

수도용 강관의 도복장 재료특성 평가에 관한 연구

이현동^{†,***} · 이지은^{**} · 곽필재^{*}

*한국건설기술연구원 첨단환경연구실 · **과학기술연합대학원대학교 수자원환경공학과

(2007년 10월 23일 접수, 2008년 2월 27일 채택)

Evaluation of the Properties of Wrapping Material of Steel Pipe for Water Supply

Hyun-Dong Lee^{†,***} · Ji-Eun Lee^{**} · Phill-Jae Kwak^{*}

*Korea Institute of Construction Technology(KICT) · **University of Science and Technology(UST)

ABSTRACT : Coal-tar enamel, blown asphalt and polyethylene have been used as wrapping materials of steel pipe in Korea. Currently, every manufacturer produces wrapped steel pipes with different materials and methods, and little research has been performed to get on wrapping methods and materials. In this research, properties of wrapping material of steel pipe used for water supply have been evaluated. All of the materials tested in this work were found to meet the standard. Among the wrapping materials of steel pipe tested, blown asphalt and coal-tar enamel were reasonable in price, and their mechanical properties were excellent. The quality of the wrapped steel pipes was being melted easily in organic solvent. When coated thick, the load of the steel pipes was higher than necessary. Tensile strength of cathode exfoliation and PE 3-layer wrapping method was excellent. The pulling intensity of T-Die PE 3-layer was stronger than PE fluidized in PE wrapping method. Cathode exfoliation area was smaller than PE fluidized. Mechanical property and thermo-property of T-Die PE 3-layer were excellent and its anti-chemical property was great. Liquid epoxy can change the property of coating materials depending on the hardening condition and resin selection. Polyurethane used in this test showed a less adhesive strength with steel pipes than epoxy. Moisture absorbance rate was higher than Epoxy's, however. To utilize polyurethane as wrapping materials, basic property of the matter should be improved followed by finding the best suited coating condition. The method of PE 3-layer by extrude method appeared to be the best in this study. However, identification of other wrapping materials requires further additional tests.

Key Words : *Wrapped Steel Pipe, Wrapping Material, Coal-tar Enamel, Blown Asphalt, Polyethylene*

요약 : 본 연구에서는 국내에서의 생산되는 강관의 도복장 재료 및 방법별로 관체 시편을 이용하여 도복장강관의 성능을 시험하였다. 도복장강관의 원관의 물성 및 화학조성의 분석결과 모두 기준에 적합하였다. 강관의 도복장 재료의 물성시험 결과, 블론아스팔트와 콜타르에나멜은 비용이 저렴하고 기계적 성질은 매우 우수하나, 유기용매에 녹는 단점을 지니고 있고, 도복장강관이 도복장 재료로서 성능이 떨어지는 것으로 나타났다. 또한 두껍게 도복할 경우, 강관 자체의 하중이 필요 이상으로 높아지는 문제가 발생할 수 있다. 당김강도 시험과 음극박리 시험결과, PE-3층 도복장방식이 우수하였으며, PE의 도복장방법에 따라서는 압출식(T-Die) 3층 폴리에틸렌(PE 3-Layer)이 분말용착식 폴리에틸렌(PE Fluidized)보다 당김강도가 강하며 음극박리 면적도 작았다. 압출식(T-Die) 3층 폴리에틸렌(PE 3-Layer)은 기계적 특성, 열적 특성 모두 우수하였고, 내화학성도 뛰어났다. 액상에폭시는 수지 선정과 경화 조건에 따라서 도장재의 특성을 변화시킬 수 있다. 본 시험에서 사용된 폴리우레탄은 강관과의 접착력에 에폭시에 비하여 낮았으며, 수분 흡수율은 에폭시 보다 높은 결과를 나타내었다. 폴리우레탄을 도복장재료로 사용하기 위해서는 우레탄의 기본물성과 최적의 도장조건을 도출하는 연구가 진행되어야 할 것으로 판단된다. 본 연구에서 실험한 시편 중에서는 현재 압출식으로 제조한 PE-3층 도복장방법이 가장 우수한 것으로 평가되었지만, 앞으로 기타 다른 도복장재료와의 추가 검증시험이 필요할 것으로 판단된다.

주제어 : 도복장강관, 도복장재료, 콜타르에나멜, 블론아스팔트, 폴리에틸렌

1. 서론

수도용 강관으로서 국내에서 사용되는 외면 도복장재료는 콜타르에나멜(Coal-Tar Enamel, KS D 8307),¹⁾ 블론아스팔트(Blown Asphalt, KS D 8306),²⁾ 폴리에틸렌(Poly Ethylene, KS D 3607,³⁾ KS D 3589,⁴⁾ KS D 8500⁵⁾ 등이 있으며, 내면에 사용되는 대표적인 도장재료는 에폭시수지(Epoxy

Resin, KS D 8501,⁶⁾ KS D 8502⁷⁾ 등이 있다.

내면 도장재료 중 에폭시수지는 아민(Amine)과 비스페놀 A(Bisphenol A, BPA) 등의 유해물질의 용출과 도장 후 부식성 수질과 도장의 불량으로 인해 피복이 박리되는 현상이 발생하게 되는 등의 문제점이 발생하고 있다.⁸⁾ 그리고 기존에 강관의 내면에 사용된 에폭시수지에 대해서 경과년 수나 매설환경의 특성에 따라 피복상태의 평가나 잔존수명 예측 등에 대한 연구가 전혀 없기 때문에 관련 현장 실무자들이 관로의 유지관리 및 보수·보강에 많은 어려움이 따르고 있다. 그러므로 현재 강관의 내면도장에 사

[†] Corresponding author
E-mail: hdlee@kict.re.kr
Tel: 031-910-0297

Fax: 031-910-0291

용할 수 있는 내식성 및 내구성이 강한 도장재의 도입 및 적용이 매우 필요한 실정이며, 이에 따라 국내에서도 내면 도복장재료의 성능 향상을 위해 폴리우레탄(Poly-urethane), 폴리우레아(Poly-urea) 등의 개발이 진행되고 있다.

현재 국내에서 상수도용에 사용되는 도복장강관은 KS D 35659에 따라 생산 시공되고 있으며, 규격에서 정하는 도복장방법은 다양하다. 도복장방법과 재료에 따른 강관의 내식성 및 도장재의 부착성의 차이로 인한 문제점이 발생되고 있으나, 도장방법의 선택기준이 전무한 실정이다.

따라서 국내에서 적용되고 있는 내·외면 도복장방법에 대한 이론적 성능, 적용사례, 기술수준 등의 연구가 필요하며, 생산되고 있는 도장재료별 도막상태 평가 및 잔존수명 예측, 그리고 해외 도복장제품과 국내제품의 비교를 통한 품질향상 방향을 제시할 필요가 있다.

국내 상수도시스템의 실정에 적합한 도복장방법 및 재료의 선정시 문제점으로는 상수도관의 내·외면에 동일한 규격의 도복장재료를 사용하지만 품질이 다른 여러 가지 도료가 사용되고 있다. 따라서 적절한 품질의 도장재료를 선정하기 위한 기준이나 도복장 재질에 따른 적합한 도복장방법을 적용하기 위한 조사연구가 절실한 실정이다. 수도용 강관의 도복장방법의 비교연구를 통해 전기방식의 유지비용을 저렴하게 유지하며, 매설상태의 제반 방식조건 및 도복장 작업시 매설환경에 관하여 고려하면서, 방식효과와 경쟁력 제고 및 환경친화적인 도복장방법을 확보하는 것이 바람직하다.

현재 국내에서는 도복장강관의 제조업체별로 각기 다른 도장재료나 방법에 따라 제품을 생산하고 있으나 도복장방법 및 재료에 따라 비교·실험한 연구가 전혀 없는 실정이므로 이에 관련된 연구가 매우 시급하고 필요한 실정이다.

2. 실험방법

수도용 강관의 도복장재료에 대한 내·외면 성능평가를 위해 필요한 시험항목은 Table 1과 같고, 본 실험에 사용한 강관의 9개 도복장재료의 종류는 Table 2와 같다. Table 1의 특성시험 I의 시험항목들은 강관의 도복장재료의 일상적인 품질검사나 보통검사에서 이용되는 항목들이며, 특성시험(Property test) II의 항목들은 아주 정밀하게 관체나 도복장 재료를 검사할 필요가 있을 경우에 실시하는 시험항목으로 크게 구분하였다.

도장재의 표면특성 시험방법은 도복장재료에 따라 강관에 코팅하였을 때 나타나는 균열 또는 핀홀 등을 평가하기 위하여 표면특성을 이미지 분석기를 통하여 분석하였다. 이 때 사용된 이미지 분석기(Image Analyzer)는 Hi-Scope Compact Microvision System, Model KH-2200으로 접촉식 렌즈를 사용하였고, 그 배율은 200배로 설정한 후, 각 강관에 코팅되어 있는 도장재의 균열 여부 및 핀홀 유무를 판단하였다.

그리고 도복장 재료의 열안정성을 평가하기 위한 열분해 거동(Thermal Gravity Analysis : TGA) 시험방법을 수행하였다. 본 시험방법에서는 Mettler Toledo사의 TGA-50을 이용하여 각각의 시편을 알루미늄 도가니에 30~40 mg을 넣고, 질소 분위기 하에서 40°C에서 800°C까지 20°C/min의 속도로 승온하면서 열적 안정성을 평가하였다.

또한, 고온수하 및 저온균열 시험방법은 실제 환경보다는 가혹한 조건에서 강관에 도장되어진 도복장재료의 부착능력이나 균열 유무를 판단하기 위하여 고온 수하 및 저온 균열 시험을 수행하였다. 고온수하 시험은 70°C의 수돗물에 24시간 침시켜 둔 후, 도복장재료의 물리적 상태를 확인하고, 박리의 정도를 수치로 표시하였다. 저온균열 시험의 경우 -30°C의 냉동실에 시편을 넣은 후에 6시간 동안 방치한 후, 표면의 균열 여부를 분석하였다.

그리고 각 강관에 코팅되어진 도복장재료의 수분흡수성은 KS M 3027¹⁰⁾ 시험방법에 따라 분석하였다. 3 cm×3 cm의 크기로 시편을 준비하여 50°C 진공 오븐에서 대기 중에 함유되어 있던 수분을 모두 제거해 준 후 각각 시편의 중량을 소수 셋째 자리까지 표시하였다. 그 후 각 시편을 100 mL 증류수에 온도가 30°C가 되도록 항온조에 넣은 후 24시간 이후 시편의 겉에 묻은 물기를 제거하고, 그 중량을 측정하여 수분흡수량을 계산하였다.

Table 1. Performance assesment items of exterior surface wrapping material

classification	research contents
Property test I	resistance to shock, salt spray test, indentation test, cathodic disbondment test, specific electrical insulation resistance test, peel force test, holiday detection test, inspection of thickness
Property test II	surface analysis, TGA, submerged water of high temperature and crack test of low temperature, water absorptiveness, resistance to chemical attack, resistance to shock (ASTM D 1709)

Table 2. Wrapped steel pipe used in experiment

wrapping material and method	property of material and component test	wrapping material property test I	wrapping material property test II
Coal-tar Enamel(P1)	○	○	○
Epoxy(P2)	○	○	○
PE 2-Layer(P3)	○	○	○
PE 3-Layer(P4)	○	○	○
Polyurethane(P5)	○	×	○*
PE Tape(P6)	○	○	○
Blown Asphalt(P7)	○	○	○
PE Fluidized(P8)	○	○	×
PE Fluidized 3-Layer(P9)	○	○	○

* P1~P6 : provided by "D" company, P7~P9 : provided by "H" company

* : provided by "E" company(coating in glass plate), X : no analysis

도복장재료에 대한 내화학성을 평가하기 위하여(ASTM D 543)¹¹⁾에 준하여 내화학성 시험을 수행하였다. 내화학성 시험을 위한 강산은 황산(H₂SO₄) 10%용액, 염분으로는 30%의 염화나트륨(NaCl) 수용액, 알칼리로는 수산화나트륨(NaOH) 30% 용액, 그리고 유기용매로는 벤젠과 톨루엔을 사용하였다. 각 시편은 3 cm×3 cm로 절단하여 30일간 각각의 용액에 침시켜 두었다. 모든 시편의 초기 중량과 면적을 기록한 후 30일 후 서로 다른 성질을 지니는 용액에서 꺼내어 각각의 샘플들의 중량 변화나 폭 혹은 길이의 변화를 측정하였다.

도복장재료의 충격저항은 ASTM D 1709¹²⁾에 준하여 시험하였고 시험장비는 DAVENPRT사의 Falling Dart Impact Tester를 사용하였다. Dart는 시편으로부터 0.66 M 높이에 서 떨어뜨리면서 하중에 따른 시편의 상태를 수치화하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1. 도복장재료의 특성시험 I

주로 수도용 강관 도복장재료의 일반적인 품질검사에서 활용되는 항목들인 특성시험 I에 대한 결과는 Table 3에 나타내었다.

도복장강관 시편의 염수분무시험¹³⁾ 및 내침입도의 시험 결과를 분석해보면, 블론아스팔트 시편에서는 336시간 경과 후에 관체의 표면에 붉은 녹이 생성되었으나, 기타 다른 도복장강관은 672시간 경과 후에도 이상이 없었다.

내침입도에 대한 결과는 도복재료에 관계없이 0.02~3.3 mm 범위였는데, Coal-tar Enamel(P1)시편은 3.3 mm의 내침입도를 나타내었다. 그리고 Blown Asphalt(P7)시편은 이상이 없었고, PE Tape(P6)은 0.73 mm였다.

Table 3. The result of characteristic test

wrapping materials	salt spray test (total 672 hr)	indentation test (mm)
Coal-tar Enamel(P1)	None	3.3
Epoxy(P2)	None	0.02
PE 2-Layer(P3)	None	0.07
PE 3-Layer(P4)	None	0.06
Polyurethane(P5)	None	0.07
PE Tape(P6)	None	0.73
Blown Asphalt(P7)	None (after 336hrs)	non detectible
PE Fluidized(P8)	None	0.09
PE Fluidized 3-Layer(P9)	None	0.12

도복장강관 시편의 핀홀시험, 충격저항, 당김강도, 피막 두께 시험결과는 Table 4와 같다. 핀홀시험 결과, 액상에 폭시 시편을 제외하고는 이상이 없었다. 이는 제공시편이 운반과정에서 표면에 손상이 많이 생겼기 때문에 판단되며, 시험에 적용한 시편은 피막두께를 측정된 결과 기준에 미달되는 것으로 나타났다. 그러나 D사의 실험실에서 제공한 액상에폭시의 시편으로 핀홀시험 결과, 이상은 없었으나 피막두께는 기준에 미달되었다. 따라서 시편 운반 과정이나 만드는 조건에 따라서 다소 차이가 나므로 정상적인 시편을 사용하였을 경우에는 문제가 발생되지 않을 수도 있다고 사료된다.

충격저항 시험결과에서 PE Tape 시편은 표면에 도복장이 손상되었으나, 충격저항 시험 후 Pin-hole 시험결과에서는 이상이 없었다. 그리고 다른 도복장 시편은 이상이 없었다.

Table 4. Results of wrapping materials property test

wrapping materials	holiday detection test	resistance to shock		peel forced test ¹⁾ (kgf/cm ²)	wrapping thickness (mm)	wrapping thickness (mm) standard	note
		after resistance to shock	holiday detection test				
1	Coal-tar Enamel	None	no scratch	× ²⁾	7.3	4	
			None		7.4		
					7.7		
2	Epoxy	None ³⁾	no scratch ⁴⁾	× ⁵⁾	240 μm	0.4 (KS D 8502)	below wrapping thickness standard
			None ⁴⁾		250 μm		
					250 μm		
3	PE 2-Layer	None	no scratch	14.4	3.3	2.5	
			None		3.7		
					3.9		
4	PE 3-Layer	None	no scratch	38~45	3.5	2.5	cut in test of pulling intensity
			None		3.5		
					3.6		
5	PE Tape	None	wrapping damaged	2.8~3.4	2.8	1.27 (KS D 8500)	
			None		2.9		
					3.2		

6	Blown Asphalt	None	no scratch	× ⁶⁾	4.5	5	
			None		5.2		
					6.5		
7	PE Fluidized(P8)	None	no scratch	3.6~4.0 (6~23)	3.3	1.5	cut in test of pulling intensity
			None		3.5		
					3.6		
8	PE Fluidized 3 Layer(P9)	None	no scratch	5.7~6.4 (9)	3.2	1.5	
			None		3.3		
					3.3		

- ¹⁾ Pulling intensity standard : PE wrapping standard(KS D 3589, 3619 : 3.6 kgf/10 mm)
- ²⁾ no test as wrapping material property
- ³⁾ FBE test species have a lot of scratches of surfaces in holiday detection test
- ⁴⁾ applying test specimen by D company to resistance test to shock(wrapping material thickness 365 μm)
- ⁵⁾ no test as wrapping thickness is thin
- ⁶⁾ no test as wrapping material property

Epoxy 시편은 도복장 두께가 기준인 400 μm 이하이기 때문에 5 joule로 실험을 수행하였으며, 그 외 모든 관은 15 joule로 실험을 하였다.

당김강도는 PE 3-Layer의 시편이 다른 도복장에 비하여 강도가 높게 나타났으며, PE 계열의 도복장시편중에서 PE Tape을 제외하고는 모두 기준에 적합하였다.

도복장 시편의 음극박리시험 조건은 Table 5와 같고, 시험결과는 Table 6과 같다. 음극박리 시험결과, PE 3-Layer 시편의 박리면적이 가장 작았으며, PE 2-Layer가 가장 컸다.

PE Fluidized 3-Layer 시편은 Epoxy나 PE Tape와 비슷한 정도로 박리가 되었으며, PE Fluidized 2-Layer와 비교하면 박리면적이 더 작았다. 본 시험결과 PE 계열의 도복장방법 중 3층 도복장을 한 시편이 2층 도복장을 한 시편보다 음극박리면적이 작게 나타났다.

3.2. 도복장재료의 특성시험 II

수도용 강관의 도복장재료의 특성시험 II에서 수행한 시

Table 5. Cathodic disbondment test condition

Item	Condition
Temperature(℃)	65(20)*
Period(hour)	48(28 day)*
Salt water concentration(%)	3
Volt(V)	-1.5

* Test condition on asphalt wrapping materials of steel pipe and coal-tar enamel

Table 6. Cathodic disbondment test result

wrapping materials	exfoliation radius(mm)	wrapping materials	exfoliation radius(mm)
Coal-tar Enamel ¹⁾	7.0	PE Tape	4.9
Epoxy	4.0	Blown Asphalt ¹⁾	7.2
PE 2-Layer	9.4	PE Fluidized(P8)	6.1
PE 3-Layer	2.2	PE Fluidized 3 Layer(P9)	4.8

¹⁾ Test results at 20 ℃

험 항목은 Table 1의 특성시험(Property test)II에서 나타낸 바와 같다. 이 방법들은 주로 수도용 도복장강관의 아주 정밀하게 관체나 도복장 재료를 검사할 필요가 있을 경우에 활용되는 항목들이다.

3.2.1. 시편

수도용 도복장강관의 특성시험 II에 사용된 시편은 Table 7과 같다. 강관에 도복장하지 않은 채 열분석에 사용한 원재료(raw material)인 고밀도폴리에틸렌(HDPE)과 저밀도 폴리에틸렌(LDPE)은 H 회사의 펠렛(Pellet) 상태 제품을 이용하여 용융시켜서 냉각하여 필름을 제작한 후 시험하였다.

3.2.2. 도장재의 표면특성

도복장재료에 따라 강관에 코팅하였을 때 나타나는 표면특성을 이미지 분석기를 통하여 분석하였다. 이 때 사용된 이미지 분석기(Image Analyzer)는 Hi-Scope Compact Micro-vision System, Model KH-2200으로 접촉식 렌즈를 사용하였고, 그 배율은 200배로 설정한 후, 각 강관에 코팅되어 있는 도장재의 균열 여부 및 핀홀유무를 판단하였다.

Table 7. Test specimens of wrapping material property test(II)

specimens	items	Thickness of test specimen(mm)
A	Blown Asphalt	10
B	Coal-tar Enamel	3
C	Coal-tar Enamel with filler	7
D	PE Fluidized	3
E	PE Tape	2
F	PE 3-layer	3
G	PE 2-layer	3
H	Epoxy	1
I	Polyurethane	1
J	HDPE	1
K	LDPE	1

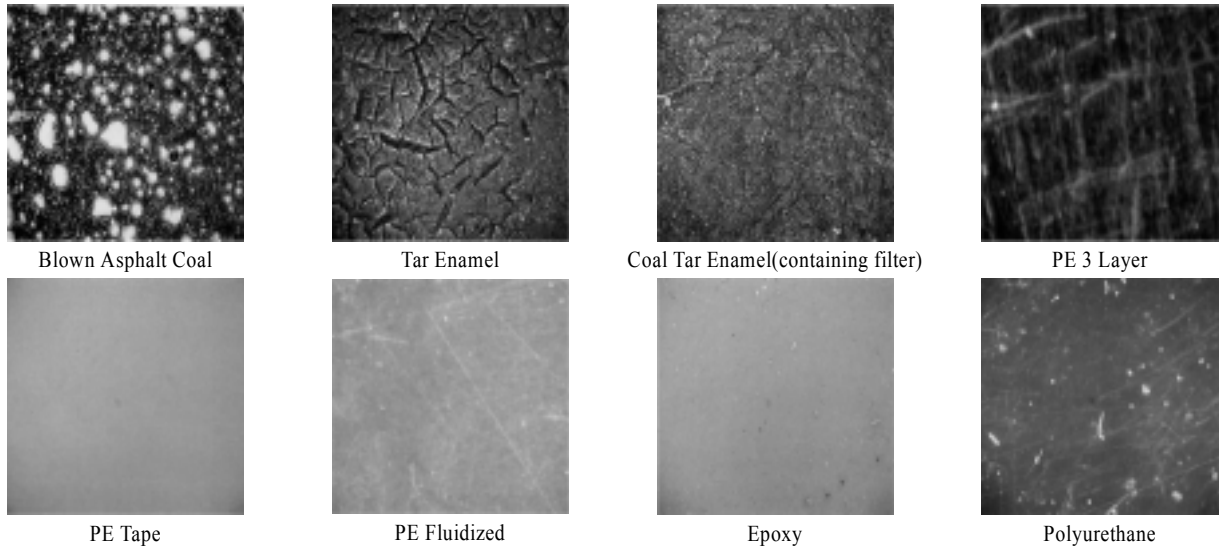


Fig. 1. The analysis results of test specimen surface.

각각의 시편들의 표면분석 결과를 Fig. 1에 나타내었다. 블론아스팔트(Blown Asphalt)의 경우 도복장재료 내부에 흠과 같은 공극이 많이 보였고, 콜타르에나멜(Coal-tar Enamel)은 콜타르 자체만으로 도복장했을 때 균열이 매우 심하게 발생한 것을 확인할 수 있다. 반면 콜타르에나멜에 충전제를 함께 사용하여 도복장한 경우에는 콜타르 하나만을 사용하였을 때의 표면 상태보다 균열도 적었고, 편홀도 거의 없음을 확인하였다.

가장 표면특성이 좋은 것은 폴리에틸렌(Polyethylene)중에서도 테이핑 방식의 폴리에틸렌(PE Tape) 코팅으로 균열도 발생하지 않고 굽힘도 적었으며, 편홀도 거의 없었다. 반면 압출식 3층 피복 폴리에틸렌(PE 3-Layer)이나 분말용착식 폴리에틸렌(PE Fluidized)은 편홀은 거의 없었지만, 굽힘이 심함을 확인할 수 있었다.

3.2.3. 열분해 거동(Thermal Gravity Analysis : TGA)

아스팔트나 콜타르를 제외하고 최근에 상수도관의 도장에 많이 응용되고 있는 고분자 물질들은 열을 가해 주면, 일정 온도 이상에서 분해가 일어나게 되어 중량감소가 발생한다. 즉, 고온에서 중량 감소가 적다는 것은 곧 고온에 견디는 능력이 높다고 판단할 수 있다. 따라서 본 시험에서는 Mettler Toledo사의 TGA-50을 이용하여 열적 안정성을 평가하였다. 일반적으로 5 wt(%)에 해당하는 중량 감소가 일어났을 때의 온도를 5 wt(%) 분해온도(Td)라고 지칭하며 열적 안정성을 판단하는 용어로 사용된다. 즉, 5 wt(%) 분해온도가 높을수록 고온에 잘 버틸 수 있다. 열분해 거동에 관한 결과는 Fig. 2에 나타내었다.

도복장재료로 사용된 폴리에틸렌은 그 도장방법에 상관없이 분말용착식 폴리에틸렌(D), 고밀도 폴리에틸렌(J), PE 3-Layer(F)는 580℃ 근방에서 분해가 시작되었고, PE Tape (E)는 다른 폴리에틸렌에 비해 5 wt(%) 분해온도가 낮은 400℃ 근방에서 나타났다.

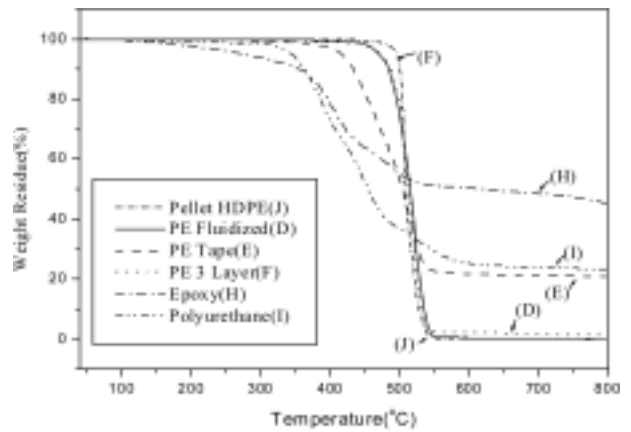


Fig. 2. Diagram of TGA.

그리고 에폭시(H)는, 100℃에서 부터 이미 분해가 시작되었다. 이는 수지 자체의 분해이기보다는 경화반응에서 휘발되지 않은 용매나 미 반응물질들이 방출되면서 나타나는 무게로 판단되며, 400℃ 근방에서 두 번째 무게 감소가 나타나는데, 이 온도가 실제 에폭시의 분해에 의한 무게 감소로 판단된다.

한편, 폴리우레탄의 경우는 300℃ 근방에서 분해가 일어나기 시작하는데, 에폭시와는 달리 미반응물이 거의 없음을 확인하였다.

따라서 열분해 거동을 시험한 결과, 폴리에틸렌이 다른 도복장재료에 비하여 열에 따른 적합성이 높은 것으로 판단된다. 또한 폴리우레탄이 에폭시보다 초기분해온도가 높기 때문에 외부로부터 열적 스트레스에 대한 저항성이 높은 것으로 판단된다.

3.2.4. 고온 수하 및 저온 균열

수도용 도복장강관은 토양에 매설된 후 계절에 따라 수온이 달라지고 토양의 상태도 계절별로 달라지기 때문에 변화하는 환경에 장기간 방치되었을 때 적어도 기대 수명

Table 8. Submerged water of high temperature and crack test of low temperature

test specimens	items	submerged water test of high temperature (70 °C, 24 hr)	crack test of low temperature (-30 °C, 6 hr)
A	Blown Asphalt	none	none
B	Coal-tar Enamel	0.5 mm exfoliation	crack
C	Coal-tar Enamel with filler	0.3 mm exfoliation	none
D	PE Fluidized	none	none
E	PE Tape	none	none
F	PE 3-layer	none	none
G	PE 2-layer	none	none
H	Epoxy	0.1mm	none
I	Polyurethane	none	exfoliation(in water plate)
J	HDPE	×	×
K	LDPE	×	×

동안은 도복장재료의 성능을 유지해야 한다. 따라서 본 시험에서는 실제 환경보다 가혹한 조건에서 강관에 코팅된 도복장재료의 부착능력이나 균열유무를 판단하였는데, 고온수하 시험은 70°C의 수돗물에 24시간 침지시켜 둔 후 강관에 코팅된 도복장재료의 물리적 상태를 확인하였고, 박리가 일어난 경우에는 어느 정도 박리가 일어났는지를 수치로 표시하였다.

한편, 저온균열 시험의 경우 -30°C의 냉동실에 시편을 넣은 후 6시간 동안 방치한 후 표면의 균열 여부를 확인하였다. 이는 KS D 8307(2001) 방법¹⁾에 고온 수하 및 저온 균열 시험결과를 Table 8에 나타내었다.

콜타르에나멜을 제외한 대부분의 시편들은 모두 양호한 결과를 보여 주었고, 폴리우레탄은 개발 단계로 시편 자체가 유리관에 코팅이 된 상태여서 쉽게 박리가 일어났다. 콜타르에나멜 만으로 도장된 시편의 경우에는 저온균열 시험한 후, 균열이 많이 발생하였지만 충전제가 함유된 콜타르에나멜은 균열이 발생하지 않는 것을 확인하였다.

3.2.5. 수분흡수성

도복장강관에 사용되는 도복장재료는 기본적으로 수분에 대한 저항성이 커야 한다. 다시 말해서, 수분흡수성이 낮아야 강관과 도복장재료의 접착력이 유지되어 강관의 부식을 보다 오랜 시간동안 방지할 수 있게 된다. 일반적으로 고분자 도복장재료의 경우, 수분흡수율이 2% 이하의 수분흡수율을 지녀야 한다. 그 결과를 Fig. 3에 나타내었다.

콜타르에나멜과 폴리우레탄을 제외한 모든 도복장재료는 2% 이하의 수분흡수율을 나타내었다. 폴리우레탄은 수분흡수율이 3% 이내인 반면, 에폭시수지의 수분흡수율은 1% 정도로 에폭시수지가 폴리우레탄보다 높은 것으로 판단된다.

3.2.6. 내화학성(Resistance to Chemical Attack)

도복장재료의 내화학성(ASTM D 54311)을 시험하기 위하여 각각의 시편을 3cm×3cm로 절단하여 30일간 각각

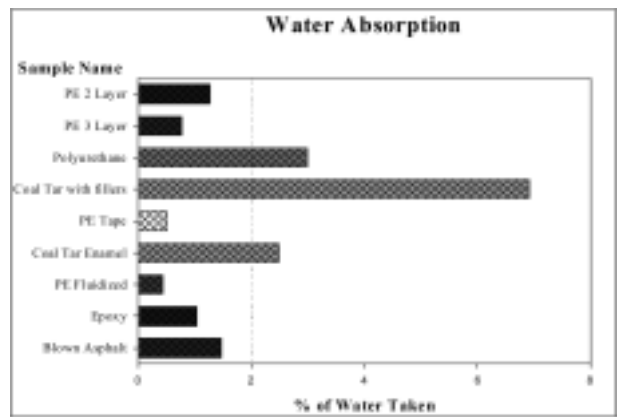


Fig. 3. Absorptiveness test in water.

의 용액에 침지시켜 두었다가 시편의 초기와 30일 후의 중량과 면적(폭과 길이)의 변화를 측정하였다. 그 시험결과를 Table 9에 나타내었는데, 모든 시편에서 양호하여 특별한 징후를 발견하지 못하였다.

Table 9. Results of resistance to chemical attack

test specimens	chemicals					
	H ₂ SO ₄ (10%)	NaCl (30%)	NaOH (30%)	HNO ₃ (10%)	Cresol	Xylene
Blown Asphalt(A)	1	2.3	1.8	1.2	27	26.5
Coal-tar(B)	4.2	1.5	1.2	0.7	22.5	24
Coal-tar enamel with filler(C)	3.8	1	0.9	0.87	20.7	22.6
PE Fluidized(D)	1.5	1.2	2.1	4.5	2	1.8
PE Tape(E)	1.4	1.7	2.2	4.8	1.3	1.2
PE 3-Layer(F)	2	2.1	1.8	5.7	1.2	2
PE 2-Layer(G)	1.4	1.8	2.2	5.2	1.9	1.8
Epoxy(H)	12	2.3	4.6	4.8	2.8	1.5
Polyurethane(I)	2.6	3	2	5	5.2	3
HDPE(J)	1.3	1.2	2	3.3	1.1	1.2
LDPE(K)	1	1.4	2.3	4.2	1.2	1.5

* Expansion and contraction ration : 0-4% Excellent, 4-7% Fair, above 7% Poor

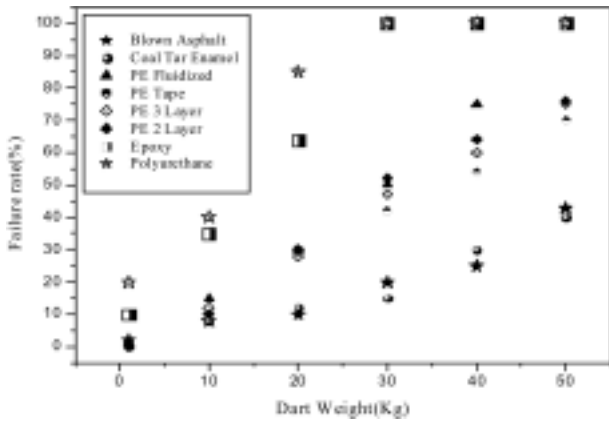


Fig. 4. The result of resistance to shock test.

3.2.7. 충격저항

충격저항을 ASTM D 1709¹²⁾의 실험방법으로 Dart는 시편으로부터 0.66 M 높이에서 떨어뜨리면서 하중에 따른 시편의 상태를 수치화하였는데, Dart는 1 kg, 10 kg, 20 kg, 30 kg, 40 kg, 50 kg의 질량을 사용하여 도복장재료에 떨어뜨렸을 때 도복장재료의 손상정도를 원래의 도복장재료의 두께와 흠이 파인 두께를 측정하여 손상정도를 퍼센트로 나타내어 Fig. 4에 나타내었다. 에폭시와 폴리우레탄의 경우 균열이 발생하였으며, 아스팔트나 콜타르에나멜은 균열이 생기지 않고 흠만 파였다. 즉, 에폭시와 폴리우레탄은 충격에 대한 저항력이 낮게 나타났고, 아스팔트와 콜타르에나멜은 충격에 대한 저항력이 높은 것으로 나타났다.

4. 결론

본 연구에는 국내에서의 생산되는 도복장강관의 도복장재료 및 방법별로 시편을 이용하여 도복장재료의 성능을 시험하였다. 도복장강관의 원관의 물성 및 화학조성의 분석결과 모두 기준에 적합하였다.

강관의 도복장재료의 물성시험 결과, 블론아스팔트와 콜타르에나멜은 비용이 저렴하고 기계적 성질은 매우 우수하나, 유기용매에 녹는 단점을 지니고 있고, 도복장강관이 도복장재료로서 성능이 떨어짐을 알 수 있었으며, 또한 두 겹께 도복장을 할 경우 강관 자체의 하중이 필요 이상으로 높아지는 문제가 발생할 수 있다.

당김강도 시험과 음극박리 시험결과, PE 3층 도복장방식이 당김강도가 높았고, 음극박리면적이 작았다. PE의 도복장방법에 따라서는 압출식(T-Die) 3층 폴리에틸렌(PE 3-Layer)이 분말용착식 폴리에틸렌(PE Fluidized) 보다 당김강도가 강하며 음극박리면적도 작았다.

압출식(T-Die) 3층 폴리에틸렌(PE 3-Layer)은 기계적 특성, 열적 특성이 모두 우수하였고, 내화학성도 뛰어났다. 즉, 강관의 도복장재료로서 아직까지는 가장 우수한 특성을 지녔다고 판단된다.

액상에폭시는 수지재료의 선택과 경화조건에 따라서 도복장의 특성을 변화시킬 수 있다. 본 시험에서 사용되어진

에폭시의 경우, 기계적 및 열적의 특성이 현저하게 떨어졌지만, 경화조건으로 보완할 수 있다고 판단된다.

폴리우레탄은 경화속도가 에폭시에 비해 빠르기 때문에 도장이 용이하고, 그 물성 또한 우수하다는 보고들이 많이 있지만, 기본수지 설정부터 경화제 종류, 경화조건 등으로 계속해서 보완 연구가 필요하다고 판단된다. 본 시험에서 사용된 폴리우레탄은 강관과의 접착력도 에폭시에 비하여 낮았으며, 수분흡수율은 에폭시보다 높은 결과를 나타내었다. 따라서 상업화하기에는 아직 무리가 따른다고 판단된다.

폴리우레탄을 도복장재료로 사용하기 위해서는 도복장재료로 사용되는 우레탄의 기본물성의 향상이 우선시 되어야 하며, 그 후 최적의 도장조건을 찾는 연구가 진행되어야 할 것으로 판단된다. 본 연구에서 실험한 시편 중에서는 현재 압출식으로 제조한 PE-3층 도복장방법이 가장 우수한 것으로 평가되었지만, 앞으로 기타 다른 도복장재료와의 추가 검증시험이 필요할 것으로 판단된다.

참고문헌

1. 한국산업규격(KS), KS D 8307, 수도용 강관 콜타르에나멜 도복장방법, 한국표준협회(2001).
2. 한국산업규격(KS), KS D 8306, 수도용 강관 아스팔트 도복장방법, 한국표준협회(1994).
3. 한국산업규격(KS), KS D 3607, 분말용착식 폴리에틸렌 도복장강관, 한국표준협회(2007).
4. 한국산업규격(KS), KS D 3589, 폴리에틸렌 도복장강관, 한국표준협회(2005).
5. 한국산업규격(KS), KS D 8500, 수도용 강관 외면테이프 도복장방법, 한국표준협회(2002).
6. 한국산업규격(KS), KS D 8501, 수도용 타르에폭시 도복장강관, 한국표준협회(2004).
7. 한국산업규격(KS), KS D 8502, 수도용 액상에폭시 도복장강관, 한국표준협회(2007).
8. 한국건설기술연구원, 수도용 도복장강관의 내·외면 도복장방법별 특성 비교 연구, 한국건설기술연구원(2002.12.31).
9. 한국산업규격(KS), KS D 3565, 상수도용 도복장강관, 한국표준협회(2002).
10. 한국산업규격(KS), KS M 3027, 플라스틱의 흡수율 및 비등수 흡수율 시험방법, 한국표준협회(2002).
11. ASTM D 543, Standard Practices for Evaluating the Resistance of Plastics to Chemical Reagents, 미국재료시험협회(2006).
12. ASTM D 1709, Standard Test Methods for Impact Resistance of Plastic Film by the Free-Falling Dart Method, 미국재료시험협회(2004).
13. 한국산업규격(KS), KS D 9502, 염수분무시험 방법, 한국표준협회(2005).
14. 한국산업규격(KS), KS D 3608, 수도용 에폭시수지 분체 내외면 코팅강관, 한국표준협회(1985).

15. 한국산업규격(KS), KS D 3619, 수도용 폴리에틸렌 분체 라이닝 강관, 한국표준협회(2007).
16. WSP 033-84 수도용 폴리에틸렌 분체 라이닝 강관, 일본 수도강관협회(1984).
17. WSP 035-85 수도용 우레탄 피복강관, 일본수도강관협회 (1985).
18. 한국가스공사, 가스강관용 압출식 3층 피복제조 및 검사 기준에 관한 연구(2001.12).
19. AWWA(American Water Works Association), "Standard for Painting Steel Water-Storage Tanks," *AWWA*, D102-64(1964).
20. AWWA, *AWWA M11 Steel pipe-A guide for design and installation*, *AWWA*(1987).
21. AWWA, "Polyurethane coatings for the interior and exterior of steel water pipe and fittings," *AWWA*, C 222-99(2000).
22. Satas, Donatas, "Coating Technology handbook 2nd edition," *dekker*(2001).
23. Collins, H.H., "The use of polyethylene sleeving for the protection of buried spun iron pipes," *BCIRA Journal*, **30**, 157~68(1982).
24. Drake, R. S., Egan, D. R., Murphy, W. T., *Elastomer-Modified Epoxy Resins in Coatings Applications*, *Epoxy Resin Chemistry II*. R.S. Bauer(ed.). ACS, Washington D.C.(1983).
25. Trew, J. E., Tarbet, N. K., De Rosa, P. J., Morris, J. D., Cant, J., Olliff, J. L., "Pipe material selection manual water supply," 2nd. edition, WRC plc, June(1995).