مجلة تكريت للعلوم الهندسية/المجلد 16/العدد 4/كانون الأول 2009، (62-70)

دراسة عملية لحساب معامل التوصيل الحراري لمادة الكونكريت الممزوج بالستايروبور

عطا الله حسين جاسم، مدرس
قسم الهندسة الميكانيكية -جامعة تكريت

الخلاصة

تم في هذا ألبحث إستقصاء تجريبي لخصائص إلعزل ألحراري لمزيج من حبيبات إلستايروبور بنسب حجميه مقدارها 50% و60% 70%و80% والأسمنت والرمل بنسب حجميه متساوية مقدارها 25% و20% و15% و10% على ألتوالي بهدف إستخدامه محليا في ألعزل ألحراري للأبنية. شمل البحث على مراحل متعددة منها معايرة الأجهزة الخاصة بقياس كمية الحرارة المنتقلة عبر النموذج ودرجات الحرارة ومن ثم بحث إحتساب نسب المزج للنماذج وأخيرا إجراء إلتجارب ألنهائية لمعرفة علاقة ألموصلية ألحرارية لكل نموذج مع معدل درجة ألحرارة له.

تبين من ألفحوصات ألأولية إن المزيج الجديد له خواص عزل حرارية جيدة وبموصلية حرارية لا تتجاوز 0.3 واط/م.م^{o} وهي قيمة تقع دون ألوسط في سلم ألمواد ألموصلية للحرارة بالنسبة للعوازل ألحرارية والكونكريت ألمستخدم في ألبناء.

أجريت الاختبارات ألتجريبية لمدى من درجات ألحرارة تراوح بين 14 و 70 م^{o} مع تغيير ألنسب ألحجمية للمزيج وأثبتت ألنتائج ألتجريبية إن سلوك معامل ألتوصيل ألحراري مع معدل درجات ألحرارة على سطحي ألنموذج كان سلوكا طرديا كسائر ألعوازل ألمعتمدة.

الكلمات ألدالة: ألستايروبور، ألكونكريت، ألموصلية ألحرارية.

Experimental Study to Find Thermal Conductivity Coefficient for Concrete Mixed with Styropor

Abstract

Thermal insulation properties of a blend mixture composed of different percentages (50% ,60% ,70% and 80%) of styropor with concrete and sand of equal volumetric percentages 15%, 20%, 25%,and 10% respectively. This study includes calibration of instruments for measuring the heat transferred through samples and investigating the way that used for calculating the proportions of mixing for each sample.

Finally the experiments were conducted in order to determine the correlation of thermal conductivity of each sample with its mean temperature.

It was demonstrated that the new mixture has good rank of thermal properties among the other insulators, with thermal conductivity of 0.3 w/m.^{o}C. This value is lower than the mean value of thermal conductivity values of concrete insulators in the buildings.

Experiments are carried out under a temperature range of (14- 70) ^{o}C and under different volumetric proportions of the mixture.

The experimental results showed that the behavior of the thermal conductivity with the mean temperature on the two faces of the sample is directly proportional like the other insulators.

قائمة الرموز

الرمز	المعنى	الوحدة
I	التيار الداخل إلى المسخن	أمبير
K	الموصلية الحرارية للنموذج	واط/م م^{o}
L	سمك النموذج	م
P	القدرة الداخلة إلى المسخن	واط
$Q_{T.L}$	كمية الحرارة المنتقلة خلال الصوف الزجاجي	واط
Q_L	كمية الحرارة المنتقلة خلال جدران الجهاز وقاعدة	واط
Q_s	كمية الحرارة المنتقلة خلال النموذج	واط
ΔT_O	فرق درجات الحرارة للصوف الزجاجي بين القاعدة والسطح العلوي	م^{o}
ΔT_1	فرق درجات الحرارة بين المسخن والهواء	م^{o}
ΔT_2	فرق درجات الحرارة بين أعلى ألعينة وأسفلها	م^{o}
T	معدل درجة الحرارة عبر النموذج	م^{o}
UA	معامل التوصيل الحراري الإجمالي للجهاز	واط/م^{o}
V	فرق الجهد على طرفي المسخن	فولت

ألمقدمة

تُعد البيئة الداخلية للأبنية مهمة جدا لراحة الإنسان وتعتمد هذه البيئة على عدد من العوامل الفيزيائية وان ألإخلال بأحد هذه العوامل يعد إخلالا بتوازن البيئة الداخلية للمبنى. ومن هذه العوامل المهمة هي درجة الحرارة. إن سرعة تبريد البيئة الداخلية أو تسخينها من اجل الحصول على درجة حرارة ملائمة تعتمد على عدة عوامل منها معدل واتجاه انتقال الحرارة خلال مواد البناء. إن أهم عامل مؤثر في انتقال الحرارة خلال جدران وسقوف البناء هو قابلية التوصيل الحراري للمواد المكونة لها وعليه فان استخدام مواد بناء رديئة التوصيل للحرارة يقلل من معدلات انتقال الحرارة خلالها. ويعد استخدام العوازل الحرارية احد الوسائل الرئيسية التي يمكن أن تساهم في ذلك وعليه فان دراسة الخواص الحرارية وبخاصة الموصلية الحرارية أصبح ضروريا جدا لان تصميم أي مبنى يتطلب مواد بناء خاصة تمتاز بخصائص معينة غير متوفرة في مواد بناء أخرى. ومن خلال مراجعة بعض البحوث المنشورة في هذا المجال تبين إن هناك العديد من الدراسات العملية والنظرية أُنجزت من قبل الباحثين حيث أجرى الباحث Russell [1] دراسة عملية على عازل مسامي واستطاع خلال دراسة لانتقال الحرارة في هذه المادة التوصل إلى طريقة تحليلية لحساب الموصلية الحرارية للمواد المسامية بدلالة المسامية وكذلك درس تأثير حجم وشكل الفجوات الهوائية على الموصلية الحرارية المؤثرة للمواد المسامية.

كما أجرى الباحث Luikov وآخرون [2] دراسة عملية ونظرية للموصلية الحرارية المؤثرة للمواد الحبيبية والخلوية كما درسوا تأثير خشونة السطح عند مناطق التماس والمسامية وشكل الهيكل التركيبي للمادة المسامية وتوصلوا إلى معادلة رياضية لحساب الموصلية الحرارية المؤثرة للمواد المسامية تحتوي على كل العوامل المذكورة أعلاه وحصلوا على توافق كبير بين النتائج العملية والنظرية. كما أجرى الباحث Battacharyya [3] دراسة عملية حيث اثبت إن

مجلة تكريت للعلوم الهندسية/المجلد 16/العدد 4/كانون الأول 2009، (62-70)

الموصلية الحرارية للعازل عبارة عن معدل الموصلية الحرارية للألياف عندما تكون عمودية أو موازية على اتجاه انتقال ألحرارة .

درست إمكانية استخدام قشور الرز كعازل حراري من قبل الباحث حمود[4] حيث استخدم جهاز الصفيحة الساخنة ذو العينتين لقياس الموصلية الحرارية. لقد أجرى تجاربه على عينات مصنعة مختبريا واستخدم الغراء الأبيض المصنع محليا كمادة رابطة كما درس سلوك انتقال الحرارة خلال المادة العازلة بتغيير سمك ومعدل درجة الحرارة والكثافة ونسبة المادة الرابطة في العينات وتوصل إلى إن الموصلية الحرارية تتأثر تأثرا ضئيلا بدرجة الحرارة والسمك واستنتج إنها تتغير طرديا مع درجة الحرارة وعكسيا مع السمك لحد معين من السمك مقداره 172ملم وكذلك اثبت إن الكثافة الظاهرية ونسبة المادة الرابطة أكثر تأثيرا من درجة الحرارة والسمك وتتناسب الموصلية الحرارية مع كليهما طرديا. أعطت النتائج العملية التي حصل عليها تطابقا مع نتائج المعادلات الرياضية الموجودة في البحوث السابقة والتي تمثل نماذج رياضية لانتقال الحرارة في المواد العازلة الليفية.

كما درس الباحث ادم[5] تأثير نسبة القصب في الاسمنت وكثافة الألواح وحجم القصب وكمية الرطوبة على معامل التوصيل الحراري المؤثر وفقد الإرسال الصوتي مستخدما عينات بأبعاد (29x29) سم وكانت العينات مصنعة مختبريا واستخدم جهاز الصفيحة الساخنة ذو العينتين في قياس معامل التوصيل الحراري. وبعد مقارنة النتائج التي حصل عليها بنتائج سابقة كانت نسبة الخطأ 10%.

أجريت دراسة عملية من قبل الباحثان كاظم وحذامه[6] لتأثير زهرة الشمس على الموصلية الحرارية ومقاومتي الشد والانضغاط للاسمنت البروتلاندي الاعتيادي بإضافة نسب وزنية من 0% إلى 7% ولاحظا إن الموصلية الحرارية قد انخفضت إلى 0.7 من قيمتها الأولية.

وكذلك أجرى الباحث احمد حسن احمد[7] دراسة عملية ونظرية للعزل الحراري لعازل مكون من نبات القصب والمادة اللاصقة والتي هي الغراء ولإيجاد النتائج النظرية استخدم برنامجا جاهزا ANSYS اما النتائج العملية فقد وجدت لمدى من درجات الحرارة تراوحت بين 40 إلى 90م^{o} مع تغير سمك العينة والذي تراوح بين 5.5 إلى 10.5سم وتم مقارنة النتائج النظرية والعملية فكانت نسبة الخطأ 10.5% عند سمك 5.5 سم وبلغت هذه النسبة 23%. عند سمك 10.5 سم.

المنشأ التجريبي

إن المنشأ التجريبي مع ملحقاته موضح في الصورة الفوتوغرافية في الشكل (1) والصورة الفوتوغرافية للعينات المستخدمة موضحة في الشكل (2) حيث تم بناء هذا المنشأ الذي له القابلية على استقصاء الخواص الحرارية لبعض العوازل ذات الموصلية الواطئة والذي يتكون أساسا من صندوق على شكل متوازي مستطيلات بأبعاد (51x51) سم معزول من الجوانب الأربعة والقاعدة باستخدام الصوف الزجاجي ومادة ألإسبست حيث تتكون الجوانب من طبقتين من ألإسبست بعرض 40 سم وارتفاع 34 سم تفصل بينهما طبقة من الصوف الزجاجي بسمك 5 سم أما القاعدة فتم تصنيعها من طبقة من ألإسبست والتي ثبت عليها المسخن ومغطاة بقطعة من النحاس بأبعاد (40 x 40) سم وبسمك 2ملم لغرض الحصول على تجانس في درجة حرارة أسفل العينة وكذلك لفصل العينة عن المسخن. وتم وضع الصوف الزجاجي بسمك 8.5 سم أسفل المسخن ثم وضعت قطعة ألإسبست الخارجية. إن استخدام الصوف الزجاجي هو

لتقيل الفقدان د الحراري أي (الخسائر في كمية الحرارة المفقودة). ولغرض قياس درجات الحرارة في مناطق مختلفة من الجهاز فقد استخدمت تسعة مزدوجات حرارية نوع K ويبين الشكل (4) مخططا للجهاز مع مكوناته ومواقع تثبيت المزدوجات الحرارية.

ولغرض قياس درجة الحرارة وفرق الجهد فقد استخدم جهاز البوتنشوميتر Poteniometer الذي يقوم بقراءة القوة الدافعة الكهربائية المتولدة على طرفي المزدوج الحراري وتظهر على شكل فرق جهد مقاساً بالـ(ملي فولت) ولقياس التيار المار خلال المسخن فقد استخدم جهاز Philips نوع PM- 242/o1 وبدقة تصل إلى 0.06 أمبير عند القراءة العظمى وذو مدى من القراءات 0.01-6 أمبير واستخدم جهاز متعدد الإغراض لقياس الفولتية على طرفي المسخن نوع hp3468 وبدقة تصل إلى 10^{-6} فولت وذو مدى من القراءات يتراوح بين 0 و300 فولت.

طريقة عمل الجهاز والقياسات

بعد تحضير العينات المراد اختبارها تثبت المزدوجات الحرارية في المواقع رقم (5،6،8،9) ويتم وضع العينة داخل الجهاز بعد ذلك يتم ضبط القدرة الداخلة إلى المسخن عن طريق التحكم بمقدار 66 الجهد المسلط على المسخن وذلك لتوليد كمية الحرارة اللازمة لمرورها خلال العينة، وبعد التشغيل يترك الجهاز لفترة زمنية مناسبة تتراوح بين 12 إلى 14 ساعة للوصول إلى حالة الاستقرار ويعزى طول الفترة الزمنية إلى مقدار القدرة القليلة الداخلة بالإضافة 66 القيمة الواطئة لمعامل التوصيل الحراري الإجمالي (UA) وبعد الوصول إلى حالة الاستقرار تسجل القراءات الآتية:

1. فرق الجهد والتيار الداخلين إلى المسخن.
2. درجات الحرارة في أسفل وأعلى العينة.
3. درجات حرارة السطح الجانبي.
4. رجة حرارة المسخن.
5. درجة حرارة القاعدة السفلية.
6. درجة حرارة الهواء.

معايرة الجهاز والمزدوج الحراري

لغرض معرفة مدى كفاءة المنظومة في إجراء الاختبارات لقياس معامل التوصيل الحراري للمواد المستخدمة في هذا البحث تم وضع الصوف الزجاجي داخل الجهاز بارتفاع 20 سم لغرض حساب معامل انتقال الحرارة الإجمالي (UA) حيث تم تسليط قدرة معلومة على الجهاز لغرض حساب مقدار الخسائر في كمية الحرارة المنتقلة ووجد إن معدل معامل انتقال الحرارة الإجمالي للجهاز يساوي 0.361 واط/م^{o} والشكل رقم (5) يوضح معايرة الجهاز. وتمت معايرة المزدوج الحراري نوع K مقارنة مع المحرار الزئبقي حيث وضع الاثنان معاً في ماء بارد وبعدها يسخن الماء باستخدام مسخن كهربائي (Heater) وتسجل قراءة المزدوج والتي تقابلها قراءة المحرار الزئبقي وترسم العلاقة بينهما كما في الشكل (4).

المواد المستخدمة في تحضير العينات

تم تهيئة كافة المواد اللازمة لانجاز هذا البحث من المواد الشائعة الاستعمال في العراق كما تم تهيئة كافة القوالب والأجهزة التي تم استخدامها قبل البدء بالعمل. يعد الاسمنت المادة الرابطة في هذا البحث والمواد المضافة هي الرمل والستايروبور وتعتبر مادة الستايروبور المادة التي تم استخدامها كعازل حراري وذلك لأنها رديئة التوصيل الحراري ،وقد تم استخدامها على شكل حبيبات ناعمة تمت غربلتها باستخدام ٠٠ ل قياسية لها رقم (mesh) كالأتي : (8,4,7) 65

إن رقم mesh يعني عدد الفتحات الموجودة لكل انج طول. لقد تم استخدام الاستايروبور ذو الحجم المتوسط الخارج من الغربال رقم (7).

تحضير العينات

تم في هذه الدراسة تحضير أربعة عينات متكونة من حبيبات الستايروبور بنسب حجمية مقدارها

50% و60% و70% و80% مع نسب متساوية من الاسمنت والرمل مبينه في الجدول (1).

تم تهيئة القالب وهو على شكل متوازي مستطيلات بأبعاد(40 x 40) سم وسمك 5 سم وتم استخدام مجموعة من الأدوات منها وعاء لمزج المواد وكذلك اسطوانة مدرجة لتحديد أحجام المواد.

بعد تحضير نسب المواد بشكل نهائي توضع داخل وعاء المزج وتمزج جيدا مع الماء لضمان تجانس توزيع المواد داخل العينة. بعد تهيئة القالب المراد استخدامه في تحضير العينات يتم طلاء السطح الداخلي للقالب بطبقة رقيقة من الزيت لمنع التصاق المادة بالقالب بعد عملية الجفاف. وبعد الانتهاء والتأكد من جفاف العينة يرفع القالب وتترك العينة معرضة إلى الهواء الخارجي لضمان جفافها.

نموذج حسابات

تم احتساب المتغيرات المختلفة الداخلة في حساب معامل التوصيل الحراري لكل نموذج وكما يلي: (موضحة للقراءة الأولى وللعينة ذات نسبة 50% ستايروبور).

- القدرة الداخلة إلى المسخن (P) واط

$$P = I * V = 0.28 * 20.5 = 5.74w$$

- كمية الحرارة المفقودة من الجهاز (Q_L) واط.

$$Q_L = UA * \Delta T_1 = 0.316 * 10 = 3.165w$$

- كمية الحرارة المارة خلال العينة (Q_S) واط وتساوي (القدرة الداخلة إلى المسخن-كمية الحرارة المفقودة من الجهاز).

$$Q_S = P - Q_L = 5.74 - 3.165 = 2.57w$$

- معامل التوصيل الحراري (K) واطام م^o من قانون فورير لانتقال الحرارة بالتوصيل وصيغته كما يلي[7]

$$Q_S = KA\frac{\Delta T_2}{L} \Rightarrow K = \frac{Q_S * L}{\Delta T_2 * A}$$

$$K = \frac{2.57 * 0.045}{4 * 0.16} = 0.181 w/m^O C$$

حيث A =مساحة العينة العمودية على انتقال الحرارة

L = سمك العينة.

- معدل درجة الحرارة عبر النموذج

$$T_{av} = \frac{T_6 + T_8}{2} = \frac{12+16}{2} = 14^O C$$

النتائج والمناقشة

يوضح الشكل (6) تغير معامل التوصيل الحراري مع تغير معدل درجة الحرارة للعينة ذات نسبة 50% ستايروبور وتمت معاملة النتائج إحصائيا لاستخلاص علاقة بين معامل التوصيل الحراري ومعدل درجة الحرارة(°م) وكانت كما يلي:

$$K(T) = -0.0813 + 0.0248 * T - 5.4 * 10^{-4} * T^2 + 3.87 * 10^{-6} * T^3$$

ويبين الشكل هذه العلاقة مع المعلومات المستخلصة من التجربة حيث يدل على مدى تأثير درجة الحرارة على الموصلية الحرارية ويلاحظ إن الموصلية الحرارية تزداد مع زيادة درجات الحرارة بصورة كبيرة عند درجات الحرارة الواطئة ثم تقل هذه الزيادة تدريجيا فوق درجة حرارة مقدارها 30 م^o. ويلاحظ إن معدل الموصلية الحرارية هو 0.245 واط/ م.م^o عند درجة حرارة 22م^o وان الموصلية الحرارية عند درجة حرارة 20 م^o تساوي 0.23 واط/ م.م^o . ويبين الشكل (7) نفس المعلومات أعلاه للعينة ذات نسبة الستايروبور 60% حيث كانت العلاقة على الشكل الأتي:

$$K(T) = -0.15 + 0.0107 * T - 6.8 * 10^{-5} * T^2$$

وكان معدل الموصلية الحرارية هو 0.2 واط/ م. م^o

عند درجة حرارة مقدارها 46 م^{o} وان الموصلية الحرارية عند 20 م^{o} تساوي 0.037 واط/ م. م^{o} .

يوضح الشكل (8) العلاقة بين K و T لنتائج العينة ذات نسبة ستايروبور 70% حيث كانت كالأتي:

$$K(T) = -0.0657 + 0.008 * T - 6.31 * 10^{-5} * T^{2}$$

حيث بلغ معدل الموصلية الحرارية 0.1595 واط/ م. م^{o} عند درجة حرارة مقدارها 41 م^{o} وكانت الموصلية المتوقعة عند 20 م^{o} هي 0.69 واط/ م. م^{o} وأخيرا يبين الشكل (9) نفس المعلومات للعينة ذات نسبة ستايروبور 80%حيث كانت العلاقة كالأتي:

$$K(T) = 0.0734 + 0.00127 * T - 1.088 * 10^{-5} * T^{2}$$

كان معدل الموصلية للنموذج هو 0.1055 عند درجة حرارة مقدارها 37 م^{o} وقدرت الموصلية 0.094 واط/ م. م^{o} عند 20 م^{o}. يلاحظ من النتائج أعلاهإن العلاقة بين الموصلية الحرارية ونسبة الستايروبور في النموذج تكون ذات ارتباط قوي حيث تم رسم هذه العلاقة الشكل في الشكل (10) لدرجات حرارة مختلفة ويتضح مثلا عند درجة حرارة مقدارها 70 م^{o} تقل الموصلية بـ 0.0073 واط/ م. م^{o} لكل 1% زيادة في نسبة حجم الستايروبور ولو قورنت هذه القيمة بمعدل الموصلية لهذه الحالة وهي 0.225 لكان الانخفاض مساويا 3.2% تقريبا لكل 1% زيادة في حجم الستايروبور.

ألاستنتاجات

1. تراوحت قيمة الموصلية الحرارية للعينات بين (0.1 إلى 0.3) واط/م. م^{o} عند نسب ستايروبور من 50 إلى 80% ودرجات حرارة بين 14 إلى 0) م^{o} .
2. تتناقص قيم معامل التوصيل الحراري مع زيادة النسبة ألحجمية للستايروبور المضاف إلى الاسمنت والرمل حيث قدر التناقص بحدود3.2% لكل 1% من حجم الستايروبور عند درجة حرارة 70م^{o} وضمن حدود التجربة.
3. إن علاقة معامل التوصيل الحراري مع معدل درجة الحرارة عبارة عن منحني وكلما ارتفع معدل درجة الحرارة للنموذج ارتفع معامل التوصيل الحراري علما إن معدل الزيادة يتناقص مع زيادة درجة الحرارة.

المصادر

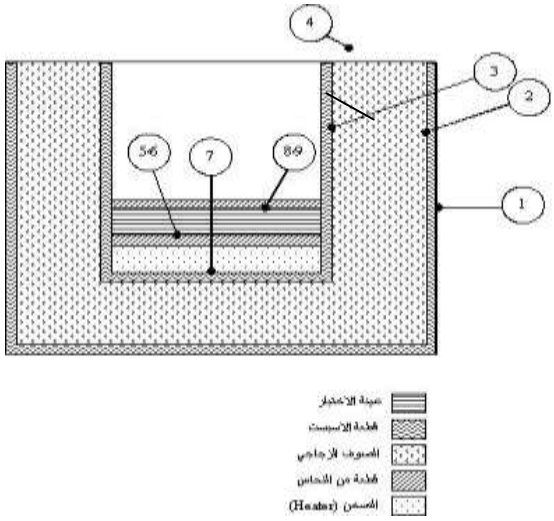
1. Russell , H.W., "principle of heat flow in porous insulation " , Journal of American ceramic society , vol .18. No .1, (1935), pp .1-5.
2. Luikov ., A..V.,Shashkov,A .G.,Vasliev , L.L., and Fraiman , Y.E., " Thermal conductivity of porous systems : , Int . J.heat and mass transfer ,vol .11,1968,pp.117-140.
3. Battacharyya ,R.K .,"Heat transfer model for fibrous insulation " , Thermal insulation performance , ASTM STP 718, McElroy , D.L.,and Tye ,R.P.,Eds., ASTM 1980,pp.272-286.
4. حمود عبد الله حمود ، استخدام قشرة الرز كعازل حراري"، رسالة في الهندسة الميكانيكية – جامعة البصرة، (1983) .
5. شموئيل خوشابا ادم ، " دراسة عملية ونظرية للخواص الحرارية والصوتية لألواح القصب الإسمنتية "، رسالة دكتوراه فلسفة في الهندسة الميكانيكية – جامعة الموصل (1997) .
6. كاظم احمد محمد وحذامة احمد محمد ، تأثير قشور بذور زهرة الشمس على الموصلية الحرارية للإسمنت البورتلاندي الاعتيادي: جامعة الموصل J.Edu.And Sci المجلد 33 ، 1998 .

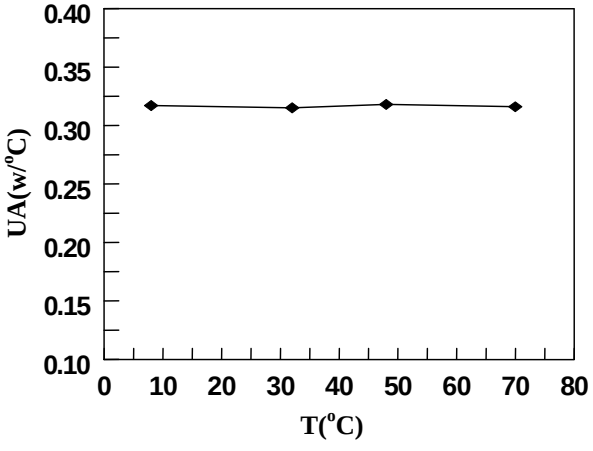
7. احمد حسن احمد،" إيجاد مواد عازلة لجدران وسقوف المخازن المبردة باستخدام بدائل

شكل (1) صورة فوتوغرافية للجهاز

المي

شكل (2) صورة فوتوغرافية للعينات المستخدمة





1 المزدوج الموضوع على الجدار الجانبي للجهاز بعد القطعة الجانبية الخارجية من ألإسبست

2 المزدوج بين طبقة الصوف الزجاجي والطبقة الخارجية من قطعة ألإسبست

3 المزدوج بين طبقة الصوف الزجاجي والطبقة ألداخلية من قطعة ألإسبست

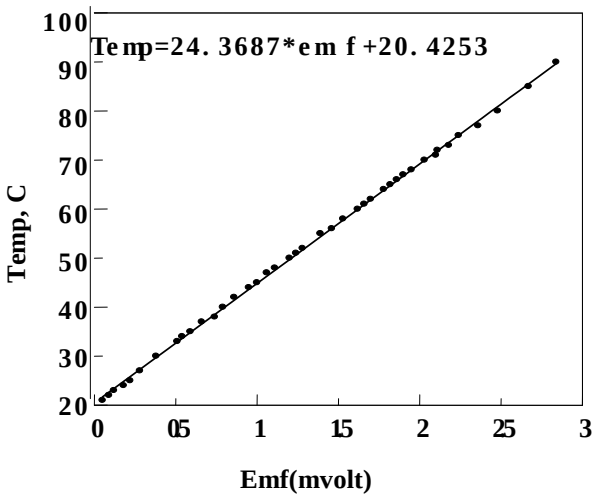
4 المزدوج المعرض للجو

5,6 المزدوج الموضوع على أسفل العينة

7 المزدوج الموضوع على قطعة ألإسبست الداخلية التي تم تثبيت المسخن عليها

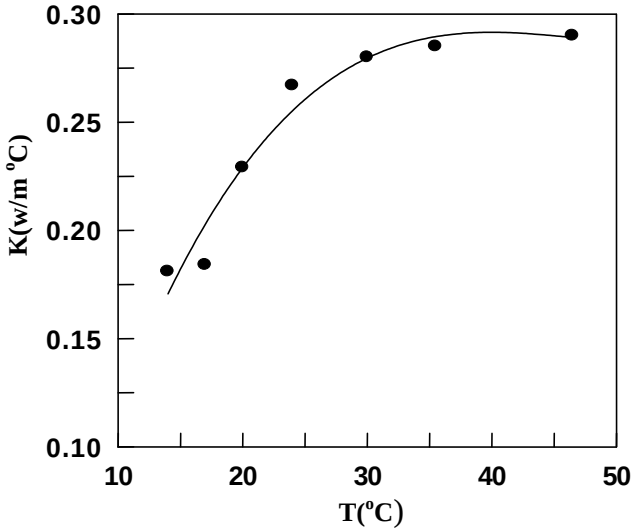
8،9 المزدوج الموضوع في أعلى العينة

شكل (3) رسم تخطيطي للجهاز المختبري

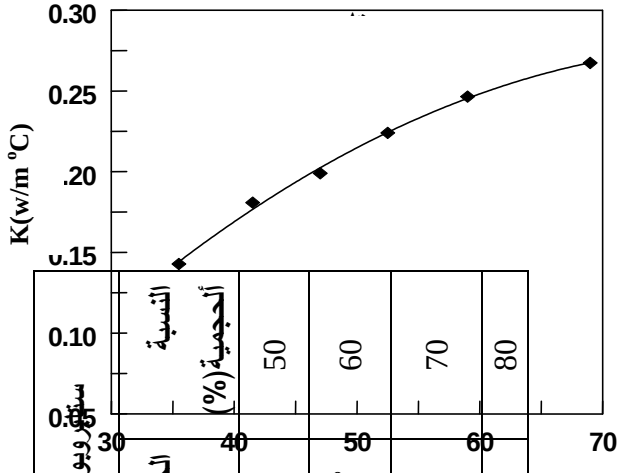


شكل (4) معايرة المزدوج الحراري نوع k

شكل (5) يوضح معايرة الجهاز المستخدم



شكل (6) يوضح تغير معامل التوصيل الحراري مع معدل درجة الحرارة للعينة ذات نسبة حجمية 50%

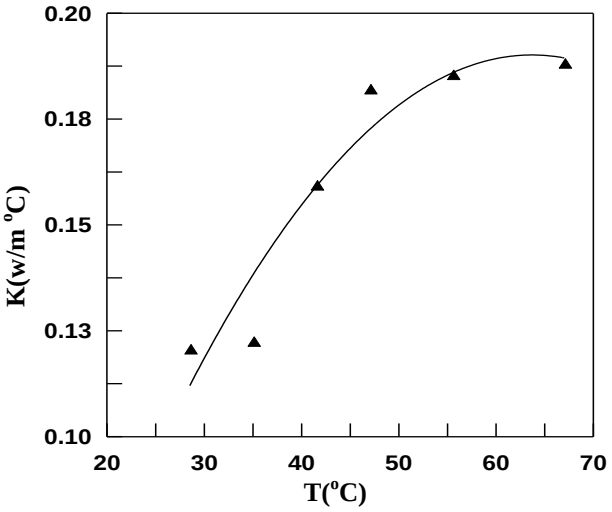


سمنت	النسبة ألحجمية(%)	25	20	15	10
	الحجم cm^3	2000	4000	6000	8000

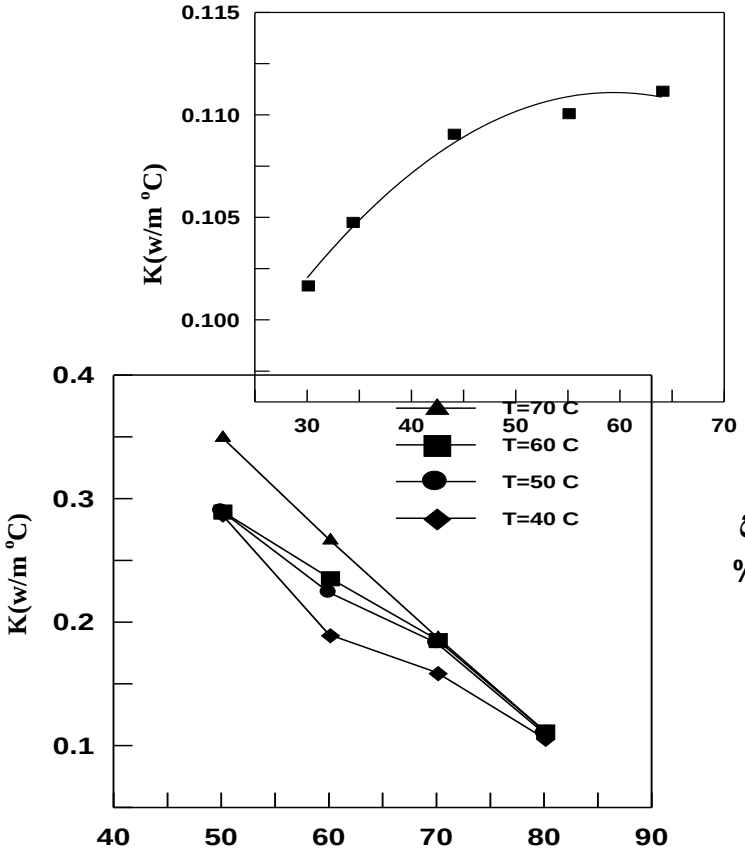
شكل (7) يوضح تغير معامل التوصيل الحراري مع معدل درجة الحرارة للعينة ذات نسبة حجمية 70% ستايروبور.

جدول (1) النسب الحجمية للمواد المستخدمة

رمل	الحجم ($سم^3$)	2000	1600	1200	800
	النسبة ألحجمية(%)	25	20	15	10
	الحجم ($سم^3$)	2000	1600	1200	800



شكل (8) يوضح تغير معامل التوصيل الحراري مع معدل درجة الحرارة للعينة ذات نسبة حجمية 70% ستايروبور.



شكل (9) يوضح تغير معامل التوصيل الحراري مع معدل درجة الحرارة للعينة ذات نسبة حجمية 80% ستايروبور.

شكل (10) يوضح تغير معامل التوصيل الحراري مع النسبة المئوية الحجمية للستايروبور عند درجات حرارة مختلفة.