

بررسی عایق‌های حرارتی پلی استایرن منبسط شده (EPS) و پلی یورتان

رامیلا خلیلی، دانشجوی رشته معماری دانشگاه آزاد اسلامی تبریز

منظور از عایق کاری حرارتی، ثابت نگاهداشتن یا به حداقل رساندن هزینه لازم برای حفظ شرایط مطلوب و آسایش در فضای داخل بنا می باشد. حفظ آسایش حرارتی از تعادل دما میان بدن و محیط اطراف ناشی می گردد.

طبق توصیه مبحث نوزدهم مقررات ملی ساختمان، مقدار ضریب انتقال حرارت سطحی (U) هر قسمت از پوسته خارجی ساختمان نباید از $1,2 \text{ w/m}^2.\text{k}$ بزرگتر باشد تا سطح داخلی ساختمان دمای مناسبی داشته باشد. بنابراین به جرأت می توان گفت در قرن حاضر پلاستیک های سلولی یا فوم های پلاستیکی نقش بسیار مهمی در عایق کاری حرارتی ساختمان ایفا می نمایند.

استفاده از پلی استایرن انبساطی (EPS) به عنوان عایق حرارتی، از همان بدو پیدایش به دلیل چگالی پایین و سهولت نصب، هدایت حرارتی پایین، قدرت بالای جذب صوت، عدم تصاعد گازهای سمی در حین اشتعال، قیمت پایین، عدم جذب آب و داشتن ضریب نفوذپذیری اندک مطرح بوده است. همچنین با استناد به آزمایشهای انجام شده با بلوک های پلی استایرن می توان از اتلاف انرژی کلی ۱۵ درصدی در ساختمان جلوگیری کرد. لذا با عنایت به رقم ذکر شده می توان گفت که با دوجداره نمودن دیوارهای ساختمان و استفاده از یک لایه نازک پلی استایرن در داخل دیوار، گام موثری در جهت بهینه سازی مصرف انرژی برداشته می شود.

دراین مقاله بررسی های ارایه شده حاکی از قابلیت و کاربرد این فرآورده ها بوده که در کنار آن با مطرح نمودن چند مشکل جدی روشهایی برای برآورده ساختن آنها ارایه می شود. به امید آنکه با معرفی مزایا و معایب این فرآورده ها گامی مهم در جهت بهینه سازی مصرف سوخت در ساختمان برداشته باشیم.

مقدمه

در طراحی ساختمان و مسائل تکنیکی آن، آسایش حرارتی انسان به وضعیتی اتلاق می گردد که ۸۰٪ انسانها در آن احساس آسایش کنند. طبق استانداردهای پذیرفته شده بین المللی، این محدوده بین ۵ و ۲۲ - ۲۵ درجه دمای موثر و ۱۴-۵ میلی متر جیوه فشار بخار آب و ۲۲ cm/Sec سرعت جریان هوا میباشد.

طراحی عایق کاری متناسب با اجزای تشکیل دهنده پوسته خارجی ساختمان، بر مبنای اصول، قواعد و ضوابطی چند صورت میگیرد. عدم شناخت یا عدم رعایت این اصول موجب انتخاب راه حل هایی می گردد که از نظر کارایی و دوام با کمبودها و مشکلاتی همراه هستند.

در همین راستا طبق توصیه راهنمای مبحث نوزدهم، اجزای تشکیل دهنده پوسته خارجی ساختمانها بایستی حداقل حائز شرایط ذیل باشند:

- ۱ - محدود کردن انتقال حرارت در حد مقادیر مجاز مقررات ملی ساختمان در ایران
- ۲ - انتقال بخار آب یا سد نمودن آن، بدون ایجاد میعان و خرابی در پوسته ساختمان
- ۳ - دوام در برابر عوامل محیطی و اقلیمی و مقاومت در برابر مواد و گازهای شیمیایی
- ۴ - پایداری کافی در برابر نفوذ جانداران (حشرات و میکروارگانیسم ها)

صفحات پلاستیک :

این صفحات که از پلی استایرن و پلی یورتان فرآوری میشوند مقاومتی برابر $R=4$ تا $R=6$ در هر اینچ ضخامت را دارند که قابل اشتغال بوده ولذا باید از آتش دور نگه داشته شوند چرا که هنگام سوختن دودی سمی تولید میکنند.

پانل های EPS در ازای پانل های پلی یورتان :

پلی استایرن ها به صورت خالص و به شکل پودر قالب گیری تزریقی و در قطعات ساخته شده تولید می گردند. این فرآورده در اثر گرما و اشتغال ذوب می گردد و همراه با متصاعد کردن بخار بی رنگ تا متمایل زرد، تجزیه می شود. به سهولت شعله ور شده و با شعله فروزان بسیار دوده ای می سوزد. بوی آن نوعا خوش و مشابه بوی گاز زغال سنگ است. پانل های پلی استایرن از توریهای فوم توسعه یافته در یک محفظه متراکم ساخته می شوند و پانل ها پلی یورتان نیز از مخلوط مواد شیمیایی پلی یورتان در محفظه پانل و تزریق گاز به منظور واکنش شیمیایی ساخته می شوند.

به جهت عدم وابستگی EPS به عوامل دمشی بار در مرحله ساختاریش، ساخت آن برخلاف پلی یورتان مستلزم صرف زمان طولانی نخواهد بود.

بررسی قابلیت هدایت حرارتی برای عایق‌های مختلف

مصلح	وزن مخصوص	قابلیت هدایت حرارتی
پلی استایرن (یونولیت)	۲۰ - ۵۰	۰/۰۳۵ - ۰/۰۴
پلی یورتان	۲۰ - ۵۰	۰/۰۳ - ۰/۰۳۵

بهره‌گیری از فوم‌های پلی یورتان با زمینه کاربردی در ساختمانها:

فوم‌های پلی یورتان پاششی حدود ۴۰ سال قبل معرفی شدند که به جهت دارا بودن خاصیت چسبندگی درخور توجه و مقاومت گرمایی مطلوب، پیشرفت‌ها و موفقیت‌های چشمگیری را در صنعت ساختمان موجب شدند.

فوم‌های پلی یورتان از جمله موانع هوایی خوب به شمار می‌آیند بطوریکه محصولات با چگالی بالاتر و متوسط آنها می‌تواند به عنوان موخر بخار (به تاخیر اندازنده بخار) بکار برده شوند. قابلیت دسترسی آنها در چگالی‌های مختلف بدین معنی است که این مواد می‌توانند مقاومت مکانیکی افزایش یافته‌ای را فراهم کنند برای مثال مقاومت به فشار و مقاومت به استحکام.

این مواد نه تنها در ساختمانها بلکه برای عایق کاری مخازن، کانال‌ها و لوله‌ها نیز کاربرد دارند. علیرغم کاربرد گسترده این فوم هنوز سؤالاتی از عملکرد مربوط به آن بدون پاسخ باقی مانده است که عبارتند از:

۱ - دلایل کاهش مقاومت گرمایی چیست؟

۲ - زمانی که این فوم به عنوان موخر بخار مطابق با کد ساختمان ملی به کار برده می‌شود فوم چگونه به خاصیت پخشی بخار آب غلبه می‌کند؟

یافته‌ها بیانگر پاسخ چنین سؤالاتی توسط انستیتو NRC برای تحقیق اصول ساختمان با همکاری مرکز صنعت پلاستیک کاناداست که در این مقاله ارائه می‌گردد.

انواع فوم‌های پلی یورتان با زمینه کاربردی :

فوم اسپری از دو جزء تشکیل می‌شود :

۱ - ترکیب پلی ایزوسیانات و پلی هیدروکسیل

۲ - مشتمل بر عوامل دمشی هوا که انبساط فوم را ممکن می‌سازد و همچنین سایر افزودنی‌ها مانند استایلایزر که فوم را از پوسیدگی حفظ می‌کند

با توجه به قابلیت واکنش و مکانیزم تسلیم مواد، فوم ممکن است به یکی از موارد ذیل متمایل شود.

الف - فوم خالص (مایع)

ب - فوم اسپری یا پاششی (قطرات مایع)

ج - فوم کف (قطراتی شامل حباب‌های گازی می‌شوند)

همچنین یک نوع فوم رطوبتی نیز وجود دارد که اغلب "درزگیر پلیمری" نامیده می شود این نوع فوم توسط گاز پروپلانت از طریق یک لوله های پلاستیکی پخش می شود تا امکان قرارگیری عامل درزگیر بر محل مورد نیاز میسر شود. فوم های پلی یورتان مطابق با استحکام تراکمی یا مقاومت در برابر فشار طبقه بندی می شوند.

جدول ۱ چگالی تقریبی بخش میانی فوم (مرکز) را که چه بسا جهت فراهم کردن دوام مورد نظر برای کاربردهای مختلف است را نشان می دهد.

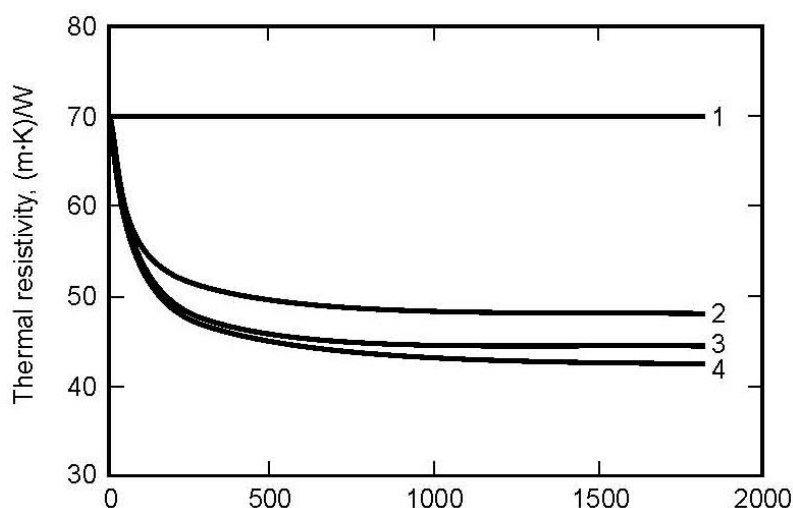
انواع SPF	کاربرد اصلی	نیروی فشار kpa(psi)	چگالی مرکز (b/ft)kg/m
چگالی خیلی زیاد SHD	پوشش حرارتی در پشت بام ها	380(55)	56(3.5)
چگالی زیاد HD	پوشش حرارتی در پشت بام ها	280(40)	45(2.8)
چگالی متوسط MD	پوشش حرارتی در دیوارها	170(25)	37(2.3)
چگالی پایین LD	پوشش حرارت در دیوارها	100(15) 100(15)	20(1.3) 27(1.7)
فوم درزگیری BSF	درزگیری هوا	35(5)	16(1.0)
فوم سلول باز OCF	درزگیری هوا	N/A	8(0.5)

- فوم های دارای چگالی خیلی زیاد و زیاد اغلب به عنوان عایق حرارتی در بام خانه بکار برده می شوند و دارای ضخامت ۴۰ میلی متر هستند که با توجه به نوع اقلیم بکار گرفته می شوند.
- فوم های با چگالی متوسط در کارهای ساختمانی و بنایی کاربرد دارند
- فوم های با چگالی پایین قابلیت تنظیم بخار بیشتری از نوع متوسط را دارند و به عنوان موخر بخار شناخته می شوند.
- فوم توری درزگیر کاربردی با کیفیت خوب باید خواص زیر را دار باشد:
- چگالی بین 27Kg/m^3 و 50kg/m^3
- درصد سلولهای بستر بین ۶۰٪ و ۹۰٪
- مقاومت به فشار بین ۸۰-۴۰ kpa

روند فرسودگی فوم ها :

مخلوط ترکیبات در طول فرآیند اسپری (پاشش) موجب واکنش حرارت زایی یا گرمزایی می شود که عامل جوش را به نقطه جوش می رساند.

وقتی گاز منبسط می شود حباب های کوچکی را شکل می دهد که درماتریس پلیمری قرار می گیرد. جهت ایجاد شرایط خود پشتیبانی فوم پلیمری این عمل باید در شرایط سخت تری انجام گیرد. همچنین نفوذ پخشی هوا از سطح به درون فوم بسیار آرام رخ می دهد. این پخش هوا در درون سلولها باقی مانده و سلولها را اشباع می کند از این رو با پیشروی بیشتر هوا در عایق، وجودش در کاهش تدریجی مقاومت گرمایی فوم حاصل می شود یعنی به مرحله فرسودگی یا فوم فرسوده می رسد. تاثیر فرسودگی فوم برروی SPF در شکل ۱ نشان داده شده است.



شکل ۱

منحنی ۱ لایه ۲۵ میلی متری پلی یورتان نازک را نشان می دهد (کل سطح آن با پوشش اپکسی عایق شده است) که تحت تاثیر فرسودگی قرار نمی گیرد.

منحنی ۲ فوم پلی یورتان را زمانی که هوا می تواند به داخل آن وارد شود را نشان می دهد که توزیع مجدد نقطه جوش برای این مرحله ی خاص حذف می گردد.

منحنی ۳ علاوه بر مورد قبلی تاثیر مرحله فرسودگی جذب نقطه ای جوش توسط ماتریس پلیمری را نشان می دهد.

منحنی ۴ علاوه بر مورد قبلی تاثیر پخش بیرونی نقطه ی جوش را نشان می دهد.

بنابراین تغییری را که در مقاومت گرمایی فوم در مدت زمان سرویس دهی اش رخ می دهد در این نمودار به تصویر کشیده شده است. این محاسبات بیشترین کاهش مقاومت گرمایی ناشی از پخش هوا در داخل سلولها را نشان می دهد.

در نتیجه برخلاف نظریه های قبلی کاهش نقطه جوش از پخش بیرونی، عامل اصلی در کاهش مقاومت حرارتی عایق نیست.

طرح مقاومت حرارتی فوم های پلی یورتان :

توده شدگی حرارتی عایق پلی یورتان مشکلی را برای طراحان ایجاد می کند بطوریکه آنها نمی توانند از مقاومت گرمایی اولیه مواد در محاسباتشان استفاده کنند. آنچه که برای اهداف طرح مورد نیاز است برآوردی است که کاهش تدریجی مقاومت حرارتی را نشان می دهد.

اگر محصول آزمایش نشده باشد و LTTR^۱ آن در دسترس نباشد مقادیر ارائه شده در جدول ۲ قابل اجرا برای محصولات SPF ساخته شده مطابق با استانداردهای اخیر می باشد.

ضخامت mm(in.)	مقاومت حرارتی (m.K) /W [(ft ² h F)/BTU in.]
40 (1.5)	39.5 (5.70)
50 (2)	39.9 (5.80)
75 (3)	42.4 (6.5)

عملکرد رطوبتی فوم های پلی یورتان :

زمانی که فوم پلی یورتان در دمای ثابت در معرض آب در هر کدام از حالت‌های مایع یا بخار قرار می گیرد رطوبت کمی در فوم شکل می گیرد. چرا که حدود ۹۰٪ دیواره ها در مجاورت آن قرار دارند و از این رو محدود به دیوارهایی می شود که آب نمی تواند نفوذ کند. با وجود این اگر در معرض آب تحت گرادیان گرمایی رخ دهد، همچون حالت کلی برای عایق های ساختمانی که یک جبهه عایق (داخلی) گرم و دیگری (خارجی) سرد است، بخار آب می تواند از طریق سلولهای فومی مجاور جبهه سرد منتقل شده و در عایق جمع شود. فشاردیفرانسیلی بیشترین فشار در طرف گرم عایق است که با تغییرات دما کاهش می یابد.

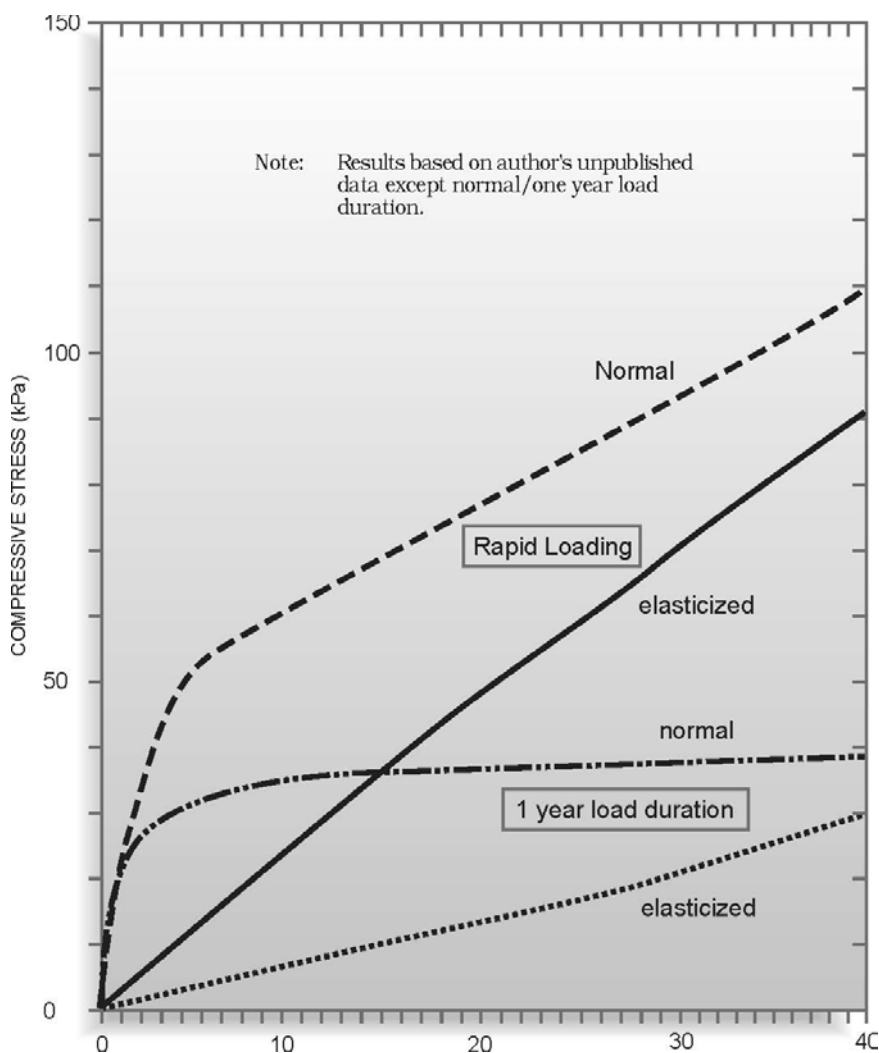
از این رو لایه های نازک عایق فوم اسپری (کمتر از ۱۵ میلی متر) توصیه نمی شود.

¹ -Long-Term Thermal Resistance

لایه های ضخیم تر از ۴۰ میلی متر و یا بیشتر، در کل دارای عملکرد خوبی هستند. اگر طرف سرد عایق در تماس باماده غیر قابل نفوذ مانند صفحات فلزی باشد آب امکان عبور از آن را نخواهد داشت. همچنین وجود هوا و نقطه جوش در درون دیواره ها نیز عایق را از آسیب ناشی از مرحله یخ زدن محافظت می کند.

اصول و روشهای عملی :

۱ - زمانی که از فوم با چگالی متوسط در دیوارهای دارای دو مانع بخار و عایق استفاده شود ضخامت ۴۰



بررسی آزمایشات منحنی تنش - کرنش
EPS و EEP در طی یک سال

میلی متر توصیه می گردد.

۲ - زمانی که مواد فوم در پشت پوشش فلزی دیواره، مورد استفاده قرار میگیرند بدین منظور است که مصونیت از مقاومت آب را پشتیبانی بکند که کمینه پهنای سوراخ هوا ۲۵ میلی متر است.

۳ - موقتی که از مانع هوا استفاده می شود ممکن است فوم پلی یورتان بر روی مفاصل ، شکاف بردارد که مربوط به فعالیت انقباضی یا به جهت انحراف ساختاری مربوط می باشد که به منظور نگهداری و یکپارچگی هوا، یک دیواره چسبنده و ورقه ای را به هر دو طرف دیواره نصب می کنند.

پلی استایرن منبسط شده بکار رفته در زمینه کارهای اصلاحی:
مواد و مصالح سبک وزن :

– مقاومت به فشار (استحکام تراکمی یا سختی فشار):

مقاومت به فشار حداقل باید 100 kN/m^2 باشد در غیراینصورت به روش دیگری مشخص و معلوم میگردد. متوسط میزان بلوکهای آزمایش شده نباید کمتر از 100 kN/m^2 باشد میزان متوسط قالبهای مجزا (حداقل ۶ نمونه) باید کمتر از 90 kN/m^2 باشد و نتایج آزمایش نیز نباید کمتر از 80 kN/m^2 گردد. سختی فشار یا مقاومت به فشار به عنوان فشار در ۵٪ کشش اندازه گیری شده در تجهیزات فشاری نامحدود، محدود می شود. آزمایشات باید بر روی نمونه ای به اندازه $50 \times 50 \times 50$ میلی متر شکل گیرد.

عوامل خطرات انفجار و آتش به خاطر پنتان در پلی استایرن انبساطی (EPS):

پلی استایرن قابل انبساط خام، محتوی گاز قابل اشتغال معمولاً دارای خاصیت نفوذپذیری است و حتی مقداری از آن هم بسیار قابل اشتغال می باشد. نقطه اشتعال آن ۵۰ درجه سانتیگراد و نقطه ی جوش آن ۳۶ درجه سانتیگراد است. سنگین تر از هوا و بی رنگ می باشد. مقدار پنتان در کل مدت زمانی که ماده در انبار نگهداری و حمل و نقل می شود ثابت است و حتی در بعضی از محصولات نهایی به مدت کوتاهی بعد از تولید و ساخت، آزاد می گردد .

احتیاط و خطرات :

- ۱ – پنتان اگر در معرض تماس با دمای هوایی که بیشتر از ۲۸۵ درجه سانتیگراد قرار گیرد آتش خواهد گرفت.
- ۲ – از کشیدن سیگار در اطراف این محیط خودداری شود.
- ۳ – استفاده از گرم کننده ها اطراف پنتان به خصوص در فصل زمستان موجبات آتش سوزی را فراهم می کند.
- ۴ – سیم پیچی الکتریکی موقتی و استفاده از ابزارهای الکتریکی قابل حمل می تواند موجب آتش سوزی بشوند.
- ۵ – سوپچ ها و فن های تهویه که بخارهای قابل اشتغال پنتان را سریع باعث می شوند باید چک و بررسی شوند.

تعریف فرآورده یا محصول G-TEC :

از EPS منبسط شده سلول بستر ساخته می شود که برای تولید و رفتار زمانی یا تنش تغییر یافته تشکیل شده است و به خصوص برای کاربردهای ژئومکانیکی کاربرد فراوان دارد.

G-TEC در مرحله خاص الاستیته می شود که واکنش مثبت به جابجایی خاک را بهبود می بخشد. این محصول دارای مقاومت خوبی نسبت به یخ زدگی و دارای خاصیت جذب رطوبت می باشد.

موارد استعمال G-TEC :

برای محافظت دیوارها بکار برده می شود همچنین برای لوله های زیر خاک، فونداسیونها و مکانهای زیرزمینی و سایر ساختمانهای بتونی نیز کاربرد دارد.

کاربرد توری های پلی استایرن توسعه یافته به منظور کنترل تولید و مثل پشه :

به منظور پیدا کردن تکنولوژی جدید تورهایی پلی استایرن توسعه یافته در آزمایشگاه برای کنترل پشه ایجاد شده است. تورهایی EPS شکل پیشرفته ای از گروههای پلی استایرنی هستند که شیشه مانند و نیمه شفاف هستند و دارای قطر ۰/۶ تا ۲/۵ میلی متر می باشند. ضد آب، غیر سمی و مقاوم بوده ضمن آنکه تماس مستقیم و شدید در برابر انعکاس نور خورشید می تواند آنها را به رنگ زرد روشن تبدیل کرده و منجر به شکنندگی آنها شود. این عوامل بر روی میکروارگانیسم بی تاثیر است و به مدت چنین سال بروی آب با سیستم ساده ای باقی می ماند. این توری ها بطور گسترده در ایستگاههای مرکز تحقیق مالزی برای کنترل رشد و تولید و مثل پشه در نکاتی مانند چاهها، تانک ها و مخازن زیرزمینی، محفظه های دریچه سدها و گیاهان بیوگازی مورد ارزیابی قرار گرفته است.

نتیجه گیری :

۱ - سری S - از سیستم ساختمان پانل پلی استایرن :

این طرح یک راه حل اقتصادی تا ارزش ۴۰٪ را فراهم می کند و مجموعه های S اتصال پانل Sanp-N-Lock به منظور نصب سریع پانل های ضخیم عایق بندی در قطر ۳ اینچ و $R=12$ بروی سطوح خارجی و درونی را شامل می شوند و دارای ۱۰ سال خدمات پس از فروش می باشند.

۲ - سری U - از سیستم ساختمان پانل پلی یورتان:

سریهای U، ۱۶ga دارای چهار چوبهای کانالی - عایق بندی با $R=23.23$ در پانل R با ضخامت ۳ اینچ و با ۲۰ سال خدمات پس از فروش را شامل می شوند.

مصالح فوم پلی یورتان با زمینه کاربردی به مدت چندین سال به عنوان عایق یا مانع مطرح بوده اند و خواص و کاربرد آنها مطابق با استانداردهای کانادایی می باشد و برخی از این محصولات هنوز هم در مرحله توسعه و آزمایش از لحاظ قابلیت پایداری قرار دارند.

به طور کلی محصولات زیادی وجود دارند مانند محصولات فوم دیواره ای باز (OCF) که هنوز آزمایش جامع و مشخصی بر روی آنها انجام نگرفته است که امید می رود در سالهای آتی با انجام چنین امری گامی فراتر و موثرتر در جهت بهینه سازی مصرف سوخت در ساختمان برداشته شود.

منابع و مراجع :

- ۱- آشنایی با تجزیه شیمیایی پلاستیکها، نوشته ا.کروس.ا.لانگ، ترجمه محمود محراب زاده
- ۲- انرژی در ساختمان، نوشته محسن صالحی
- ۳- مقررات ملی ساختمان، مبحث نوزدهم : صرفه جویی در مصرف انرژی، چاپ ۸۱
1. Essentials of health and safety at work HSE Books 1994, ISBN 0 7176 0716 X
- 2- Five steps to risk assessment INDG163 HSE free leaflet 1995 also available in priced packs of 10, ISBN 0 7176 0904 9
- 3- Fire precautions in the workplace The Stationery Office 1997 ISBN 0 11 341169 3
- 4- J.S. Horvath, (1998) The Compressible-Inclusion Function of EPS Geofoam: Analysis and Design Methodologies, Research Report CE/GE-98-2, Manhattan College, Bronx, New York
- 5-. Bomberg, M.T. and Kumaran, M.K. Laboratory and roofing exposures of cellular plastic insulation to verify a model of aging, 3rd Symposium on Roofing Research and Standards Development, ASTM STP 1224, ASTM, Philadelphia, 1994, pp. 151-167.
- 6- Swinton, M.C., Bomberg, M.T., Kumaran, M.K., Normandin, N. and Maref, W. Performance of thermal insulation on the exterior of basement walls, Construction Technology Update No. 36, Institute for Research in Construction, National Research Council of Canada, 1999, 8 p. (in press)
- 7- Bomberg, M.T. and Lstiburek, J.W. Spray polyurethane foam in external Envelopes of buildings, Technomic Publishing Co., Lancaster, PA, 1999, pp.1-335.
- 8- HSE home page on the World Wide Web:
<http://www.open.gov.uk/hse/hsehome.htm>
- 9- www.beaverplastics.com
- 10- www.sips.org