사용하였다.

2.4 함수율에 따른 표면수분방출량 측정

실제로 각종 마감공정의 하자에 영향을 미치는 인자는 함수율이 아닌 표면수분방출량이다. 하지만 각종 규정을 보면 함수율에 관한 언급만 이루어졌을 뿐, 표면수분방출량에 대해서는 언급되고 있지 않다. 따라서 함수율과 표면수분방출량의 상관관계를 파악하기 위해 함수율에 따른 표면수분방출량을 측정하였다. 실험은 외부 조건에 따라 함수율에 따른 표면수분방출량의 차이가 있을 수 있으므로, 하계조건과 춘추계 조건으로 나누어 진행하였다.

2.4.1 측정장비 및 방법

본 연구에서는 발한량 측정기의 원리를 이용하여 표면수분방출량을 측정하였다. 발한량 측정기의 원리는 센서가 내장된 캡슐에 송풍하는 도입공기와 캡슐을 경유하는 수분을 포함하는 토출공기를 각각의 센서로 검출하고 그 차분으로 발한량을 계산하는 것이다. 본 실험에서는 오염물질의 표면 방출량를 측정하는 정밀장비인 FLEC[1)]을 이용하였으며 이 장비에는 기본적으로 고정밀 온습도센서가 내장되어 있다. FLEC을 이용한 표면수분방출량 측정 원리는 다음과 같다.

FLEC의 급기부를 통해 유입된 외기가 측정면을 지나면서 증가된 수분을 차분하여 나온 상대습도값을 연산기를 이용하여 절대습도량으로 환산하고 변화량을 평가하였다. 실험 전, FLEC의 내부를 30분간 환기하여 방출속도가 안정된 상태에서 측정을 실시하였으며, 이때 외부의 공기와 FLEC 내부를 거친 공기의 습도차가 안정화 되었을 순간 상대습도의 차분을 표면수분방출량 계산에 이용하였다.

1) FLEC : Field and Laboratory Emission Cell.

2.4.2 하계조건에서의 측정 결과

Table 1은 하계조건에서 함수율에 따른 표면수분방출량을 나타낸 것으로 건조 정도가 상이한 3개의 시편을 대상으로 하였으며, 하계의 외기조건을 모사하기위해 외부온도와 습도는 각각 35℃, 60%를 유지한 상태에서 진행하였다. 실험결과, 일사 및 습도 조건에 따른 환경차이가 존재하였지만, 함수율의 증가에 따라 표면수분방출량이 증가하는 것을 알 수 있었다. 이에 따라 함수율과 표면 수분방출량 사이에 일정한 비례관계가 성립된다는 것을 알 수 있었다.

2.4.3 춘 · 추계조건에서의 측정 결과

Table 2는 춘추계 조건에서 함수율에 따른 표면수분방출량을 나타낸 것으로 타설 2주차가 된 시료와 완전건조 상태인 시료를 대상으로 실시하였고, 추계 외기조건을 만족시켜주기 위해 외부 온습도를 각각 18℃, 41%로 유지하여 실험을 실시하였다. 실험결과, 평균함수율에 따른 표면수분방출량의 정도가 하계조건과는 약간 차이가 있는 것으로 나타났다. 비슷한 함수율을 가진 측정점에서의 표면수분방출량이 하계조건에 비하여 춘추계의 외기 조건에서 더 적은 것을 알 수 있다.

Table 1 Amount of water evaporation with moisture content in summer condition

	Case1	Case2	Case3
Average of moisture content(%)	4.57	6.73	9.78
Amount of water evaporation(g)	0.622	4.573	7.358

Table 2 Amount of water evaporation with moisture content in spring/autumn condition

	Case1	Case2
Average of moisture content (%)	4.20	8.20
Amount of water evaporation (g)	0.348	3.084

이는 외부조건이 표면수분방출량에 일정 부분 영향을 준 것으로 판단된다.

3. 간이온습도측정지에 대한 검증 실험

3.1 간이온습도측정지의 개요

Fig. 1에서 보는 바와 같이 간이온습도측정지는 크게 온도지시부와 습도지시부로 구분되어 있으며, 상부에 방습테이프가 도포되어 외부의 영향을 받지 않는 구조로 되어있다. 온도지시부의 경우, 지시부의 색 변화에 따라 시공불가와 시공가능으로 구분된다. 습도지시부의 경우 역시 지시부의 색 변화에 따라 양호, 시공가능, 시공불가 3단계로 구분되어 측정 표면의 상태를 나타낸다.

습도지시부는 Fig. 2와 같은 원리로 제작되었으며, 흡습성 펄프지에 도포된 지시약이 수분입자와 반응하게 되며, 온도지시부는 부착면의 온도에 반응하게 된다. 온도와 습도지시부는 각각 P1과 P2, 2개의 지시점으로 구성되어 있다. 온도지시부의 경우, P1은 5℃ 이하를 지시하며, P2는 30℃ 이상을 지시한다. 온도지시부는 측정면에 부착 후 1분 이내에 반응하며, 지속적인 측정이 가능하다. P1은 저습도검출용으로 4% 이상일 경우에 반응을 하며 P2는 고습도검출용으로 8% 이상일 경우에 반응하게 된다. 습도지시부는 측정면에 부착 후 30분이 경과된 시점에 지시결과를 확인할 수 있다.

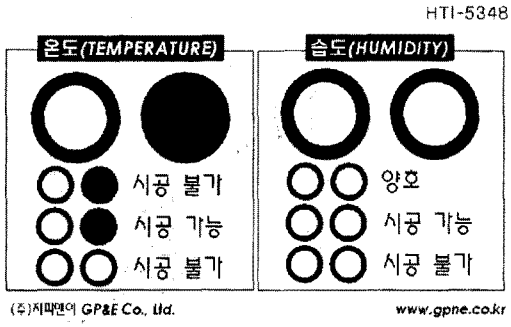


Fig. 1 Feature of Thermo-Humidity Indicator Card.

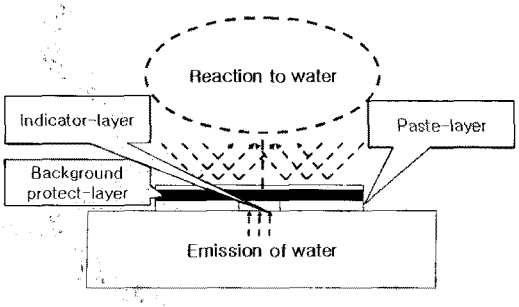


Fig. 2 Pinciple of humidity indicator.

3.2 실험 내용 및 결과

3.2.1 온·습도지시부의 반응 평가

본 실험은 실제 공동주택의 벽, 바닥과 동일한 시편을 제작하여 그 시편을 측정 대상으로 진행하였다. 이 실험에서는 조건이 다른 두 측정점을 지정하여, 각 지점의 표면 온도와 습도에 .대한 간이온습도측정지의 반응을 측정하였다.

(1) 습도반응평가

Table 3은 함수율에 따른 간이온습도측정지의 변화를 측정한 것으로 실험실 내부의 온습도를 각각 18.8~19.2℃, 35~40%로 유지한 상태에서 실시하였다. 실험결과, 3.8%의 함수율을 나타낸 저함수율 시료에서 P1과 P2에서 모두 반응하지 않아 양호 상태를 지시하였으며, 8.4%의 함수율을 나타낸 고함수율 시료에서는 30분 경과 후, 두 지시부에서 모두 반응을 하여 시공 불가를 지시하였다.

(2) 온도반응평가

Table 4는 온도지시부의 변화를 측정한 것으로 온도 반응 평가는 대기온도와 표면온도가 상이하게 나타나는 양지와 음지로 구분하여 측정지의 반응을 평가하였다. 양지에서의 표면온도는 9.2℃로 시공 가능 상태를 나타냈으며, 음지의 경우는 표면온도가 4.5℃로 시공불가 상태를 나타내어 온

Table 3 Change of HTIC according to moisture content

Average of moisture content (%)		Case1 3.8	Case2 8.4
Change of HTIC*	Time (min)	Case1	Case2
	10	-	P1
	20	-	P1, P2
	30	-	P1, P2

* HTIC : Thermo-Humidity Indicator Card.

Table 4 Change of HTIC according to surface temperature

	Case1	Case2
Air temperature	9.6℃	7.5℃
Surface temperature	4.5℃	9.2℃
Temperature difference	-5.1℃	+1.7℃
HTIC	Impossible	Possible
Measurement spot	Shaded lot	Sunshine

도지시부의 온도 지시 범위 내에서 정확하게 변화한 것으로 나타났다.

3.2.2 습도지시부의 정확도 평가

본 실험은 습도지시부의 정확도를 평가하기 위한 것으로 Table 5에서는 함수율 별 간이온습도측정지의 습도지시부 변화를 보여주고 있다. 내부의 온습도(17℃, 35%)가 일정하게 유지된 실물실험동의 바닥면을 대상으로 진행하였다. 바닥면의 함수율에 따라 고, 중, 저함수율로 실험군을 구성하여 간이온습도측정지의 함수율에 대한 반응을 측정하였다. 실험결과, 고함수율 실험군에서 습도지시부의 반응은 정확한 것으로 나타났으나, 저함수율의 시험군에서는 약간의 지시오차가 발생하였다. 또한 함수율에 따른 반응 속도의 차이가 나타났고, 각 실험군 내의 동일한 함수율에서도 반응 정도에 대한 차이를 보였다. 하지만 이는 비교측정에 사용되는 고주파방식 함수율 측정기의 측정오차에 범위 내에서 발생된 것이 때문에 정확한 지시여부를 판단하기에는 무기가 있다. 실험이 진행되는 동안 실험실의 온도 유지를 위해서는 난방이 요구되는데, 바닥 난방은 구조체의 높은 온도상승으로 인해 실제 현장과는 다른 조건을 보일 수 있기 때문에 복사 난방기를 이용한 온도유지를 실시하였으며, 이에 따른 부분적인 건조정도의 차이가 발생하는 한계를 나타냈다.

Table 5 Change of HTI according to moisture content

(a) Low moisture content

3F		Case1	Case2	Case3	Case4	Case5
Average of moisture content(%)		6.3	5.5	6.4	6.0	6.6
Time (min)	20	P1'*	-	P1'	P1'	-
	30	P1, P2	P1	P1, P2'*	P1	P1, P2

*P1' : A few change of P1, *P2 : A few change of P2.

(b) Middle moisture content

2F		Case1	Case2	Case3	Case4	Case5
Average of moisture content(%)		7.5	6.9	6.6	7.3	6.2
Time (min)	20	P1, P2'	P1'	P1	P1'	P1'
	30	P1, P2	P1, P2'	P1, P2'	P1, P2'	P1

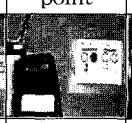
(c) High moisture content

1F		Case1	Case2	Case3	Case4	Case5
Average of moisture content(%)		12.6	9.1	8.8	8.5	12.7
Time (min)	20	P1, P2	P1, P2	P1, P2	P1, P2	P1, P2
	30	P1, P2	P1, P2	P1, P2	P1, P2	P1, P2

3.2.3 온도지시부의 정확도 평가

본 실험은 온도지시부의 정확도를 평가하기 위한 것으로 한 측정점을 대상으로 측정방식을 달리하고 비교를 실시하였으며 그 결과는 다음의 Table 6과 같다. 습도지시부의 정확도 평가는 타 측정 방식보다 정확도가 높은 K타입 열전대방식 표면온도측정기를 기준하였다. 실험결과, 적외선 측정방식은 제품제원에 명기된 오차범위보다 큰 차이를 보였으며, 특히 작업 가능한 지시온도와 작업 불가한 지시온도에서 부정확한 결과를 보여주었다. 센서의 발광부와 수광부 상에서 존재하는 거리, 대기 중의 수분, 먼지 등에 따라 오차범위의 차이가 발생하기 때문에 공사현장에서도 분

Table 6 Surface temperatures according to measurement method

Temperature	Low	Critical point	High
Feature of measurement			
K type(T/C)	4.6℃	7.4℃	26.4℃
Infrared Thermometer	2.0℃	4.0℃	31.0℃
HTIC	Impossible	Possible	Possible

진이 발생하거나 습도가 높은 경우, 사용에 주의가 필요할 것으로 분석되었다. 반면 온습도 측정지의 경우에는 시공 여부에 대한 지시 온도에서 비교적 정확한 결과를 보였으며, 부착 후부터 제거 전까지 지속적인 온도변화의 확인이 가능한 것을 나타냈다.

3.2.4 현장 적용성 평가

본 실험은 실제 건설현장을 대상으로 2차에 걸쳐 현장 적용가능성을 평가하였다. 한 세대 내에 6개의 측정점을 지정하고, 표면온습도에 대한 간이온습도측정지의 반응을 평가하였다.

(1) 1차 현장 적용성 평가

1차 현장 측정은 J사 공동주택 신축현장에서 실시하였다. 측정 세대는 바닥몰탈마감을 실시한 상태였으며, 외기온도는 2.0℃ 습도는 23.4%로 측정되었다. 1차 현장 측정결과, 함수율이 부분적으로 제어점보다 높은 장소가 존재하였으나, 습도지시부의 반응은 나타나지 않았다. 이는 측정면의 온도가 0℃ 이하로 떨어져 내부의 수분이 응결하여 표면으로 방출되지 못한 것으로 판단된다.

Table 7 The 1st test result of field application

Spot of measurement	Time (min)	Change		Measurement depth(㎜)	Moisture content (%)
		HI*	TI*		
Living room floor	10	-	Impossible	10	6.1
	20	-		20	6.0
	30	P1'		40	5.8
Room 1 floor	10	-	Impossible	10	5.4
	20	-		20	5.1
	30	-		40	5.0
Room 2 floor	10	-	Impossible	10	5.3
	20	-		20	5.1
	30	-		40	5.0
balcony wall	10	-	Impossible	10	3.4
	20	-		20	3.1
	30	-		40	2.9
Room 1 wall	10	-	Impossible	10	3.1
	20	-		20	3.1
	30	-		40	2.7
Living room wall	10	-	Impossible	10	3.0
	20	-		20	2.7
	30	-		40	2.6

*HI : humidity indicator[1]), *TI : temperature indicator[2]).

또한 실내온도는 3.2℃, 표면온도는 -2.3℃로 측정되었으며 온도지시부에서는 작업불가로 나타내어 정확한 반응을 보였다.

(2) 2차 현장 적용성 평가

2차 현장측정은 N사 공동주택 신축현장에서 실시하였다. 측정 세대는 바닥몰탈마감이 되어있고 일부 도장을 실시한 상태였으며, 외기온도는 2.6℃ 습도는 16.5%로 측정되었다.

2차 현장 측정 결과, 1차 현장평가와 마찬가지로 낮은 외기온 때문에 측정면의 온도가 0℃이하로 떨어져 습도지시부에서는 대부분 반응이 나타나지 않았다. 온도의 경우, 실내온도는 2.1℃, 표면온도는 -2.6℃로 측정되었으며 온도지시부에서 작업불가로 나타나 온도에 따른 지시성능은 현장

Table 8 Measurement points with HTIC(1st test)

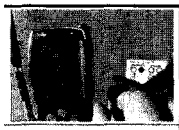
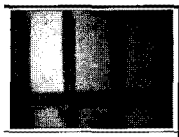
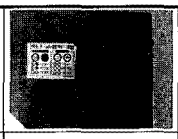
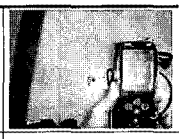
		
balcony wall	Room 1 floor	Living room floor

Table 9 The 2st test result of field application

Spot of measurement	Time (min)	Change		Measurement depth(㎜)	Moisture content(%)
		HI	TI		
Living room floor	10	-	Impossible	10	4.4
	20	-		20	4.5
	30	-		40	4.3
Room 1 floor	10	-	Impossible	10	5.0
	20	-		20	4.9
	30	-		40	4.7
Room 2 floor	10	-	Impossible	10	5.4
	20	-		20	5.4
	30	P1'		40	5.2
Room 1 wall	10	-	Impossible	10	5.2
	20	-		20	5.4
	30	P1'		40	4.8
Living room 1 wall	10	-	Impossible	10	3.4
	20	-		20	3.0
	30	P1'		40	3.3
Living room 2 wall	10	-	Impossible	10	3.4
	20	-		20	3.1
	30	-		40	3.1

Table 10 Measurement points with HTIC(2st test)

		
Living room wall	Room 1 floor	Room 1 wall

적용 시에도 발현된 것으로 나타났다.

4. 결 론

본 연구에서는 시공면의 온습도 조건의 확인이 용이하도록 함으로써 올바른 시공을 유도하여 시공하자를 저감하고자 개발된 '간이 온습도 측정지'의 적용가능성 및 효과에 대한 검증을 실시하였다. 4단계에 걸친 검증실험결과, 외부온습도 조건에 의해 약간의 지시 오차가 나타났지만, 기존 측정장비와 비교해서 상대적으로 영향을 덜 받는 것으로 나타났다. 추후, 간이 온습도 측정지의 지시 오차에 영향을 미치는 요소들에 대한 보완 연구가 이루어진다면, 측정지의 지시 오차를 점차 줄여나갈 수 있을 것이다.

또한 다양한 온도 및 습도 조건별로 제어범위를 조절할 수 있는 방식으로 제작되어 추후 건축공사 뿐만 아니라 기타산업에 적용 시, 과학적인 작업관리와 하자저감을 통한 경제적 손실의 저감이 가능할 것으로 판단된다.

후 기

이 논문은 첨단도시개발사업 저에너지 친환경공동주택 기술개발과제(06건설핵심 B02) 친환경소재 개발 연구결과의 일부입니다.

참고문헌

1. Korea National Housing Corporation, 2006, Specialty specification.
2. Ssangyong Engineering Construction Comp-any, 2005, Analysis of construction defect case.
3. Achitectural institute of Korea, 2006, The Korea architectural standard specification.
4. Kim, I. S., 1992, The Measurement of Containd Water Content in Concrete by the Electrode Method, A. I. K.
5. Lee, Y. G., 2004, A Study on the Development of the design support program for reduce indoor air pollutants in mian buildings, K. I. C. T Report.