

دراسة تأثير درجة الحرارة على مقاومة أنابيب عديد كلوريد الفينيل (PVC and CPVC)

للانحراف (الانحناء) عند تعرضها لعزوم انحناء

مشاري بن عبد اللطيف النعيم – حسن بن أحمد السيد الهاشم

قسم الهندسة الزراعية – كلية العلوم الزراعية والأغذية – جامعة الملك فيصل

الأحساء – المملكة العربية السعودية

الملخص :

تمت دراسة تشكّل أنابيب عديد كلوريد الفينيل المستخدمة في تمديد شبكات المياه الباردة (PVC) وكذلك المستخدمة في شبكات المياه الساخنة (CPVC) عند تعرضها لعزم انحناء عند ثلاث مستويات لدرجات الحرارة وهي درجة حرارة الغرفة (٢٣⁰م)، ٥٠⁰م و ٨٠⁰م. وقد تم تصميم عينة الاختبار لتكون على شكل كمرّة بسيطة ترتكز على الجانبين وتؤثر عليها قوة في منتصفها حيث يتم تحميل العينات بحمل يزداد تدريجياً من الصفر حتى قيمة الحمل الذي يسبب هبوط مقداره ضعف قطر الأنبوبة. ولزيادة دقة النتائج فقد تم اختبار أربع عينات عند كل درجة حرارة. وقد أوضحت النتائج التي تم الحصول عليها أن التشكّل اللدن (التشكّل المتبقي بعد إزالة الحمل) في كلا النوعين لم يتغير نتيجة تغيير درجة الحرارة من درجة حرارة ٢٣⁰م إلى درجة حرارة ٥٠⁰م ولكن مقدار التشكّل اللدن في أنابيب المياه الباردة يبلغ تقريباً ضعف التشكّل اللدن في أنابيب المياه الساخنة. وقد وجد أن التشكّل اللدن عند ٨٠⁰م ازداد بشكل واضح لكلا النوعين من الأنابيب وبقي مقدار التشكّل اللدن لأنابيب المياه الباردة أكبر منه لأنابيب المياه الساخنة. وللتأكد من دقة العلاقة العملية بين الحمل والهبوط تمت مقارنة النتائج العملية بالنتائج النظرية وأثبتت المقارنة وجود توافق كبير بين النتائج العملية والنتائج النظرية وذلك في منطقة حد المرونة لمادة الأنابيب حيث وجد أنها تناظر هبوط مقداره ٢٠ مم من بداية التحميل. وقد وجد أن العلاقة بين القوة والهبوط تنقسم إلى مرحلتين هما مرحلة

التشكل في حدود المرونة و مرحلة التشكل فوق حدود المرونة. و بحساب معدل تغير القوة بالنسبة للهبوط (K , stiffness) في المرحلتين وجد أن K لكل من نوعي الأنابيب يقل في مرحلة فوق حدود المرونة إلى حوالي ٣٠٪ منه في مرحلة حدود المرونة. و بدراسة تأثير درجة الحرارة على K وجد أنها تقل في مرحلتي التحميل بمعدلات صغيرة بالنسبة إلى درجة الحرارة (dK/dT) نتيجة تغير درجة الحرارة من $23^{\circ}C$ إلى $50^{\circ}C$ لكل من أنابيب المياه الباردة و الساخنة. أما في حالة تغير درجة الحرارة من $50^{\circ}C$ إلى $80^{\circ}C$ فقد وجد أن معدل تناقص K يزداد في حدود المرونة لأنابيب المياه الباردة بينما يظل ثابت تقريباً لأنابيب المياه الساخنة عند نفس التغير في درجة الحرارة.

الكلمات الافتتاحية :

pvc ، cpvc ، أنابيب بلاستيكية ، درجة الحرارة ، عديد كلوريد الفينيل ، عزوم الانحناء ، تشكل ، لدن ، مرن.

مقدمة :

بدأ استخدام البلاستيك في عديد من الصناعات بعد الحرب العالمية الثانية مباشرة ولكنه لم يستخدم في صناعة الأنابيب إلا في أواخر الأربعينيات حيث بدأت ألمانيا واليابان في إدخال صناعات الأنابيب البلاستيكية وذلك لإمكانية تصنيعها بكميات كبيرة في وقت قصير وأقل تكلفة من الأنابيب المعدنية. وقد تم استعمال الأنابيب البلاستيكية في تمديد خطوط الغاز الطبيعي ومياه الشرب والصرف الصحي وشبكات الري. فقد استخدم البولي إيثيلين (PE) في تمديد خطوط الغاز الطبيعي بينما استخدم عديد كلوريد الفينيل (PVC) في تمديد خطوط المياه خاصة مياه الشرب ومياه الاستخدامات المنزلية (١). وتتميز الأنابيب البلاستيكية عن الأنابيب المعدنية بأنها لا تصدأ وخفيفة الوزن وسهلة التركيب والصيانة ، بالإضافة إلى أنها تتحمل إجهادات تمكثها من أداء وظيفتها بكفاءة وبتكاليف أقل. وإذا كان عمر الأنابيب المعدنية ينتهي بتأثير الصدأ فإن عمر الأنابيب البلاستيكية ينتهي بتأثير الظروف المناخية على خواص هذه الأنابيب. وهناك العديد من الإضافات التي تضاف للأنابيب في

مرحلة التصنيع تساعد على زيادة مقاومة هذه الأنابيب للظروف المناخية خاصة الأشعة فوق البنفسجية الموجودة في أشعة الشمس.

تعتبر القابلية للانحناء من الخواص الضرورية عند استخدام الأنابيب المدفونة تحت الأرض حيث أنه من الممكن أن يحدث هبوط في التربة مما يعرض الأنابيب لانحناءات قد تسبب الانهيار و أيضا تعتبر القابلية للانحناء عند وجود بعض الاعتراضات التي تعيق عملية تمديد الأنابيب في خطوط مستقيمة من الخواص الهامة للأنابيب مع مراعاة أن هناك حد أقصى لقيمة الانحناء و هو الانحناء الذي يسبب إجهاد شد مقداره ٦,٩ ميغاباسكال و ذلك في خطوط الأنابيب المقيدة بوصلات (٢). و قد تم اختبار الانحناء لأنابيب عديد كلوريد الفينيل تحت تأثير أحمال متغيرة (Fatigue test) (٣ و ٤)، حيث أجريت مجموعتين من الاختبارات الأولى بدون تعريض الأنابيب لضغط داخلي أثناء الاختبار أما الثانية فقد أجريت اختبارات الانحناء مع تعريض عينات الاختبار لضغط داخلي أثناء الاختبار. وقد أثبتت الدراسة أن وجود الضغط الداخلي يجعل الأنابيب أكثر مقاومة للانحناء عنه في حالة عدم وجود الضغط الداخلي. و قد تمت دراسة تأثير درجة الحرارة على سرعة انتشار الشروخ في المواد البلاستيكية (٥ و ٦) و أثبتت النتائج التي تم الحصول عليها أن زيادة في درجة الحرارة مقداره 20°C يؤدي إلى زيادة سرعة انتشار الشروخ عشر مرات و هو ما يقلل من عمر الأنابيب البلاستيكية عند درجات الحرارة المرتفعة. تمت دراسة نظرية لتأثير الانحناءات التي تحدث أثناء تركيب أنابيب البولي اثيلين على عمر هذه الأنابيب (٧). و قد وجد أنه في حالة وجود شروخ عند منطقة الانحناء، فإنه كلما زاد نصف قطر الانحناء زاد عمر الأنابيب و أيضا كلما تمت عملية الشني في وقت أطول كلما زاد العمر. و قد تم أيضا دراسة تأثير درجة الحرارة على عمر الأنابيب ووجد أن زيادة مقدارها 30°C يقلل العمر إلى الربع. و قد تمت دراسة تأثير درجة الحرارة على الشغل اللازم لإحداث كسر في مادة PVC (٨) و أثبتت هذه

الدراسة أن هذا الشغل لا يتأثر بتغير درجة الحرارة في المدى من ٢٣⁰ م حتى ٦٠⁰ م ولكنه يقل عند درجات حرارة الأعلى.

تعتبر الأنابيب البلاستيكية أحد أهم المواد الصناعية التي انتشرت بشكل كبير في معظم مناطق العالم ومنها المملكة العربية السعودية. وقد لاقت إقبالا كبيرا في استخدامها كبديل للأنابيب المعدنية في كثير من المجالات الحيوية مثل تمديدات المياه في المنازل والمنشآت المدنية والصناعية وكذلك في الأغراض المختلفة داخل المزارع والمباني الزراعية إلا أن هذه الأنابيب تتعرض لدرجات حرارة مرتفعة أثناء فصل الصيف نظراً لما تتصف به معظم مناطق المملكة بالجو الحار خلال أشهر السنة مما يؤثر على متانة هذه الأنابيب ومقاومتها للانحناء. ويزداد الأمر سوءاً إذا كانت هذه الأنابيب غير مثبتة بشكل سليم أثناء التركيب أو تكون مدفونة تحت الأرض داخل المزارع وتتعرض للمرور عليها بواسطة المعدات الزراعية.

ولما كان الإجهاد الذي تتحمله المواد البلاستيكية يتأثر بشكل كبير بدرجة الحرارة المحيطة (٩) فإن البحث يهدف إلى دراسة تأثير درجة الحرارة على مقاومة الأنابيب المستخدمة في شبكات المياه الباردة (PVC) والأنابيب المستخدمة في شبكات المياه الساخنة (CPVC) لعزوم الانحناء. وستشمل الدراسة أيضاً على مقارنة بين النوعين من حيث العلاقة بين التشكل اللدن ودرجة الحرارة المختلفة، وأيضاً بين قوة التحميل لهذه الأنابيب والتشكل المناظر عند درجات حرارة مختلفة وكذلك بين معدل تغير قوة التحميل بالنسبة للتشكل ودرجة الحرارة لمرحلي التحميل في حد المرونة وفوق حد المرونة.

المواد وطرق البحث

في هذا البحث تم استخدام نوعين من أنابيب عديد كلوريد الفينيل لهما نفس القطر الداخلي وسمك الجدار حيث يبلغ القطر الداخلي ١٩,٥ مم وسمك الجدار ٤ مم

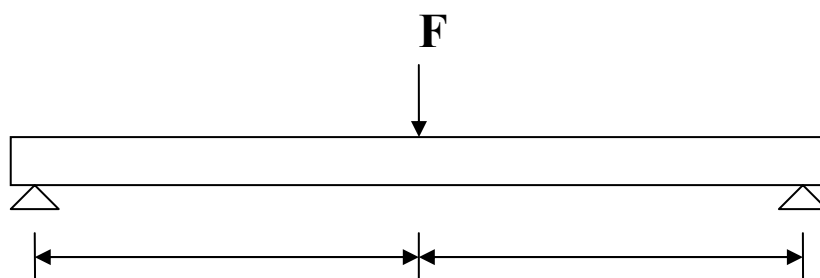
والمصنعة بواسطة شركة نبرو بجدة – المملكة العربية السعودية. النوع الأول هو PVC (Polyvinyl Chloride) يستخدم عادةً في تمديد شبكات المياه الباردة في المنازل وفي تمديد شبكات الري المعلقة و المصنعة طبقاً للمواصفات القياسية الأمريكية ASTM D 1785 ، أما النوع الثاني فهو CPVC (Chlorinated Polyvinyl Chloride) ويستخدم في تمديد شبكات المياه الساخنة والمصنعة طبقاً للمواصفات القياسية الأمريكية ASTM F 441.

وقد تم تصميم عينات الاختبار على شكل قطع من الأنابيب طول كل منها ٤٨ سم حيث يتم تثبيتها في ماكينة الاختبار على شكل كمره بسيطة محملة عند منتصفها تماماً (حمل الاختبار F) والمسافة بين نقطتي التثبيت ٤٠ سم كما هو موضح بشكل (١- أ). وتم اختبار العينات باستخدام ماكينة اختبار هيدروليكية ويبين الشكل (١- ب) صورته فوتوغرافية لماكينة الاختبار مثبت عليها إحدى العينات.

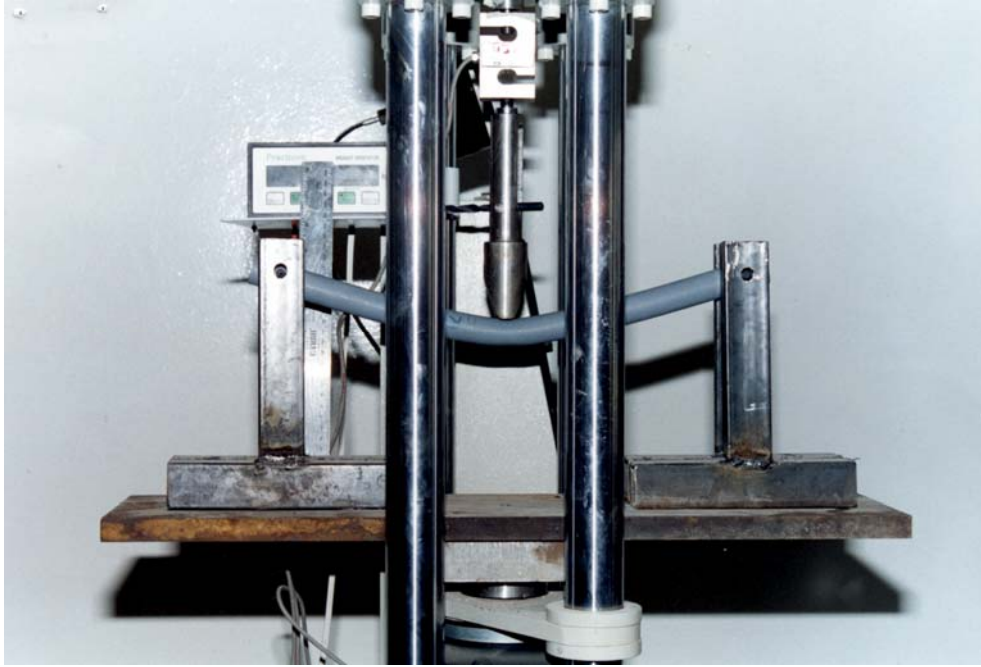
وقد تم قياس حمل الاختبار باستخدام خلية قياس أحمال (load cell) سعتها ١٠٠٠ كجم متصلة بقارئ أحمال يمكن من خلاله قراءة الحمل الذي تتعرض له العينة شكل (١- ب). كما تم قياس الإزاحة باستخدام مسطرة مدرجة ومثبتة على الرأس المتحركة لماكينة الاختبار فتكون حركة المسطرة مساوية لمقدار التشكل الحادث في عينة الاختبار. وقد تم تسجيل قراءة قارئ الأحمال وحركة المسطرة بالنسبة لخط ثابت لجميع العينات على شريط فيديو حيث تم بعد ذلك إعادة تشغيل الشريط باستخدام فيديو خاص يمكن من خلاله الحصول على سرعة تشغيل تصل إلى ١٠/١ من سرعة التشغيل العادية وهو ما يساعد على تسجيل قراءة قارئ الأحمال مع حركة المسطرة المناظرة. وللمقارنة بين أنابيب PVC وأنابيب CPVC عند درجات حرارة مختلفة فقد تم إجراء اختبارات عند ثلاث درجات حرارة مختلفة وهي درجة حرارة الغرفة (٢٣⁰م)، ٥٠⁰م و ٨٠⁰م. وقد تم الحصول على درجة الحرارة ٥٠⁰م وذلك بوضع عينات

الاختبار في حمام مائي عند درجة حرارة 50°C لمدة ٢٤ ساعة حتى يتم التأكد من أن درجة الحرارة متجانسة خلال جدار الأنبوبة. عند الاختبار يتم رفع العينة من الحمام وعزلها عن الهواء المحيط بواسطة مادة عازلة وذلك حتى يتم المحافظة على درجة حرارتها ثابتة وبعد تثبيت العينة على ماكينة الاختبار تتم إزالة المادة العازلة قبل بداية التحميل مباشرة. بالنسبة للاختبارات التي أجريت عند درجة الحرارة 80°C فقد تم إتباع نفس الخطوات كما في حالة درجة الحرارة 50°C فيما عدا درجة حرارة الحمام المائي فقد تم ضبطها عند 80°C .

ولزيادة دقة النتائج فقد تم اختبار ثلاث عينات من كل أنبوية عند نفس درجة الحرارة. وقد تم ضبط سرعة الرأس المتحرك للماكينة عند ٥٠ مم/دقيقة وذلك لجميع العينات وقد تم تحميل جميع العينات حتى حدوث تشكل مقداره ٥٥ مم تقريباً وهو ما يعادل ضعف القطر الخارجي للأنابيب. و تم قياس التشكل الدائم (التشكل اللدن) الذي حدث للأنابيب بعد الاختبار وذلك لدراسة العلاقة بين التشكل اللدن و درجة حرارة الاختبار.



شكل (١ - أ): عينة الاختبار وطريقة تثبيتها



شكل (١ - ب): صور فوتوغرافية لعينة الاختبار مشبته على الماكينة.

النتائج والمناقشة :

تبين الأشكال (٢ - ١ ، ٢ - ب ، ٢ - ج) صور فوتوغرافية لعينات أنابيب PVC التي تم اختبارها عند درجات الحرارة 23°C ، 50°C و 80°C ويتضح من الصور إن الانحناء الحادث في الأنابيب (التشكل اللدن) نتيجة التعرض للانحناء أثناء الاختبار كان ثابتاً تقريباً عند درجتي الحرارة 23°C و 50°C بينما يزداد بشكل واضح للأنابيب التي تم اختبارها عند 80°C . تبين الأشكال (٣ - ١ ، ٣ - ب و ٣ - ج) صور فوتوغرافية للعينات التي تم اختبارها من أنابيب CPVC حيث يتضح من الصور أيضاً عدم حدوث تغير في الانحناء الحادث في الأنابيب عند درجتي الحرارة 23°C و 50°C بينما يزداد هذا التشكل للعينات التي اختبرت عند 80°C ولكن بشكل عام الانحناء

الحدث لأنابيب PVC اكبر بكثير منه لأنابيب CPVC وهو ما يدل على احتفاظ أنابيب CPVC بخواصها بشكل أكبر عند درجات الحرارة العالية. ويبين شكل (٤) علاقة بين مقدار التشكل اللدن (plastic deformation) ودرجة الحرارة حيث يتضح من هذه العلاقة أن التشكل اللدن لكل من أنابيب PVC و أنابيب CPVC لم يتغير بين درجتي الحرارة ٢٣⁰ م و ٥٠⁰ م وهذا يتفق بشكل كبير مع ما استنتج في (٨) و لكن التشكل اللدن في هذا المدى من درجات الحرارة لأنابيب CPVC يبلغ حوالي ٥٠ % منه لأنابيب PVC. بينما يزداد التشكل اللدن بشكل واضح نتيجة تغير درجة الحرارة من ٥٠⁰ م الى ٨٠⁰ م حيث يصل متوسط معدل التغير نتيجة تغير درجة الحرارة من ٥٠⁰ م إلى ٨٠⁰ م إلى ٠,٦٥ م/م و ٠,٧٨ م/م لكل من أنابيب PVC و CPVC على الترتيب ويبقى التشكل اللدن عند ٨٠⁰ م أقل لأنابيب CPVC حيث يبلغ حوالي ٧٠ % منه لأنابيب PVC.

عند دراسة العلاقة بين الحمل والهبوط الحادث تحت الحمل Y (deflection) فانه

يمكن التعبير عنها بالعلاقة التالية (١٠):

$$Y = \frac{FL}{48EI} \quad ()$$

حيث :

F = حمل الاختبار

L = المسافة بين نقطتي الارتكاز

E = معايير المرونة لمادة الأنبوبة.

I = العزم الثاني لمساحة مقطع الأنبوبة ويعطى بالعلاقة التالية:

$$() \quad I = \frac{\pi}{64} \cdot (d_o^4 - d_i^4)$$

حيث d_o ، d_i هما القطران الداخلي والخارجي للأنبوبة. والمعادلة (١) تعطي علاقة خطية بين F ، Y في منطقة المرونة حيث لا يتعدى الإجهاد الناتج عن عزم الانحناء إجهاد الخضوع لمادة الأنبوبة. وللتأكد من مدى دقة النتائج العملية تم مقارنة بين النتائج النظرية والنتائج العملية للعلاقة بين F و Y . وباستخدام قيم إجهاد الخضوع و E الموجودة في المعادلة (٢) نجد إن التحميل في حدود المرونة يستمر من بداية التحميل حتى تصل القوة إلى ٧٨٠ نيوتن وهو ما يناظر هبوط مقداره ٢٠ مم تقريباً. يمثل شكل (٥) مقارنة بين القيم العملية (الدوائر السوداء) والقيم النظرية (الخط المستقيم) حيث يتضح إن القيم العملية تطابق بشكل جيد القيم النظرية حتى تشكل مقداره ٢٠مم. ويمثل ميل الخط المستقيم الذي يصف العلاقة بين الحمل والتشكل وهو ما يعرف بمعدل زيادة القوة بالنسبة للتشكل (ويسمى stiffness ويرمز له بالرمز K) تبلغ قيمة K في العلاقة النظرية ٣٥ نيوتن/مم بينما تبلغ ٣٤ نيوتن/مم في العلاقة العملية. وبعد حدود المرونة يقل معدل زيادة القوة بالنسبة للتشكل حيث يبلغ حوالي ١٣,٦ نيوتن/مم أي حوالي ٤٠٪ من معدل الزيادة في منطقة المرونة.

يبين شكل (٦) علاقة بين الحمل والهبوط لأنابيب من نوع PVC عند ثلاث درجات مختلفة وتمثل النقط على الشكل ثلاث عينات عند كل درجة حرارة. ويتضح من الشكل انه لنفس مقدار التشكل فان القوة تقل كلما زادت درجة الحرارة ولكن يلاحظ أن النقص في القوة نتيجة تغير درجة الحرارة من ٥٠⁰ م إلى ٨٠⁰ م اكبر من النقص في القوة نتيجة تغير درجة الحرارة من ٢٣⁰ م إلى ٥٠⁰ م وهو ما يدل على مدى تأثر أنابيب PVC بدرجات الحرارة العالية. وإذا اعتبرنا أن العلاقة بين القوة والتشكل

علاقة خطية لجميع درجات الحرارة في مرحلة التشكل بين صفر و ٢٠ مم فان قيمة K تكون مساوية لميل المستقيمات التي تمثل هذه العلاقة. وبفرض أن العلاقة بين القوة والتشكل علاقة خطية أيضا لمراحل التشكل الأكبر من ٢٥ مم نجد أن ميل هذه العلاقة و بالتالي قيمة K أقل منها لمرحلة التحميل بين صفر و ٢٠ مم.

يبين شكل (٧) علاقة بين الحمل والهبوط لأنابيب من نوع CPVC عند درجات ٢٣⁰م، ٥٠⁰م و ٨٠⁰م و تمثل النقط على الشكل أيضا ثلاث عينات عند كل درجة حرارة. ويتضح من الشكل انه لنفس مقدار التشكل فان القوة تقل أيضا كلما زادت درجة الحرارة ولكن النقص في القوة نتيجة تغير درجة الحرارة من ٥٠⁰م إلى ٨٠⁰م يساوي تقريبا النقص في القوة نتيجة تغير درجة الحرارة من ٢٣⁰م إلى ٥٠⁰م وهو ما يدل على أن تأثير أنابيب CPVC بدرجات الحرارة العالية كان تأثيرا قليلا. وإذا اعتبرنا أيضا أن العلاقة بين القوة والتشكل علاقة خطية لجميع درجات الحرارة كما في حالة PVC فان قيمة K لمراحل التشكل الأكبر من ٢٥ مم K تكون أقل منها لمرحلة التحميل بين صفر و ٢٠ مم و يبين جدول ١ قيم K و معدلات تغيرها لكل من أنابيب PVC و CPVC لمرحلتي التحميل عند درجات الحرارة المستخدمة.

جدول (١)

قيم K و معدل تغيرها بالنسبة لدرجة الحرارة لأنابيب PVC و PVC لمرحلتى التحميل عند ثلاث درجات حرارة مختلفة

معدل تغير K (dK/dT) بالنسبة لدرجة الحرارة (نيوتن/مم/م ⁰)				K (نيوتن/مم)		درجة الحرارة (م ⁰)	مرحلة التحميل
٨٠:٥٠ م ⁰		٥٠:٢٣ م ⁰		CPVC K ₂	PVC K ₁		
CPVC	PVC	CPVC	PVC				
٠,٠٧٧	٠,٢٢	٠,٠٨	٠,٠٦٧	٣١,١٥	٣٢,٩	٢٣	صفر: ٢٠ مم
				٢٨,٩	٣١,١	٥٠	
				٢٦,٦	٢٤,٦	٨٠	
٠,٠٩٢	٠,٠٩	٠,٠١٧	٠,٠١٥	١٥	١٢,٦	٢٣	٢٥: نهاية التحميل
				١٤,٥٥	١٢,٢	٥٠	
				١١,٨	٩,٥	٨٠	

توضح القيم الموضحة بالجدول (١) أنه لأنابيب PVC في مرحلة التحميل في حدود المرونة يصل النقص في قيمة K إلى ٥,٥% نتيجة زيادة درجة الحرارة من ٢٣ م⁰ إلى ٥٠ م⁰ بينما بلغت نسبة هذا النقص نحو ٢١% نتيجة زيادة درجة الحرارة من ٥٠ م⁰ إلى ٨٠ م⁰ وبالتالي فان معدل تناقص K بالنسبة لدرجة الحرارة نتيجة زيادة درجة الحرارة من ٥٠ م⁰ إلى ٨٠ م⁰ يصل إلى ٣,٣ مرة من معدل تناقص K نتيجة زيادة درجة الحرارة من ٢٣ م⁰ إلى ٥٠ م⁰. و يلاحظ من الجدول النقص الكبير في قيمة K في مرحلة التحميل فوق حدود المرونة حيث تقل قيمة K إلى ٣٠% من قيمتها في حدود المرونة. وقد بلغ معدل تناقص K بالنسبة لدرجة الحرارة في مرحلة التحميل فوق حدود المرونة نتيجة زيادة

درجة الحرارة من 0°C إلى 80°C إلى 6 أمثال معدل تناقص K نتيجة زيادة درجة الحرارة من 23°C إلى 50°C .

كما توضح القيم الخاصة بأنابيب CPVC في نفس الجدول أنه في مرحلة التحميل في حدود المرونة يصل النقص في قيمة K نحو 7% نتيجة زيادة درجة الحرارة من 23°C إلى 50°C بينما بلغت نسبة هذا النقص نحو 8% نتيجة زيادة درجة الحرارة من 50°C إلى 80°C وبذلك يتضح أن معدل تناقص K بالنسبة لدرجة الحرارة أثناء التحميل في حدود المرونة لا يعتمد على التغير في درجة الحرارة. ويلاحظ من نفس الجدول أن قيمة K في مرحلة التحميل فوق حدود المرونة تصل تقريبا إلى حوالي 48% من قيمتها في حدود المرونة. وقد بلغ معدل تناقص K بالنسبة لدرجة الحرارة في مرحلة التحميل فوق حدود المرونة نتيجة زيادة درجة الحرارة من 50°C إلى 80°C نحو $5,4$ مرة من معدل تناقص K نتيجة زيادة درجة الحرارة من 23°C إلى 50°C .

بمقارنة القيم الخاصة بأنابيب PVC بتلك الخاصة بأنابيب CPVC لمرحلة التحميل في حدود المرونة نجد أن قيم K لأنابيب PVC تبلغ نحو $1,06$ مرة منها لأنابيب CPVC عند درجتي الحرارة 23°C و 50°C أما عند 80°C فإن قيمة K لأنابيب PVC تصل إلى $0,92$ منها لأنابيب CPVC. وبحساب معدل تغير K لأنابيب PVC نجد أنه متقارب معه لأنابيب CPVC عند تغير درجة الحرارة من 23°C إلى 50°C ولكن عند تغير درجة الحرارة من 50°C إلى 80°C نجد أن معدل تغير K لأنابيب PVC يصل إلى $2,85$ مرة منه لأنابيب CPVC وهو ما يتفق مع طبيعة الاستخدام لكل منهما.

يبين شكل (٨) مقارنة بين أنابيب PVC و أنابيب CPVC عند درجة حرارة الغرفة (23°C) حيث يتضح مدى التقارب في العلاقة في منطقة حد المرونة والمنطقة فوق حد المرونة. ويبين شكل (٩) نفس العلاقة السابقة في شكل (٨) ولكن عند درجة حرارة

مقدارها $0^{\circ}50$ م حيث يتضح من الشكل انه لم يظهر فارق ملموس بين الأنبوبتين من بداية التحميل وحتى نهايته.

يبين شكل (١٠) مقارنة بين أنابيب PVC وأنابيب CPVC عند درجة حرارة $0^{\circ}80$ م ويتضح هنا مدى تأثر أنابيب PVC بدرجات الحرارة العالية حيث يتضح انه لنفس التشكل فإن القوة اللازمة لأنابيب PVC تكون أقل منها لأنابيب CPVC وهو ما يتلاءم مع طبيعة تصميم أنابيب CPVC حيث صممت للاستخدام لخطوط المياه الساخنة.

الخلاصة :

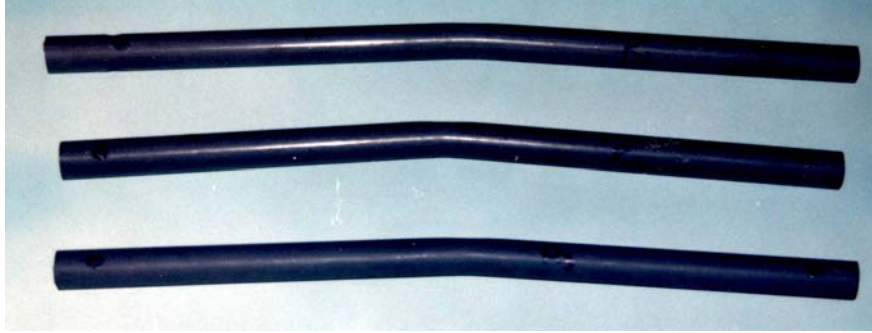
من الدراسة الحالية يمكن استنتاج ما يلي:

١. عند تعرض أنابيب PVC و CPVC لعزوم انحناء فوق حدود المرونة فإنه يحدث لكل منها تشكل لدن نتيجة الانحناء يبقى بعد زوال الحمل.
٢. التشكل اللدن الذي يحدث لأنابيب PVC يكون اكبر منه لأنابيب CPVC عند جميع درجات الحرارة المستخدمة.
٣. التشكل اللدن يبقى ثابت لكلا النوعين من الأنابيب نتيجة تغير درجة الحرارة من $0^{\circ}23$ م إلى $0^{\circ}50$ م بينما يزداد إلى الضعف تقريبا عند درجة حرارة $0^{\circ}80$ م.
٤. في مرحلة حدود المرونة يكون معدل تناقص K لأنابيب PVC عند تغير درجة الحرارة من $0^{\circ}50$ م إلى $0^{\circ}80$ م يساوي ٣٣٠٪ من معدل التناقص نتيجة تغير درجة الحرارة من $0^{\circ}23$ م إلى $0^{\circ}50$ م.
٥. لأنابيب CPVC في مرحلة حدود المرونة يكون معدل تناقص K عند تغير درجة الحرارة من $0^{\circ}50$ م إلى $0^{\circ}80$ م يساوي معدل التناقص نتيجة تغير درجة الحرارة من

- $^{\circ}23$ م إلى $^{\circ}50$ م وهذا يدل على أن أنابيب CPVC لديها قدرة أكبر للاحتفاظ بخواصها عند درجات الحرارة المرتفعة عنها لأنابيب PVC.
٦. في مرحلة فوق حدود المرونة تقل قيمة K إلى حوالي ٣٠٪ من قيمتها في مرحلة حدود المرونة لكلا النوعين.
٧. في مرحلة فوق حدود المرونة يتساوى معدل تناقص K لكل من أنابيب PVC و CPVC ويكون معدل التناقص عند تغير درجة من $^{\circ}23$ م إلى $^{\circ}50$ م أقل منه عند تغير درجة الحرارة من $^{\circ}50$ م إلى $^{\circ}80$ م.

شكر وتقدير :

يتقدم الباحثان بالشكر والتقدير إلى الشركة السعودية للصناعات الأساسية (سابك) لدعمها المالي لهذا البحث. والشكر موصول لعمادة البحث العلمي بجامعة الملك فيصل على ما قامت به من جهود لتسهيل الصرف على هذا البحث وتشجيعها الدائم للبحث العلمي.



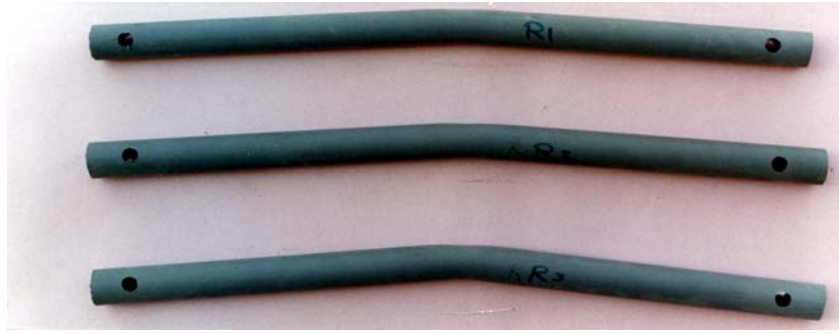
(شكل ٢ - أ): صورة فوتوغرافية لعينات PVC تم اختبارها عند درجة حرارة ٢٣⁰م.



(شكل ٢ - ب): صورة فوتوغرافية لعينات PVC تم اختبارها عند درجة حرارة ٥٠⁰م.



(شكل ٢ - ج): صورة فوتوغرافية لعينات PVC تم اختبارها عند درجة حرارة ٨٠⁰م.



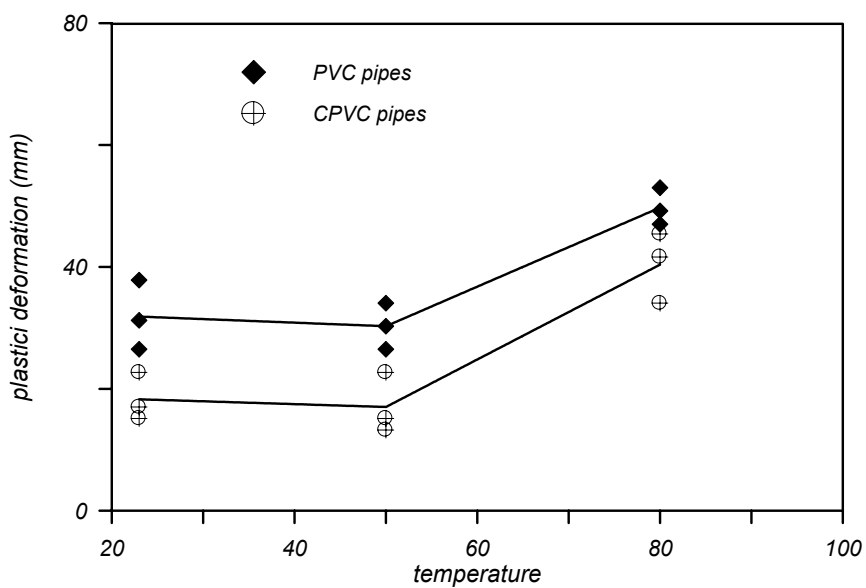
(شكل ٣- أ): صورته فوتوغرافية لعينات CPVC تم اختبارها عند درجة حرارة ٢٣⁰م.



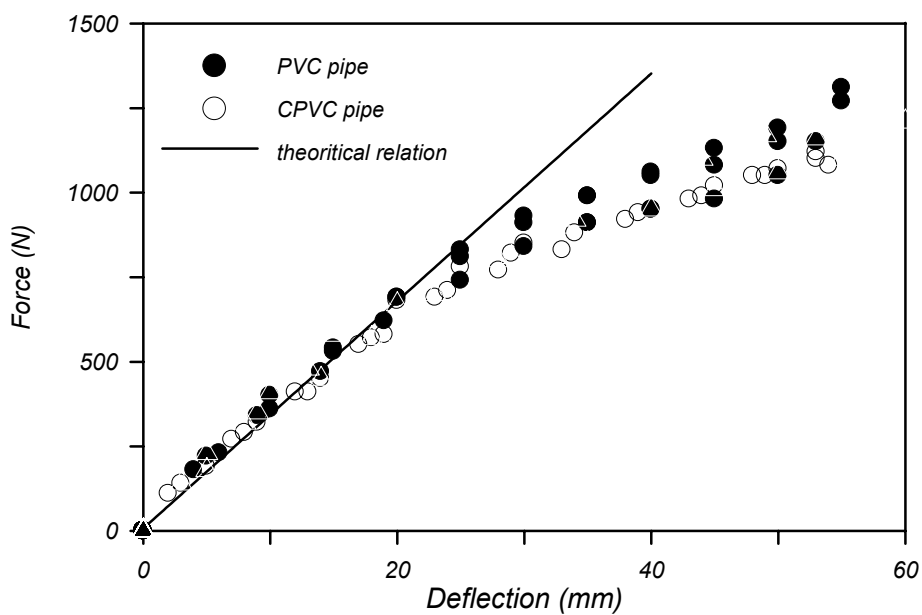
(شكل ٣- ب): صورته فوتوغرافية لعينات CPVC تم اختبارها عند درجة حرارة ٥٠⁰م.



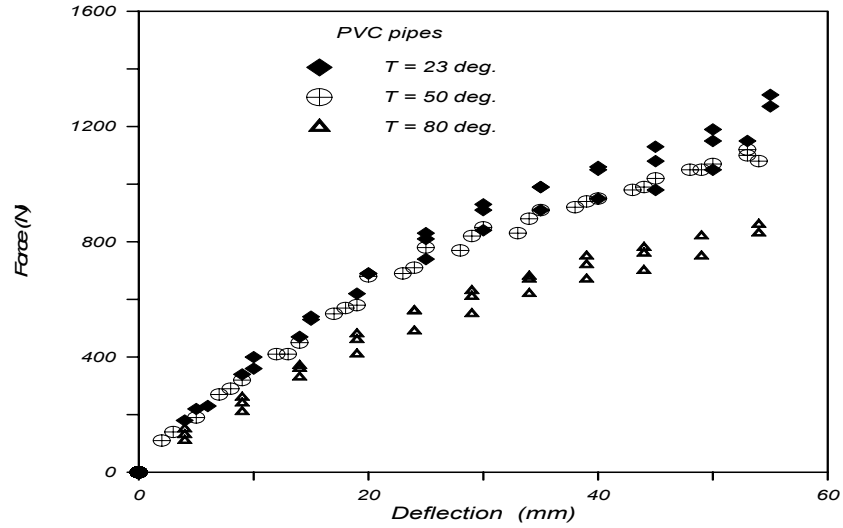
(-) : CPVC . °



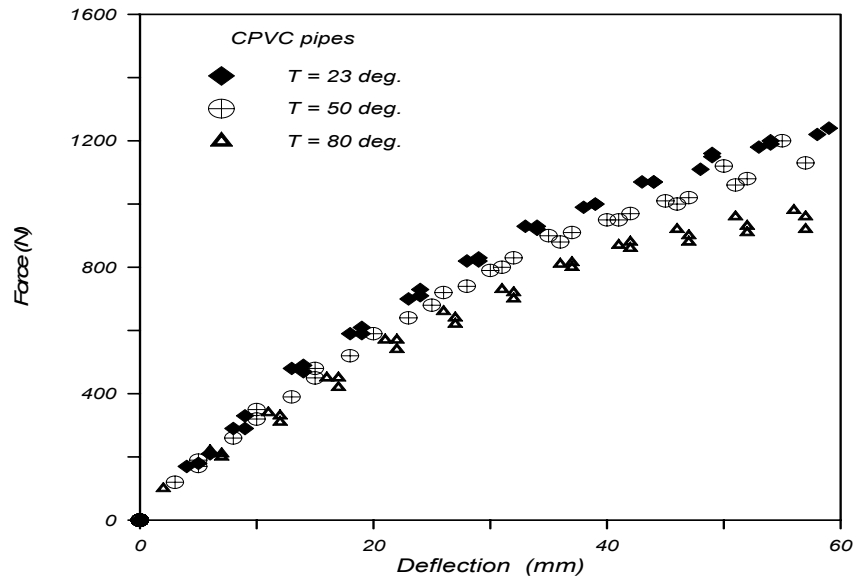
شكل (٤): العلاقة بين التشكل اللدن ودرجة الحرارة لأنابيب PVC و CPVC



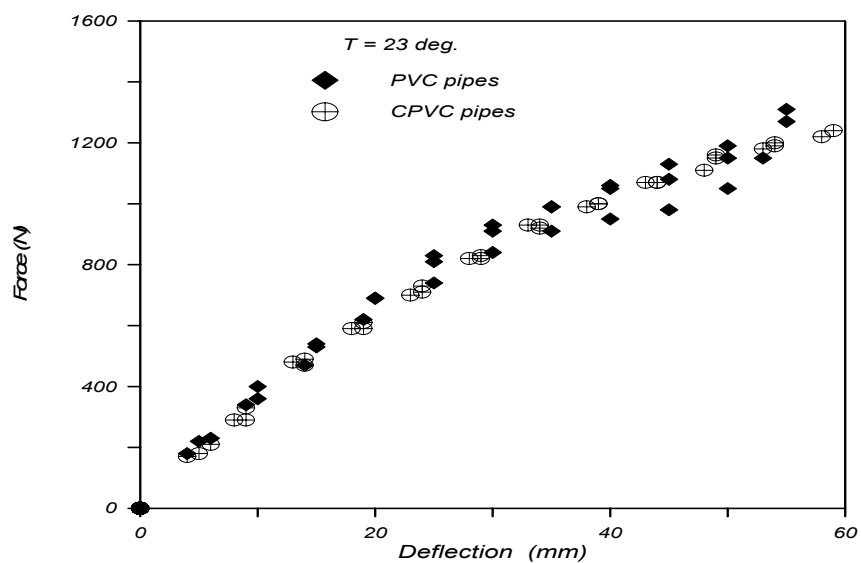
شكل (٥): مقارنة بين النتائج المعملية و النتائج النظرية لأنابيب PVC و أنابيب CPVC



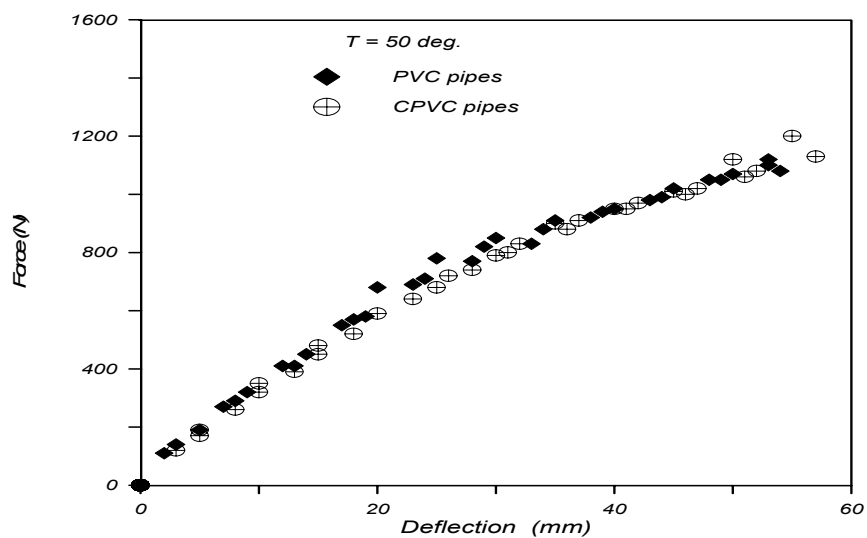
شكل (٦): العلاقة بين القوة و التشكل المناظر لأنابيب PVC عند درجات حرارة ٢٣ و ٥٠ و ٨٠ درجة مئوية



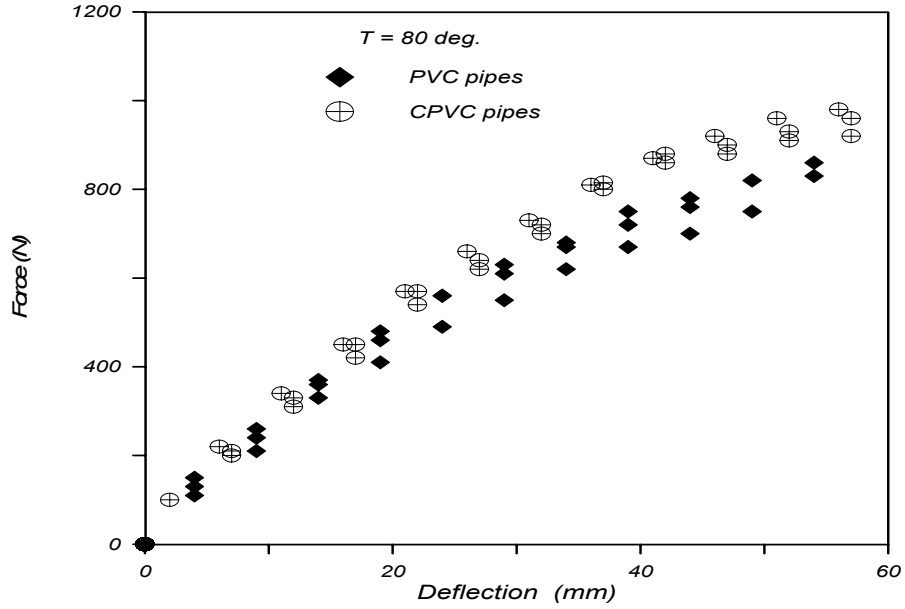
شكل (٧): العلاقة بين القوة و التشكل المناظر لأنابيب CPVC عند درجات حرارة ٢٣ و ٥٠ و ٨٠ درجة مئوية



شكل (٨): العلاقة بين القوة و التشكل المناظر لأنابيب PVC و CPVC عند درجة حرارة الغرفة



شكل (٩): العلاقة بين القوة و التشكل المناظر لأنابيب PVC و CPVC عند



شكل (١٠): العلاقة بين القوة و التشكل المناظر لأنابيب PVC و CPVC عند درجة حرارة ٨٠° م

References:

1. A.M. Ollick, Ph.D. thesis, (1994). Design of plastic pipes for crack propagation under variable loads. Faculty of Engineering, Alexandria University.
2. Handbook of PVC pipe (1986). Uni-Bell PVC pipe association, 2655 villa creek drive, suite 155 Dallas, Texas 75234.
3. Scavuzzo, R. J.; M. Cakmak, T. S.; Srivatsan and M. Cavok (1999). Bending fatigue tests on PVC pipes joints. Welding Research Council Bulletin No. (45), pp, 1-78.
4. Cavok, M.; R. J. Scavuzzo; M. Cakmak and T. S. Srivatsan (1998). Initial bending fatigue testing of on PVC pipes joints. Proceeding of the 1998 ASMEIJSME Joint Pressure Vessels and Piping Conferences, San Diego, CUSA.
5. M.F. Kanninen; C.F. Popelar, L. K Tweedy and C.H. Popelar (1991). Time-temperature accelerated procedures for forecasting service performance of polyethylene gas distribution pipes. Proceedings Twelfth Plastic Fuel Gas Pipe Symposium, September 24-26, Boston, Massachusetts.
6. C. Plummer, P.Scaramuzzino, H. Kauschand and J. philippo (2000). High temperature slow crack growth in polyoxymethylen. Polymer Engineering and Science, March, V40 i6, pp. 1306-1315.
7. T. Forte, B. Leis and M. Mamoun (1991). Analytical investigation of the service life of PE pipe bent during installation. Proceedings of twelfth plastic pipe symposium. September 24-26, Boston, Massachusetts, USA
8. A. Arkhireyeva and S. Hashemi (2002). Combined effect of temperature and thickness on work of fracture parameters of un-plasticized PVC film. Polymer Engineering and Science. March, V42 i3, pp. 504-518.
9. Annual Book of ASTM Standard ASTM D638-84 (1985). Standard test method for tensile properties of plastics. pp 227-241.
10. A.C. Ugural, Mechanics of Materials, McGraw-Hill, New York, 1991.

Study of the Effect of Temperature on the Deflection of PVC and CPVC Pipes When Subjected to Bending

Mushari A. H. AL-Naeem Hasan A. S. AL-Hashem

College of Agricultural and Food Sciences, King Faisal University
Al-Hasa – Kingdom of Saudi Arabia

Abstract:

In the current work, the deflection of PVC and CPVC pipes when subjected to bending have been studied at room temperature (23^oC), 50^oC and 80^oC. The test specimen was designed as a simply supported beam subjected to three point bending. The bending force was adjusted to act at the middle of the specimen. The test specimens were loaded up to a deflection equal to two times of the pipe diameter (d=26 mm). To increase the results accuracy, 4 specimens were tested at each temperature. The obtained results showed that, the plastic deformation remained approximately constant for test temperatures 23^oC and 50^oC but, the plastic deformation of PVC pipes is two times of that for CPVC pipes. At 80^oC the plastic deformation for both PVC and CPVC increased where the deflection of PVC remained bigger than that for CPVC. To assure the accuracy of the relation between the force and the corresponding deflection, the experimental relation was compared with the theoretical one. It was found that, the experimental and theoretical relation between the load and the corresponding deflection is matching very well from the beginning up to the elastic region, which was found to be from 0 to 20 mm deflection. The relation between the load and the displacement was divided to region; the first region is the elastic region while the second region is the plastic region. The pipes stiffness (K) in the plastic loading region is 30% of that in the elastic region. The pipes stiffness decreased with small rates due to temperature change from 23^oC to 50^oC, while, the pipes stiffness decreased with higher rates due to temperature change from 50^oC to 80^oC.