

## 지하 매설 구조물의 부식과 방식 III. 배관방식용 피복재

이 성 민 · 신 성 식 · 고 영 태  
경기도 안산시 일동 277-1, 한국가스공사/연구개발원

### Corrosion and Protection of Underground Structures III. Protective Coatings for Pipelines

Seong-Min Lee, Sung-Shik Shin and Young Tai Kho  
R&D Center/Korea Gas Corporation  
277-1 Ildong, Ansansi, Kyungdo 425-150, Korea

#### 1. 서 론

설비부식이 문제가 되는 경우에 흔히 양극방용이 잘 발생할 수 없는 안정한(내식성) 재료를 선택함으로써 부식 문제에 대처하려고 하는 경향이 있다. 그러나 이와 같은 내식성 재료의 선택은 기계적 특성과 같은 다른 조건이 만족된다 하더라도 가격이 비싼 경우가 보통이어서 경제적인 방식 대책이라고 할 수 없는 경우가 많다. 이 때에는 오히려 주변의 부식환경을 제어함으로써 경제적으로 저렴할 뿐 아니라 기계적 성질도 만족시킬 수 있는 방법을 선택할 수 있다. 예를 들어, 부식억제제를 사용하여 음극반응을 억제시키거나, 절연 조인트를 삽입하여 전자전도체를 절연하는 방법 등은 흔히 사용하는 방법이다. 피복(coating)도 이러한 환경제어형 부식 방식 방법의 하나라고 할 수 있다.

피복은 방수, 풍화방지, 미생물억제, 방화, 미관, 착색, 위생, 안전, 방오, 윤활 및 내마모, 열전달방지, 전기절연 및 방음 등의 다양한 목적으로 사용되거나 부식방지의 목적으로 가장 많이

사용된다고 할 수 있으며, 실제 일반생활이나 산업용, 또 사회간접시설 등의 주요설비에서 적용하고 있는 방식방법의 주류를 이루어 왔다<sup>1)</sup>.

넓은 의미에서의 피복은 도장(painting)과 피복(coating) 그리고 라이닝(lining)이라는 용어 등으로 구별하여 사용되거나 혹은 명확하지 않게 혼용되어 사용되고 있다. 여기에서 특별히 이들을 구별하여 정의를 하자면 라이닝(lining)이란 내식성을 부여할 목적으로 예외는 많지만 비교적 두꺼운 피복층을 내부에 형성시키는 것을 말하며, 이것보다 얇고 내식, 내마모 등의 목적으로 외부에 적용하는 것을 피복(coating)이라고 한다. 또한 도장(painting)이란 고분자 수지를 용매(solvent)에 녹인 재료인 페인트를 피도체에 도포하여 상대적으로 휘발도(volatility)가 높은 용매가 증발하고나면 용질(solute)인 페인트가 피도막을 형성하도록 하는 방법이다. 이는 비교적 얇은 막을 형성시키고 방식뿐 아니라 색상 조절이 용이하므로 자동차 외장처럼 장식 등의 목적으로 사용되며 열가소성 및 열경화성 수지를 동시에 사용할 수 있다. 따라서 넓은 의

미의 피복이란 설비본체 표면에 특정물질이 적용되어 부식방지 및 특수목적의 기능을 얻어내기 위한 것이라고 할 수 있다. 특별히 본 강좌에서는 주로 고분자 합성수지 및 고무 등의 매설배관에 적용되고 있는 방식용 피복재 및 그 체계에 대하여 언급하고자 한다.

한편 피복의 방식기구는 대체로 3가지가 있는데 그것은 i) 사용환경과 방식대상구조물 사이에 비전도성 매질을 삽입함으로써 부식발생의 구성요소인 반응이온물질의 이동을 물리적으로 막고자 하는 장애성 피복(barrier coating), ii) 사용환경에서 안정한 부동태 산화피막 형성 혹은 귀금속류의 cladding과 같이 전기화학적으로 안정된 피막을 형성하고 부식을 억제하고자 하는 부식 억제성 피복(inhibitive coating), 또 iii) 아연금속용사와 같이 친한 금속을 표면에 피복하여 방식대상구조물의 부식을 제어하고자 하는 희생성 피복(sacrificial coating) 등이다. 여기에서는 매설배관의 관점에서 주로 적용되고 있는 장애성 피복에 대해 설명하고자 하며, 기타 부식억제성 및, 희생성 피복의 학문적, 기술적 관심에 대해서는 다른 관련서적을 참고해 주시기 바란다.<sup>1,2)</sup>

매설배관의 부식 방지를 위하여 보편적으로 사용되고 있는 방식 대책에는 피복과 전기방식이 있다. 피복은 금속표면에 절연성이 우수한 물질을 사용하여 부식전기(corrosion cell)의 폐쇄회로 형성을 차단해 주는 방식 방법이며, 전기방식은 인위적으로 금속의 전위를 환원성 전위로 낮추어 줌으로써 양극산화반응이 일어날 수 없는 조건을 조장하는 방식 방법이다. 따라서 피복이 전기방식과 병행하여 사용될 때 피복의 의미는 방식대상 면적을 줄여 방식전류의 효율을 높이는 역할을 한다고 할 수 있다.<sup>3)</sup> 송유관이나 가스배관과 같이 안전성 측면에서 적극적인 부식 방지 대책이 요구되는 경우에는 피복과 전기방식을 병행하여 사용하는 것이 경제적으로 유리하며 많은 나라에서 법적인 사항으로

규정되어 있을 뿐 아니라 경험적으로도 그 효과가 인정되어 대부분의 설비에 적용하고 있는 실정이다. 이번 강좌에서는 특별히 매설배관류의 피복방식법에 대하여 살펴보고자 하며(다음 호에 접합부 피복과 피복의 유지관리에 대해, 그 다음 호에 전기방식에 대해 연재 예정) 현재 국내에서 널리 사용되고 있는 피복과 최근의 경향에 대해서도 소개하고자 한다.

## 2. 방식용 피복의 종류

### 2.1 유기 및 무기피복

피복은 크게 유기피복 및 무기피복으로 나누어지며 탄소결합을 갖는 유기피복재료는 주로 식물성기름, 동물성지방 및 왁스, 그리고 원유를 정제 또는 분해한 화학물질에서부터 얻어진다. 이러한 유기재료를 적합한 온도, 압력 및 촉매 존재하에서 고분자 반응(polymerization)을 통하여 겔 또는 고상으로 형성된 유기고분자 재료를 생산하게 된다. 따라서 유기 피복재는 그 의미상 유기고분자를 포함하고 있다. 유기피복재에는 알키드(alkyds), 에폭시(epoxies), 기름(oil), 타르(tar) 및 폴리에틸렌(polyethylene) 등이 있다. 특히 원유로부터 얻어지는 고분자 유기 피복재는 매설용 배관의 방식재료로 널리 사용되고 있다. 한편 무기피복이란 주로 Na, Li, K, Si 등이 포함된 염으로 만들어지며, 포스페이팅(phosphating), 메탈릭스(metallics), 실리케이팅(silicates), 세멘트(cement) 및 유리(glass) 등이 대표적이나 대부분이 유기고분자와 함께 사용되기도 한다.

### 2.2 고분자 플라스틱

고분자는 분자량이 수만이상 되는 것으로서 탄성체(elastomer)와 플라스틱(plastic)으로 구분된다. 탄성체의 예로서는 고무(rubber)이며, 플라스틱에는 열가소성(thermoplastic)과 열경화성(thermoset-plastic) 플라스틱으로 구분된다.

Table 1. Various Types of Thermoset-plastic

Mechanism	oxidation (산화반응)	co-reaction (공유반응)	condensation (축합반응)	hydration (수화반응)
Resin	Alkyd Drying oil Epoxy ester Phenol(oil-modified) Silicone alkyd Urethane (oil-modified)	Epoxy Coal tar epoxy Zinc rich epoxy Epoxy emulsion Rubber sheet lining Phenol(epoxy-modified) Urethane(moisture cure) Urethane(two component) Inorganic zinc (post cure)	Vinyl wash primer Furan Phenolic (highbake) Inorganic zinc (self cure, water reducible)	Continuous materials Inorganic zinc (self cure, solvent reducible)

Table 2. Various Types of Thermoplastics

Mechanism	evaporation(증발) : Lacquer dry	coalescence(합체) : Latex dry
resin	Asphalt/coal tar Chlorinate rubber Polyethylene Vinyl Vinyl acetate	Acrylic/latex emulsion

온도 증가에 따라 연화(softening)되면서도 냉각시에 원래의 경도 및 강도를 유지하는 것이 열가소성이며, 반면에 열을 가해도 연성을 보이지 않다가 고온에서는 분해 또는 산화되는 고분자를 열경화성 수지라 한다. 최근에 국내에서 실시된 쓰레기 재활용 과정에서 플라스틱이 문제가 되고 있는 것은 일반적으로 열가소성 플라스틱만이 재활용 가능한데 일반소비자는 쉽게 구분할 수 없기 때문이다. 이러한 열경화성이나 열가소성 성질은 고분자를 이루는 반복단위(repeat unit)에 반응기(functional group)의 존재 여부에 따라 분류된다. 열경화성 수지의 경우 반응기의 종류에 따라 경화기구도 달라지는데 그 계열 수지들은 Table 1과 같이 구분되며, 열가소성수지의 경우에도 두 가지의 생성기구에 의해 Table 2와 같이 분류되어 진다.

### 2.3 피복재료의 구성

고분자 피복재는 원래의 수지(virgin resin)에 안정제(stabilizer), 분산제 및 산화방지제 등을 용도에 적합하게 혼합하여 자외선 및 열적안정성 등을 유지시키며 또 색상 등을 구분하기 위한 안료(pigments)를 첨가한다. 또한 피복재가 특수한 환경에서 사용될 경우, 이에 적합한 첨가제를 사용하여 피복재 원래의 물성이 유지되도록 한다.

#### 2.3.1 안정제

고분자 피복재를 실제 사용 환경에 대한 저항성을 높이기 위하여 또는 피복재 가공시 나타나는 열화(degradation) 등의 문제점을 해결하기 위한 첨가제로서 안정제(stabilizer)가 사용된다. 예로서 폴리에틸렌을 배관에 적용하기 위하여 사출기에서 수지를 녹여서 압출시키는데 이 때 하터표면에 접촉되는 수지의 산화방지를 위한 산화방지제(열적 안정제) 또는 자외선 노출에 의하여 고분자가 열화되는 것을 방지하기 위한 자외선 안정제 등을 말할 수 있다.

#### 2.3.2 용매

용매란 주로 기저수지를 녹여 상온에서도 낮은 점도를 유지하여 작업이 용이하고 도막의 두께를 균일하게 하기 위하여 사용되는 것으로 주로 페인트 도장에 이용된다. 피막특성을 일정하게 하기 위하여 용매의 선택은 상당히 중요하며 고분자와 용해도(solubility)가 유사하며 휘발도가 높은 용매의 선정이 중요하다. 대부분 휘발성이 높은 용매로서는 알리파틱(aliphatic hydrocarbons), 방향족(aromatic hydrocarbons), 케톤(ketones), 에스테르(esters), 알코올(alcohol), 글리콜 에테르(glycol ethers) 등이 있으며 기저수지의 용해도와 유사한 용매를 선정하여 사용한다. 한편 별도의 휘발성 용매가 필요 없이 피막을 형성시킬 수 있는 수지가 있는데 대

Table 3. Various Types of Volatile and Non-volatile Solventss

Vehicle	volatile base vehicle (휘발성 용매)	non-volatile vehicle (비휘발성 피복재)
Sort	aliphatic hydrocarbons aromatic hydrocarbons ketones esters alcohol glycol ethers	acrylic alkyd asphalt chlorinated rubber coal tar drying oil epoxy phenolic polyvinylchloride silicone urethane vinyl

표적인 것으로 아크릴(acrylic), 알키드(alkyd), 아스팔트(asphalt), 염화고무(chlorinated rubber), 코울 타르(coal tar), 에폭시(epoxy), 페놀(phenolic), PVC(polyvinylchloride), 실리콘(silicone), 우레탄(urethane), 비닐(vinyl) 수지 등이 이에 속한다(Tabel 3).

### 2.3.3 기타

기타 첨가중에는 일반적으로 얻어내고자 하는 기능의 목적 외에 특수 목적의 기능을 추가하기 위하여 첨가되는 것들이 있으며, 이에 는 건조제(drying agent), 혼탁제(emulsion agent), 가소제(ease of flow), 광택제(gloss agent) 등이 있다.

## 3. 매설배관의 피복재

매설 배관의 방식 피복으로 많이 사용되고 있는 것으로서는 역청질(pitch; bitumen) 피복과 비역청질 수지 피복이 있다. 역청질 피복재는 아스팔트(asphalt)계와 코울타르(coal tar)계의 두 가지 종류가 있으며 각각 가열 용융하여 사용하는 가열형 및 상온에서 사용하는 용액형이 있다. 가열형은 두꺼운 피복이 가능하고 방식성 능도 비교적 우수하기 때문에 지하 매설물이라

든가 선박 내부에 사용된다. 용액형은 보통 도막이 얇고 방식능력이 떨어지며 대부분 흑색이라는 점때문에 합성수지 도료가 발달된 최근에는 그 용도가 많이 제한되고 있는 실정이다. 또한 이들은 고분자 수지를 개질하기 위한 첨가제로도 사용되는데 피막성능이 우수한 타르 에폭시가 그 예이다. 이러한 역청질 도료들은 수도, 가스 및 원유수송용 강관이나 선박용으로 많이 사용되고 있으나<sup>4)</sup> 국내에서는 가스배관의 피복재로서는 사용되지 않는다.

### 3.1 아스팔트마스틱 아스팔트, 비투멘(bitumen)

아스팔트류는 원유 정제시 정유탑의 하부에서 얻어지는 탄소수가 많은 검은 색의 화학물질이며 에나멜, 에멜전 및 컷백 등의 종류가 있는데 배관용 방식재료는 아스팔트마스틱 피복재가 널리 사용된다. 비교적 싼가격에 방식성능이 우수한 물성을 얻어낼 수 있다. 유지나 용제와 같은 분위기에 노출되면 녹거나 분해되어 방식능력이 크게 떨어지는 단점이 있다. 그러나 매설배관의 80여년 역사를 통하여 가장 널리 보편적으로 적용되어온 방식피복재이다. 우리나라에서도 부식문제가 상대적으로 심각하지 않은 매설구조물(탱크류 및 수도관)에 대해서는 다음의 타루(tar)계와 함께 널리 사용되고 있다.

### 3.2 타르, 코울타르(coal tar)

타르는 열가소성 재료로서 주요성분은 코울타르 피치(pitch)이다 이 피치는 석탄(coke)의 제조과정에서 회수되는 코울타르로부터 추출된다. 역시 코울타르에나멜 피복이 널리 사용되며 전기적 절연성이나 기계적 성질이 아스팔트에 비하여 다소 우수하다. 그러나 비교적 가격이 비싸서 아스팔트에 비하여 널리 사용되지는 않고 있다.

### 3.3 폴리올레핀(polyolefin) 수지

폴리올레핀 수지는 최근 매설배관에 널리 적

용되고 있는 피복재의 종류로서 비역청질 플라스틱 재료이다. 배관의 방식피복재로 널리 사용되고 있는 폴리에틸렌(polyethylene : PE)은 열가소성 수지이므로 분말 용착, 압출, 가열 수축 등 다양한 방법의 시공이 가능하다. 폴리에틸렌이외에 테프론(teflon)으로 알려진 불소수지, 아크릴 수지, 폴리프로필렌(polypropylene : PP), PVC 및 다양한 비닐류 등이 있다.

### 3.3.1 폴리에틸렌(polyethylene)의 종류

폴리에틸렌은 열가소성 플라스틱으로서 고분자 재료 중 가장 간단한 구조를 갖고 있을 뿐 아니라 현재 가장 많이 사용되는 플라스틱이다. 폴리에틸렌이 이처럼 활발히 사용되고 있는 이유는 가격이 저렴하다는 이유 이외에 뛰어난 전기절연성, 내화학성 등으로 적용범위가 넓고 가공성 및 기계적 특성이 우수하여 사용이 편리하다는 것이다. 폴리에틸렌은 고온 고압에서 에틸렌가스( $C_2H_4$ )의 중합에 의해 제조되는데 중합과정에서 반응조건에 따라 서로 다른 주쇄(main chain) 형태를 보이는데 일직선(linear)이거나 가지형태(branched)로 크게 구분된다. 이러한 분자 구조는 폴리에틸렌의 물성이 매우 큰 영향을 미치게 된다.

폴리에틸렌의 물성을 결정하는 가장 중요한 변수중의 하나가 밀도로서 밀도 범위에 따라 분류하는 것이 보통이다. 밀도가  $0.910 \sim 0.926 g/cm^3$  범위인 것은 저밀도 폴리에틸렌(LDPE),  $0.926 \sim 0.941 g/cm^3$  범위인 것은 중밀도 폴리에틸렌(MDPE),  $0.941 \sim 0.965 g/cm^3$ 인 것을 고밀도 폴리에틸렌(HDPE) 등으로 구분한다. 밀도가  $0.915 \sim 0.945 g/cm^3$ 이며 분자구조가 선형인 것을 선형 저밀도 폴리에틸렌(LLDPE)으로 따로 구분하기도 한다. 이러한 밀도는 수지의 결정화도(crystallinity)를 판단하는 척도가 되는데 밀도가 높을수록 결정화도가 높아지는 경향을 보인다. 이는 수지의 밀도가 높을수록 에틸렌 반복단위

(repeat unit)들이 선형으로 배열되면서 정렬되는 경향을 갖게 된다. 반대로 가지(branch) 형태가 발달하게 되면 분자의 조밀한 집적(compact packing)이 어려워지게 되므로 밀도가 낮아질 뿐만 아니라 결정화도 역시 낮아지게 되는 것이다. 폴리에틸렌 수지의 밀도값 범위는  $0.91 \sim 0.98$  정도로서 상대적인 차이가 크지 않으나, 소폭의 밀도 차이가 수지 물성이 미치는 영향은 매우 크다고 알려져 있다.<sup>2)</sup>

폴리에틸렌 피복재에 관한 한국산업규격은 KS D 3607(분말용착식 폴리에틸렌 피복강관), KS D 3589(폴리에틸렌 피복강관), KS D 3619(수도용 폴리에틸렌 분체라이닝 강관) 등이 있으며, 참고로 배복재가 아닌 배관채로서 폴리에틸렌관에 관한 규정도 있는데 KS D 3408(수도용 폴리에틸렌관), KS M 3514(폴리에틸렌관-가스) 등이다. 국외의 경우 NFA 49710(프랑스) 및 DIN 30670(독일) 등이 있다.

### 3.3.2 폴리에틸렌의 물성

폴리에틸렌 수지는 알칼리류로서 파라핀의 경우와 같이 비산화성 산 및 알칼리 그리고 수용액에 대해서는 우수한 저항성을 나타낸다. 그러나 질산과 같은 산화성 산은 산화작용을 일으켜 수지를 열화시키므로 주의하여야 한다. 폴리에틸렌 수지의 산화 또는 열화 속도는 상온에서는 무시할 수 있는 정도이나 자외선이 존재하는 경우에는 상온에서도 빠른 속도로 진행할 수 있다. 수지의 산화 및 열화는 높은 온도가 요구되는 피복공정에서 뿐만 아니라 이처럼 자외선 조건에서도 진행되므로 특별한 주의가 필요하며 이를 방지하기 위하여 자외선 안정제가 첨가되기도 한다. 일반적으로 가지분자의 발달이 억제되어 있는 고밀도 수지는 저밀도 수지에 비해 산화 및 열화에 대한 저항성이 큰 것으로 알려져 있다. 더욱이 자외선에의 폭로 시간이 길어지게 되면 카르보닐기에 의한 에너지 흡수 작용에 의해 수지가 취화되는 경향이 있다. 카르보



Fig. 1. The occurrence of hair cracks on polyethylene surface under ultraviolet-ray radiation from sunlight.

널기는 2200~3200 Å의 파장을 갖는 광선의 에너지를 흡수하는데 대기조건의 변화에 의해 자외선 차단 효과가 감소되는 여름철 등에 이러한 현상을 관찰할 수 있다. 그러므로 대기 중에 장시간 방치가 불가피한 경우에는 카본블랙과 같은 자외선 안정제를 첨가하여 수지를 안정화시키는 것이 필요하다. Fig. 1은 자외선 조사에 의해 발생할 수 있는 hair crack의 예를 보여주고 있다.

일반적으로 수지의 경도(stiffness)와 항복강도는 밀도에 상관관계가 있다. 인장강도 및 연신율은 수지의 분자량, 분자량 분포 및 밀도와 관계된다. 또한 폴리에틸렌의 파단점(break point)에서의 연신율은 수지의 밀도와 매우 밀접한 관련이 있으며 결정화도가 높은 수지의 연성(ductility)은 크게 감소되는데 특히 분자량이 작고 밀도가 높을수록 취화되는 경향이 큼을 알 수 있다. 폴리에틸렌 사용자의 입장에서 특히 관심있는 물성은 환경 응력균열 저항성(environmental stress crack resistance)과 충격 강도(impact strength)이다. 이 두가지 물성은 사용 중에 환경 변화에 따른 균열이나 충격에 의한 수지의 파손 등에 대한 저항성을 의미하는 지표로서 수지의 품질을 평가하는 중요한 기준이 된다. 우리나라에서는 이러한 물성치에 대한 기준

을 표준산업규격으로서 제시하고 있다.

폴리에틸렌의 열적 특성에 관해서는 아직 많은 논란이 있는 실정이다. 예를 들어서 폴리에틸렌의 유리전이온도(glass transition temperature)는 아직도 정확히 알려져 있지 않으며 대략  $-20^{\circ}\text{C}$  근처일 것으로 생각하고 있다. 그러나 수지의 기본적인 물성 차이에 따라 냉각시 취화되는 거동(brittle behavior)이 달라지는 것은 사용자의 입장에서는 매우 중요한 점이다. 냉각시에는 상온에서부터 취화해지는 것이 있는가 하면, 어떤 수지는  $-70^{\circ}\text{C}$  정도까지 원래의 물성을 유지하기도 한다. 일반적으로 분자량이 클수록 그리고 밀도가 작을수록, 즉 분자가지가 발달될수록, 취성이 나타나는 온도가 낮아진다.

폴리에틸렌 수지의 용융상태의 유동 특성은 수지의 가공방법을 결정하는 중요한 인자로서 일반적으로 폴리에틸렌 수지의 점도는 PVC보다 낮지만 나일론 수지보다는 높은 값을 갖으며 온도가 증가함에 따라 감소하는 경향을 보인다. 폴리에틸렌의 가공은 대개  $150\sim 210^{\circ}\text{C}$ 에서 이루어진다. 가공온도가 낮거나 압출속도가 빠른 경우에는 소위 탄성소요 현상(elastic turbulence)에 의해 제품 표면에 물결 모양이나 대나무 결과 같은 층을 형성하게 되므로 주의하여야 한다. 탄성소요 현상은 가지분자의 길이가 길어지거나 분자량 분포가 큰 경우에서보다는 선형 분자구조를 갖는 고밀도 수지에서 자주 관찰되는 현상이다.

### 3.4 에폭시(epoxy) 수지

에폭시 수지는 열경화성에 속하는데 수지 자체로는 경화후 매우 단단하고 화학물질에 대한 저항성도 별로 높지 않아서 방식재료로서의 특성이 매우 부족한 편이다. 그러나 다른 재료, 예를 들어 폴리마이드계 혹은 아민계와 공중합(copolymerization)을 일으켰을 때 혹은 지방산 등과 에스테르 반응을 일으켰을 때에는 에폭시 수지는 대단히 좋은 증방식 피복재가 될 수 있다.

이미 아민이나 폴리아민과 가교결합된 코올타르 에폭시는 내습성과 내화화성이 좋아 널리 사용된 바 있으나, 자외선에 대한 저항성이 그다지 좋지 못하다.

배관에 적용되는 형태는 다양한데 코올타르 에폭시는 가스배관의 내부도장용으로, 2액형 에폭시는 현장에서 용접접합부 피복시 하도로, 고체 분말 형태의 에폭시수지는 정전도장에 의한 배관의 공장피복용 하도로서 적용되고 있다. 마지막에 언급된 소위 FBE(fusion-bonded epoxy) 층은 나중에 소개되었지만 3층 피복의 첫번째 층으로 적용되고 있는데 FBE 층은 화학적, 온도 저항성외에 금속에 대한 접착력과 음극박리 저항성측면에서 기존의 압출식 폴리에틸렌 피복에 비해 상당히 향상된 성능을 가지고 있어 최근에는 미국 및 유럽의 파이프라인 중에서 FBE만을 단독으로 두겹게 피복하여(정상 조건 : 약 375~400 $\mu\text{m}$  ; 콘크리트중, 습지, 및 고온 작동 조건 : 약 750 $\mu\text{m}$ ) 사용되고 있는 경우가 대부분이다.

에폭시계 피복재의 관련 기술규격은 캐나다표준인 CAN/CSA Z245.20 또는 21-M92 그리고 영국가스회사의 규격인 BCG/PS/CW 6 Part 1 등이 있으며, 국내 산업규격은 KS D 3608(수도용 에폭시 수지분체 내외면 코팅강관)이 있으나, 이는 제목에서도 이미 수도용이라고 구분하고 있으므로, 가스 및 원유배관에 적용되고 있는 분체에폭시(FBE)에 관한 규정은 아직 없다고 할 수 있다.

### 3.5 폴리우레탄(polyurethane) 수지

폴리우레탄은 매우 다양한 열경화성 수지로서 1930년대에 개발되었으며, 단순히 이소시아네이트(isocyanate)와 폴리올(polyol)이 반응하여 생성되며, 자체가 발열반응을 일으키므로 비교적 낮은 온도에서도 사용될 수 있다. 폴리에틸렌은 파이프의 내외부 방식용으로 사용될 때에는 주로 solvent를 사용하지 않고 주재(resin)와 경화

제(hardener)가 동시에 고압으로 이송되어 스프레이 건을 통하여 고온의 에어리스 스프레이 방식으로 피도체 표면에 적용된다. 이러한 작업방식을 100% 고체피복(solid coating)이라 한다. 고압으로 작업되므로 내압 이송호스 안전 공구, 설비 등을 충분히 갖추고 작업이 진행되어야 한다. 물성 향상보다는 단순히 경제적 측면에서 타르(tar)를 15 또는 30% 첨가하기도 하며, 일반적으로 첨가 성분이 많을수록 물성은 저하된다. 방식을 목적으로 사용할 경우, 폴리우레탄의 적용은 겔화시간(gelation time)의 정도에 따라 작업조건을 다르게 할 수 있는데, 예를 들면 가사시간이 낮은 경우(1시간 이상) 붓이나 로울러를 이용하여 이형부위 등에 작업이 가능하고, 빠른 경우(10분 혹은 수초 이하) 용접부에 주조(casting) 형태로 적용할 수 있다. 탄성 폴리우레탄은 낮은 접착력과 음극박리 특성으로 인하여 배관에 사용되기 어려우며, 나머지는 모두 사용될 수 있는 것으로 추천되고 있다. 그러나 배관의 사용환경 온도가 높은 경우 첨가제가 없는 비신축의 것만이 사용될 수 있다.

배관 방식용 폴리우레탄 피복은 에폭시 피복과 특성상 비슷하다고 볼 수 있다. 즉 배관면과 화학적인 결합을 통하여 접착력이 특히 우수하고, 화학적 저항성이 뛰어난 특징을 갖고 있다. 그러나 에폭시와 마찬가지로 충격저항성이 낮아서 건설시 기계적 충격에 특히 유의하여 사용될 필요가 있다. 또한 주재수지와 경화제의 결합반응으로 폴리우레탄 피복층이 형성되는 만큼 반응에 참여하지 못한 반응기가 남게 될 경우 수분을 흡수하여 경화반응이 느린 속도로 진행된다. 현장 또는 공장에서 적용할 때 분만 에폭시 적용시와 마찬가지로 특히 표면전처리를 확실히 확보하는 것이 고품질을 얻는데 관건이 된다고 볼 수 있다. 한편 고밀도폴리에틸렌외관에 열수송강관을 집어 넣고 2중관을 사용하는 지역난방관에서는 방식의 목적이라기 보다는 단일의 목적으로 경화성 폴리우레탄폼(rigid polyurethane

foam)을 사용한다.

### 3.6 고무 및 부틸고무(butyl rubber)

고무와 탄성체(elastomer)는 고분자플라스틱과는 구별되는 재료로서 대부분 칼럼(column), 용기(vessel), 탱크(tank) 및 배관(pipin)의 라이닝재로 사용되고 있다. 화학적안정성은 고무의 종류와 합성에 따라 다른데, 대부분의 합성고무가 화학공업계의 필요에 의해서 개발되었다. 이들 합성고무는 천연고무의 모든 성질을 갖추지는 못하지만 한가지 혹은 그 이상의 우수한 장점을 지니고 있다. 폴리이소프렌이나 폴리부타디엔 합성고무가 천연고무에 가장 비슷한 성질을 보인다. 천연고무나 합성고무에 황을 첨가하여 경화시키면 고무가 망상구조로 되어 경도와 강도를 높일 수 있게 된다.

합성고무로서의 부틸고무는 기본적으로 공기뿐 아니라 대부분의 가스류에 대해 투과성이 낮다. 경년변화나 오존에 강하고 다른 합성고무에 비하여 아로마틱을 제외한 유기화학약품에 대해 강한 저항성을 갖는다. 그러나 상대적으로 하이드로 카본류나 기름 등에는 약한 편이다. 매우 묽은 천연 산이나 알칼리에서는 저항성을 나타내며 황산과 질산을 제외한 진한 산에 저항성이 높다. 주로 상업적으로 적용되는 분야는 열수축 피복재의 방식층으로 사용된다. 열수축외피는 가교폴리에틸렌이 사용된다.

## 4. 방식피복의 중요 물성

### 4.1 피복성능 평가인자

다음에서는 방식피복재가 갖추어야 할 기본적인 물리적, 화학적, 기계적인 인자들에 대해 설명하겠는데 적어도 새로운 피복재의 개발과정에서는 제반 물성들이 검토되어야 할 것이다.

#### 4.1.1 내화학성(chemical resistance)

내화학성이란 화학물질 노출에 대한 피복재의

산화(oxidation) 또는 열화(degradation)에 견디는 정도를 의미한다. 화학적으로 살펴보면 화학물질이 고분자피복재의 주쇄(main chain)를 산화시켜 끊어 버림으로서 분자량 및 흐름지수를 변화시킴을 의미하며 물리적으로는 인장강도, 파단신율 및 인성(toughness) 등의 수치가 현저하게 저하됨을 의미한다. 따라서 피복재는 화학적으로 안정해야 하는데 이를 위하여 외부환경인 화학물질과 극성(polarity)이 큰 차이를 나타낼수록 유리하다.

#### 4.1.2 내수성(resistance to water)

부식을 일으키는 근본적인 원인이라고 할 수 있는 물에 대한 저항성은 매우 중요하다. 왜냐하면 대부분의 환경에서 물은 어떠한 형태로든 존재하며 피복은 일차적으로 피도체가 습기로부터 접촉되는 것을 차단하기 위한 것이기 때문이다. 그런데 물은 보편적이며 대표적인 용매로서 여러 가지 형태 및 방법으로 유기물질에 영향을 미치게 되므로 각종 피복재가 내수성을 보이는 것이 그리 쉬운 것은 아니다. 따라서 내수성은 매우 중요한 성질이라 할 수 있으며, 이를 다시 내흡수성(absorption) 및 내투과성(moisture vapor transport) 등으로 세분할 수도 있다. 모든 고분자 피복은 주쇄들 사이에 각각 서로 다른 크기의 자유 공간(free volume)이 존재하며 고분자 자체의 분자량, 유리전이온도, 주쇄의 구조 및 사용되는 피복재 환경의 압력 등에 따라 다르게 된다. 여기에서 전해질 또는 물이 고분자 피복재를 통과할 수 있는 정도를 투과도(permeability)라고 하는데 자유공간의 크기와 고분자 피복자체의 극성(polarity)에 직접적인 관계가 그러므로 피복재는 흡수율이 낮고 물과 같은 전해질의 극성과 차이가 큰 고분자를 선정하여야 한다.

#### 4.1.3 접착강도(adhesive strength)

접착강도란 피복된 고분자층이 피도체(배관)



사이의 계면(interface)에서 분리될 때의 힘 또는 분리에 필요한 힘으로 정의되는데 이를 접착력으로 혼용하기도 한다. 이러한 접착강도는 피복층과 피도체 사이의 결합이 어떠한 종류인가에 따라 동일한 물질이더라도 상이한 차이를 보인다. 결합에는 물리적 결합(physical bonding)과 화학적 결합(chemical bonding)이 있으며 전자의 경우는 정전기적인 힘인 van der Waal's 결합에너지, 피도체 표면적 및 형태에 의한 기계적 결합(anchoring)이 있고 후자의 경우는 화학적으로 반응하여 새로운 계면을 형성하는 경우로서 전자에 비하여 접착강도 등이 매우 높다. 매설배관의 경우 1층피복(반발용착식)은 물리적 결합만이 작용하고 2층 및 3층 피복은 접착제(폴리에틸렌 공중합체) 및 에폭시에 의한 화학적 결합이 동시에 작용한다. 따라서 3층 피복의 접착강도는 1층에 비하여 약 15배이상으로 측정된다. 높은 접착강도는 외부의 전해질이나 물의 삼투압과 수화결합력(hydrogen bond energy)을 충분히 견디어 시간의 경과에 따라 피복층이 피도체 계면에서 박리되지 않게 되며 특히 물 등에 영향을 잘받지 않는 에폭시 또는 불소수지같은 화학결합은 화학적으로 극심한 반응기(reactor) 등에도 널리 사용되고 있다.

#### 4.1.4 유전상수(dielectric constant)

피복재가 전기적인 절연물질 경우 절연과 관련한 유전상수가 매우 주요한 인자가 될 수 있다. 방식개념은 부식매질과 부식성물질과의 전기적인 부식회로를 차단하는 것이므로 이 유전상수의 크기는 피복재의 전지적 파괴저항성의 크기를 나타내며 물리적으로 전자나 이온 등의 통과경로가 되지 않는 정도를 나타낸다고 할 수 있다. 이러한 유전강도는 전기방식을 수행할 경우에 중요성이 더해지는데 유전강도가 높을수록 금속표면의 풍부한 전자들의 이동성을 차단하여 방식에 필요한 음극전류의 양을 최대한 줄이게 되어 경제적인 효과를 얻을 수도 있기 때문이

다. 한편 이러한 유전상수는 앞서 언급한 내수성과 밀접한 관계를 갖기도 한다.

#### 4.1.5 충격저항(impact resistance)

충격저항은 피복층이 외부의 급작스런 충격(impact)에 의하여 파괴될 때 필요한 에너지로서 이의 수치가 높을수록 질긴 재료(toughened material)로 분류되며 온도와 충격속도에 큰 영향을 받는다. 이러한 수치는 배관망을 건설할 때 장비 및 토양내의 자갈 등에 의한 예기치 못한 충격에 배관위의 고분자 피복이 변형 및 파괴되지 않도록 하는 정보를 유추할 수 있다. 이러한 충격 저항은 다음의 내마모도와 매우 밀접한 관계를 갖는다.

#### 4.1.6 마모저항(wear or abrasive resistance)

피복후 외부의 빈번한 기계적 마찰에 대한 피복재의 안정성을 의미하는데 예를 들면 선박의 승무원들이 빈번히 오르내리는 승강계단에 방식도료를 처리했을 때 계속되는 반복통행으로 인하여 서서히 마모가 되어 가는 것을 볼 수 있는데, 피복재는 이러한 외부의 기계적 반복 마찰에 대해 저항성을 가져야 할 것이다.

피복후 외부의 빈번한 기계적 마찰에 대하여 피복재가 견디는 내구성을 의미한다. 가스배관의 경우, 땅을 파기 어려운 도로 및 하저·해저 구간에 사용하는 압입공정(피복관을 미리 가설해 높은 덕트에 밀어 넣는 공법) 등에서 피복층과 토양 또는 콘크리트 사이의 마찰력을 충분히 견디어야 하므로 이의 수치가 물리적으로 중요한 의미를 갖는다. 통행량이 많은 승강계단에 방식도료를 처리했을 때 계속되는 승객들의 반복통행으로 인하여 피복층이 서서히 마모가 되어 가는 것을 볼 수 있으므로 피복재는 이러한 외부의 기계적 반복 마찰에 대해 충분한 저항성을 가져야 할 것이다. 또한 자동차가 고속으로 주행할 때 외부의 유체와 직접 접촉하는 부위인 범퍼 및 본넷 등에서는 유체내의 흙 등에 대

한 손상이 다른 부위보다 많이 된 것을 쉽게 볼 수 있는데 피복층을 피도체에 사용할 때에는 방식능 뿐 아니라 피복층의 손상을 방지하기 위한 충분한 내마모도를 고려하여야 한다. 또한 이러한 내마모도는 유체와 접촉하는 부위에서는 고속에서의 충돌 및 케비테이션 등에 대한 저항성 지표도 될 것이다.

#### 4.1.7 인장성질 (tensile property)

인장강도 및 파단연신율 등은 외부에서 작용하는 응력에 대해 피복재 고유의 기계적 물성을 의미하며 재료과학적 측면에서 기본적인 재료물성 인자이다. 이는 고분자 재료의 특성인 동점탄성(visco-elastic property)으로 인하여 온도 및 인장속도에 따라 현저한 차이를 보이므로 규격에 따른 시험이 요구된다. 인장성질의 물리적 의미는 피복층을 배관에 피복하는 공정에서 생산속도와 관계된다. 또한 생산후 피복층이 외력에 의하여 변형 및 파괴가 되지 않을 정도로 다루기 위한 기본 지침이 된다. 일반적으로 위의 수치들이 높을수록 우수한 피복재로 판단할 수 있다. 일반적으로 고강도와 높은 파단연신율을 갖을수록 외부로부터의 하중이나 충격 등에 저항성을 갖는다고 할 수 있다. 또한 경화과정이 필요한 유기피복재의 경우 수축등으로 인한 내부응력에 충분히 견딜 수 있어야 하는 바 Fig. 2와 같이 균열 발생이 일어날 수 있다.

#### 4.1.8 적용 온도(temperature)

고분자 피복재는 자체의 고유한 동점탄성을 보이는데, 낮은 온도( $T_g$  이하)에서는 주쇄를 이루는 단량체(monomer)가 진동하고, 주위의 온도가 상승하여 유리전이 온도이상에서는 반복단위(repeat unit ; 단량체가 20~50개가 결합된 것으로 어느정도의 고체상태를 이루는 정도의 크기를 지닌 화합물)가 움직임(movement)을 보인다. 더 높은 온도( $T_m$  ; melting point)에서는 주쇄가 완전한 흐름을 보이게 된다. 이보다 더

높은 온도에서 고분자 주쇄가 끊어지며(chain break) 이를 산화 또는 열화현상이라 말한다. 더욱 높은 온도에서는 반복단위 또는 단량체도 산화되어 일산화탄소 또는 황산화물 등이 발생하여 대기 오염원이 된다. 그러므로 버려진 열가소성 고분자는  $T_m$  이상의 온도로 가열하여 재활용할 수 있다. 고분자 피복재의 일반적인 사용 온도 범위는  $T_g$ 와  $T_m$  사이이며(폴리에틸렌피복)  $T_g$  이하에서는 저온취성을 나타내므로 사용할 수 없으며  $T_m$  이상의 온도에서의 피복재는 고체상태가 아닌 겔 또는 액상이 되어 물리적인 치수안정성이 없으므로 사용할 수 없다. 고분자 피복층이 아닌 코울 타르 및 아스팔트는 온도의 변화에 따라  $T_g$ ,  $T_m$  등의 구분이 없다.

#### 4.1.9 기타

기타 사용온도 범위에서 안정된 피복물성을 나타내야할 뿐 아니라 내후성, 미생물 저항성, 내구성, 외관유지력도 고려해야할 인자들중의 하나이다. 특별히 배관이 매설되는 경우에는 1) 토양 응력 저항성, 2) 음극박리 저항성<sup>5,6)</sup> 등이 중요한데 운영중에 전기방식을 하게되는 경우에 음극박리 저항성 같은 지표는 피복재 성능을 평가할 때 접착력 못지 않게 고려되어야 하는 중요 인자이다. Fig. 3은 음극방식을 적용하고 있는 현장에서 발생된 음극박리의 한 예를 보여주고 있다.

## 4.2 피복의 선택기준

### 4.2.1 사용환경 및 사용조건

피복재가 적용되어 운전될 상황에서의 주변의 노출 환경을 고려해야 한다. 즉 부식경향의 높고 낮음이라든가 특히 화학물질의 존재 유무 및 성질 등에 따라 적용할 수 있는 피복을 선택하여야 할 것이다. 또 피복이 적용될 대상설비가 정상적 조업조건에 가동될 때에는 물론이며 비정상적인 극단적 조업조건에서도 적용이 가능한



Fig. 2. Cracks along longitudinal welding seam of pipe in extruded polyethylene coating.

피복체계를 고려할 필요가 있다.

#### 4.2.2 재질 및 표면상태

피도체의 재질이 무엇이며 표면상태는 어느 정도로 전처리가 가능한 지에 따라 피복을 적용할 수 있는 범위나 종류가 한정될 수 있다. 예를 들어 비록 좋은 물성을 보이는 피복체계가 있다 하더라도 최상의 표면처리 등급을 요구하는 것임에 비해서 전처리 작업이 곤란한 여건이라면 선택의 폭이 줄어들 수밖에 없다. 그러나 반드시 성능을 우선적으로 요구할 때에 신중히 고려해야 할 사항이다.

#### 4.2.3 시공중의 대기조건

피복재의 대부분의 경화과정을 겪게 되며 이러한 경화과정은 적절한 온도, 습도 및 노점 등이 영향을 미치게 된다. 다시말해 시공중 경화에 필요한 절대적 특성온도 혹은 습도가 제시되는 것이라면 실제 시공현장을 고려해야 하는데 매우 치명적인 피복선택의 기준이 될 수도 있다.

#### 4.2.4 신규 혹은 유지관리 적용여부

배관이 신설되느냐 혹은 유지관리의 차원에서 배관이 보수되느냐에 따라 선택할 수 있는 피복의 종류가 제한될 수 있다. 이는 다음의 공장피복/현장피복과도 밀접한 관계를 갖지만 실제 배관 보수 환경에 알맞는 피복재는 신규로 신설되

는 사업에 적절하지 않을 수도 있기 때문이다.

#### 4.2.5 공장/현장 적용

배관시공은 표준관을 사용하여 현장에서 용접하여 확장해 나가므로 이러한 용접부위를 현장피복처리해야 하는 일이 불가피하게 발생한다. 즉 직관에 대해 적용할 수 있는 공장피복과 현장 배관이음매를 처리하는 현장피복은 동시에 함께 고려되어야 한다. 일반적으로 최상의 피복물성을 얻기 위하여 기계화, 자동화 및 분위기조절이 손쉬워 제품의 신뢰성을 높일 수 있는 공장피복기법에 의존하여 공장피복과 동일한 피복체계를 적용하는 것이 좋으며, 불가피하게 현장여건에 제한되어 피복처리를 하게 될 때에는 작업자의 숙련성에 많이 의존하게 되므로 이를 잘 극복할 수 있는 현장피복 체계를 선택할 것을 권장한다.

#### 4.2.6 환경규제사항

재료의 제조, 첨가물 및 적용방법상 환경규제 관련 법규에 저촉되지 않는가 고려해야 한다. 예를 들어 인구밀집지역에서의 분진 및 소음을 내는 공정을 사용한다거나 독성 화학용매 첨가물, 그리고 음용 및 식품 관련 설비에 유해 도료류 사용제한 규정을 잘 살펴보아야 할 것이다.

#### 4.2.7 예산

피복재의 기술적 성능에 비하여 경제적 효과

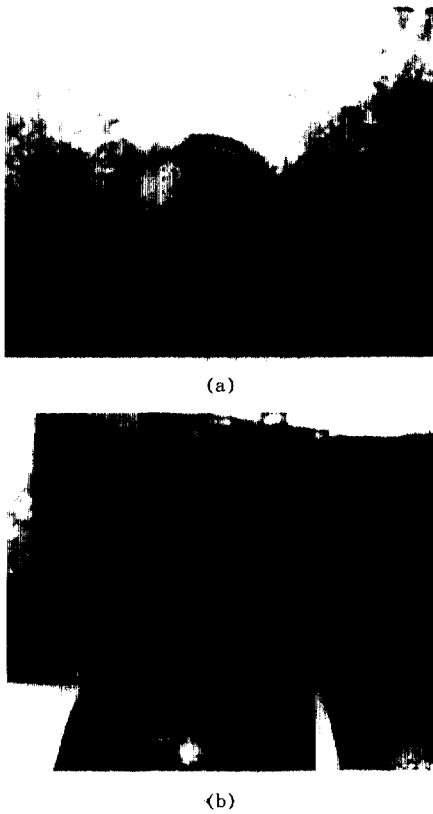


Fig. 3. (a) Mechanical damage of protective coating and (b) disbondment beneath coating due to cathodic protection.

가 어느 정도인지 잘 살펴보고 예산에 알맞은 피복시스템의 선정이 필요할 것이다. 그러나 이 경우에 설치비용뿐 아니라 장기적인 유지관리비용도 함께 고려하여 안정된 피복체계를 선택할 수 있는 자세가 요구되기도 한다.

이상에서는 배관피복재 선정시 고려해야할 일반적 조건을 나열하였으나, 특별히 배관이 매설되는 경우에 매설 환경-매립지역일 경우 내화학적 여부, 작업기술의 고도화 여부 및 신규 및 보수여부의 여부, 공장/현장 적용 여부 등의 인자들을 잘 고려하여야 할 것이다.

## 5. 최근 신기술 및 국내현황

### 5.1 공장피복의 세대 변천

#### 5.1.1 제1세대 : 비플라스딕계(에나멜 및 마스틱)

배관의 초기 방식체계를 구성하는 것으로 그 기저는 주로 코울타르 또는 아스팔트 등이었다. 최근에 와서 이들 물질의 환경규제 경향으로, 또 이후의 훌륭한 피복체계의 출현으로 그 사용이 크게 제한될 것으로 예상된다. 그러나 매설 및 작업환경이나 경제적인 이유 등으로 계속 사용되기도 한다. 외국에서는 가스관에도 널리 사용되었거나 일부 아직도 사용되고 있으나 우리나라에서는 상수도 배관이나 대형 하수관에 주로 이용되고 있으며 가스배관에는 사용경험이 없다.

#### 5.1.2 제2세대 : 폴리에틸렌 접착제 테이프

미국에서는 매우 널리 적용된 바 있으나, 음극방식시에 차폐현상(shielding)이 심하여 최근에는 사용이 감소하는 추세이거나 사용을 제한하는 경향이다. 국내가스배관에서 건설초기에 일부가 매설되기도 하였으나 곧 다음의 압출식 폴리에틸렌 비관으로 대체되었다. 알려진 문제들에도 불구하고 지금도 미국에서는 테이프 피복이 아직도 약 30% 가량이 배관 재피복시 선호하는 최우선 피복 체계로 나타나 있다.<sup>7)</sup> 그러나 이는 이 체계가 최상이라서라기보다는 현장에서 적용이 가능한 이상적 피복체계가 부재하기 때문인 것으로 분석되고 있다.

#### 5.1.3 제3대 : 압출식 폴리에틸렌 피복

유럽에서 가장 많이 사용되었던 피복 체계이며 미국에서는 신규사업으로 두번째로 많이 채택되었으며, 국내에서도 80년대이후로는 대부분을 차지하고 있다. 취급용이성, 내흡수성, 재현성있는 물성의 특성으로 사용은 지속적으로 이루어질 것으로 예상된다. 폴리에틸렌 분말에 의해 용융접착하는 상업용 배관도 있으나 이는 주

로 적용공법 특성상 엘보우, 밸브 등의 이형형상에 적용되고 있다.

#### 5.1.4 제4세대 : 용융접착에폭시(fusion-bonded epoxy)

높은 접착력뿐 아니라 토양응력 및 음극박리에 대한 저항성으로 인해 최근 선호도가 가장 좋으며 최근 미국내 신규배관사업에 채택되는 비폭재로서 일 순위를 기록하고 있다.<sup>7)</sup> 유럽에서도 대부분의 국가에서 1~5년전부터 이러한 방법의 피복체계를 전면적으로 채택하여 사용하고 있으며,<sup>8)</sup> 이 피복은 표면처리 및 적용온도가 매우 중요하다. 지금까지 대부분의 적용은 육상에 대해서 주로 이루어 졌으나 최근에는 Mobil North Sea와 같은 해상건설프로젝트에 도입되고 있는 추세이다. 국내에서 지하매설배관류에의 경험이 많지 않지만 세계적으로는 상품적 수명으로 보았을 때 매우 안정된 성숙의 단계라고 할 수 있으며, 특히 성질을 보다 개선하는 분말에폭시 재료들이 시장에 나오고 있다.<sup>9)</sup>

#### 5.1.5 제5세대 : 에폭시/폴리올레핀 2중 또는 다층체계

용융접착에폭시(FBE)의 특징과 폴리올레핀의 특징을 살리면서 단점을 극복한 최신피복 체계이다. 대부분의 피복물성은 제4세대의 단독으로 두껍게 피복하는 FBE와 동일한데 하도로 사용될 때 FBE층이 얇게(50~70 $\mu$ m) 적용되고 있기 때문에 제4세대로 FBE를 완전히 세대교체 시키는 것으로 볼 수는 없다. 왜냐하면 외부에 적용된 폴리올레핀에 의한 충격저항이 상대적으로 유리한 반면에 반드시 모든 사용조건에서 FBE보다 좋은 것은 아니기 때문이다. 또 하도인 에폭시 층의 음극박리저항성과 굽힘의 유연성은 서로 상반되어 사용자측면에서는 타협점을 찾을 필요가 있다. 한편 소위 다층피복시스템에서 사용되는 FBE의 두께는 점차로 두꺼워지고도 있는데 하도로서 약 250 $\mu$ m까지도 적용되고 있다.

특히 에폭시/폴리올레핀 체계는 고온 특성이 좋기 때문에 약 90 $^{\circ}$ C 내외의 원유수송관에 주로 적용되고 있다.<sup>10)</sup>

국내에서는 한국가스공사에 의해 단구간이기는 하나 인천 LNG기지로부터 영종도 신공항으로의 해저배관에 적용되고 있다.<sup>11)</sup>

### 5.2 국내 실태<sup>12)</sup>

현재 국내 지하매설관로로서 관리운영되고 있는 설비는 Table 4와 같다. 이하에서는 각종 매설물을 관리하는 관련 법규에서 피복과 관련한 근거를 살펴보고 실제 적용 실태를 기술하고자 한다

#### 5.2.1 가스배관

가스배관에 대해서는 천연액화가스의 경우 도시가스사업법 및 시행규칙 등에서 액화석유가스의 경우 고압액화석유가스사업법 및 시행규칙에서 주로 규정하고 있다. 그러나 매설되는 관에 대한 방식용 피복체계는 크게 구별이 없으며 아래의 도시가스사업법시행규칙에서와 같이 폴리에틸렌 및 동등이상의 피복 등으로 규정되어 있다(부록참조).

공장피복으로는 폴리에틸렌의 분말상을 고온에서 용융 용착하는 분말법의 1층 PE 피복관(KSD 3607), 압출식의 2층 PE 피복관(KS D 3589), 그리고 최근 가스공사에서 처음도입하고자 하는 FBE/압출PE 체계의 3층 피복관(공업진흥청 신제품 평가)이 사용되고 있으며, 현장피복으로로는 열수축재가 배타적으로 사용되고 있다.

#### 5.2.2 송유배관

미국석유협회 규격강관을 사용하고 있으며 이 경우에도 관내압력, 부식여유두께 및 제작오차등을 고려하여 관두께를 결정하여 사용한다. 강관외부 및 용접부에는 원칙적으로 가스배관에서와 동일한 폴리에틸렌 피복처리를 하고 있다.

Table 4. Current State of Underground Structures

Class	Manager	Cum. Length (km)	Materials and Dia.(mm)	Design Pressure (kg/cm <sup>2</sup> )	Depth (cm)
LNG관	한국가스공사	1,500	강관 Ø(610-760)	70	120~160
도시가스관 (LPG관포함)	27 도시가스사	13,000	강관 Ø(50-500)	8.5	120
송유관	대한송유관공사	58 (인천-서울)	강관 Ø(300-500)	10~99	120~160
	한국송유관공사	96 (대산-천안)	강관 Ø(300)		
	국방부	452 (포항-의정부)	강관 Ø(300-250)		
전기배전관	한국전력공사	1,698	PVC관, 흙관 Ø(50-300)		
통신관	한국통신공사	77,812	PVC관 Ø(50-300)		
상수도관	한국수자원공사 지방자치단체	37,609	주철관, 강관등 Ø(80-2,800)	외압 10	120~150
하수도관	지방자치단체	46,110	PVC관, 흙관등 Ø(150-2,000)		100 이상

### 5.2.3 열수송관 (지역난방관)

피복재의 종류에서 소개한 바와 같이 고밀도 폴리에틸렌의 관에 열수송강관을 집어넣어 2중관을 사용하여 있으며 단열의 목적으로 경화성 폴리우레탄폼(rigid polyurethane foam)을 사용하고 있다. 적극적인 방식의 개념보다 누출감시를 위해 폴리우레탄폼내부에 수분을 탐지할 수 있는 센서를 설치하여 관리하고 있는 것이 특징이다. 건설현장에서의 용접수 접합부위는 가스배관과 마찬가지로 열수축재를 사용하고 있는데 다음의 연재에서 보다 자세한 내용을 기술하고자 한다.

### 5.2.4 광역상수배관

일반적으로는 상수도관에 대해 강관의 두께에 있어서 부식여유를 두는 개념을 채택하고 있다. 약 2mm 정도이며, 부식방지를 아스팔트 피복강관을 사용하거나 광역상수도관의 경우 필요한 경우 전기방식을 하고 있다. 하수도관의 경우

방식용 피복의 개념은 없으며 외압에 견딜 수 있는 흙관을 사용하거나, 철근콘크리트관 및 PC관 등을 사용한다

### 5.2.5 기타 : 전선 및 통신관로

전선 및 통신성 보호를 위한 것이므로 내부압력을 없고 외압에 대해서만 고려하고 있다. 사용되는 종류로는 합성수지관, 흙관, 강관 등을 혼용하여 사용하며 강관의 두께 5mm정도가 된다. 이 때 강관의 경우 지중케이블의 기계적 보호를 목적으로 하기 때문에 보호강관의 부식방지는 고려하지 않고 있다.

## 참 고 문 헌

1. C. G. Munger, Corrosion Prevention by Protective Coatings, National Association of Corrosion Engineers, Houston, TX 1986.
2. F. W. Billmeyer, Jr., Textbook of Polymer Science, Wiley, Korea 1984.
3. W. H. Thompson, K. P. Fischer, Corrosion/92, Paper no. 424, NACE, Houston, TX 1992.
4. C. D. Tracy, Pipe Line & Gas Industry, February, P. 27, 1997.
5. J. A. Beavers and N. G. Thompson, Materials Performance, April, p. 13, 1997.
6. U. Steinsmo and J. M. Drugli, Materials Performance, April, p. 21, 1997.
7. S. Nunez, K.E.W. Coulson, L.C. Choate, and J. L. Banach, A Review of Gas Industry Pipeline Coating Practices, American Gas Association Report, Cat. no. L51586, 1988.
8. D. Gray, A. Brown, C. J. Argent, "Corrosion Control on High Pressure Gas Pipelines", 5th Intern. Conf. on the Internal and External Protection of Pipes, Paper G1, Innsbruck, Austria, 25-27 October, 1983.
9. J. W. Cox, D. Grimshaw, C. D'Agostino, Materials Technology Trends to improve Multi-Layer Coatings : Challenges to Traditional Thinking,

Proceedings of the the International Pipeline conference, vol, I, p. 243, ASME, Canada, Calgary, 1996.

10. R. Norsworthy, High Temperature Pipeline Coatings Using Polypropylene over Fusion Bonded Epoxy, Proceedings of the International Pipeline Conference, vol. I, p. 253, ASME, Calgary, Canada, 1996.
11. KOGAS Standards, GSM-001 Standards for Polyethylene Coating, Korea Gas Corporation, 1997.
12. 정부자료, 건설공사 시공과 관련한 지하 매설물 안전관리 요령, 건설교통부, 1995.

## 부 록

도시가스사업법시행규칙 중 [별표 7] 가스사용시설의 시설기준 및 기술기준

### 1. 배관

#### 가. 배관의 재료 및 부식방지 조치

- (1) 배관의 재료에는 안정성을 확보할 수 있을 것

(2) 지하매설배관(관이음매 및 부분적으로는 노출되는 배관을 포함한다)의 재료는 폴리에틸렌 피복강관으로서 KS 표시허가제품 또는 이와 동등 이상의 성능을 가진 것으로 하고, 이음부에는 이와 동등 이상의 부식방지조치를 할 것 다만, 사용압력이  $4\text{kg/cm}^2$  이하인 배관으로서 지하에 매설하여 설치하는 경우에는 가스용 폴리에틸렌관으로서 KS 표시허가제품 또는 이와 동등이상의 성능을 가진 제품을 사용할 수 있다.(중략)

#### 나. 배관의 표시 등

배관의 표시 등은 다음 기준에 의할 것(중략)

(2) 지상배관은 부식방지도장후 표면색상을 황색으로 도색하고, 지하매설배관은 최고사용압력이 저압인 배관은 황색, 중압인 배관은 적색으로 할 것. 다만, 지상배관의 경우 건축물의 내외벽에 노출된 것으로서 바닥(2층 이상 건물의 경우에는 각층의 바닥을 말한다)에서 1m 높이에 폭 3cm의 황색 띠를 2중으로 표시한 경우에는 표면색상을 황색으로 하지 아니할 수 있다.