

A Study of Physical Condition Predicting Model Development of Plastic Pipes in Water Mains

플라스틱 관종의 물리적 상태예측모형 개발

Ki, nam-yeoun¹ · Bae, cheol-ho¹ · Lee, doo-jin^{1*} · Jung, kwan-sue²

기남연¹ · 배철호¹ · 이두진^{1*} · 정관수²

1 K-water · 2 충남대학교 토목공학과

Abstract : This study suggested a model that can predict a degradation condition over time of two plastic pipes, PE and PVC, which are currently used in the country. This study was analyzed physical characteristics change of plastic pipes by comparison with initial physical characteristics (on the case of new pipes). Since this is dependent on accidents that already occurred, there are limitations that it only decides a priority on improvement based on relative corrosion status rather than precautionary aspects. The comparison results between physical degradation by the deducted performance rating and a conventional numerical scoring method showed that correlation coefficient was 0.67 for PE pipes and 0.86 for PVC pipes, indicating a high correlation. According to this result, it has been decided that the performance rating suggested herein can be applied naturally to the criterion of an improvement decision, which was based on Scoring System. From results of the research, it is expected that a reliable result can be provided to an improvement decision process related to degradation of plastic pipes by comprehensively comparing and evaluating a condition of pipe materials(direct factors) and an environmental impact(indirect factors).

Key words : plastic pipe, PE, PVC, condition predicting model

주제어: 플라스틱관, PE, PVC, 상태 예측모형

1. 서론

2010년 현재 우리나라의 상수도관로 총 연장은 165,800km(환경부, 2010)로써 각 지자체별로 작게는 수십 km에서 크게는 수천 km에 이르는 상수관망을 형성하고 있다. 이들 상수관로 중 주철관, 강관 등 부식의 영향을 받는 금속관이 약 56%정도이며, 플라스틱관은 51,769km로 약

31.2%를 차지하고 있다.

일반적으로 플라스틱관은 제조환경이 대부분 200mm 이하이기 때문에 주로 지방상수도의 배수관로 또는 배수관로에서 수도계량기로 이어지는 급수관로로 사용되고 있다. 이중 국내에서 가장 많이 사용되는 관종이 바로 폴리에틸렌관(Polyethylene pipe, PE pipe)과 경질염화비닐관(Polyvinylchloride pipe, PVC pipe)이다(환경부, 2010).

PVC관은 유럽과 호주 등지에서 1960년대 초반부터, 북미지역에서는 1970년대 후반부터 널리

* Received 11 October 2012, revised 4 December 2012, accepted 7 December 2012.

* Corresponding author: Tel.: 042-870-7320, Fax: 042-870-7549, E-mail: djlee@kwater.or.kr

적용되어 왔다. 최근에는 미국 관망시장의 80%를 점유하고 있으며, 여러 연구에서 보고된 바와 같이 타 관종에 비해 상대적으로 낮은 파손율을 보이고 있다(Davis 등, 2006). 캐나다에서 조사된 바에 의하면 PVC관이 닥타일주철관을 포함한 기존 관종과 비교해서 직관부 파손이 거의 발생하지 않는 것으로 나타났으며(Rajani 등, 1995), 미국의 최근 광범위한 연구에서도 PVC관의 낮은 파손율이 검증되었다(Burn 등, 2005).

Stahmer 등(2001)은 호주에서 1970년대 초반에 매설된 대규모 농촌지방의 상수관망을 굴착하여 조사한 결과, 호주품질기준을 만족하고 30년 이상의 잔존수명을 더 가지는 것으로 평가되었다. 접합재료의 불량, 매설환경 불량에 의한 조기파손, 열악한 운영환경, 제작불량 관 등의 문제를 제외하고는 파손이 거의 발생하지 않은 것으로 보고되었다.

Davis 등(2006)은 주철관, 석면관, 시멘트(흙관)관과 같이 오래전부터 수도관 재질로 적용되어온 관종들은 과거의 많은 파손 자료로부터 향후 파손확률을 외삽 즉, 확장 예측하는 것에 큰 문제가 없으나, PVC관과 같이 신소재 관종은 파손자료가 제한되어 있기 때문에 과거자료를 통하여 향후 관파손을 예측하는 경우 신뢰할 수 있는 결과를 얻기 어렵다고 주장하였다. 그들은 이러한 문제를 해결하기 위하여 매설년수에 따른 PVC관의 파손율을 예측할 수 있는 확률적 모형을 제안하기도 하였다.

Sagrov(1998)와 Whittle 등(2005)은 관체의 물리적 특성에 대한 건전성을 각 측정항목별로 점수화하고 가중치를 부여하여 품질상태지수(Quality index)를 도출함으로써 초기(Quality index = 1)대비 시간경과에 대한 변화량으로써 잔존수명을 예측하는 방법을 제안하였다.

플라스틱관의 파손이나, 성능저하는 주로 열, 자외선, 표면손상, 재질의 열화 등과 같은 물리화학적 요인에 의해 일어난다(최, 2007). 또

한, 기계적 강도 등 내구성 측면에서도 금속관에 비해 열악하고, 관 연결부 또는 분기관 등이 상대적으로 취약하여 누수에 미치는 영향이 큰 것으로 평가받고 있다.

최근 상수도용으로 매설된 플라스틱관의 물리적 상태변화에 대한 조사와 연구가 일부 수행되고 있으나, 재료생산 또는 관 제조업체에서 시행하는 장기내구성시험(Minimum required strength, MRS) 등의 자료나, 매설환경에 대한 인자별 가중치에 의한 간접평가방식을 활용하고 있다. 이러한 간접평가방식은 실제 매설환경이나 운영환경의 다양한 영향을 반영하지 못하기 때문에 장기적인 물성변화를 예측하기 어려운 측면이 있다.

본 연구에서는 상수도용 플라스틱관에 대한 물리적인 특성을 직접조사, 분석함으로써 플라스틱 관종의 열화상태를 평가할 수 있는 모형을 개발하고자 한다.

플라스틱관에 대하여 매설 이후 물리적인 상태변화를 예측하고 이를 토대로 개량시기를 예측할 수 있는 모형을 제시하고자 하였다. 플라스틱관이 실제 매설환경에서 열화진행에 영향을 미칠 수 있는 물리적 특성인자를 도출하고, 이를 바탕으로 관상태를 종합적으로 예측할 수 있는 물리적인 예측 모형을 개발하여 현재의 상태는 물론 향후 개량시기를 결정할 수 있는 모형을 제안하고자 한다.

2. 연구방법

2.1 모형개발 접근방법

플라스틱관에 대한 물리적 상태예측 모형 개발과정을 Fig. 1에 나타내었다. 예측모형 개발에 앞서 플라스틱관의 열화에 영향을 미치는 물리적 특성항목을 선정하고, 물리적 상태변화에 미치는 영향력을 평가한 후, 각 항목별 가중치를 통계적으로 구하여 물리적 상태예측모형을 제안하였다. 제안된 모형은 기존의 점수평가방법과의 상관관계 분석을 통하여 모형 적정성을 검증하였다.

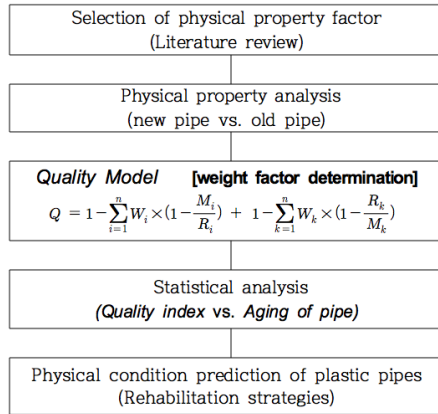


Fig. 1. Procedure of physical condition predicting model development of plastic pipes

2.2 조사대상관로 현황

본 연구에서 조사된 플라스틱관에 대한 관종별 매설년수와 관경 현황을 Fig. 2에 나타내었다. 조사대상 플라스틱관은 총 27개로써 PE관이 20개소, PVC관은 7개소이다. 매설년수는 PE관이 2 ~ 28년, PVC관이 2 ~ 34년 범위이며, 관경은 PE관이 16 ~ 200mm, PVC관은 16 ~ 300mm 범위이다.

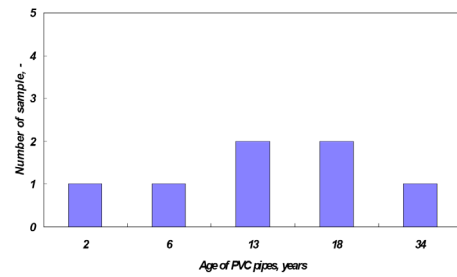
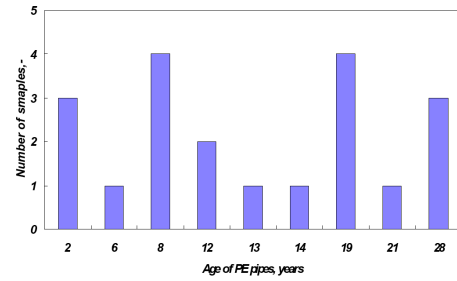
이들 조사대상관로에 대한 물리적인 상태분석을 위해 현장에서 길이 1.5m 전후의 시편을 수집하였고, 관 제원, 운영조건, 매설환경 등을 조사하였다.

또한 매설 전 각 플라스틱관의 초기 물성을 분석하기 위하여 기존 PVC관(P, G 업체)과 PE관 제조업체(P, D, M개 업체)들로 부터 신관을 확보하였다.

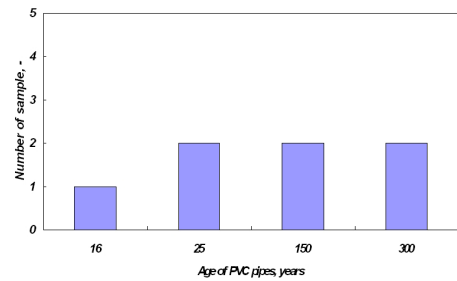
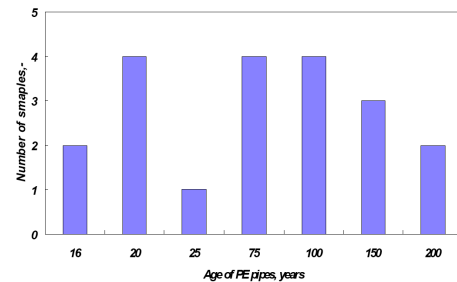
2.3 분석방법

2.3.1 물리적인 상태변화 항목 선정

최(2007)는 플라스틱관에 대한 잔존수명평가에 있어, 관의 물성과 수명에 영향을 줄 수 있는 인자들을 선별하는 것이 중요하고, 특히 시험을 통하여 관 수명과의 관계를 정량적으로 증명하는 것이 선행되어야 한다고 주장하였다. 이러



(a) age



(b) Diameter

Fig. 2. Diameter & Age distribution of collected plastic pipes

한 항목으로 육안에 의한 형태변화(균열 등), 파괴강도, 연신율, 산화도, 용융흐름, 단기내압 또는 장기내압강도 등을 제시하였다. 본 연구에서도 플라스틱관에 대한 신관 및 매설관에 대한 물리적인 특성을 최(2007)가 제안한 항목을 중심으로 PE관에 대해서는 인장강도, 파열인장강도, 연신율, 산화유도시간, 용융흐름지수 등 5개 항

목을 선정하였고, PVC관에 대해서는 인장강도와 연신율, 파열인장강도 등을 선정하였다.

2.3.2 분석방법

본 연구에서 수행한 물리적 특성 분석방법을 Table 1에 나타내었다. 인장강도는 인장응력에 대한 파괴저항 강도를 측정하는 것이며, 연신율은 인장시험시 초기 시편길이에 대해 늘어난 길이의 비에 해당한다. 단기내압시험은 일정시간 간격으로 수압을 높여(5.1kgf/cm²/min) 관을 파열시키는 시험으로, 파열인장강도를 추정할 수 있다. 산화유도시간(Oxidative Induced Time, OIT)은 플라스틱의 산화정도를 수치적으로 표현할 수 있는 방법 중의 하나이며, 장시간 매설된 제품의 노후(산화)정도를 확인하기 위해 응용될 수 있다. 시험방법은 일정량의 시료를 산소분위기에서 200℃로 가열한 상태로 유지하여 DSC(Differential Scanning Calorimetry)의

산화곡선을 확인한다. 일반적으로 PE관에 대해서는 20분 이상이 요구된다. 용융흐름지수(Melt mass-Flow Rate, MFR)는 용융되었을 때의 전단속도 측정을 통한 흐름도 평가하는 것으로 PE관 초기에는 0.3 ~ 0.4 범위, 높을수록 경화가 많이 되었다고 볼 수 있다.

3. 결과 및 고찰


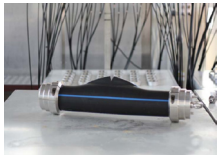



3.1 물리적 특성변화 분석결과

3.1.1 신관의 물리적 특성 평가 결과

(1) PE관

PE 신관에 대한 물리적 특성 분석 결과는 Table 2와 같다. Table 2에서 신관의 인장강도는 230 ~ 280kgf/cm², 파열인장강도는 174.9 ~ 215.5kgf/cm²로 나타났으며, 초기 연신율은 603.0 ~ 732% 수준으로 나타났다. 산화유도시간은 174min 이상이고, 단기 내압시험결과

Table 1. Physical properties analysis method of plastic pipes

Physical properties	PE	PVC	Test method	picture
Tensile strength	●	●	<ul style="list-style-type: none"> ◦ KS M ISO 6259-3(2008) Thermoplastics pipes—Determination of tensile properties —Part 3 : Polyolefin pipes - PE, 200 kgf/cm² <, PVC, 500 kgf/cm² < (for initial value) 	
Elongation	●	●	<ul style="list-style-type: none"> ◦ KS M ISO 6259-3(2008) Thermoplastics pipes—Determination of tensile properties —Part 3 : Polyolefin pipes - for new PE pipe, 600 ~ 800 % 	
Short-term bursting pressure	●	●	<ul style="list-style-type: none"> ◦ KS M 3408-3(2009) Plastics piping systems for water supply—Polyethylene(PE) —Part 3 : Fittings 	
Oxidative induction time	●		<ul style="list-style-type: none"> ◦ KS M ISO 11357-6(2008) Plastics—Differential scanning calorimetry(DSC) —Part 6 : Determination of oxidation induction time - for new PE pipe, 20 min. < 	
Melt mass-flow rate	●		<ul style="list-style-type: none"> ◦ KS M ISO 1133(2007) Plastics—Determination of the melt mass-flow rate(MFR) and the melt volume-flow rate(MVR) of thermoplastics - for new PE pipe, 0.3 ~ 0.4 	

51.1 ~ 57.2kgf/cm²에서 파괴가 발생하는 것으로 나타났다. 또한 초기 용융흐름지수는 0.30 ~ 0.84 범위로 나타났는데, 일반적인 용융흐름지수 범위가 0.3 ~ 0.4인 것을 감안할 때, 다소 높게 나타난 것으로 판단된다.

(2) PVC관

PVC 신관에 대해서는 과거 사용된 VP(Vinyl pipe)의 PVC와 현재 제조되고 있는 내충격성 PVC에 대해서 물리적 특성을 분석하였다. Table 3에서 인장강도는 HI-VP 또는 VP 모두 466 ~ 544kgf/cm²로 나타났으며, 초기 연신율은 65.45% 범위였다. 단기 수압시험에서는 시험한계 수압인 60kgf/cm²이상에서도 모두 파괴가 발생되지는 않았으며, 편평시험에서도 모두 이상이 없는 것으로 확인되었다.

3.1.2 매설관의 물리적 특성 평가 결과

(1) PE관

Fig. 3에는 수집한 관체인 PE관에 물리적 특성을 분석한 결과를 나타내었다. Fig. 3(a)에서 매설된 PE관의 인장강도는 206.6 ~ 318.5

kgf/cm² 범위를 보였다. 현재 PE 신관을 제조할 때 요구되는 최소 인장강도가 200kgf/cm² (한국산업규격, 2004)이므로 수집한 PE관체의 인장강도는 크게 변화하지는 않은 것으로 판단된다. 또한 일부 관체는 신관에 비하여 더 높은 인장강도를 보였는데, 이는 플라스틱관은 금속관과 달리 시간경과에 따라 물리적 특성이 연성에서 취성으로 변화됨에 따라 인장강도가 증가하는 것으로 판단된다. 매설년수에 따른 PE관의 연신율 변화(매설년도 미상 제외)는 매설년수에 따라 감소하는 경향을 보이는 것으로 판단된다 (Fig. 3(b)). Fig. 3(c)에는 내압시험에 따른 PE관의 직관부에 대한 관과열시 수압을 나타내었다. 직관부는 대부분 38.0 ~ 61.1kgf/cm² 이상에서 관이 파열되는 것으로 나타났다. 또한 파열 수압을 통해서 산정한 파열인장강도를 보면, 매설년수가 길어질수록 전체적으로는 감소하는 경향을 보였다. Fig. 3(e)에서 수집한 관체의 산화유도시간은 신관이 174.0min으로 매우 높게 나타났으며, 매설 후 산화유도시간인 OIT는 급격히 감소하는 것으로 나타났다. 이는 산화에 대한 저항성이 급격히 감소하기 때문으로 판단된다.

Table 2. Physical properties analysis results of PE new pipes

Company	Nominal diameter, mm	Wall thickness, mm	Tensile strength, kgf/cm ²	Elongation %	Oxidative induction time, min	Short-term bursting pressure, kgf/cm ²	Bursting tensile strength, kgf/cm ²	Melt mass-flow rate (g/min)
PE-P	92.6	10.7	285.0	713.0	174.0	49.8	215.5	0.30
PE-D	26.74	3.73	249.0	603.0	-	57.2	205.0	0.84
PE-M	26.68	3.76	230.0	711.0	-	51.1	181.3	0.63
	16.14	2.64	236.0	732.0	-	57.2	174.9	0.76
Average			250.0	689.75	174.0	53.83	194.18	0.63

Table 3. Physical properties analysis results of PVC new pipes

Company	Nominal diameter, mm	Wall thickness, mm	Tensile strength, kgf/cm ²	Elongation %	Short-term bursting pressure, kgf/cm ²	Bursting tensile strength, kgf/cm ²
VP-P	51.73	4.24	466	-	60 <	-
Hi-VP-P	50.66	4.74	466	-	60 <	-
Hi-VP-G	75.6	5.70	544	65.45	60 <	-
Average			492.00	65.45	60.00	-

용융흐름지수(MFR)는 고분자 물질의 유동성을 나타내는 척도로서 MFR이 크다는 것은 점도가 낮은 것을 의미하고, MFR이 작다는 것은 점도가 큰 것을 의미한다. 동일 재질일 경우 MFR이 작을수록 인장강도의 파단점, 연신율, 충격강도, 내환경 응력 균열성이 높아지는 것으로 알려져 있다. 실험은 0.26g/min로 나타났으며, 매설된 관 중 일부는 1g/min을 초과하는 것으로

나타났으나, 매설년수가 길어질수록 증가하는 경향을 보이고 인장강도의 파단점, 연신율, 충격강도, 내환경 응력 균열성 등이 낮아지고 있어 물리적 열화가 진행되고 있음을 알 수 있다.

(2) PVC관

Fig. 4(a)에서 현재 PVC관에 대한 인장강도 기준은 PE관보다 2.5배 이상 높은 500kgf/cm²

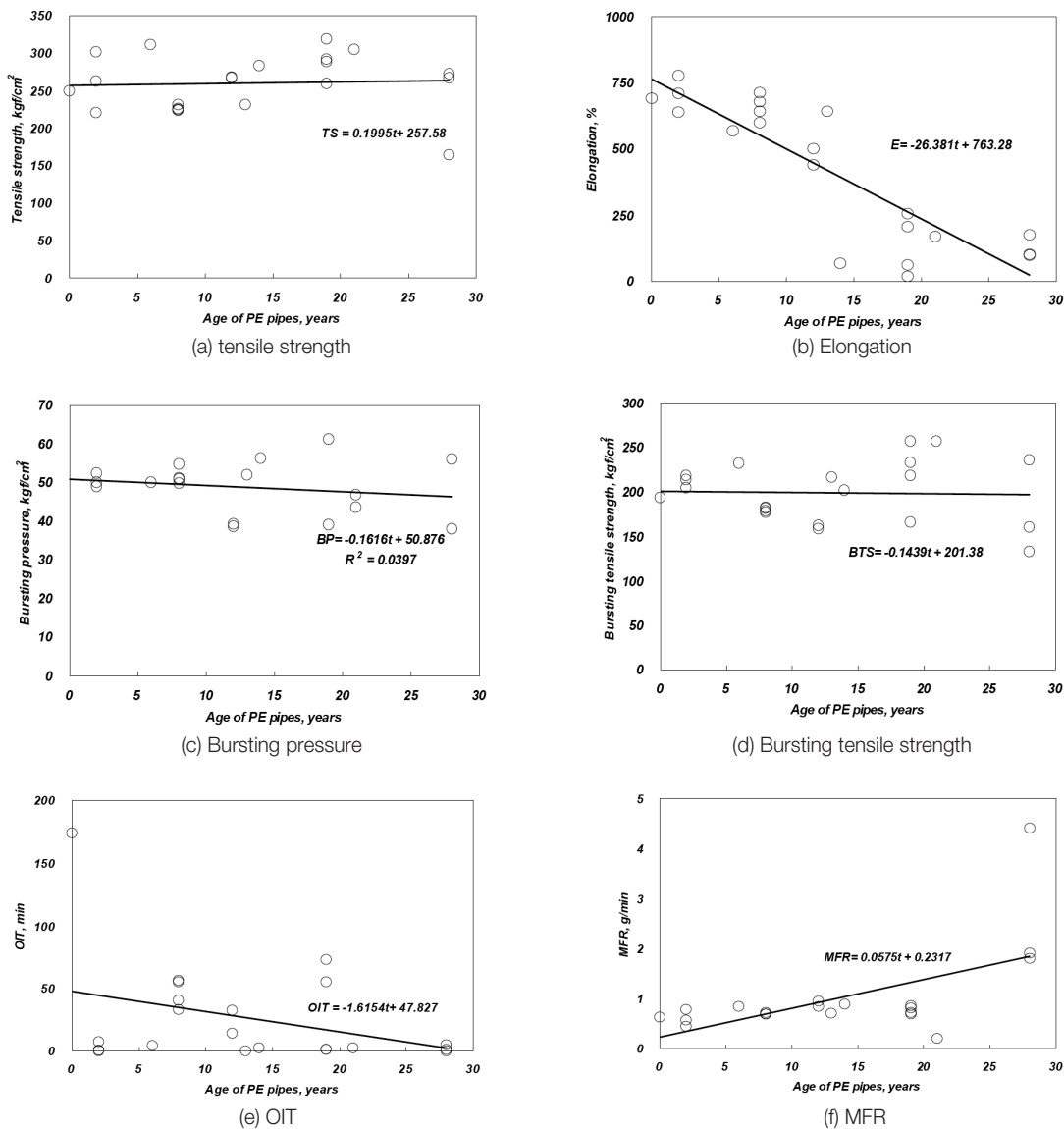


Fig. 3. Physical properties analysis results of PE old pipes

으로 수집한 PVC관의 최대 매설년수는 34년으로 인장강도는 301.7 ~ 586.34kgf/cm² 범위로 나타났다. 매설년수에 따른 변화를 보면 대체로, 매설년수에 따라 인장강도가 증가하는 추세로 이는 계속해서 취성이 증가함에 따라 단단해지고 있기 때문으로 판단된다. 결과적으로 매설 PVC관의 시간경과에 따른 인장강도 증가가 관의 재료적 건전성 면에서는 부정적인 영향을 미치며, 종합적인 열화평가지 인장강도의 증가 영향을 고려할 수 있는 모형개발이 필요할 것으로 판단된다.

Fig. 4(b)에서 연신율은 인장강도와 달리 41.0 ~ 69%로 매설년수가 길어질수록 낮아지는 경향을 보였다. 이는 앞선 인장강도에서 설명하였듯이 시간이 지남에 따라 재질 자체가 연성에서 취성으로 단단해지기 때문으로 판단된다.

그 외 내압시험에 따른 PVC관의 직관부 파열시 수압은 대부분 시험한계 수압이상으로 나

타났다. 일부 관체는 파열수압 시험장비의 최대수압인 60kgf/cm²에서도 파열이 되지 않는 것으로 나타났다. 다만 매설년수가 27년이 경과한 PVC 시편 하나는 59.2kgf/cm²에서 파괴가 발생되었다. 이를 파열인장강도로 환산하면, 433.4kgf/cm²이 된다. 이는 신규 인장강도와 유사한 값으로 최소 파열인장강도도 인장강도와 마찬가지로 시간이 변화됨에 따라 강도가 저하되지 않는 것으로 판단된다.

3.2.1 모형형식

본 연구에서 PE관에 대해서는 인장강도, 파열인장강도, 연신율, 산화유도시간, 단기수압시험 등을 평가하였고, PVC관에 대해서는 인장강도, 파열인장강도, 연신율, 단기수압시험, 편평시험 등이 수행되었다.

앞선 물리적 특성변화 분석결과, 플라스틱관의 열화가 진행됨에 따라 위 평가항목의 물리적 성질이 신관에 비해 변화하는 것이 관찰되었으며, 이러한 물리적 특성변화가 복합적으로 작용하여 전체적인 열화를 초래하는 것으로 판단된다.

따라서 본 연구에서는 이러한 PE관과 PVC관의 매설년수에 따라 변화되는 항목을 중심으로 열화상태를 예측할 수 있는 모형을 제안하였다.

본 연구에서는 PE관 및 PVC관의 열화추정 모형을 개발하기 위하여 Whittle 등(2005)이 제안한 신관대비 물리적 특성변화 비율방식을 이용하였으나, 본 연구의 물리적인 특성 항목 중 시간변화에 따라서 어떤 항목은 증가 또는 감소 형태를 보여주었다. PE관은 인장강도 또는 용융흐름에 대한 저항성은 높아지고 반대로 연신율, 파열인장강도, 그리고 산화유도시간 등은 감소하는 특성을 보였으며, PVC관의 경우 취성증가로 인하여 인장강도는 증가하나, 연신율은 감소하는 경향을 나타내었다.

시간에 따른 물리적인 특성값의 증가 또는 감소가 관재질의 열화에 기인한 것이므로, 이러한 특성을 반영하기 위하여 아래와 같은 모형식을

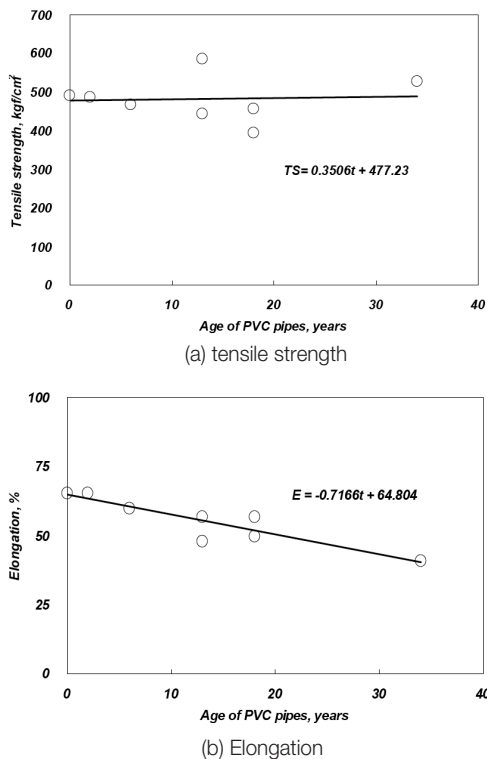


Fig. 4. Physical properties analysis results of PVC old pipes

Table 4. physical properties change characteristics according to ages of plastic pipes

Division	Form of change	Physical properties
PE	Increase	Residual tensile strength, Melt mass-flow rate
	Decrease	Bursting tensile strength, Elongation, Oxidative induction time
PVC	Increase	Residual tensile strength
	Decrease	Elongation

제안하였다. 즉 모든 시간변화에 따른 물성값의 증가 또는 감소형태에 대해 기준 값(초기치)에 대한 변동 폭을 해당 항목의 열화정도로 간주하고, 해당 변동 폭의 크기 비율이 1을 초과하지 않는 형태의 모형으로 제안하였다.

$$Q = 1 - \sum_{i=1}^n W_i \times \left(1 - \frac{M_i}{R_i}\right) + 1 - \sum_{k=1}^n W_k \times \left(1 - \frac{R_k}{M_k}\right)$$

여기서, Q = Quality index

$$R_i > M_i, Q = 1 - \frac{M_i}{R_i}$$

$$R_k < M_k, Q = 1 - \frac{R_k}{M_k}$$

$R_{i,k}$ = Representative allowable value(initial value)

$W_{i,k}$ = Weight value

$M_{i,k}$ = Real physical property value

3.2.2 가중치 결정

각 항목별로 관체의 물리적 특성변화에 미치는 영향이 서로 다르기 때문에 객관적 정량화를 위한 과정 즉, 가중치 부여가 필요하며, 본 연구에서는 가중치 차등 배분 방법을 적용하였다. 가중치 차등배분은 시간과 물성치 사이의 변동 폭에 따라 그 비율만큼 가중치를 높게 부여하였으며, 이는 물리적 특성의 변화 폭이 크면 클수록 관체의 물리적 열화에 크게 영향을 미치는 것으로 볼 수 있기 때문이다. 다만 일반적으로 플라스틱관의 물리적 특성값의 스케일이 서로 다르므로, 기울기의 크기도 다르게 나타난다. 따라서 이러한 문제를 해결하기 위해 초기 물리적 특성값이 가장 큰 항목을 기준으로 해당 항목의 크기에 비례하도록 보정계수를 산정하고, 보정계수를 기울기에 곱하여 동일한 스케일의 기울기로 보정하였다.

PE관에 대하여 보정계수를 산정한 결과, 기준이 되는 연신율은 1.0, 스케일이 가장 작았던 용융흐름지수는 1,094.8로 나타났다. 기울기에 보정계수를 곱하여 새로이 산정된 기울기는 용융흐름지수, 연신율, 산화유도시간, 잔존 인장강도, 파열인장강도 순으로 나타났다. 즉 PE 관 전체의 물리적인 변화에 대해서 동일한 물리적 특성값으로 보면, 용융흐름지수와 연신율이 미치는 영향이 가장 큰 것으로 판단된다.

PVC관은 기준이 되는 물리적 항목을 인장강도로 하였고, PE관과 동일한 절차를 거쳐 가중치를 산정한 결과, 연신율이 0.9388으로 높게 나타났다.

Table 5. weighting value of each physical property factor

Division	Factor	Original slope S(1)	Correction coefficient (C)	Corrected slope = C × S(1)	Weighting value (W)
PE	Residual tensile strength	1,1995	2,8	3,359	0,0337
	Bursting tensile strength	-0,1439	3,6	0,518	0,0052
	Elongation	-26,381	1,0	26,381	0,2647
	Oxidative induction time	-1,6154	4,0	6,462	0,0648
	Melt mass-flow rate	0,0575	1094,8	62,951	0,6316
PVC	Residual tensile strength	0,3506	1,0	0,695	0,0612
	Elongation	-0,7166	7,5	5,261	0,9388

3.2.3 조사 대상관로의 품질상태지수 예측 결과

Fig. 5는 품질상태지수 모형을 이용하여 도출한 플라스틱관의 건전성과 매설년수와의 상관성을 평가한 결과이다. PE관은 상관계수(R2)가 0.73, PVC관은 0.79 등으로 비교적 높게 나타났으며, 시간에 따라 감소하는 형태를 보였다. 30여년의 경과연수에 대해서 PE관의 품질상태지수는 1.0 ~ 0.1로 나타났고, PVC관은 1.0 ~ 0.6 사이로 나타나 PE관이 PVC관에 비해 상대적으로 열화가 빠르게 진행되고 있는 것으로 평가되었다. 따라서 두 플라스틱관에 대해서 시간에 따른 품질상태의 변화가 다른 속도로 나타나므로, 품질상태지수에 따른 개량여부의 의사결정 정도 서로 다르게 판단하는 것이 적절할 것으로 사료되었다.

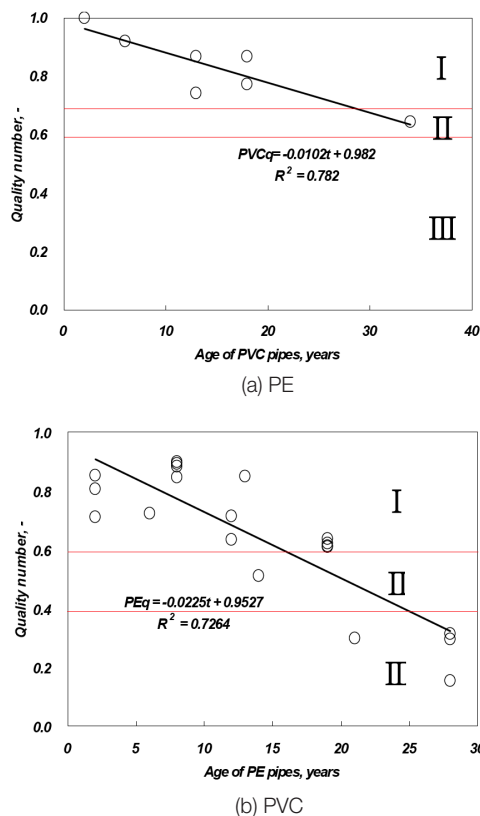


Fig. 5. Physical condition predicting model application results for old plastic Pipes

3.3 품질상태지수에 따른 개량결정 방안 적용

본 연구에서는 품질상태지수를 이용하여 개량여부를 판단할 수 있는 기준을 제시하기 위하여 기존 점수평가방법(K-water, 2011)을 이용한 관 상태 추정점수와 본 연구에서 제안한 품질상태지수를 비교하였다. 일반적으로 점수평가방법은 관 상태 변화에 간접적으로 영향을 미치는 관제원과 수압 등의 운영조건, 매설환경인자 등으로 구성된다. 즉 점수평가방법은 운영조건 또는 매설환경이 관 자체의 열화에 미치는 영향을 평가하는 항목위주로 구성되어 있는 반면, 품질상태지수는 그러한 운영 및 환경하에서 관체 자체의 품질상태가 어떻게 변화했는지를 알 수 있는 정보를 제공한다. 이러한 두 모형 간 상관성은 플라스틱관에 대한 열화상태를 보다 정확하게 예측하고, 개량시점을 결정하는데 기여할 수 있을 것으로 기대된다.

Fig. 6에는 PE관과 PVC관에 대해 기존 점수평가에 의한 노후도 점수와 물리적 상태예측 모형의 품질상태지수를 함께 나타내었다. 점수평가에 의한 플라스틱 관종의 개량결정 기준은 45초과는 I 등급, 35 ~ 45는 II 등급, 35이하는 III 등급에 해당한다(K-water, 2010). I 등급은 주로 '상태양호 또는 세척'을 의미하는 수준이며, II 등급은 '세척 또는 교체(보수)', III 등급은 '교체(보수 포함)'에 해당한다(K-water, 2010).

세척은 주로 플라스틱관 내부에 이물질의 축적이 과다하여 유출시 민원 발생이 우려되는 경우에 해당하므로, 이러한 상황이 없는 경우에는 45점 이하의 교체를 의미한다. 다만 교체인 경우에도 국부적인 경우에는 보수로 접근하고, 전반적인 경우에 수리적인 부분을 고려하여 '전면 교체'하도록 하고 있다.

두 평가결과를 도시한 결과 PE관의 경우 상관계수가 0.68, PVC관의 경우 0.86으로 높은 상관성을 보였으며, 점수평가 결과에 의한 개량의사를 품질상태지수로 확장적용하는 것이 가능할 것으로 판단되었다.

본 연구에서는 플라스틱관의 현재 상태에 기초하여 향후 열화정도를 예측할 수 있는 모형을 제안하였으며, 기존의 점수평가에 의해 제시된 개량 결정기준과 상호연계될 수 있는 품질지수 값을 제안하였다(Table 6참조).

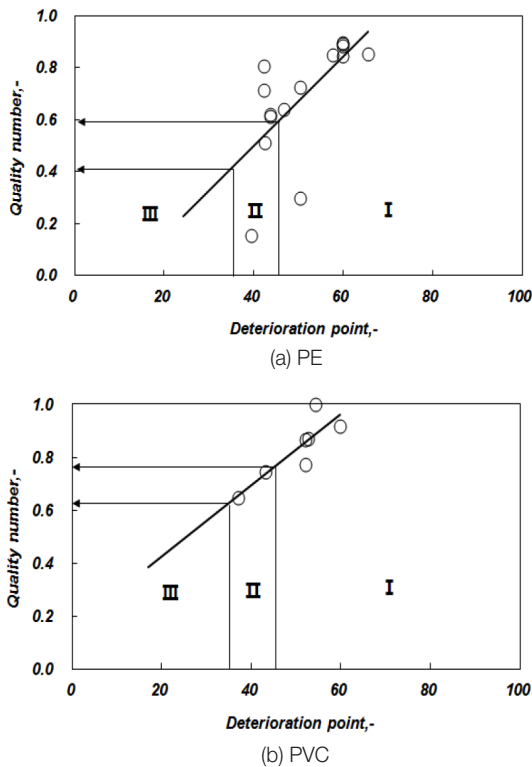


Fig. 6. Comparison of conventional numerical scoring method and proposed Physical condition predicting model

4. 결론

본 연구에서는 국내에서 현재 사용중인 플라스틱 관종인 PE관과 PVC관에 대하여 다양한 물리적 특성을 분석하고, 초기 물리적 특성과의 비교를 통하여 시간경과에 따른 열화상태를 예측할 수 있는 모형을 제안하였다.

1. P지방상수도 등 6개소의 PE관 20개, PVC관 7개의 샘플에 대하여 물리적 특성을 분석한 결과, 초기 물리적 특성에 비하여 연신율, 파열인장강도, 산화유도시간 등은 열화에 의하여 감소하는 경향을 보였으나, PE관의 MFR와 PVC관의 인장강도는 증가하는 경향을 보였다. MFR은 고분자 물질의 유동성을 나타내는 척도인데, 시간 경과에 따라 PE관의 점도가 낮아지는 것을 의미하고 이는 PVC관의 인장강도 증가와 동일하게 재료의 취성이 증가하기 때문으로 추정되었다.
2. 시간경과에 따른 변화유의성을 분석한 결과, PE관은 잔존 인장강도, 파열 인장강도, 연신율, 산화유도시간, 용융흐름지수 등 5개 인자, PVC관은 인장강도, 연신율 등 2개 인자가 예측모형의 독립변수로서 적절할 것으로 판단되었다.
3. 물리적 열화예측모형은 초기 물리적 특성 값에 대한 변동율을 기준으로 예측하였으

Table 6. Rehabilitation decision criteria of physical condition predicting model

Conventional numerical scoring method (K-water, 2010)			This study			
Grade	deterioration point	Rehabilitation strategies	Failure of Risk, (Fr)	Quality index, Q		Rehabilitation strategies
				PE	PVC	
I	45 <	Good (washing)	Low	0.6 <	0.75 <	Continuously use
II	35 ~ 45	washing or replacement (repair)	middle	0.4 ~ 0.6	0.6 ~ 0.75	Replacement (repair)
III	< 35	Replacement (repair)	High	< 0.4	< 0.6	Replacement

며, 각 인자별로 변동폭에 따라 가중치를 부여하여 품질상태지수를 제안하고 시간에 따른 열화상태 예측 모형을 제시하였다.

4. 앞서 도출한 품질상태지수에 의한 물리적 열화변화를 기존 평가방법인 점수평가법과 비교한 결과, PE관의 경우 상관계수가 0.67, PVC관의 경우 0.86 값으로 나타나 높은 상관성을 보였으며, 본 연구에서 제안한 품질상태지수를 기존 점수평가법에 기초한 개량결정기준에 보완하여 적용하는 것에 무리가 없을 것으로 판단되었다.

그동안 플라스틱 관중에 대한 노후도를 평가하고 잔존상태를 추정할 수 있는 방법이 미흡한 상태에서 실제 현장의 관망정비 의사결정시 직접굴착에 의한 제한적인 평가가 이루어져 왔으나, 본 연구결과를 통하여 관 재질의 상태(직접인자)와 환경영향 상태(간접인자)를 종합적으로 비교, 평가함으로써 플라스틱 관중의 열화상태 평가 및 개량의사결정에 신뢰성 있는 결과를 제공할 수 있을 것으로 기대할 수 있다.

참고문헌

- 환경부, 상수도통계, 2010
- Rajani B, McDonald S. Water main break data for different pipe materials for 1992 and 1993. National Research Council Canada NRC-CNRC Client Report A-7019.1, 1995.
- Burn S, Davis P, Schiller T, Tiganis B, Tjandraatmadja G, Cardy M, et al. Long term performance of PVC pipes, AwwaRF project no. 2879. Denver, CO: AwwaRF; 2005.
- Davis P., Burn S., Moglia M., Gould S., A physical probabilistic model to predict failure rates in buried PVC pipelines, 2006. 9
- Stahmer MW, Whittle AJ. Long term performance of PVC pressure pipe in a large rural water supply scheme. In: Proceedings of the plastics pipes XI, Mu`nchen, Germany, 2001. p. 187-96.
- S. Sagrov, Water Quality International, 1998
- Whittle A.J., Tennakoon J., Predicting the residual life of PVC. pipes, 2005
- 한국산업규격, KS M 3408-1, 수도용 플라스틱 배관계-폴리에틸렌(PE)-제1부 : 일반 사항, 2004
- 한국산업규격, KS M 3401, 수도용 경질 폴리염화비닐관, 2009
- 최선웅, 비금속 상수 관로 내용연수 설정을 위한 수명평가 방향 제시 보고, K-water 자문보고서, 2007
- K-water, 거제시 지방상수도 운영효율화 사업 실행(배) 급수구역관망정비 기본계획 보고서, 2011