

알루미늄 합성수지 복합 구조 스프링클러 파이프의 변위 흡수 특성 연구

김준곤¹, 김광범², 노성여^{3*}

¹동명대학교 항만물류시스템학과, ²주식회사 미성 기술연구소, ³동명대학교 항만물류시스템학과

A Study on the Plastic deformation Absorption Characteristics of Aluminum-Polyethylene Composite Structure Sprinkler Pipe

Jun-Gon Kim¹, Kwang-Beom Kim², Sung-Yeo Noh^{3*}

¹Department of Port Logistics System, TongMyong University,

²Technical Laboratory, MISUNG Co., Ltd

³Department of Port Logistics System, TongMyong University

요약 지진의 2차사고 중 화재 및 가스 폭발에 의한 사고는 아파트형 주거 형태와 대형 복합화 된 건물이 많은 도시 일수록 인명피해의 우려가 커지게 되고, 이를 방지하기 위하여 화재 방호 계통 스프링클러 시스템의 경우 내진 설계가 필수적으로 수행되어야 한다. 하지만 현재 일반적으로 사용하고 있는 화재 방호 계통 스프링클러 시스템 배관은 대부분 스테인리스 계열의 금속 파이프를 사용하고 있고 일부 특수 위치에서 합성수지 계열의 파이프를 사용하고 있어 진동 및 지진 등에 취약한 소재가 적용되고 있다. 이에 본 연구에서는 폴리에틸렌(Polyethylene, 이하 : PE)과 알루미늄(Aluminum, 이하 : Al)의 다층 구조 복합관이 보유한 변위 흡수 유연성이 진동 환경과 지진 발생에 대한 내진 성능을 상승 시키는 특성으로 판단하였고, PE-Al-PE 복합관을 기존 스테인리스 관, PE관과 비교하여 내진 성능을 실험 하였다. 내진 특성은 스프링클러 파이프가 전달하는 진동의 양과 범위를 측정하면 진동에 대한 흡수 정도를 알 수 있고 이는 지진에 대하여 대상체가 자체적으로 진동을 감쇠하는 내진 특성 판단의 방법으로 횡형 진동 측정법으로 발생한 진동의 최초 응답 변위에 대한 대수 감쇠율을 비교하여 파이프의 내진 특성을 확인하였다.

Abstract After an earthquake, fire and gas explosions are more likely to cause more casualties in cities with many apartment buildings and large complex buildings. In order to prevent this, seismic design is necessary for the fire protection sprinkler system. However, most systems currently use stainless-steel pipes, although synthetic resin pipes are used in some special places. These materials are susceptible to vibration and earthquakes. This study evaluated the displacement absorption flexibility of polyethylene (PE) and aluminum (Al) multi-layered composite pipes to increase the seismic performance in a vibration environment and during earthquakes. The seismic performance was compared with that of a stainless-steel and PE pipes. The seismic characteristics can be measured by measuring the amount and extent of vibration transmitted by the sprinkler pipe. This method can be used to judge the seismic characteristics to attenuate the vibration during an earthquake. The seismic characteristics of the pipe were verified by comparing the logarithmic attenuation rate to the initial response displacement of the vibration generated by the transverse vibration measurement method.

Keywords : Deformation absorption, Fittings, Piping, Seismic Design, Sprinkler

이 연구는 2017년도 산업통상자원부 및 산업기술평가관리원(KEIT) 연구비 지원에 의한 연구임(*10079655*)

*Corresponding Author : Sung-Yeo Noh(TongMyong Univ.)

Tel: +82-10-3559-5336 email: nsy@tu.ac.kr

Received November 29, 2018

Revised December 31, 2018

Accepted January 4, 2019

Published January 31, 2019

1. 서론

한반도에서 지진은 발생하지 않거나 규모가 약해 큰 피해가 없는 것으로 잘못 인식되고 있지만, 역사적으로 많은 지진활동이 있었고, 앞으로도 발생 가능성을 배제할 수 없기 때문에 건축물의 설계 시 지진에 대한 내진 설계가 반드시 필요하다[1,2]. 설계는 단순히 건축물의 붕괴를 방지하는 것과 함께 지진에 대한 2차 피해를 방지하기 위한 여러 가지 설계로 이루어져야 한다[3]. 특히 지진의 2차사고 중 화재 및 가스 폭발에 의한 사고는 아파트형 주거 형태와 대형 복합화 된 건물이 많은 도시 일수록 인명피해의 우려가 커지게 되고, 이를 방지하기 위하여 화재 방호 계통 스프링클러 시스템의 경우 내진 설계가 필수적으로 수행되어야 한다. 하지만 현재 일반적으로 사용하고 있는 화재 방호 계통 스프링클러 시스템 배관은 대부분 스테인리스 계열의 금속 파이프를 사용하고 있고 일부 특수 위치에서 합성수지 계열의 파이프를 사용하고 있어 진동 및 지진 등에 취약한 소재가 적용되고 있다. 진동 발생 상황에서의 금속관 스프링클러는 관부 중심부와 나사관 이음부, 행거의 파손에 의한 스프링클러 배관의 미작동이 발생하며, 합성수지 관은 이음 관에서 관이 이탈하거나 파열되는 현상이 발생하여 지진 발생 시 정상 작동이 어렵다[4]. 이에 따라 지진 발생 시 화재 및 가스폭발의 2차 피해를 최소화하기 위한 스프링클러의 오작동, 미 작동 방지 화재 방호 시스템이 요구되고 있다.

본 연구에서는 폴리에틸렌(Polyethylene, 이하 : PE)과 알루미늄(Aluminum, 이하 : Al)의 다층 구조 복합관이 보유한 변위 흡수 유연성이 진동 환경과 지진 발생에 대한 내진 성능이 우수한 파이프의 소재로 판단하고 제시하였다. 또한 기존 금속, PE 파이프와의 기계적 강도 및 물리적 특성 비교를 통하여 스프링클러 실증 환경에서의 안전성을 확인하고 내진 특성을 보유한 최적 스프링클러 배관소재를 제안하였다.

2. 본론

2.1 파이프의 내진 기술

일반적으로 화재 진압을 위한 스프링클러의 헤드는 화재안전기준(NSFC) 103 제 10조에 의하여 천장 부착

면에서 30cm 이내에 살수 장애가 없도록 부착해야하기 때문에 지진 발생 시 건물의 진동이 스프링클러 배관에 직접 영향을 미치게 된다[5]. 하지만 현재 스프링클러 배관 자재로 사용하는 스테인리스 파이프의 경우 Table 1과 같이 오스테나이트 스테인리스 계열인 300계 스테인리스를 주요 재료로 사용하여 첨가된 니켈(Ni)에 의한 내식성 상승과 가공성 상승, 그리고 온도에 따른 체적변화를 최소화 하는 설계가 가능 하지만 SR조인트 연결구와 같이 압력 인가 부위에 국부적 가공유기 마르텐사이트의 형성 등으로 경화되어 지진 진동에 취약한 부분을 갖는다. 이에 따라 Fig. 1과 같이 지진에 의해 파이프 연결구 및 입상 배관, 스프링클러 배관의 파손, 이탈, 낙하 등이 발생하여 화재 방호 시스템의 기능이 정지 된다.

Table 1. Material of sprinkler pipe(Stainless steel)

composition MAX(wt%)	Material number(KS)				
	304	304L	310S	316	316L
C	0.08	0.03	0.08	0.08	0.03
Si	1.0	1.0	1.5	1.0	1.0
Mn	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0
P	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04
S	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03
Ni	8-11	9-13	21	13	15
Cr	18	19	17	17	17
Mo	-	-	-	2-3	2-3

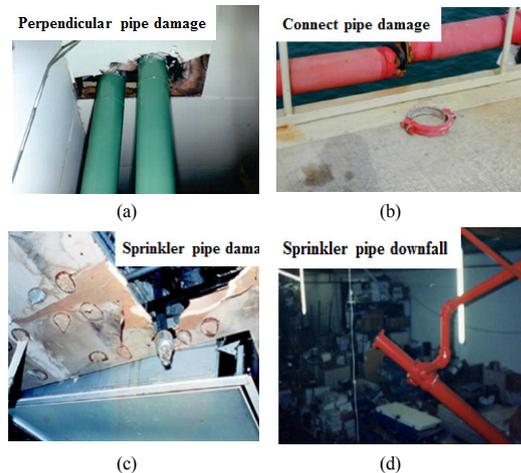


Fig. 1. Damage of piping due to earthquake, (a) Perpendicular pipe damage, (b)Connect pipe damage, (c)Sprinkler pipe damage, (d)Sprinkler pipe downfall

스테인리스 파이프 혹은 C-PVC 파이프가 적용된 스프링클러의 화재 방호 시스템은 Fig. 1과 같은 요인에 의하여 소화 배관 내진 버팀대 혹은 이탈 방지용 내진 스톱퍼 등을 필수적으로 시공하여야 한다. 하지만 이는 시공의 시간과 가격을 상승 시킬 뿐만 아니라 최종적으로 면진과 제진을 이용한 구조로 파이프 자체의 내진성은 상승 할 수 없다. 때문에 관련 업계에서는 별도의 면진 및 제진 시공 없이 스프링클러 배관 자체 성능으로 내진특성을 보유한 파이프의 연구가 진행 중이다.

일반적으로 파이프의 내진성을 상승시키기 위한 접근 방법은 파이프 자체의 강도와 경도, 인성 등 물리적 강도를 상승시키는 방법과 진동에 대한 충분한 유연성과 변위 흡수 능력을 확보하여 진동을 감쇠하는 방법으로 이루어진다. 이중 유연성과 변위 흡수 능력을 이용한 내진 파이프 특성 구현은 파이프의 길이 방향으로 연신율이 25% 이상으로 취성이 없어 항복 응력에 대한 변형이 자유롭고, 동시에 스프링클러 배관의 내압 기준 및 내식성 기준, 내화학적 기준 등이 우수한 특성을 만족해야 한다.

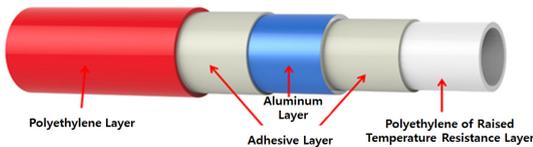


Fig. 2. Composite Pipe structure

Fig. 2에 제시된 복합 파이프는 합성수지 계열 폴리에틸렌(PE)관의 장점을 이용하여 PE관 외부에 금속강대를 조관 공정으로 결합하여 내구성 향상, 내압성 향상, 시공성 향상, 내화학적 향상, 내진성, 경량성을 상승시킨 배관소재로 최근 지진의 2차 피해를 방지하기 위한 화재 방호 시스템용 배관 소재로 각광받고 있다.

2.2 복합관의 내진 구조

내진 기술은 지진에 대한 내진 대상체가 자체적으로 맞서 저항하는 특성으로, 격리 또는 지반 분리 등의 방법으로 지진전달을 피하는 면진구조와 스프링, 에어, 고무패드 등을 활용 진동을 제거하는 제진구조와 다른 접근 방법이다. 때문에 상대적으로 두께가 얇은 금속 포일의 연성 및 소성변형성을 이용하여 발생한 진동을 흡수하는 방법이 사용되고 있다.

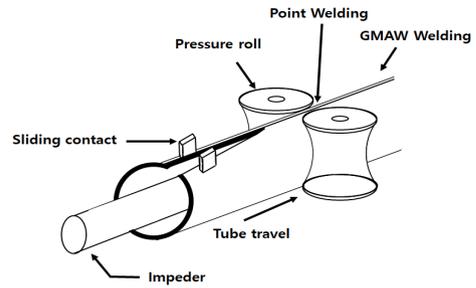


Fig. 3. Seam welding Pipe manufacturing process

변위흡수 능력을 고려한 복합관에 적용되는 금속은 Fig. 3과 같이 PE 압출 후 상부에 조관 용접 방법으로 금속 파이프를 구성하기 때문에 금속의 용접 열이 PE 미치는 손상이 적은 금속이 선택되어야 한다. 그리고 수분과의 접촉에서 내식성과 용접 후 파괴 수압 강도가 높은 금속이 적합하여 알루미늄 혹은 알루미늄 합금이 조관 금속 파이프에 사용된다.

복합 파이프를 적용하는 배관시스템의 경우 PE관에 알루미늄(Al) 금속강대를 입힘으로서 플라스틱과 금속관이 가지는 취약점을 보완하였기 때문에 두 가지 특성을 동시에 구현하는 것이 가능하며, 특히 내진성에 있어 알루미늄 포일의 낮은 항복강도와 높은 연신률에 의한 변위흡수성이 우수하다. 또한 알루미늄 산화 피막의 부동태 특성은 부식의 전과를 막아 내식성이 우수하여 항상 물을 보관하는 스프링클러 파이프의 습한 환경에서 성능을 유지 할 수 있다. 하지만 해당 피막은 알루미늄보다 높은 용점을 가지기 때문에 조관 용접 시 알루미늄(Al₂O₃) 입자가 용접 용융부에 잔존하여 편출 등의 불량을 야기 시킨다. 때문에 알루미늄 포일의 조관용접을 위해서는 가스 금속 아크 용접(Gas Metal Arc Welding)의 역극성을 이용한 용접으로 알루미늄 산화 피막의 청정화가 필요하다. 이와 함께 용접 열영향부의 경화를 최소화하기 위한 최소한의 비드 폭 유지와 순 알루미늄의 사용으로 유연성과 변위 흡수성을 유지한 복합 파이프를 구성할 수 있다.

3. 연구방법

3.1 실험 샘플 제작

복합관의 진동 감쇠능과 스프링클러 적용 물리적 특

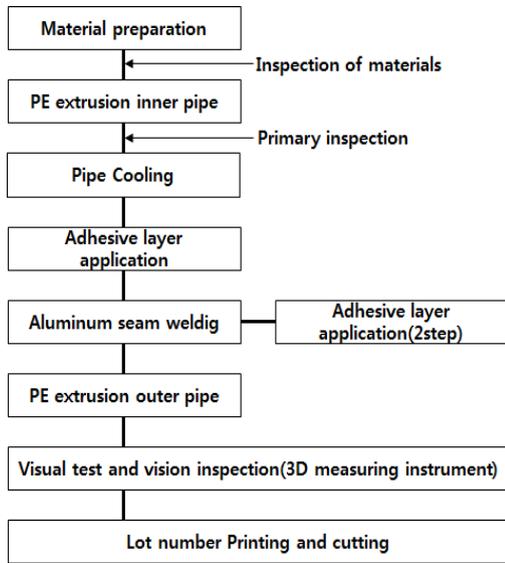


Fig. 4. Composite Pipe manufacturing process

성 실험을 위해 PE-Al-PE 구조의 복합관을 Fig. 4와 같은 공정으로 제작하였다. 감쇠능 및 물리적 특성 측정을 위한 시료는 재료의 종류가 다른 STS 304 오스테나이트계 스테인리스와 폴리에틸렌 스프링클러 관과 복합관의 3가지 시료를 사용하였다. 준비한 관의 규격은 Table 2와 같다.

Table 2. Specification of sample

Sample	STS 304	PE Pipe	Composite pipe
Diameter(mm)	34	34	34
Thickness(mm)	3	3	3
Aluminium Thickness(mm)	x	x	1
Length(mm)	120	120	120
Volum(cm3)	73.51	73.51	73.51

제작된 복합관의 성능을 확인하기 위하여 각각 상이한 연결구와 이음관은 제거한 뒤 관부 중심 영역을 시료 채취하여 각각 20세트 이상 치수 허용오차 1%이내의 샘플을 준비하였다. 복합관 제작 시 적용된 알루미늄은 순 알루미늄을 적용하였다.

3.2 실험 방법

각 시료의 감쇠능은 횡형 진동법을 이용하는 진동감쇠능 측정 장치를 사용하여 내부 마찰계수(Internal

friction)를 측정하는 방법으로 측정하였다. 이 방법은 한쪽 끝은 고정되고 다른 쪽 끝은 자유로운 외팔보 형태로 준비된 시험편에 자유진동을 가한 후 시간에 따른 진동의 진폭변화를 전위차 측정기로 감지하고, 이를 증폭기와 AC/DC 컨버터를 통하여 디지털 신호로 변환시켜 컴퓨터에 입력한 후 잡음은 제거하고 얻은 결과를 계산용 프로그램에 입력하여 응력과 변형률에 따른 대수감쇠율 ($\delta=1/n \ln A_0/A_n$, 여기서 n : 파수, A_0 : 최초 파의 진폭, A_n : n번째 파의 진폭)을 구하는 방법이다. 본 시험에서는 감쇠능을 다양하게 측정하여 비교할 수 있도록 파이프 형태로 뿐만 아니라 파이프로부터 가공하여 관개의 시험편으로 만들어 두 가지 형상의 시료로부터 진동 감쇠능을 측정하였다. 그리고 재료에서의 감쇠능은 경도에 크게 영향을 받기 때문에 경도와 감쇠능의 상호관계를 조사할 수 있도록 경도시험을 하였다. 시험은 광학현미경을 이용한 내부 미세 조직 검토와 인장 및 파괴수압 실험을 동시에 수행하여 스프링클러 배관 적용 적합도도 판단하였다. 실험에 사용된 측정 설비는 Meji社와 광학현미경(x1000), HV-110A 마이크로 비커스 경도계, MCT-1150인장시험기가 사용되었다.

4. 결과 및 고찰

Fig. 5의 광학현미경 분석을 통해서 Fig. 5(a) 기존 스테인리스 스틸 스프링클러 파이프와 (b) PE관 미세조직, (c)복합관 알루미늄 조관 용접 부를 확인하였다.

광학 현미경 관찰 결과로부터 (a) 304 스테인리스 스틸은 전반적으로 오스테나이트 조직이 분포된 가운데 일부 침상상의 조직이 관찰되는 상태로 가공 중 가공에 의한 국부 마르텐사이트 조직으로 변태된 상태로 판단된다. 이와 같이 침상의 조직이 나타나는 부분은 주변 오스테나이트 조직보다 강도가 높아 진동에 취약한 부분으로 작용할 수 있다[6,7]. 반면 Fig. 5 (b)의 PE 조직은 폴리에틸렌의 압출 용융 제품으로 금속과 달리 미세조직을 형성하지 않지만 부분적으로 용융 가스가 빠져나간 흔적이 관찰된다. 복합관의 알루미늄 용접 부를 관찰한 (c)의 결과로부터 용접으로 인한 용융 금속의 이탈이 확인되었지만 크랙, 핀홀 등의 불량이 없는 용접 상태를 확인할 수 있고, 열영향부 영역이 좁아 경화된 금속 영역이 적을 것으로 판단할 수 있다.

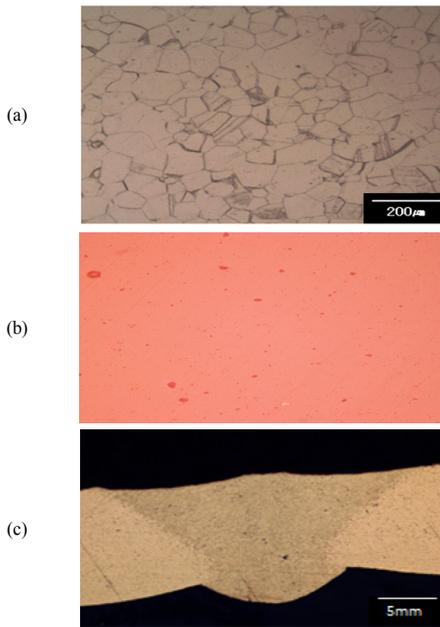


Fig. 5. Optical microscope photo (a) STS 304 stainless still pipe, (b)PE Pipe, (c)Aluminum weld of Composite Pipe

스프링클러 방호 시스템 배관으로의 적용을 위한 기본 물리적 특성 확인을 위해 파이프의 인장 강도 시험과 파괴 수압 시험을 실시하였다.

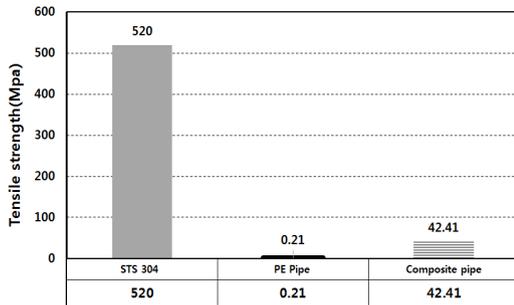


Fig. 6. Results of pipe tensile strength test

Fig. 6의 인장 시험 결과 현재 가장 많이 적용 되고 있는 스테인리스 304 파이프의 인장강도는 520Mpa로 측정되어 높은 인장강도를 이용해 파손과 손상을 방지하는 것을 확인 할 수 있다. 하지만 일부 특수 구간에 적용 중인 PE 파이프의 경우 인장강도에 대한 제한이 없는 수직관에서만 적용 가능한 0.21Mpa의 낮은 인장강도로 스

프링클러의 수평관 시공 시 관의 파손 및 처짐이 예상된다. 하지만 복합관의 경우 인장강도가 스테인리스 관에 미치지 못하였지만 PE관에 비하여 약 200배 높은 평균 42.41Mpa를 나타내어 스프링클러 화재 방호 시스템의 수평 관과 수직관으로 적용이 가능하다.

이와 함께 조관 파이프의 용접부 강도를 판단 할 수 있는 파괴 수압 시험에서 Fig. 7과 같이 복합관의 경우 스테인리스 관의 절반 정도의 내압인 86.75kgf/cm²을 유지하여 수밀 특성과 분사 압력에 만족하였다. 그리고 내진 특성을 유추할 수 있는 경도의 측정결과를 Fig. 8에 나타내었다. 경도 시험은 여러 재료로 만들어진 파이프 상태에서 마이크로비커스 경도계를 사용하여 측정하였고, 경도 값은 5회 이상 측정하여 평균하여 구하였다.

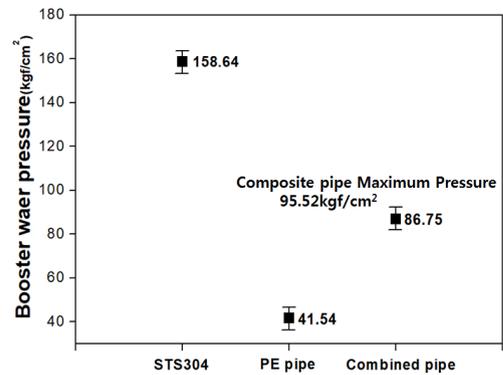


Fig. 7. Results of pipe booster water pressure test

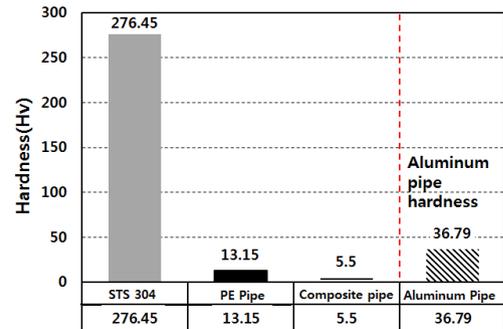


Fig. 8. Results of micro vickers test

Fig. 8의 결과로부터 스테인리스 파이프경도는 276.45Hv로 PE 파이프 13.15Hv, 복합관 5.5Hv 보다 20배 이상 높게 나타나 진동 감쇠 특성이 좋지 않음을 판단할 수 있다.

경도 측정 결과 참고를 위한 알루미늄의 경도에 비해 내진 성능의 복합관은 알루미늄이 포함되어 있음에도 불구하고 7배 낮은 경도를 나타내었다. 그리고 PE의 경도인 13.15Hv보다 낮은 5.5Hv의 경도를 보유하여 변위 흡수 유연성을 확보한 것으로 판단할 수 있다.

실제 지진 발생 시 재료가 진동을 전달하는 양과 범위를 측정하여 진동에 대한 감쇠능을 확인 할 수 있고 타격 여진법과 횡형 진동 법을 통하여 Fig. 9의 감쇠능 파형을 획득할 수 있다[8].

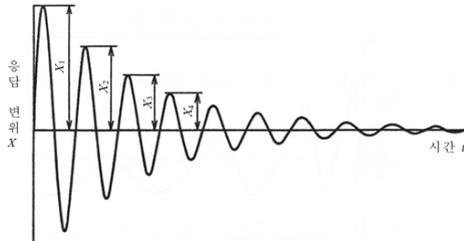


Fig. 9. Vibration-free damped waveform

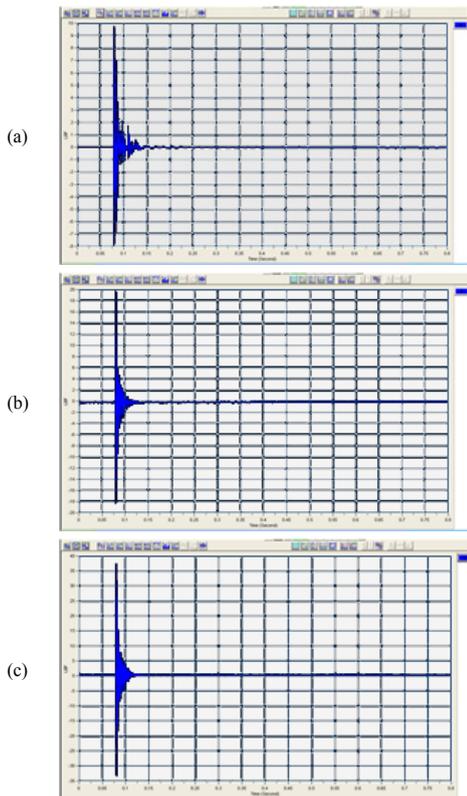


Fig. 10. Vibration damped waveform of pipe structure (a) STS 304 stainless still pipe, (b) PE Pipe, (c) Aluminum weld of Composite Pipe

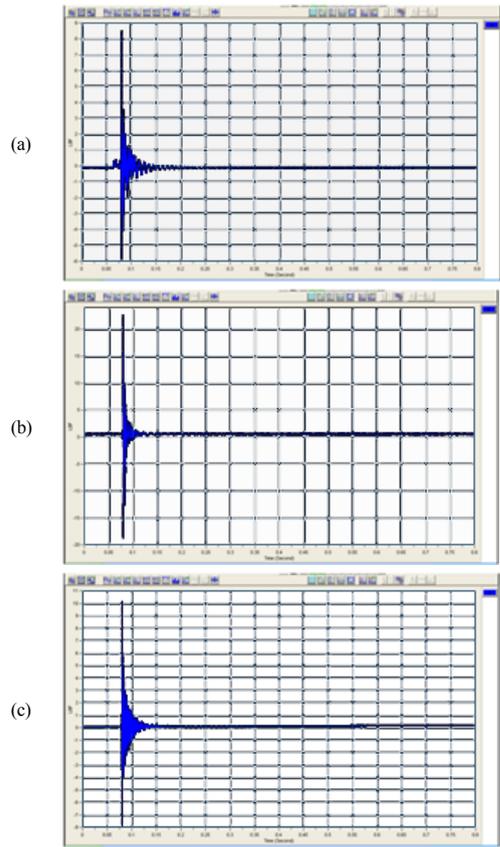


Fig. 11. Vibration damped waveform of plate structure (a) STS 304 stainless still pipe, (b) PE Pipe, (c) Aluminum weld of Composite Pipe

Fig. 10의 결과는 횡형 진동 법을 이용하여 각각 스테인리스 304 파이프와 PE 파이프 그리고 복합관에서 발생한 진동이 전파되는 그래프를 획득하였다. 그리고 소재 자체의 진동 감쇠능을 확인하기 위해 Fig. 11에 파이프 구조가 아닌 파이프의 요소 범위를 절단 샘플링 후 판상 구조에서 감쇠능을 확인 하였다.

Fig. 10과 Fig. 11의 결과로부터 최초 응답 변위가 감소하는 정도에 따라 진동 감쇠율을 확인할 수 있고 응답 변위가 감소하는 정도가 높을수록 진동의 전파가 어렵다. 즉, 진동의 이동이 어려울수록 진동이 감쇠되고 흡수되어 식(1)의 대수 감쇠율(δ) 수치를 높인다.

스테인리스 관은 Fig. 10과 Fig. 11 (a)의 결과에서와 같이 진동의 전파가 가장 높게 나타났으며, 파이프 구조에서 대수 감쇠율이 5회 실험 평균 약 0.63 정도로 확인되었다. 이는 각각 0.78, 0.89가 측정된 PE 파이프와 복

합관에 비하여 낮은 수치로 진동의 흡수가 상대적으로 적고 전파가 많이 발생하는 것을 알 수 있다.

$$\delta = \frac{1}{n} \ln \frac{A_0}{A_n} \quad (1)$$

n : 파수, A0 : 최초 파의 진폭,
An : n번째 파의 진폭

판재 구조에서의 횡형 진동 측정 결과에서도 각각 대수감쇠율이 0.60, 0.77, 0.92로 측정되어 복합관이 가장 진동 감쇠능이 우수한 것으로 확인 되었다. 이상의 진동 감쇠능 시험의 결과를 Fig. 12에 나타내었고 결과로부터 복합관의 진동에 대한 내진 특성이 스테인리스 판과 PE 파이프 보다 우수함을 확인할 수 있다.

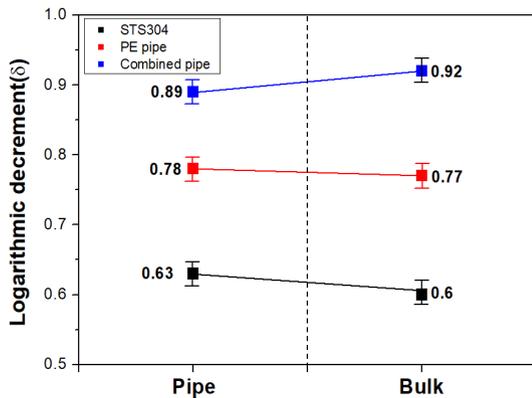


Fig. 12. Test result of vibration damping ability

5. 결론

본 연구에서는 소재의 진동 감쇠능과 인장강도, 파괴수압 및 비커스 경도를 이용하여, 화재 방호 스프링클러용 PE-Al-PE 복합 배관의 물리적 특성과 내진 특성을 확인 하였다. 지진과 같은 재난에서 발생하는 화재 및 가스 폭발 등의 2차 피해를 진압하기 위해 스프링클러 성능에 필요한 내진 특성을 횡형 진동 전파 실험을 통해 확인하였고, 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 실제 지진 발생 시 스프링클러 파이프가 전달하는 진동의 양과 범위를 측정하면 진동에 대한 흡수 정도를 알 수 있고 이는 지진에 대하여 대상체가 자체적으로 진

동을 감쇠하는 내진 특성 판단의 방법이 된다. 지진의 진동에 대한 대상체의 감쇠능을 확인 할 수 있는 진동 감쇠능 시험 방법은 타격 여진법과 횡형 진동법 등이 있으며, 본 연구에서는 횡형 진동법으로 발생한 진동의 최초 응답 변위에 대한 대수 감쇠율을 비교하여 파이프의 내진 특성을 판단 할 수 있었다.

2. 폴리에틸렌-알루미늄 구조의 복합관은 기존 화재 방호 스프링클러 배관인 스테인리스 304 파이프, PE 파이프와 비교한 결과로부터 스테인리스 304 파이프에 비하여 약 30%, PE 파이프에 비하여 약 20%로 내진 성능이 우수한 것으로 확인 되었다. 이는 복합관 내부에 알루미늄 포일 이용한 금속 조관에 의한 것으로 알루미늄의 전연성과 변위 흡수 능력에 의한 것으로 판단된다. 이는 지진의 진동에 대한 내진 설계를 수행하는 방법 중 충분한 유연성과 변위 흡수 능력을 확보하여 진동을 감쇠하는 방법을 적용한 설계 방법으로 높은 내진 성능의 파이프를 구현 할 수 있었다.

이상의 연구를 통해 폴리에틸렌-알루미늄-폴리에틸렌 복합관의 화재 방호 시스템용 스프링클러 내진 배관 성능에 대한 고찰 하였다. 그리고 스프링클러 적용을 위한 파괴수압, 인장강도, 경도 등의 물리적 특성을 함께 검토하여 내진특성과 스프링클러일반 특성을 만족하는 지진의 2차 피해 방지용 내진 설계된 스프링클러 배관 소재를 제시하였다.

References

- [1] Jong-Bu Kim, "A Base Study & Appliance Design of Against Damage to Earthquakes For Sprinkler System" University of Seoul, pp 2-6, 2011.
- [2] Man-Sung Hur, "A Study on Seismic Design in the Piping of Water-Based Fire Protection System" Korean Institute Of Fire Science & Engineering, 11, pp. 89-90, 2011.
- [3] Hye-Young Lee, "A Study on the Amelioration Plan of Earthquake Resistant Design of Sprinkler System Piping" Kyonggi University, pp. 13-17, 2016.
- [4] Min-ju Nam, Seung-hee Park, Dong-jun Kim, Jong-ku Yoon, and Choon-gyo Seo "Seismic Performance Evaluation of Sprinkler Facilities throughout Shaking Table Test", Korean Institute Of Fire Science & Engineering, 05, pp. 54-57, 2012.
- [5] Ministry of Public Safety and Security, Explanation of Seismic Design Standards for Fire-Fighting Facilities in 2016, p.50-51, National Emergency Management Agency-Fire Prevention Division, 2016.

- [6] David Porter, Kenneth Easterling, Mohamed Sherif, Phase Transformations in Metals&Alloys, 3rd edition, p.363-366, Kyobobook, 2010.
- [7] George E. Dieter, Mechanical Metallurgy, p.110-112, Huijungdang, 1990.
- [8] Ministry of Knowledge Economy Technical Standard Director, Test Methods for Vibration-damping Property in Laminated Damping Steel Sheets of Constrained Type, p.1-9, Korean Standards Association, 2002.

노 성 여(Sung-Yeo Noh)

[정회원]



- 201년 2월 : 부경대학교 기술경영 전문대학원 (박사졸업)

김 준 곤(Jun-Gon Kim)

[준회원]



- 2015년 2월 ~ 현재 : 동명대학교 항만물류시스템학과 (학사과정)

<관심분야>

정보분석, 기계설비

<관심분야>

기술경영, 정보분석

김 광 범(Kwang-Beom Kim)

[정회원]



- 2009년 2월 : 부경대학교 화학공학과 (학사졸업)

<관심분야>

기계공학, 요소설비