

Untersuchungen zu Wärmedämmeigenschaften von Leichtbetonplatten unter Verwendung von Sand und Lehm

In heißen tropischen Ländern wie Malaysia ist es üblich, dass die Lüftungssysteme viele Stunden am Tag laufen, um eine kühle, angenehme Atmosphäre im Inneren der Gebäude, die zum Wohnen oder als Arbeitsplatz genutzt werden, zu gewährleisten. Daher ist es nicht überraschend, dass die Lüftungssysteme eine große Energiemenge verbrauchen und die teuerste elektrische Ausstattung in den Gebäuden darstellen [1]. Deshalb ist eine Verringerung des Energiebedarfs der Lüftungssysteme durch die Anwendung energieeffizienter Konstruktionen eine überzeugende Methode.

Verwendete Materien und Testprogramme

Mischungsverhältnisse

Zwei Reihen von Leichtbeton-Proben mit einer Anzahl von 7 Panelen (mit den Abmaßen 750 × 750 × 40 mm) wurden für diese Studie hergestellt. Als Erstes wurden ALC (aerated lightweight concrete) – Elemente unter Verwendung von Sand, Zement, Treibmittel und Wasser erstellt. Für die andere Reihe wurden Elemente aus den gleichen Bestandteilen hergestellt, bis auf den Sand, an dessen Stelle Lehm verwendet wurde. Die Panelen wurden in unterschiedlicher Dichte von etwa 1100, 1500, 1800 und 2000 kg/m³ hergestellt. Weitere Details der Panelen sind in Tabelle 1 dargestellt.

Testprogramm

Alle Wärmedämmtests wurden in der Wärme- und Akustik-Versuchseinheit der Universität durchgeführt (Abb. 4). Diese besteht aus zwei Räumen, wobei einer als der „heiße Raum“ bezeichnet

ist und der andere als der „kalte Raum“. Diese Räume sind durch eine Wand getrennt in der sich eine Öffnung von 750×750 mm befindet, welche die Testpanelen aufnimmt (Abb. 2). Im „heißen Raum“ erzeugt ein Nikkon-S3000-Strahler die nötige Hitze um die Luft und die Testpaneele auf die erforderliche Temperatur aufzuheizen.

Im „heißen Raum“ wird die Temperatur an drei Stellen der Oberfläche der Paneele durch drei Temperaturfühler vom Typ PT 100 gemessen und aufgezeichnet, wie Abb. 3 zeigt. Die gleiche Anordnung wird auf der Oberfläche der Testpaneele im „kalten Raum“ angebracht.

Die Lufttemperatur in den beiden Räumen wird ebenso durch drei Temperaturfühler im Abstand von 0,1 m, 0,3 m und 0,6 m vom Mittelpunkt der Testpaneele erfasst (Abb. 4). Alle Temperaturverläufe wurden während des Tests kontinuierlich durch ein Datenerfassungsgerät über 20 Stunden erfasst, bis ein konstanter Zustand erreicht war. Jeder Test wurde zweimal durchgeführt, um sicher zu gehen, einheitliche und verlässliche Ergebnisse zu erzielen.

Ergebnisse

Temperaturverläufe im ‚heißen‘ Raum, im Panel und im ‚kalten‘ Raum

Die Temperaturverläufe in beiden Räumen sind entsprechend der verschiedenen Entfernungen der Temperatur-Messtationen von der Hitzequelle aufgezeichnet. Ein typischer Temperaturverlauf ist in Abb. 5 in 4-Stunden-Intervall dargestellt.

Mischungsverhältnisse	Gruppe	Rohdichte (kg/m ³)	Panelen-Bezeichnung
Sand : Zement = 1:2 Wasser : Zement = 0.5	1 (Sand Aerated Lightweight Concrete, ALC)	1039.5	ALC1
		1413.3	ALC2
		1826.3	ALC3
		1944.2	ALC4
Lehm : Zement = 1:2 Wasser : Zement = 0.675	2 (Soil Aerated Lightweight Concrete, ALS)	1033.0	ALS1
		1383.0	ALS2
		1671.8	ALS3

Tabelle 1: Probekörperbeschreibung

Investigation into the thermal insulation properties of aerated lightweight concrete panels: sand and soil

In hot tropical countries such as Malaysia, it is common to find that air-conditioners are operated daily for long hours in order to provide a cool and comfortable living or working environment within a building. Not surprisingly, therefore, air-conditioners consume huge amounts of energy and become the most costly electrical items in a building [1]. Thus, to economize by reducing the energy consumption of air-conditioners through the adoption of energy efficient construction should to be a readily acceptable concept.

Materials used and test programme

Mix Proportions

Two groups of aerated lightweight concrete samples comprising a total of 7 panels (750×750×40 mm) were made for this study. In the first group, ALC panels were cast using sand, cement, a foaming agent and water as their ingredients. For the other group, similar ingredients were used except that soil was used in the place of sand. The panels were produced at different density values targeted at 1100, 1500, 1800 and 2000 kg/m³, respectively. Further details of the panels are outlined in Table 1.

Test Programme

All thermal insulation tests were carried out in the Thermal and Acoustic Experiment Facility (Fig. 1) at the university. This consists of two chambers; one labelled ‘Hot Chamber’ and the other ‘Cool Chamber’. These chambers were separated by a partition wall which contained a 750×750 mm opening, suitable for mounting a test panel (Fig. 2). Inside the ‘hot’ chamber, a Nik-

kon S3000 type spotlight was installed to generate the necessary heat to heat up the air and panel during the test.

On the ‘hot’ chamber side, the temperature at three locations on the surface of the panel, as shown in Fig. 3, were monitored using three PT100 type thermocouples. The surface of the panel on the ‘cool’ chamber side was arranged in the same way as on the ‘hot’ chamber side.

The air temperature in both the ‘hot’ and ‘cool’ chambers were also monitored by suspending three thermocouples at 0.1 m, 0.3 m and 0.6 m respectively in front of the centre point of panel surfaces (Fig. 4). All the temperatures produced during a test were continuously monitored and recorded via a Fuji data acquisition system for 20 hours once a steady state had been reached. For any test panel, two tests were carried out in order to ensure consistent and reliable results were obtained.

Results

Temperature profiles across ‘hot’ and ‘cool’ chamber panel sides

The temperature profiles in both ‘hot’ and ‘cool’ chambers were plotted according to the temperatures recorded by different thermocouples at the various distances from the heat source. A typical example is shown in Figure 5 at 4 hour intervals.

Mix Proportions	Group	Density (kg/m ³)	Panel Indication
Sand : Cement = 1:2 Water : Cement = 0.5	1 (Sand Aerated Lightweight Concrete, ALC)	1039.5	ALC1
		1413.3	ALC2
		1826.3	ALC3
		1944.2	ALC4
Soil : Cement = 1:2 Water : Cement = 0.675	2 (Soil Aerated Lightweight Concrete, ALS)	1033.0	ALS1
		1383.0	ALS2
		1671.8	ALS3

Table 1: Description of samples



Temperaturgefälle, T_g

In jedem Fall ist das Temperaturgefälle durch die Stärke der Paneele mittels folgender Gleichung bestimmt

$$T_g = \frac{T_1 - T_2}{L}$$

wobei

T_1 = heiße Oberflächentemperatur nach 20-stündigem Test, und
 T_2 = kalte Oberflächentemperatur nach 20-stündigem Test sowie
 L = die Dicke des Probekörpers (der Paneele) ist

Das aufgezeichneten Werte der Temperaturgefälle sind in Abb. 6 dargestellt.

Diskussion

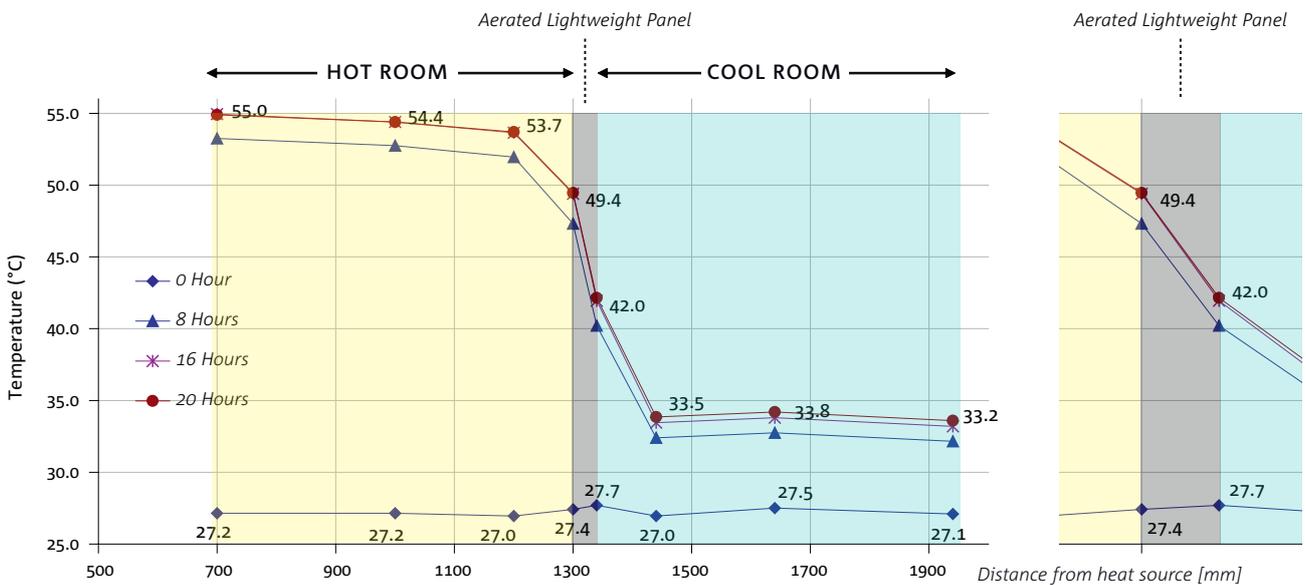
Die Ergebnisse der Untersuchung ergänzen die Erkenntnisse von Demirboga [2] und Khedari [3]. Das Temperaturgefälle wächst mit abnehmender Dichte. Der Anstieg des Temperaturgefälles bedeutet eine bessere Wärmedämmeigenschaft, d. h. Hitze vom Eindringen in das Gebäude abzuhalten. Unterschiede in den Rohdichten und den effektiven Temperaturgefällen der Paneelen entstehen durch Unterschiede in deren Porösität, wodurch Luft in den Poren eingeschlossen wird, die nichts wiegt aber sehr stark zur Verbesserung der Wärmedämmung beiträgt.

Die ALS-Paneele weisen auf Grund der Form und Größe der Lehm-partikel bessere Temperaturgefälle auf. Die feine und gleichmäßig runde Form der Lehm-partikel führt zu einer schwächeren Verbindung zwischen den Partikeln – verglichen mit der ungleichmäßigen Form von Sandkörnungen. Die ungleichmäßig geformten Sandpartikel fügen sich enger zusammen, was in den ALC-Paneelen zu weniger Lufteinschluss als in den ALS-Paneelen führt.

Zusammenfassung

Einige Zusammenfassungen können aus dieser Untersuchung gezogen werden:

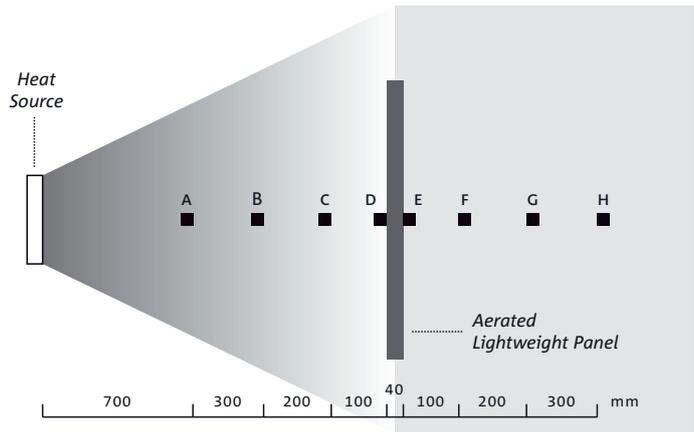
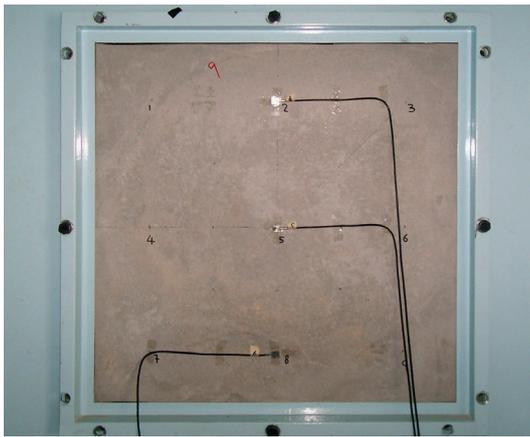
1. Das Temperaturgefälle ist indirekt proportional zur Rohdichte beider Paneelen (ALC und ALS). Luftporen tragen zur Gewichtsminderung der Paneelen bei und fungieren als Dämmung vor Hitzeeintrag.
2. Die Wärmedämmeigenschaft von ALS übersteigt die der ALC bei gleicher Rohdichte.
3. Die Rolle und Bedeutung von ALS sollte in der Zukunft eine herausragende und wachsende Aufmerksamkeit in der Welt in beispielloser Weise erfahren, da dies ein energieeffizientes Material mit wirtschaftlicher Konkurrenzfähigkeit ist.



1 Wärmedämmtest-Einheit
Thermal insulation test facility

2 Öffnung in der Trennwand zwischen "heißem" und "kaltem" Raum
Opening in the partition wall that separates the "hot" and "cool" chambers

5 Typische Temperaturverläufe für Panel ALC2
Typical temperature profile for Panel ALC2



Temperature Gradient, T_g

On each occasion, the temperature gradient across the thickness of the panel is given by the following equation:

$$T_g = \frac{T_1 - T_2}{L}$$

where:

- T_1 = hot panel surface temperature at 20th hour of test, and
- T_2 = cool panel surface temperature at 20th hour of test
- L = thickness of panel

The computed temperature gradient results are shown in Figure 6.

Discussion

From these observations the results correspond well with the findings of Demirboga [2] and Khedari [3]. The temperature gradient increases with the decrease in density and as improved heat insulation characteristics prevent heat from being transmitted into the building. Differences in density and the effective temperature gradient of panels arise from differences in their porosity as voids are filled with air, which adds nothing to the overall weight but provides enormous improvement in heat insulation.

ALS panels exhibit better temperature gradients due to the shape and size of the soil particles. Fine and regular round-shaped soil particles bond less well with each other when compared to irregularly shaped sand. The irregular shapes of sand particles pack more closely, resulting in reduced air voids in ALC panels compared with ALS panels.

Conclusion

Several conclusions can be derived from this experimental investigation:

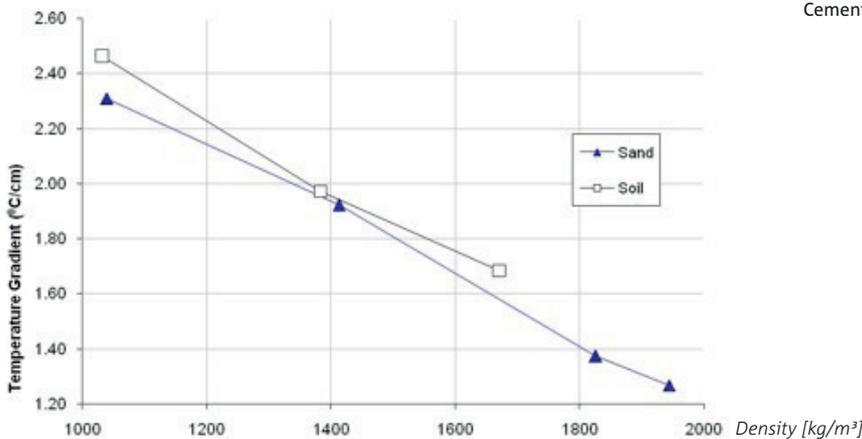
1. The temperature gradient is inversely proportionate to the density of both ALC and ALS panels. Air voids contribute to the lightness of the panels and also act as a heat transfer insulator.
2. The thermal insulation properties of ALS exceeded those of ALC of identical density.
3. Being an energy efficient material as well as being economically competitive, the role and importance of ALS is likely to stand out and catch the increasing attention of the world on an unprecedented scale in the future.

References

[1] Mahlia, T.M.I., Taufiq, B.N., Ismail, Masjuki, H.H. (2007) Correlation between thermal conductivity and the thickness of selected insulation materials for building wall. *Energy and Buildings*, 39, pp. 182-187.

[2] Demirboga, R. and Gul, Rustem. (2003) The effects of expanded perlite aggregate, silica fume and fly ash on the thermal conductivity of lightweight concrete. 33, pp. 723-727

[3] Khedari, J., Watsanasathaporn, P. and Hirunlabh, J. (2005). Development of fire-based soil-cement block with low thermal conductivity. *Cement and Concrete Composites*, 27, pp. 111-116.



3 Versuchsanordnung an der Paneele während des Tests
Instrumentation of panel during the test

4 Plan der Versuchsanordnung für den 'heißen' & 'kalten' Raum mit Temperatur-Mess-Stationen
Schematic plan of the 'hot' and 'cool' room with temperature reading locations

6 Zusammenhang von Temperaturgefälle und Dichte für ALC und ALS Elemente bei 20h-Test
Temperature gradient vs. density relationships for ALC and ALS panels at 20th test hour