Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society
Vol. 17, No. 11 pp. 355-362, 2016

http://dx.doi.org/10.5762/KAIS.2016.17.11.355
ISSN 1975-4701 / eISSN 2288-4688

스프링클러 시스템에서 조도계수에 따른 CPVC 배관 마찰손실 영향의 연구

강웅일
호남대학교 소방행정학과

A study on the effects of Friction loss of CPVC pipe according to Roughness coefficient in a sprinkler system

Ung Il Kang
Department of fire Service Administration, Honam University

요 약 배관 내에 유체가 흐를 때 사용되는 유체의 물리・화학적 성질에 따라 배관재질이 선택이 결정된다. 수계소화설비에 사용하는 유체는 대부분 물을 사용하므로 물속에 용해된 각종 이물질들은 관 벽에 스케일을 발생시키고 부식 및 배관 노후화를 촉진하여 마찰손실을 증가시켜 펌프의 효율을 저하시킨다. 이러한 요인을 가져오는 강관의 대체가능한 CPVC 배관은 부식에 강하고, 매끄러운 조도를 가지고 있어서 유체이송능력이 뛰어나고 배관무게가 가볍고 접착제결합 방식의 배관작업으로 시공성이 우수한 점을 들 수 있다. 그래서 설계 및 시공단계에서 마찰손실을 줄이기 위해 Hazen-Williams식을 CPVC(Chlorinated Poly-Vinyl Chloride)배관에 적용하여 조도계수에 따라 마찰손실을 조사하였다. 실제 아파트 현장에서의 적용사례를 통해 조도계수의 차이에 따라 손실수두를 조사한 결과 조도계수의 수치가 120인 강관일 때 마찰손실은 76.64MPa이고 150인 CPVC배관일 때 마찰손실은 50.72 MPa로서 34% 정도의 마찰손실이 개선되었음을 확인하였다. 또한 시공비 절감 차원에서는 강관으로 시공할 때 1,585,158원이고 CPVC배관으로 시공 시에는 931,842원으로 41%정도의 시공비가 절감되는 것을 확인하여 전체 설비용량의 감소로 인한 소화시스템의 안정성 향상 및 시공비를 절감할 수 있는 것을 알 수 있었다.

Abstract The pipe material is selected according to the physical and chemical properties of the fluid flowing within it. Because the fluid used in fire extinguish systems is water, the various foreign substances dissolved in it cause scale to form on the pipe wall and accelerate the corrosion and aging of the pipe itself. This results in an increase in the friction loss and eventually degrades the efficiency of the pump. The use of CPVC (Chlorinated Poly-Vinyl Chloride) pipes was confirmed to reduce the friction loss compared to conventional steel pipes in the design and construction stages. The friction loss was found to be 76.64MPa with a C-value of 120 for the steel pipe and 50.72 MPa with a C-value of 150 for the CPVC pipe in an actual apartment construction environment. It was confirmed that the friction loss was improved by about 34% when using the CPVC pipe. When the steel and CPVC pipes were employed in the construction, the construction costs were 1,585,158 and 931,842 won, respectively. Therefore, it was shown that the construction cost was reduced by about 41%. We investigated the safety of the fire extinguishing system and the improvement in the economic performance due to the reduction in the total installed capacity by studying practical applications in the field

Keywords : Construction cost, Chlorinated Poly-vinyl chloride, Economic improvement, Friction losses, Pipe material.

1. 서론

스프링클러설비에서 소화배관의 재질 선택은 제반성능을 발휘하는데 매우 중요하다. 소화배관 재질에 따라 마찰손실을 줄일 수 있어 최근에는 기존 강관 재질 대신 CPVC배관을 사용하는 현장들이 증가되고 있다. 기존

본 논문은 한국전력공사 학술연구용역(과제번호: E011619046)과제로 수행되었으며 연구비 지원에 감사드립니다.
*Corresponding Author : Ung Il Kang (Honam Univ.)
Tel: +82-62-940-5536 email: uikang@honam.ac.kr
Received September 26, 2016 Revised (1st October 18, 2016, 2nd November 3, 2016, 3rd November 9, 2016)
Accepted November 10, 2016 Published November 30, 2016

강관은 용접 및 절단작업 시 기계마찰소음이 많고 작업장 주변으로 방출되는 용접가스와 쇳가루 등으로 공사현장의 환경 저해요소가 많으며 용접절단작업 등으로 화재가 빈번히 발생하여 인명과 재산피해 등의 손실을 가져오는 경우가 많다. 반면, CPVC배관은 배관 자재비가 강관에 비하여 저렴하고 부식 및 스케일에 강하여 배관 수명이 길어 건물 철거 시까지는 배관을 교체하지 않아도 되고, 프라이머 및 솔벤트 시멘트(Solvent Cement) 접착제 결합방식으로 배관이음을 하므로 시공이 간단하여 비숙련작업자도 현장에서 쉽게 배관이음작업을 수행할 수 있어 공사기간 단축과 인건비 절감의 효과가 있으므로 더욱 확대되어 적용될 것으로 보인다 [1,4].

CPVC배관에 대한 국내의 연구사례를 살펴보면 현재까지 국내의 소방 설계 진행방식으로 규약배관방식(Pipe Schedule System)의 안전계수의 초과 적용으로 인한 과다설계가 도출되어 최근에는 소방시설공사의 원가절감을 위한 차원에서 창의적 사고를 갖고 비용절감과 성능실현을 함께 고려하는 VE(Value Engineering) 개념을 도입하여 화재방호 역할을 위해 건물에 설치되는 스프링클러 시스템에 대한 VE설계를 수행하기 위하여 다양한 수리해석 방식의 연구와 스프링클러의 효과적인 소화성능을 구현하기 위한 소화배관, 펌프, 헤드 등의 상호배치 구성방식에 따른 스프링클러 소화설비를 효과적으로 설계하기 위한 수리해석 접근방식을 제시하였다 [1,2]. 국외에서는 NFPA의 13(2010 edition)스프링클러시스템의 표준화된 설치 기준을 마련하였다. 제6장에서 스프링클러시스템의 구성요소와 하드웨어의 올바른 사용에 대한 요구사항이 제시되었고 ASTM F 442 “특별한 나열 염소화 폴리염화비닐 (CPVC)파이프 비금속 배관사양”을 표준으로 하고 있다[3*]. 또한 이론식을 두 가지로 정리하였고, Hauzen-williams식을 통한 배관의 선형길이 당 압력강하를 배관 별 유량에 따라 정리하여 마찰손실을 개선할 수 있는 방법을 알아보았다[4].

따라서 본 연구에서는 스프링클러 시스템의 강관에서 발생하는 부식 및 스케일에 따른 관경축소로 인한 마찰손실이 커지므로 매끈한 관 조도로 배관 조도계수가 큰 CPVC배관을 Hazen-Williams식에 적용하여 전체 소화배관 시스템에서 마찰손실을 줄일 수 있는 개선방안에 대한 방법을 제안하고, 실제 아파트 현장에 적용하였을 때 구체적인 마찰손실과 시공비의 절감효과에 대하여 제시하였다.

2. 본론

2.1 유체역학적 고찰

Hazen-Williams식은 배관 유동의 흐름영역이 주로 천이영역 및 난류영역에서 적응성이 뛰어난 실험을 바탕으로 얻어진 마찰손실 계산식이다. 배관마찰에 대한 이론적 기반이 취약한 시기에 개발된 실험식으로서 현재까지도 물을 사용하는 유동・에너지 손실 관계식으로 배관의 수리계산 시에 가장 널리 사용되고 있다. 배관의 선형길이 당 압력강하에 대해 정리하면 다음과 같다.

위식을 SI단위로 표현하면,

$$\triangle P_m(MPa) = 6.053 \times 10^4 \times \frac{Q^{1.85}}{C^{1.85} \times D^{4.87}} \quad (1)$$

여기서, ΔP_m : 배관 1m당 압력손실

Q(L/min) : 관의 유량

D(mm) : 관의 내경

C : 배관의 조도

본 식을 적용하기 위한 전제조건으로 사용유체는 물이고 수온은 7.2~24℃정도 비중량 9,800N/㎥ 유속은 1.5~5.5 m/sec 범위의 유동상태에서 결과 값이 잘 들어맞는 배관마찰계산식이다. 화재안전기준(NFSC103 제8조 3항)에 따르면 배관의 구경은 수리계산에 따르는 경우 가지배관의 유속은 6m/s, 그 밖의 배관의 유속은 10m/s를 초과할 수 없으므로 속도수두를 무시하고 이 식으로 적용할 수 있다. 이 식은 Darcy-Weisbach식에서의 "관마찰계수(f)"에 대응하는 "관조도(C-value)" 항목이 있고, 손쉽게 계산할 수 있도록 배관재질에 따라 유체공학자들이 이미 정해놓은 값들이 있다[5]. 일반적인 배관의 마찰계수 값은 Hazen-Williams 식을 적용하여 Table. 1과 같이 규정하고 있다. 또한, NFPA 13(2010년)에 따라 Table. 2와 같이 적용하여 배관마찰 손실압력을 계산해 낼 수 있다. 유체가 배관 내를 흐를 때 마찰손실을 구하는 이론식은 여러 방법이 있으나 일반적으로 유체역학에서는 배관의 마찰계산에서 Darcy- Weisbach의 식을 사용한다. 실험에 의하면 실수두는 속도수두($\frac{V^2}{2g}$) 와 배관길이(L)에 비례하고 관경(d)에 반비례한다.

1) NFPA 13(2010 edition) May 26. 2010(주석확인)

Table 1. Value of friction losses for the pipe

Type of pipe	"C" Value
Copper pipe , CPVC	150
Galvanzing Zincing pipe, Black steel pipe (wet, deluge)	120
Black steel pipe (dry, Pre-action)	100

Table 2. Hazen-Williams “C ” values

Pipe or Tube	"C" Value
Plastic(listed) all	150
Copper pipe or stainless steel	150
Black steel (wet systems including deluge)	120
Galvanzing Zincing pipe, Black steel pipe (wet, deluge)	120
Black steel pipe (dry, Pre-action)	100

이때 비례상수를 f(관마찰계수 ; Friction factor)라 하면 f는 유체의 밀도, 점성 등에 관계되는 무차원의 값으로 이를 정리하면 다음과 같은 공식이 된다.

$$h = f \cdot \frac{L}{d} \cdot \frac{V^2}{2g} \quad (2)$$

Table. 3에서는 Hazen-Williams 식과 Darcy-Weisbach 식을 비교하여 나타내었고 Table. 4는 마찰손실의 원인 및 개선방법을 나타내고 있다.

2.2 배관의 설계방법

소화배관의 재질 선택은 사용조건과 환경에 따라 배관의 진동, 충격, 수압, 사용유체의 온도, 부식성, 용접절단 등의 가공성 등을 고려하여야 한다. 사용온도는 -15~350℃에서는 일반탄소강관을 사용하고, 그 밖의 고온, 극저온에서는 특수 합금관을 사용한다. 사용압력은 1.2MPa 이하에서는 일반배관용 탄소강관, 1.2~10MPa에서는 압력배관용 강관을 사용한다. 유속은 고속흐름일수록 배관 동압이 증가되어 소음 진동이 발생하고, 관 벽

Table 3. Comparison between Hazen-Williams and Darcy-Weisbach equations

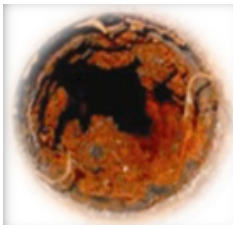
Division	Hazen-Williams equation	Darcy-Weisbach equation
Objective fluid	Using only water	Using all fluid
Characteristic	Friction losses calcination by physical characteristic for pipe	Friction losses calcination by physical properties and fluid properties for pipe
Advantage, Disadvantage	Be easy to use "C" as friction losses	Using the Reynolds number, apply

Table 4. Cause and Improvement of friction losses

Division	The main cause of friction losses	Improvements
Friction losses in pipe	Friction between the fluid and the surface in pipe	Using a large pipe with values of roughness
	Turbulent fluid	The flow of fluid is the laminar flow
	Viscosity of the fluid	The temperature of the fluid is lower
Local resistance loss	Change of diameter	The rapid expansion and reduction of diameter
	Bending of the tube	To minimize bending places
	valve fittings in pipe	To minimize bending fitting in short pipe

(a) Passing of seven years

(b) Passing of thirteen years


(c) Passing of seventeen years

(d) Passing of twenty-one years

Fig. 1. The process of passing of year for steel pipe

Table 5. Characteristic comparison of the pipe

Piping material		CPVC	Steel pipe	Copper pipe
Heat resistance	Melting point	160℃(self-extinguishing)	1,427~1,538℃	1,427~1,538℃
	Maximum ambient termperature	66℃	No limit	No limit
	Installation site	wet sprinkler (semi nonflammable over insulation place)	No limit	wet sprinkler
	Specific heat (cal/g ℃)	0.2~0.3	0.115	0.09
	Heat conductivity (w/m K)	0.12	52	247
Corrosion protection flow Performance	Corrosion sensitivity	low	high	medium
	Flow coefficient (C value change)	150 (no change)	120 (decrease)	130 (decrease)
Construction ability	Weight (Kg/25 code)	0.401	2.46	0.947
	Bonding method	solvent adhesives joint type	screw type, welded type, grooved type	welded type (solder, braze)
Durability	life span	semipermanent	10~20 yeras	40~60 years
	Replacement cost	none	occurrence	none

에서는 부식이 가속화된다. 강관은 유속 1~2m/s이하에서는 부식의 우려가 없으나 9~10m/s 이상에서는 부식방지대책을 수립해야 한다. Fig. 1은 강관의 부식에 따른 경년변화를 나타낸 것이다. 동관이나 CPVC의 경우 상대적으로 부식의 우려가 적다[6]. 현행 국가화재안전기준(NFSC 103 제8조 제1항, 제2항)에 등록된 소화배관 종류로는 일반배관용탄 소강관(KS D 3507), 압력배관용탄소강관(KS D 3562), 이음매 없는 동 및 동합금관(KS D 5301), 배관용 스테인리스강관(KS D 3576)성능시험기술기준에 적합한 소방용 합성수지배관(일명 “CPVC 배관")이 있다 [7]. Table. 5는 현 재 가장 많이 사용되는 강관, 동관 및 CPVC배관의 특성을 비교한 것을 나타내고 있다 [8].

3. 결과 및 고찰

아파트 단위세대(84형)의 스프링클러 설비를 Fig. 2와 같이 설계하고 Table. 6으로 수량을 산출을 하여 Hazen-Williams식에 적용하였다. 배관의 마찰손실을 개선하기 위하여 강관과 CPVC배관을 비교한 결과, Table. 7과 같이 마찰손실의 변화를 나타내었고 마찰손실 값의 변화를 Fig. 3으로 나타내었다. 그리고 실제로 CPVC배관과 강관공사에 필요한 재료비와 인건비를 보여주는 일위대가표를 Table. 8과 9로 나타내었으며, 강관으로 설계하였을 경우 마찰손실이 커짐에 따라 펌프의 전 양정 및 전동기 용량이 커지게 되어 전체 설비의 비용 또한 증가하므로 CPVC배관으로 변경 할 경우, 시스템의 비용절감이 가능함을 알 수 있었다. 아래의 Fig. 4, 5는 설

계도면에 의한 강관과 CPVC배관을 현장에서 시공한 사례를 보여주고 있다.

또한, 시공비 측면에서도 CPVC배관을 사용하였을 경우, 배관결합방식이 나사 및 용접, 플랜지, Grooved, 분기배관방식을 적용하는 강관에 비해 본드 결합방식으로 좁은 공간에서도 시공이 편리하며, 열전도율이 매우 낮아 결로현상이 발생하지 않으므로 보온재를 생략할 수 있어 Table. 10에서와 같이 세대 당 자재비와 인건비를 대략 41%가량 원가를 절감할 뿐 아니라 장기내구성이 우수하여 시간경과에 따른 배관의 수명 및 교체비용 등의 유지보수 비용이 거의 발생하지 않아 강관에 비하여 유리하다는 것을 알 수 있었다.

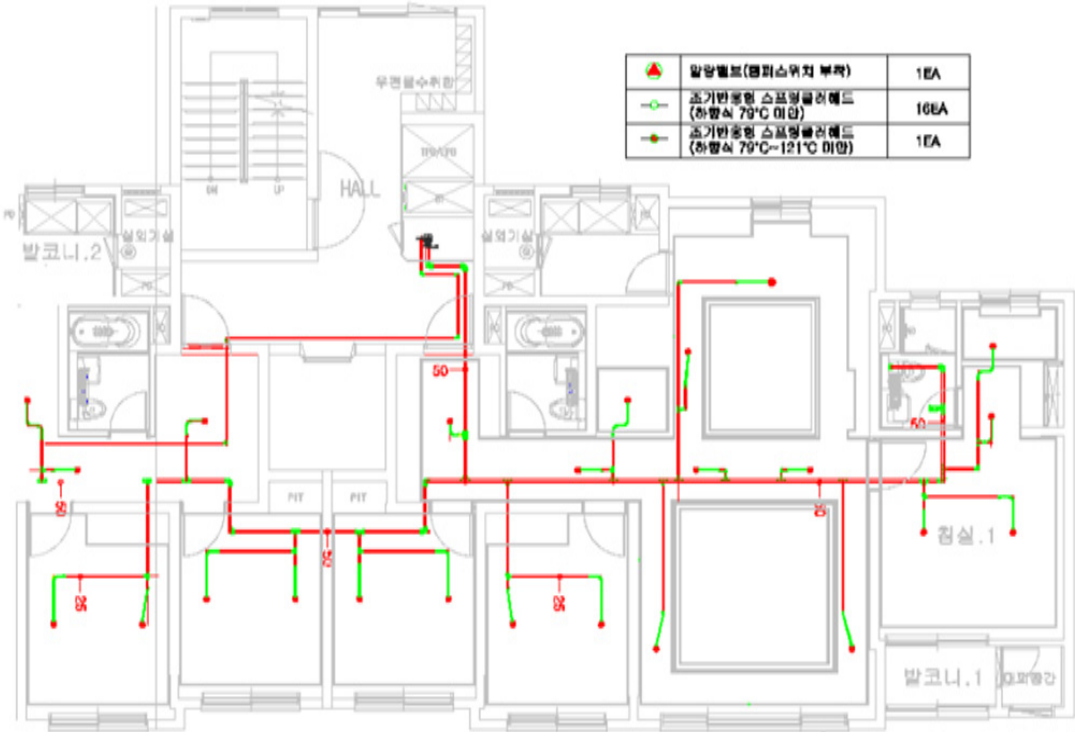


Fig. 2. The design drawings of sprinkler system for apartment units

Table 6. Calculate of quantity the fire pipe in household

Diameter (A)	Flow (LPM)	90° Elbow	90°divided flow TEE	90° direct flow TEE	Conversion length(m)	straight pipe (m)
50	800	6	1	10	22	34
40	800	-	-	1	0	1
32	800	2	2	1	6	4
25	800	13	12	1	30	3

Table 7. Comparison of loss of head between Steel pipe and CPVC pipe

Diameter(A)	Loss of head : (MPa)	
	Steel pipe	CPVC pipe
50	4.52	2.99
40	0.32	0.21
32	5.22	3.46
25	66.58	44.06
합계	76.64	50.72

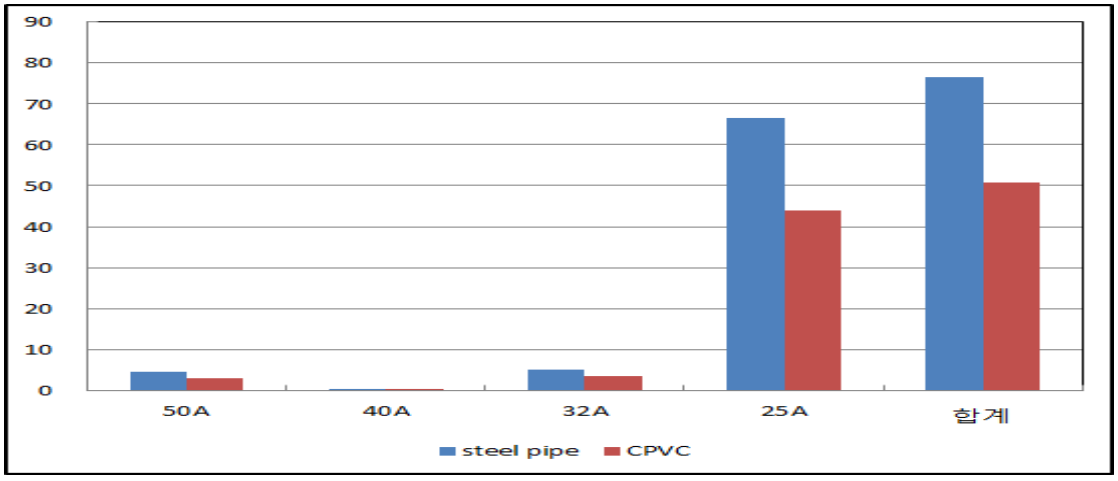


Fig. 3. Comparison of friction losses between steel pipe and CPVC pipe

Table 8. Breakdown cost table of CPVC Pipe

Names of goods	Standard	Unit	Amount	Material cost		Labor costs		Total cost	
				unit cost	sum	unit cost	sum	unit cost	sum
CPVC construction	Pipe, Φ50mm	m	34	9,750	331,500	-	-	9,750	331,500
	Pipe, Φ40mm	m	1	6,300	6,300	-	-	6,300	6,300
	Pipe, Φ32mm	m	4	4,550	18,200	-	-	4,550	18,200
	Pipe, Φ25mm	m	3	3,900	11,700	-	-	3,900	11,700
	Tee, Φ50mm	m	11	5,600	61,600	-	-	5,600	61,600
	Tee, Φ40mm	m	1	3,453	3,453	-	-	3,453	3,453
	Tee, Φ32mm	m	3	2,600	7,800	-	-	2,600	7,800
	Tee, Φ25mm	m	13	1,800	23,400	-	-	1,800	23,400
	Elbow, Φ50mm	m	6	4,500	27,000	-	-	4,500	27,000
	Elbow, Φ32mm	m	2	2,300	4,600	-	-	2,300	4,600
	Elbow, Φ25mm	m	13	1,200	15,600	-	-	1,200	15,600
Pipe component	5% for pipe	-	1	25,557	25,557	-	-	25,557	25,557
Miscellaneous cost	3% for main material cost	-	1	15,334	15,334	-	-	15,334	15,334
Normal worker	general construction worker	person	1	-	-	99,882	99,882	99,882	99,882
Plumber	general construction worker	person	2	-	-	134,427	268,854	134,427	268,854
Handworker cost	3% for labor	-	1	11,062	11,062	-	-	11,062	11,062
Total					563,106		368,736		931,842

Table 9. Breakdown cost table of Steel Pipe

Names of goods	Standard	Unit	Amount	Material cost		Labor costs		Total cost	
				unit cost	sum	unit cost	sum	unit cost	sum
Carbon Steel pipe for pipelines construction	SPP(white pipe), Φ50mm	m	34	7,200	244,800	-	-	7,200	244,800
	SPP(white pipe), Φ40mm	m	1	5,074	5,074	-	-	5,074	5,074
	SPP(white pipe), Φ32mm	m	4	4,417	17,668	-	-	4,417	17,668
	SPP(white pipe), Φ25mm	m	3	3,440	10,320	-	-	3,440	10,320
Screw steel pipe connection iron	white Tee, Φ50mm,	ea	11	5,100	56,100	-	-	5,100	56,100
	white Tee, Φ40mm,	ea	1	4,000	4,000	-	-	4,000	4,000
	white Tee, Φ32mm	ea	3	3,100	9,300	-	-	3,100	9,300
	white Tee, Φ25mm	ea	13	2,500	32,500	-	-	2,500	32,500
	white elbow, Φ50mm	ea	6	4,000	24,000	-	-	4,000	24,000
	white elbow, Φ32mm	ea	2	2,200	4,400	-	-	2,200	4,400
	white elbow, Φ25mm	ea	13	1,800	23,400	-	-	1,800	23,400
Pipe lagging (atiron, super magic 303)	25TxD50	m	34	3,100	105,400	6,216	211,344	9,316	316,744
	25TxD40	m	1	2,700	2,700	5,285	5,285	7,985	7,985
	25TxD32	m	4	2,555	10,220	4,573	18,292	7,128	28,512
	25TxD25	m	3	2,298	6,894	3,879	11,637	6,177	18,531
Pipe component	5% for pipe	-	1	13,893	13,893	-	-	13,893	13,893
Miscellaneous cost	3% for main material cost	-	1	8,335	8,335	-	-	8,335	8,335
Normal worker	general construction worker	person	2	-	-	99,882	199,764	99,882	199,764
Plumber	general construction worker	person	4	-	-	134,427	537,708	134,427	537,708
Handworker cost	3% for labor	-	1	22,124	22,124	-	-	22,124	22,124
Total					601,128		984,030		1,585,158

Fig. 4. Construction case of steel pipe

Fig. 5. Construction case of CPVC pipe

Table 10. Comparison of construction cost between Steel pipe and CPVC pipe

Type	Division	Material cost (the amount per household: won)	labor costs (the amount per household: won)	Sum (the amount per household: won)
84	Steel pipe	601,128	984,030	1,585,158
	CPVC	563,106	368,736	931,842

4. 결론

본 연구에서는 소방배관의 마찰손실을 개선하기 위하여 기존 강관 대신 CPVC배관으로 설계 및 시공하였을 경우, 조도계수에 따라 손실수두의 차이가 있음을 조사였다. 조도계수의 수치가 강관(120)일 때 마찰손실은 76.64MPa이고 CPVC배관(150)으로 적용할 때 마찰손실은 50.72MPa로서 결론적으로 34% 정도의 마찰손실이 개선되었음을 확인하였다. 또한, 시공비 절감차원에서는 강관으로 시공할 때 1,585,158원이고 CPVC배관으로 시공 시에는 931,842원으로 41%정도의 시공비가 절감되는 것을 확인하였다. 기존에는 일반적으로 높은 압력에서는 강관을 사용하였으나, 화재안전기준의 개정에 따라 소화설비 저압축의 습식 소화설비에는 지하에 매설하는 경우나 내화구조로 구획된 덕트 또는 피트의 내부에 설치하는 경우, 천정과 반자를 불연재료 또는 준불연재료로 설치하고 그내부에 습식으로 배관을 설치하는 경우에는 소방용합성수지 배관인 CPVC배관으로 설치 할 수 있으므로 마찰손실을 줄여 소화펌프 및 입상배관의 관경을 줄 일 수 있어, 전체 설비용량의 감소로 인한 소화시스템의 안정성 유지 및 시공비를 절감 할 수 있는 것을 알 수 있었다.

References

[1] S. J. Lee, “A study on Hydraulic Analysis method for Optimizing VE Design of CPVC Pipe” pp. 78-91 Master’s thesis, 2010.

[2] KSFPE, “Fire Protection Engineering Handbook” Version 4, pp. 150-166, 2015.

[3] NFPA 13 ASTM F 442 (2010 edition)

[4] E. M. Seong, I. S. Eo “A study on improvement stragies of friction loss according to roughness coefficient in sprinkler system” pp. 5-33 Master’s thesis, 2014.

[5] NFSC 103 “National Fire Safety Code for Sprinkler system”, 2013.

[6] D. J. Kim “A study on corrosion of sprinkler systems in fire protection,” pp. 15-23, Master’s thesis, 2009.

[7] NFSC 103 “National Fire Safety Code for Sprinkler system”, 2013.

[8] GOLEE Pipe Co “ Article for CPVC Pipe” Available from: http://www.goleepipe.co.kr/ (2014)

강 웅 일(Kang Ung Il) **[정회원]**

- 1991년 2월 : 전남대학교 공과대학 화학공학과 (공학사)
- 1993년 2월 : 전남대학교 대학원 화학공학과 (공학석사)
- 2001년 2월 : 전남대학교 대학원 화학공학과 (공학박사)
- 2014년 2월 ~ 현재 : 셀텍 (벤처기업) 대표
- 2015년 3월 ~ 현재 : 호남대학교 소방행정학과 교수

<관심분야>
신재생에너지, 재난안전, 고분자합성