

[Research Paper]

소방용 강관배관 부식계수를 고려한 수리계산 적용방안에 관한 연구

문철환 · 강호정 · 최재욱^{†*}

부경대학교 소방공학과 대학원생, *부경대학교 소방공학과 교수

A Study on the Application of Hydraulic Calculations considering the Corrosion Coefficient of Steel Piping for Fire Protection

Chul-Hwan Mun · Ho-Jung Kang · Jae-Wook Choi^{†*}

Graduate Student, Dept. of Fire Protection Engineering, Pukyong National Univ.,

*Professor, Dept. of Fire Protection Engineering, Pukung National Univ.

(Received June 12, 2020; Revised June 23, 2020; Accepted June 24, 2020)

요 약

최근 건축물의 대형화, 복잡화로 인하여 화재 발생 시 그 피해가 증가하고 있어 수계소화설비에서 스프링클러설비의 중요성이 확대되고 있다. 소방용 배관재료는 탄소강관(일반배관용·압력배관용), CPVC관, 동관, 스테인리스강관 등이 있으며, 소방용 배관으로 널리 사용되고 있는 강관배관 및 CPVC관에 대하여 배관의 노화를 고려한 부식계수 적용 시 말단헤드에서의 유량과 압력을 분석하기 위해 PIPENET 수리계산프로그램을 사용하여 수계시스템의 신뢰성을 분석하였다. 강관을 적용하였을 경우 배관 구경이 동일한 조건에서 20년경과(C값 90)후 지하 1층에 설치된 펌프에서의 정격유량은 10% 이상 감소하였으며, 말단헤드에서의 압력과 유량은 각각 30%, 16.5% 이상 감소하여 소방시설의 신뢰성 확보에 문제가 있는 것으로 확인되었다. 또한 30년(C값 80) 경과 시 펌프에서의 정격유량은 15% 이상 감소하였으며, 말단헤드에서의 압력과 유량은 각각 42%, 24% 이상 감소하는 것으로 결과 값이 도출되었다.

ABSTRACT

With the recent enlargement and complication of buildings, damage caused by the incidents of fires breaking out are escalating. Consequently, the use of sprinkler facilities is increasing among water-based fire extinguishing systems. Piping materials used in fire prevention systems include carbon steel (for general or pressure pipeline), CPVC, copper, and stainless-steel. Among these, the steel and CPVC pipes, which are commonly employed in fire prevention, were considered for testing the reliability of the water-based systems. This analysis was performed using the PIPENET software to perform hydraulic calculations in order to examine the flow and pressure at the terminal head when the corrosion coefficient was applied; this coefficient was applied considering the aging of pipes. Assuming a uniform pipe diameter in the steel pipes, the rated flow in the pump installed on the first floor of the basement was reduced by over 10% after 20 years had passed (C value of 90); moreover, the reduction in pressure and flow at its terminal head exceeded 30% and 16.5%, respectively. The results indicate that it is difficult to ensure the reliability of these fire prevention facilities. Furthermore, according to our estimation, considering 30 years had passed (C value of 80), the rated flow of the pump was reduced by over 15%, and the corresponding reduction in pressure and flow at its terminal head exceeded 42% and 24%, respectively.

Keywords : Carbon steel pipes, Sprinkler, Corrosion, Corrosion prevention, Hydraulic calculation design program

1. 서 론

스프링클러설비 시스템은 평상시 소방배관 내부에 물 또는 공기(대기압·압축공기)의 보충에 따라 습식(Wet type)과

건식(Dry type)으로 구별되며, 건식의 경우 공기가 대기압 상태인 프리액션밸브와 압축공기를 채우는 건식밸브로 나누어진다.

습식배관은 배관 내부에 고압의 소화수를 채운상태로

[†] Corresponding Author, TEL: +82-51-629-6470, FAX: +82-51-629-7078, E-Mail: jwchoi@pknu.ac.kr

© 2020 Korean Institute of Fire Science & Engineering. All right reserved.

관리되며 부속류(Fitting) 등에서 시공 후 5~7년경과 후에 누설이 발생 하는데, 부속류는 구조적으로 이중금속 부식 전지와 산소농담전지가 형성되기 때문에 국부부식이 발생 한다⁽¹⁾.

지하주차장에 시공되는 건식(Dry type)배관은 내부에 대기압 또는 압축공기를 채우는 방식으로 시공단계에서 수압 시험 진행시 배관 내부에 채워진 물이 완전히 배출되지 못하고 일부가 배관 내부에 체수되는 부분에서 산소농담전지 부식으로 3~5년 사이에 공식이 발생하고 있다⁽²⁾.

2018년 소방청 화재 통계연감 자료에 따르면 화재건수 42,338건에서 스프링클러설비가 설치된 1,717건 중 35.7%인 613건 만이 정상적으로 작동한 것으로 확인이 되었다⁽³⁾. 또한 2017년 National fire protection association (NFPA) 스프링클러 통계보고서에 따르면 2010~2014년까지 미국의 화재를 분석한 결과 정상 작동율이 88%에 달하는 것으로 조사되었다⁽⁴⁾.

이는 국내와 해외의 관련규정에서 상이함을 찾아 볼 수 있는데, NFPA 25에서는 5년마다 스프링클러설비(샘플링 시험 · 장애물검사), 배관 및 부속품(내부검사 · 주배수시험)등 수계소화설비 점검 · 시험 및 유지관리에 관해 규정하고 있다.

또한 NFPA 13에서는 급수설비 및 환경상태는 비정상적인 부식을 유발하는 조건에 대해 평가를 받아야 한다고 규정하고 있으며, 주요내용으로는 내부식성이 있는 급수배관을 설치하거나, 승인받은 부식 억제제 사용 및 지정된 간격으로 부식감지기 및 모니터를 설치하도록 조언하고 있다. 하지만 국내에서는 수계소화설비의 점검(작동기능점검 · 종합정밀점검)에 대하여 설비별 주요구성품의 구조와 기능이 화재안전기준(NFSC)에 적합한지 여부만을 점검하고 있어 국내 소화설비의 작동율이 해외와 차이가 날 수밖에 없는 실정이다. 수계소화설비의 부식문제는 소화시스템의 주요구성 요소가 아무리 완벽하게 작동하더라도 소화수를 공급하는 배관에서 문제가 발생한다면 어떠한 수계소화설비도 화재진압에 필요한 소화성능을 발휘할 수가 없다⁽⁵⁾.

따라서 본 연구에서는 스프링클러배관에 대하여 부식특성을 조사하고, 국내 · 외 관련규정을 분석하여 수리계산프로그램에 의해 경년변화를 고려한 부식계수를 적용시켜 수계시스템의 신뢰성을 확보하고자 한다.

2. 본 론

2.1 소방용 배관의 부식 특성

일반적으로 소방용 배관에 널리 사용되고 있는 배관재료는 일반배관용 탄소강관, 압력배관용 탄소강관, 동관, Chlorinated polyvinyl chloride (CPVC)관, 스테인리스강관으로 구분된다. 특히 주차장의 경우에는 아연도금 강관을 널리 적용하고 있으며, 염가로 구하기 쉽고 기계적 강도가 우수하며 작업성이 높아 기계설비 및 소방분야에 다양하게 반영되고 있는 실정이다.

Table 1. Section Reduction Rate According to Use⁽⁶⁾

| Year of Use | Section Reduction Rate (%) | Pipe Thickness Reduction Rate (%) |
|-------------|----------------------------|-----------------------------------|
| 5 Years | 10~20 | 20~30 |
| 10 Years | 20~50 | 50~70 |
| 15 Years | 30~70 | 60~90 |

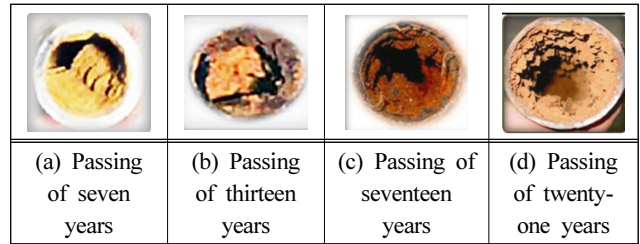


Figure 1. The process of passing of year for steel pipe.

하지만 건축물이 준공되어 리모델링 또는 재건축이 진행되는 기간인 30~40년 동안 배관의 부식으로 인해 녹과 스케일이 형성되어 스프링클러설비의 방사량 및 방사압력을 충족시키지 못하는 사례가 발생하고 있다.

부식은 범위에 따라 전면부식과 국부부식으로 구분된다. 전면부식은 전체 금속 표면에 같은 속도로 유사하게 부식이 진행되며, 국부부식은 금속에 불순물이 존재하는 산화막, 스케일 또는 외부적 피로가 존재하는 지점이 있을 경우 균일 금속 재질이나 이중금속 재질에서 홈과 같은 부위에서 국부부식이 발생한다.

Table 1은 소방배관으로 널리 사용되고 있는 탄소강관의 사용연한에 따른 단면감소율을 나타낸 것으로서 내부부식에 따른 스케일 생성으로 단면적이 10~70% 까지 감소한 것으로 알려져 있다. 또한 연구문헌에 따르면 20년 이상 경과된 아연도 강관의 노후배관은 내 · 외부 면에서 부식이 많이 진행되어 아연도금 층의 방식 기능이 대부분 상실되는 것으로 보고된 바 있다.

Figure 1은 강관의 년도 별 부식 경과 현황을 나타낸 것으로 7년 이상 경과된 배관의 경우 내부 스케일 형성으로 인해 정상적인 유량을 공급할 수 없음을 알 수 있다⁽⁷⁾.

2.2 NFPA 수계소화설비 검사 · 시험 기준

NFPA 25에서는 5년마다 스프링클러의 장애물검사 및 샘플링검사를 실시하도록 규정하고 있다.샘플링시험은 대표 샘플을 공인된 시험기관에 의뢰하도록 요구하고 있으며, 장애물검사는 설비의 이물질 제거 및 상태를 감시하도록 규정 하고 있어 평상시 스프링클러배관에 대해 주기적인 관리가 이루어지고 있다. 반면에 국내 소방법에서는 연 1회 이상 작동기능점검과 종합정밀점검에 대하여 화재안전기준 및 건축법에서 정하는 기준에 적합한지 여부만을 점검하고 있는 현실이며, 국내스프링클러 화재안전기준은

Table 2. Performance Test of the NFPA 25 Water-based Fire Extinguishing System

| NFPA 25 | | |
|----------------------|----------------------------|---|
| Classification | Test and Inspection | Cycle |
| Sprinkler | Obstacle inspection | 5 Years |
| | Sampling test | 5 Years |
| Indoor fire hydrant | Flow test | 5 Years |
| Outdoor fire hydrant | Flow test Drainage test | 5 Years every year |
| Valve and parts | Internal inspection | 5 Years |
| | Main drainage test | 1 year |
| Water tank | Internal inspection | 3 years (without corrosion prevention), 5 Years |

Table 3. Korea Fire Laws

| Korean Fire Laws | | |
|---------------------|-------------------------------|------------------------------------|
| Classification | Operation function inspection | Comprehensive precision inspection |
| Test and inspection | At least once a year | |

NFPA 13과 비교하여 그 규모와 깊이가 상당히 부족한 상태이다⁸⁾. 따라서 국내 소방법에서도 경년변화에 따른 배관의 부식상태를 주기적으로 관리할 수 있는 법 개정으로 수계시스템의 신뢰성 확보가 필요한 시점이다. Table 2는 NFPA 25 수계소화설비 점검·시험 및 유지관리에 관해 규정하고 있으며, Table 3은 국내 소방법(화재예방, 소방시설설치·유지 및 안전관리에 관한 법률 시행규칙 별표1)에서 규정하고 있는 사항이다.

부식과 관련하여 NFPA 13 제 23장 급수설비에서는 배관 부식, 스케일 축적, 그리고 부주의한 밸브 차단 등으로 성능이 저하되므로 급수설비 및 환경상태는 미생물의 존재와 미생물에 의한 부식(MIC)을 유발하는 상황에 대하여 평가 받도록 규정하고 있다. Table 4는 NFPA 13에서는 배관의 내경과 나사 홈 구멍사이의 벽 두께에 대해 언급하고 있으며, 나사식배관의 경우 벽 두께가 얇을수록 부식에 견디지 못하므로 부식을 고려하여 Sch 40으로 적용하도록 규정하고 있다. 하지만 국내에서는 배관 선정 시 내구성(수명)은 고려하지 않고 사용압력(1.2 MPa)만을 고려하여 탄소강관(배관용·압력배관용)을 구분하고 있어 나사 가공 시 배관의 두께가 얇아진 홈 부위에서 배관의 빔 강도(Beam strength)가 감소되고 배관 및 관 부속품의 파열이 초래 될 수 있다. 따라서 이러한 문제점을 보완하기 위해 배관 부식에 따른 C값(수리계산 부식계수)의 고려가 요구된다.

Table 4. Minimum Nominal Thickness of Pipes

| Pipe type | Pipe and Tube (mm) | | Standard |
|--------------|---------------------|--------------|---|
| Steel | Welding ·Grooved | 125 Below | Sch10 (3.4) |
| | | 150 | 3.4 |
| | | 200~250 | 4.78 |
| | Screw | 300 | 8.38 |
| 200 under | | Sch 30~40 | |
| | | | NFPA13: 6.3, 2010 Edition |
| | | | NFPA13: 8.16.4.2.2, 2010 Edition |

2.3 부식에 따른 배관 마찰손실계수(C값)

배관의 마찰손실 계산은 Darcy-Weisbach 식을 사용하고 있으며 소방분야에서 물을 기준으로 한 마찰손실압력은 NFPA 13에서 언급하고 있는 Hazen-Williams이며 다음과 같이 규정하고 있다.

$$P = \frac{4.52 \times Q^{1.85}}{C^{4.85} \times d^{4.87}}$$

여기서 P: 마찰손실압력(psi/ft)

Q: 유량(gpm)

C: 마찰손실계수(상수)

d: 배관의 실제 내경(in)

Hazen-Williams의 식은 스프링클러설비의 설계 시 유량, 마찰손실, 유효압력간의 관계를 결정하는 중요한 경험적인 식이다. C값은 배관재료의 내부 표면의 거칠기를 반영한 계수로써 C값이 낮을수록 배관재료의 내부 표면은 거칠어진다. 강관 및 철관의 C값은 스케일이 축적되거나 부식으로 인하여 시간이 경과되면서 감소되는 경향이 있으며, NFPA 13에서는 배관의 특정부위에 대한 C값에 영향을 미치는 요인에는 배관의 제작공정·부식율·스케일·기타 내경을 감소시키는 물질의 축적 등이 있다고 밝히고 있다. 이와 같이 NFPA 에서는 유지관리 시 배관에 대하여 시험과 검사를 주기적으로 진행하고 있으며 부식(MIC)을 유발하는 상황에 대하여 평가를 받도록 규정하는 등의 조치를 시행함에 따라 스프링클러설비의 정상 작동율이 88%로서, 화재발생 시 작동의 우수성이 높음을 NFPA 2017년 스프링클러 통계보고서에서 확인할 수 있다. Table 5는 Hazen-Williams 식에 적용되는 배관의 마찰손실계수(C값)로서, NFPA 13에서는 C계수를 일정기간 사용된 배관에 대한 값을 사용하도록 의무화함으로써 배관 부식 발생에 대한 안전계수를 갖도록 하였다⁹⁾.

소방용 배관은 경년변화에 따른 부식과 스케일생성으로 마찰손실계수(C값)가 작아지면 배관의 단면적이 감소되고

Table 5. Hazen-Williams C Value for Pipe and Tube

| Pipe or Tube | Hazen-Williams C Value |
|-----------------------------------|------------------------|
| Unlined cast or ductile iron | 100 |
| Galvanized steel (all) | 120 |
| Black steel (all) | 120 |
| Plastic(listed)-underground | 150 |
| Cement-lined cast or ductile iron | 140 |
| Copper tube or stainless steel | 150 |

Table 6. Comparison of C Values for New Piping (*wet type)

| Pipe Type | C Value New Pipe | C Value Design | Upscale Factor(%) |
|----------------------------|------------------|----------------|-------------------|
| Steel (welded or seamless) | 140 | 120* | 16 |
| Unlined and ductile iron | 130 | 100* | 23 |
| Plastic | 150 | 150* | 0 |
| Copper | 150 | 150* | 0 |
| Cement-line cast iron | 150 | 140* | 7 |

수계시스템의 성능을 확보할 수 없게 된다. 따라서 본 연구에서는 기존 소방 연구논문에서 제시하고 있는 사용연한에 따른 마찰손실계수⁽¹⁰⁾를 강관배관과 CPVC관에 적용하여 수리계산을 진행하였다.

강관배관의 경년변화를 고려한 C값은 신품(120), 20년(90), 30년(80)으로 구분하고, CPVC관은 C값을 150으로 균일하게 적용하였는데, 이는 NFPA에서 플라스틱 및 구리배관 재료는 배관의 노화과정을 보완하기 위한 조정이 불필요하다는 규정을 반영하였다. 따라서 국내소방법에서 규정하는 수리계산절차에 따라 부식계수를 고려하여 말단헤드로부터의 압력과 유량변화 분석을 통해 현 설계에 대한 대안을 제시하여 수계시스템의 신뢰성을 확보하고자 한다.

Table 6은 신규배관의 C계수와 NFPA 13에서 요구하는 설계 C계수가 제시되어 있다⁽¹¹⁾. 철 및 시멘트 라이닝 된 제품의 경우, 배관의 노화과정을 보완하기 위한 조정이 필요하지만 플라스틱 및 구리배관 재료는 철제배관과 동일한 효과가 발생하지 않으므로 C값을 조정하지 않는 것으로 확인이 되었다.

2.4 소방배관 경년변화를 고려한 수리계산 설계

Table 7은 배관의 노화과정에 따른 말단헤드에서의 방사량과 방사압력을 수리계산을 통해 분석하기 위해 00광역시에 위치한 B1~20F 00주거복합건축물을 선정하였다.

또한 주거복합 건축물의 연면적 5,780 m², 실 양정 67.8 m, 세대수 57, 지하 1층 기계실에 소방용 펌프실을 갖추고 있다.

Table 7. Building Details

| Classification | Building Details | Notes |
|------------------------|---|-------------------------|
| Project | Unit 00, Residential complex facilities | |
| Utility | Complex building | 30 EA based on the head |
| Size | 1 floor basement - 20 floors overground | |
| Total area | 5,780 m ² | |
| Structure | Reinforced concrete structure | |
| Number of rooms | APT (51 units) Office (6 units) | |
| Actual building height | 67.8 m | |
| Pump room | 1 st floor of the basement | |

Table 8은 수리계산을 위한 프로그램, 배관의 마찰손실 계산식, 배관의 조도, 수리계산에 의한 헤드유량계산, 법적 요구사항, 배관 재질 등에 대하여 정리를 하였다.

소방배관 구경산정방식으로는 규약배관과 수리계산으로 구분된다. 규약배관은 화재안전기준에서 규정하는 헤드의 기준개수에 따라 미리 정해진 환경에 따라 필요로 하는 소요수량을 산정하는 방식이며, 수리계산은 공학적으로 스프링클러설비를 계산하는 방식으로 말단헤드에서의 방사량, 방사압력, 소화수원, 마찰손실 등을 수리적으로 분석하는 방식이다. 따라서 본 연구에서는 수리계산을 위해 PIPENET 프로그램을 적용하였으며, 국내 소방법에서 요구하는 수리계산 유속인 가지배관 6 m/s 이하, 기타배관 10 m/s 이하를 준수하였다.

Table 9는 설계단계에서 적용하고 있는 신품배관에 대하여 C값(강관 120, CPVC관 150)을 각각 적용하고 펌프주위 배관, 입상배관, 알람벨브(습식), 복도 및 세대배관으로 구분하였다.

Table 10은 설계에서 대부분을 차지하고 있는 배관적용 방식으로서 모든 배관을 강관으로 적용한 Case와 입상배관은 강관배관, 복도 및 세대배관은 CPVC관을 적용한 Case로 구분하였으며 신품배관을 기준으로 기본설계를 진행하였다.

Figure 2는 Table 10에서 제시하는 수리계산값을 도식화한 것으로서 모든 배관을 강관으로 적용한 Case이다. (A)는 가지배관 말단에서 0.1009 MPa의 압력, (B)는 80.4 lpm의 유량을 적용 하였다. 또한 펌프에서의 정격양정 125 m, 정격유량 2,600 lpm으로 선정하였다.

Figure 3에서는 입상배관은 강관배관, 복도 및 세대배관은 CPVC관을 적용한 Case로서 Table 10에 따라 수리계산값을 도식화하였다. (A)는 가지배관 말단에서 0.104 MPa의 압력, (B)는 81.6 lpm의 유량을 확보하여 소방법에 충족하

Table 8. Hydraulic Calculation Program

| Classification | Building Details | | Notes |
|-------------------------------|---|---|--|
| Hydraulic calculation program | ① Manufacturer: SUNRISE SYSTEMS Ltd | | |
| | ② Module: Spray / Sprinkler | | |
| | ③ Version No: Pipenet 1.10.0 | | |
| | ④ Made in UK | | |
| Piping friction loss | Application of the Hazen-Williams equation | | |
| C Values | New pipe | *White steel pipe: 120 *Black steel pipe (wet): 120 *CPVC pipe: 150 | |
| | Aged pipe | 20 years old | White steel pipe: 90 Black steel pipe: 90 CPVC pipe: 150 |
| 30 years old | | White steel pipe: 80 Black steel pipe: 80 CPVC pipe: 150 | |
| Pipe flow calculation | Nozzel discharge equation $Q=K\sqrt{P}$ where Q: flow (lpm) K: K-factor P: Nozzel tip pressure (kg/cm ²) | | |
| Legal requirements | ① Required flow: 80 lpm ② Required pressure: 0.1~1.2 MPa ③ Required unit number: 30 EA ④ Required flow rate: -Branch pipe (6 m/s) -Other pipe (10 m/s) | | |
| Type of piping material | ① Pipe types -Carbon steel pipe for general piping (KS D 3507) -Carbon steel pipe for pressure piping (KS D 3562) -CPVC (Chlorinated polyvinyl chloride) | | |

Table 9. New Pipe Design Standard

| Classification | Design Standards | |
|------------------------|-----------------------------------|----------------------|
| | Steel Piping | Steel Pipe CPVC Pipe |
| Piping around the pump | White steel pipe(120) | |
| Vertical piping | White steel pipe(120) | |
| Alarm valve | Black steel pipe, wet system(120) | |
| Hallway and interior | White steel pipe (120) | CPVC pipe (150) |

도록 계산을 하였다. 또한 펌프에서는 정격양정과 정격유량은 각각 124.7 m, 2,619 lpm을 확보하였다.

Table 11은 모든 배관을 강관으로 적용한 Case로서 배관

Table 10. Comparison of Hydraulic Calculations

| Classification | Hydraulic Calculation Results | | | |
|------------------------|-------------------------------|---------|-----------------------------|---------|
| | Steel (all) [C = 120] | | Steel & CPVC [C = 120, 150] | |
| | P (MPa) | Q (lpm) | P (MPa) | Q (lpm) |
| Internal terminal head | 0.1009 | 80.4 | 0.104 | 81.6 |
| Pump specification | 1.2499 | 2,601 | 1.247 | 2,619 |

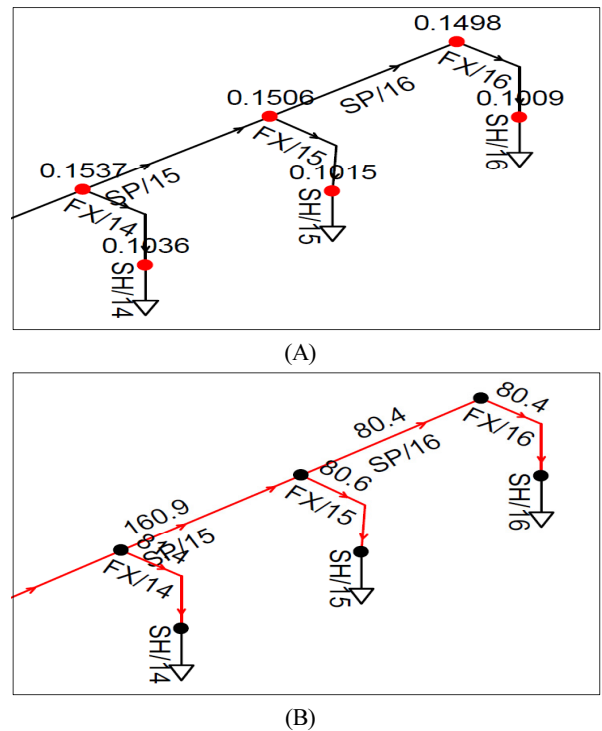
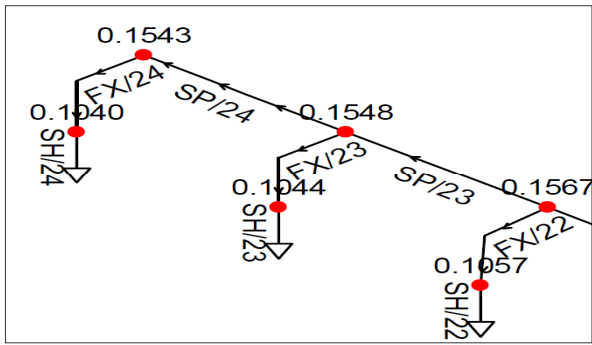


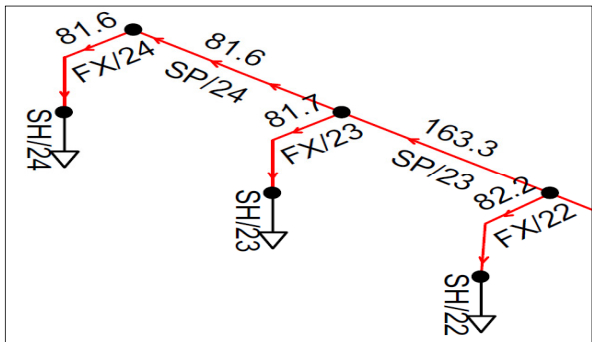
Figure 2. Diagram by hydraulic calculation (New steel pipe).

구경이 동일한 조건에서 신품배관과 경년변화(20년경과)를 고려한 배관에 대하여 수리계산 결과 값을 비교분석을 하였다. 펌프의 경우 성능곡선에서 동력에 한계치가 있으므로 유량이 증가하면 압력은 감소하고, 유량이 감소하면 압력은 증가한다. 강관배관에서 C값(90)의 감소를 고려할 경우 배관 내 마찰손실이 증가하여 펌프정격유량 값은 10% 이상 감소, 펌프정격양정은 3%이상 증가하였다. 또한 말단 헤드에서의 압력은 30% 이상, 유량은 16.5% 이상 각각 감소하였는데, 이는 배관부식에 따른 스케일 등의 영향으로 펌프 및 헤드말단에서의 방사량과 방사압력이 확보되지 못하는 것으로 확인이 되었다.

Figure 4는 Table 11에서 제시하는 수리계산 결과 값에 대한 Diagram 으로서 (A)는 가지배관 말단에서 0.0704 MPa의 압력, (B)는 67.1 lpm의 유량으로 배관노화에 따라 성능

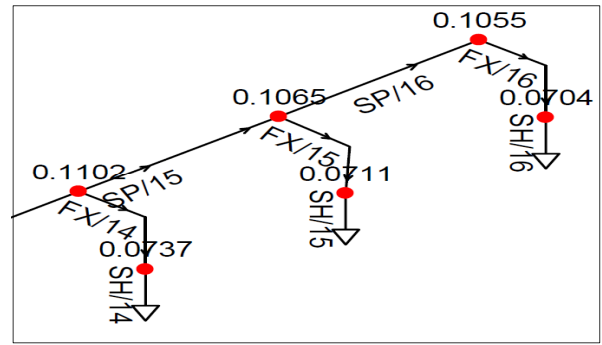


(A)

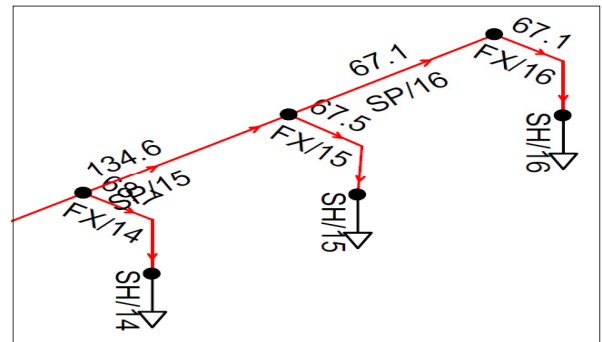


(B)

Figure 3. Diagram by hydraulic calculation (New steel pipe & CPVC pipe).



(A)



(B)

Figure 4. Diagram by hydraulic calculation (20 years old steel pipe).

Table 11. Summary Table of Hydraulic Calculation Results (New pipe & 20 years old)

| Classification | Hydraulic Calculation Results | | | |
|------------------------|-------------------------------|---------|-----------------------|---------|
| | Steel (all) | | | |
| | New pipe [C = 120] | | 20 years old [C = 90] | |
| | P (MPa) | Q (lpm) | P (MPa) | Q (lpm) |
| Internal terminal head | 0.1009 | 80.4 | 0.0704 | 67.1 |
| Pump specification | 1.2499 | 2,601 | 1.2903 | 2,329.8 |

Table 12. Summary table of Hydraulic Calculation Results (New pipe & 20 years old)

| Division | Hydraulic Calculation Results | | | |
|------------------------|-------------------------------|---------|----------------------------|---------|
| | Steel & CPVC | | | |
| | New pipe [C = 120, 150] | | 20 years old [C = 90, 150] | |
| | P (MPa) | Q (lpm) | P (MPa) | Q (lpm) |
| Internal terminal head | 0.1040 | 81.6 | 0.0883 | 75.2 |
| Pump specification | 1.247 | 2,619 | 1.2783 | 2,414 |

을 확보하지 못하는 것으로 결과 값이 확인되었다.

Table 12는 입상배관에 대해서는 강관배관, 복도 및 세대 배관은 CPVC관을 적용한 Case로서 신제품배관과 경년변화(20년경과)를 고려한 배관에 대하여 수리계산 결과 값을 비교분석 하였다. 펌프정격유량은 7.8% 이상 감소, 펌프정격양정은 2.5% 이상 압력이 증가하였으며, 말단헤드에서의 압력은 15%, 유량은 7.8% 이상 각각 감소하여 법적기준을 충족하지 못하는 것으로 결과 값이 나타났다.

Figure 5는 Table 12에서 제시하는 수리계산 결과 값에 대한 Diagram 으로서 (A)는 가지배관 말단에서 0.0883 MPa의 압력, (B)는 75.2 lpm의 유량으로 배관노화에 따라 성능을 확보하지 못하는 것으로 결과 값이 도출되었다.

Table 13은 모든 배관을 강관으로 적용한 Case로서 배관

구경이 동일한 조건에서 신제품배관과 경년변화(30년 경과)를 고려한 배관에 대하여 수리계산 결과 값을 비교분석을 하였다.

계산결과에 따르면 펌프정격유량은 15% 이상 감소하였고 펌프정격양정은 압력이 4.5% 이상 증가하였으며, 말단헤드에서의 압력은 42% 이상, 유량은 24% 이상 각각 감소하여 수계시스템의 성능확보에 대한 보완이 필요할 것으로 판단된다.

Figure 6은 Table 13에서 제시하는 수리계산 결과 값을 도식화 하였다. (A)는 가지배관 말단에서 0.0584 MPa의 압력, (B)는 61.1 lpm의 유량으로 배관노화에 따라 성능을 확보하지 못하는 것으로 결과 값이 나타났다.

Table 14는 입상배관에 대해서는 강관배관, 복도 및 세대

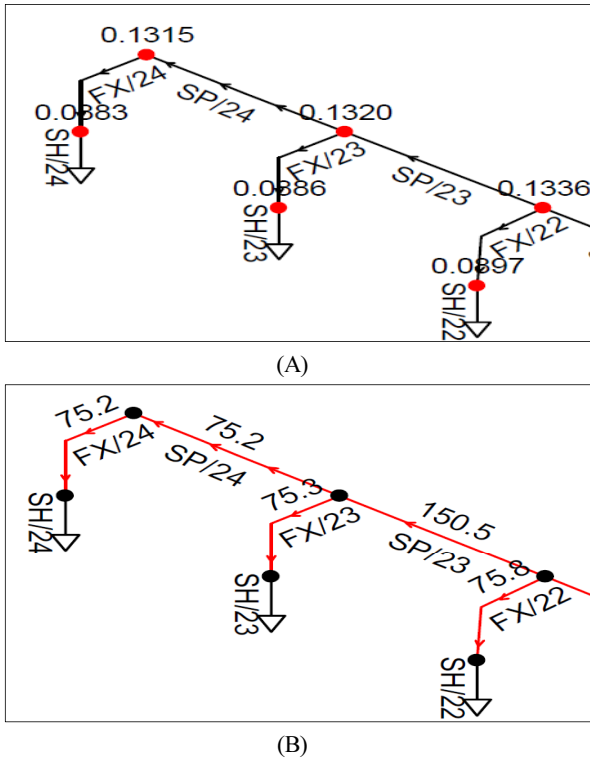


Figure 5. Diagram by hydraulic calculation (20 years old steel pipe & CPVC pipe).

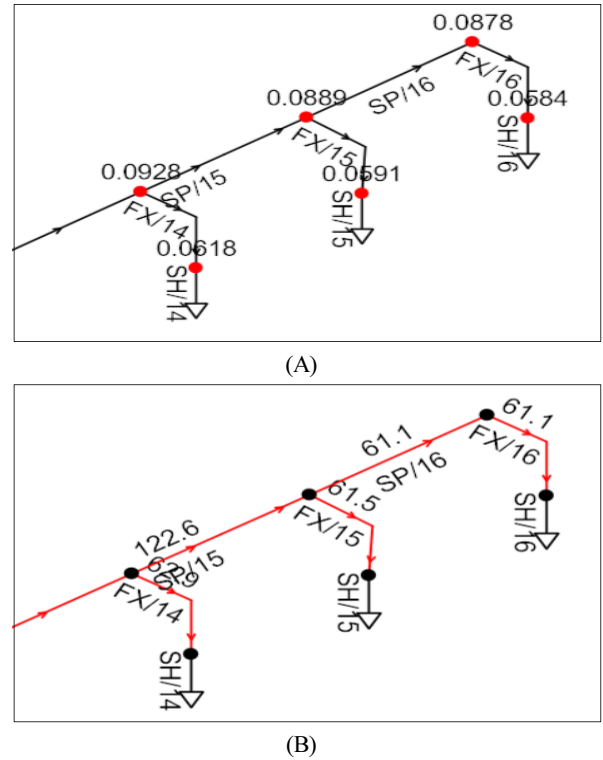


Figure 6. Diagram by hydraulic calculation (30 years old steel pipe).

Table 13. Summary Table of Hydraulic Calculation Results (New pipe & 30 years old)

| Division | Hydraulic Calculation Results | | | |
|------------------------|-------------------------------|------------|--------------------------|------------|
| | Steel (all) | | | |
| | New pipe [C = 120] | | 30 years old [C = 80] | |
| | P (MPa) | Q (lpm) | P (MPa) | Q (lpm) |
| Internal terminal head | 0.1009 | 80.4 | 0.0584 | 61.1 |
| Pump specification | 1.2499 | 2,601 | 1.3073 | 2,203.2 |

Table 14. Summary Table of Hydraulic Calculation Results (New pipe & 30 years old)

| Division | Hydraulic Calculation Results | | | |
|------------------------|-------------------------------|------------|-------------------------------|------------|
| | Steel & CPVC | | | |
| | New pipe [C = 120, 150] | | 30 years old [C = 80, 150] | |
| | P (MPa) | Q (lpm) | P (MPa) | Q (lpm) |
| Internal terminal head | 0.1040 | 81.6 | 0.0809 | 72.0 |
| Pump specification | 1.247 | 2,619 | 1.2928 | 2,312 |

배관은 CPVC관을 적용한 Case로서 신폼배관과 경년변화(30년 경과)를 고려한 배관에 대하여 수리계산 결과 값을 분석하였다. 펌프정격유량은 11.7% 이상 감소, 펌프정격양정은 3.6% 이상 압력이 증가하였다. 말단헤드의 압력은 22%, 유량은 11.7% 이상 각각 감소하여 법적기준을 충족하지 못하는 것으로 결과 값이 도출되었다.

Figure 7은 Table 14에서 도출된 수리계산 결과 값에 대한 Diagram이다. (A)는 가지배관 말단에서 0.0809 MPa의 방사압력, (B)는 72 lpm의 방사량이 나타남에 따라 조도변화에 따른 수계시스템의 성능확보에 대한 관심이 필요함을 확인하였다.

지금까지 모든 배관을 강관으로 적용한 Case와 입상배

관은 강관배관, 복도 및 세대배관은 CPVC관을 적용한 Case에 대하여 조도변화에 따른 펌프의 성능변화와 헤드말단에서의 압력과 유량의 변화에 대하여 단계별로 분석을 진행 하였다.

마지막으로 Table 15는 배관노화에 따른 부식계수 적용시 펌프와 헤드말단에서의 성능이 급격히 떨어지는 모든 배관을 강관으로 적용한 Case에 대하여 연구결과를 정리하였다.

본 연구에서는 경년변화를 고려하여 부식계수를 단계별로 적용 시 말단헤드와 펌프에서의 성능이 소방법에 충족하지 못해 스프링클러설비의 신뢰성이 확보되지 못하는 것을 확인할 수 있었다. 이에 따라 수계시스템의 성능확보를

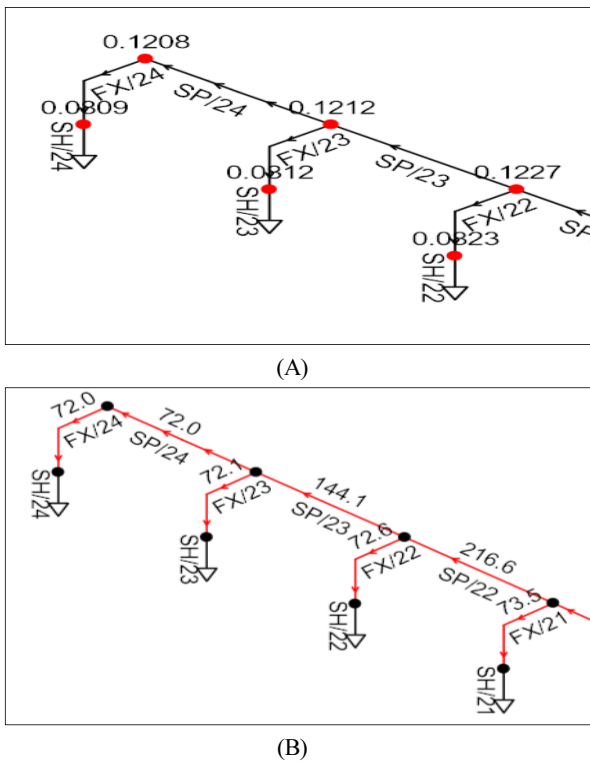


Figure 7. Diagram by Hydraulic Calculation (30 years old steel pipe & CPVC pipe).

위해 소방펌프의 사양을 증가시켜 말단헤드에서의 방사량 및 방사압력을 충족하는 설계를 제시하였으며, 수리계산에서 수계시스템의 신뢰성을 확보하기 위한 방안으로는 첫째, 소방펌프의 사양을 증가시키는 대책, 둘째로 배관구경에 여유를 주는 대책, 셋째로 경제적 설계를 위해 펌프와 배관구경을 적절하게 보완하는 대책이 필요하다.

2.5 소방용 배관 설계 · 시공 · 유지관리 시 고려사항

2.5.1 설계 측면

소방용 강관배관에 있어서 설계단계부터 배관의 노화를 고려한 부식계수의 적용이 요구된다. 주요 내용으로는 경년변화고려, 양극방식적용, 음극방식적용, 내식성이 우수한 STS 물탱크선정, 내식성 배관 재질선정, 용접부 방식설계, 무용접 관 부속 이음선정, 나사배관 Sch 40적용, 건식유수 검지장치 질소충진 등 부식발생 감소를 위한 대책이 필요하다.

2.5.2 시공 측면

소방용 강관배관에서 부식 저감을 위한 시공단계 고려 사항으로는, Groove 홈 가공 시 아연박리 고려, 배관구배준수로 체수 발생고려, 습식배관 친환경 부식억제제적용, 건식배관 기화성 부식억제제 적용, 보존재 기밀성유지, 배관 외부 수분건조, 배관 절단부 도장 등의 대책이 요구된다.

Table 15. Alternative Design of Steel Pipes

| Classification | | Pump Specification | Internal Terminal Head |
|-----------------------------|--------------------|--|------------------------|
| Current design [C = 120] | P (MPa) | 1.2499 | 0.1009 |
| | Q (lpm) | 2,601 | 80.4 |
| | Current design | ① P: 0.1009 MPa, Q: 80.4 lpm ② Pump: 2,600 lpm × 125 m ③ B1F: Sch 40 (KS D3562) ④ 1F~20F: steel pipe (KS D3507) | |
| 20 years old [C = 90] | P (MPa) | 1.2903 | 0.0704 |
| | Q (lpm) | 2,329.8 | 67.1 |
| | Alternative design | ① P: 0.1009 MPa, Q: 80.4 lpm ② Pump: 2,800 lpm × 155 m ③ B1~5F: Sch 40 (KS D3562) ④ 6F~20F: steel pipe (KS D3507) | |
| 30 years old [C = 80] | P (MPa) | 1.3073 | 0.0584 |
| | Q (lpm) | 2,203.2 | 61.1 |
| | Alternative design | ① P: 0.1004 MPa, Q: 80.2 lpm ② Pump: 2,900 lpm × 175 m ③ B1~8F: Sch 40 (KS D3562) ④ 9F~20F: steel pipe (KS D3507) | |

2.5.3 유지관리 측면

수계소화설비 부식발생 저감을 위한 시험 및 검사 기준 도입, 준비작동식밸브 2차측 배관 내부건조, 소방 전용수조 정기적인 미생물 수질관리, 정기적인 부식억제제 적용 등에 대하여 부식 예방을 위한 대책이 필요하다.

3. 결 론

소방용 배관으로 널리 사용되고 있는 강관배관 및 CPVC관에 대하여 배관의 노화를 고려한 부식계수 적용 시 말단헤드에서의 유량과 압력을 분석하기 위해 PIPENET 수리계산프로그램을 사용하여 수계시스템의 신뢰성을 분석하였다.

모든 배관을 강관으로 적용한 Case에 대하여 배관 구경이 동일한 조건에서 신제품배관과 비교하여 20년 경과(C값 90)후 지하 1층에 설치된 펌프에서의 정격유량은 10% 이상 감소하였으며, 말단헤드에서의 압력과 유량은 각각 30%, 16.5% 이상 감소하여 법적기준을 충족하지 못해 소방시설의 신뢰성 확보에 문제가 있는 것으로 확인되었다. 또한 신제품배관 대비 경년변화를 고려하여 30년(C값 80) 경과 시 펌프에서의 정격유량은 15% 이상 감소하였으며, 말단헤드

에서의 압력과 유량은 각각 42%, 24% 이상 감소하는 것으로 결과 값이 나타났다. 따라서 소방배관의 부식감소를 위해 다음과 같은 대책이 요구된다.

첫째, 설계단계부터 배관의 경년변화를 고려한 펌프 및 배관구경의 선정이 요구되며, 또한 나사식 배관의 경우 국내에서는 내구성(수명)은 고려하지 않고 사용압력(1.2 MPa)만을 고려하여 탄소강관(배관용·압력배관용)을 구분하고 있어, 배관에서 나사 홈 구경 두께가 얇을수록 국부부식으로 인한 공식(Pitting) 발생이 높으므로 나사배관의 경우 Sch 40 으로의 보완이 필요하다.

둘째, 시공단계에서 배관 구매준수로 체수가 발생하여 부식이 촉진되지 않도록 시공확인이 요구되며, 건식배관의 경우 가압원이 압축공기로 계절요인에 따라 응축수로 변하여 배관부식을 촉진 할 수 있어 질소충진 으로의 보완이 요구된다.

셋째, 유지관리단계에서 NFPA는 5년마다 스프링클러의 장애물검사 및 샘플링검사를 실시하고 기타 수계소화설비에 대해서도 유량시험·내부검사 등을 실시하여 배관의 노화과정을 고려하여 지속적으로 모니터링 하고 있으나, 국내에서는 점검(작동기능점검·종합정밀점검)에 대하여 설비별 주요 구성품의 구조와 기능이 소방법에 적합한지 여부만을 점검하고 있다.

따라서 국내에서도 배관의 노화를 고려한 시험 및 검사 기준의 반영이 요구되며, 소방 전용수조에 대해서는 주기적인 점검과 수질검사에 대한 기준이 전무하므로 법적 보완이 요구된다.

넷째, 국내 수계소화설비에서도 방식기술을 도입하여 경제성을 고려한 설계 및 시공·유지관리의 필요성이 요구되고 있다. 특히 습식설비에서는 친환경 수용성 부식억제제를 도입하고, 건식의 경우에는 기화성 부식억제제를 적용하여 강관배관의 노화를 고려한 신뢰성 있는 수계소화설비의 성능확보가 필요한 시점이다.

References

1. Korea Corrosion Control Association (KCCA), "Explanation

- of the Causes and Solutions of Domestic Corrosion Problems-2", Chapter 5, p. 147 (2015).
2. Korea Corrosion Control Association (KCCA), "Explanation of the Causes and Solutions of Domestic Corrosion Problems-1", Chapter 4, p. 207 (2015).
3. National Fire Agency, "2018 Fire Statistics Yearbook", Chapter 2, p. 140 (2018).
4. National Fire Protection Association, "U.S. Experience with Sprinklers", Report (2017).
5. J. H. Park, C. Y. Oh, J. H. Kwark and B. S. Son, "An Experimental Study on Piping Feasibility of PE Compound Pipe for Fire Protection Service", Fire Science and Engineering, Vol. 30, No. 3, p. 56 (2016).
6. Y. R. Kim, "What to Consider when Applying Stainless Steel for Digestive Equipment", Presentation of Technical Seminar on how to Expand the Application of Stainless Steel for Digestive Equipment, Korea Fire Testing Corporation, Korea Steel Association (2007).
7. U. I. Kang, "A Study on the Effects of Friction Loss of CPVC Pipe According to Roughness Coefficient in a Sprinkler System", J. of the Korea Academia-Industrial Cooperation Society, Vol. 17, No. 11, pp. 355-362 (2016).
8. K. S. Jeong, "A Study on the Revision of the National Fire Safety Codes of Sprinkler System", Fire Science and Engineering, Vol. 27, No. 5, p. 32 (2013).
9. National Fire Protection Association Report, "Hazen-Williams C Value for Pipe and Tube", NFPA 15, p. 32 (2014).
10. J. H. Jung, "Research on how to Expand Stainless Steel Pipes in Fire Extinguishing Equipment Pipes", Korea Fire Testing Corporation, Institute of Fire Technology, Fire Research Paper, pp. 142-149 (2008).
11. Korean Fire Protection Association (KFPFA), "NFPA 13 · 2010 Edition : Automatic Fire Sprinkler System Handbook (11th Edition)", p. 862 (2011).