

PE 선피복 파형강관의 부식 및 마모 특성

김석구^{*} · 정장식^{*} · 곽필재 · 최준향 · 이현동 · 이태운

한국건설기술연구원 건설환경연구부

^{*}환경관리공단 기술진흥처

Corrosion and Abrasion Characteristics of PE Sheet Laminated Corrugated Steel Pipe

Seog-ku Kim[†] · Jang-sik Jeong^{*} · Phill-jae Kwak · Jun-hyang Choi · Hyun-dong Lee · Tae-yoon Lee

Construction Environment Research Department, Korea Institute of Construction Technology

^{*}Engineering Promotion Department, Environmental Management Corporation

Abstract : Feasibility of using PE sheet laminated CSP(Corrugated steel pipe) to sewers were tested via corrosion and abrasion tests for PE sheet laminated CSP; 1) corrosion test for PE film and PE coated plate, 2) corrosion test for joint of PE sheet laminated CSP, 3) corrosion test for outside of PE sheet laminated CSP, and 4) abrasion test for inside of PE sheet laminated CSP. The results for the corrosion and abrasion tests are as follows.

1. Results for corrosion tests on PE films and zinc coated steel plates that were coated with PE films show that the surfaces of both PE were not changed compared to those of original PE samples. Furthermore, PE films maintained strong adhesion on the steel plates even though they were exposed to sewage and seawater provided cutting planes of the steel plates were treated with molding. But, results for corrosion tests on the spots that were previously cut off by a knife and a cutting planes of the steel plates were treated without molding show that steel plates have been corroded if they were exposed to sewage and seawater.

2. Results for corrosion tests on joints of PE sheet laminated corrugated steel using sewage show that gathering rust was observed at cutting plane of PE sheet laminated corrugated steel after 180 days, but PE film was not flaked off. However, PE film at cutting plane was flaked off when PE sheet laminated corrugated steel was exposed to seawater. Furthermore, flaking process was severely progressed at lockseam points of which the surfaces were not smooth.

3. Results for laying PE sheet laminated corrugated steel under the ground show that the surface of untouched PE film was almost identical to that of original PE film. However, the spots that were previously cut off by a knife and a cutting plane of PE sheet laminated corrugated steel have flaked off.

4. As a result of abrasion tests conducted with PE sheet laminated corrugated steel and sand, brilliance and thickness of PE was not greatly changed under the severe abrasion conditions. Therefore, the durability of PE sheet laminated corrugated steel for abrasion was determined to be good.

keywords : Abrasion, Corrosion, PE sheet laminated CSP(Corrugated steel pipe)

1. 서 론

파형강관(Corrugate steel pipe, CSP)은 1896년 미국에서 처음 개발되어 유럽 등 다른 여러 나라에서 우수관이나 배수관으로 널리 사용하고 있으며, 높은 강도, 간편한 시공, 우수한 경제성 및 용이한 운반 등의 장점 때문에 현재 미국의 경우 전체 배수관의 40% 이상을 점유하고 있다. 미국 파형강관협회(NCSPA)의 연구에 의하면 파형강관은 다양한 토양 및 수질조건에서 약 100년 이상의 수명을 유지할 수 있는 것으로 알려져 있으며, 특히 인버트(Invert, 관의 하부로서 아치를 의미하며 물과 접촉하는 부분)에 대해 적절한 코팅이나 표면처리를 함으로써 사용년한을 연장시킬 수 있

다고 한다.^{1,2)} 물론 파형강관도 부식이 진행되며, 이러한 현상은 지역조건이나 토양, 수질에 따라 다르게 나타난다.

국내에서는 1990년대 초에 제품이 처음 생산되어 현재 10여개의 업체에서 파형강관을 생산하고 있으며, 각 생산 업체는 품질관리 및 제품의 고급화 등을 위해 1998년 한국 파형강관협의회(KCSPA)를 결성하여 제품의 수요확대 및 신제품 개발에 노력하고 있다. 포스코에서 1990년 12월 열연강관에 용융아연 도금처리(Hot rolled galvanized iron, HGI)를 하는 산세도금설비(Pickling & galvanizing line, PGL)를 준공하여 용융아연도금 피복처리한 파형강관을 보급하기위해 파형강관 제작업체와 공동으로 개발 및 수요확대를 추진하고 있다. 그리고 최근 파형강관의 내·외면의 내구성을 증대시키기 위하여 포항산업과학연구원(RIST)에서 폴리에틸렌(Polyethylene, PE) 선피복 파형강관을 개발하여 J사에서 생산 중에 있다.³⁾ PE는 내화확성이 강하기 때

[†] To whom correspondence should be addressed.
sgkim@kict.re.kr

문에 PE 선피복 파형강관은 하수관거의 부식문제를 해결할 수 있는 기존 하수관의 대체 제품으로 수요가 확대될 것으로 전망된다. 그러나 이를 하수관에 적용하기 위해서는 기본적으로 하수관거에서 발생하는 문제점에 대한 적응성 여부, 문제가 발생할 가능성이 있는 경우, 이에 대한 대처방안 등에 관한 연구를 진행하여야 하며, 기존 하수 관중에 대한 장·단점 여부를 기 매설된 파형강관의 현장조사를 통해 비교 검토하여야 한다.⁴⁾

따라서 본 연구에서는 PE 선피복 파형강관의 하수관거 적용 가능성 평가를 위하여 PE 선피복 파형강관의 부식 및 마모 특성을 파악하고자 한다.

2. 재료 및 방법

PE 선피복 파형강관의 부식 및 마모 특성을 살펴보기 위해 다음과 같은 4가지 실험을 수행하였다.

2.1. PE 필름 및 PE 선피복 시편의 부식 실험

본 실험은 단기간에 PE 선피복 파형강관의 하수관거 적용성을 평가하기 위한 실험으로 일반 하수에 의한 부식성 실험 외에 일반 하수를 산성 및 알칼리성으로 조절하여 PE 선피복 파형강관의 부식성을 평가하였다. 또한, 간척지나 해안지역에서의 하수관거 적용성을 평가하기 위하여 해수에 의한 부식성 평가 실험도 수행하였다.

실험방법은 Fig. 1과 같은 아크릴 반응조 4조에 (W40cm × L60cm)에 PE 필름 및 PE 피복 시편(Fig. 2)을 설치(Fig. 3)하고 하수 및 해수를 100일간 순환시켰으며, 필름 및 시편 표면의 상태 변화를 육안 및 주사전자현미경(Scanning electron microscopy, SEM) 촬영을 통하여 PE의 부식성 및 피복관의 치명적인 약점인 피복의 박리현상 정도를 관찰하였다.

시편을 설치한 반응조에 하수(R1, R2, R3) 및 해수(R4)를 주입하여 시편이 수중에 완전히 잠기게 하였다(Fig. 3). 실험에 사용한 하수는 K시 하수종말처리장 유입전의 차집관거 맨홀에서 채취하였다. 일반적인 하수원수(R1)외에 좀더 극한 수질에 의한 영향을 평가하기 위하여 하수 원수에 염산을 첨가하여 산성으로 변화시킨 하수(R2), 하수 원수에 수산화나트륨을 첨가하여 염기성으로 변화시킨 하수(R3)에

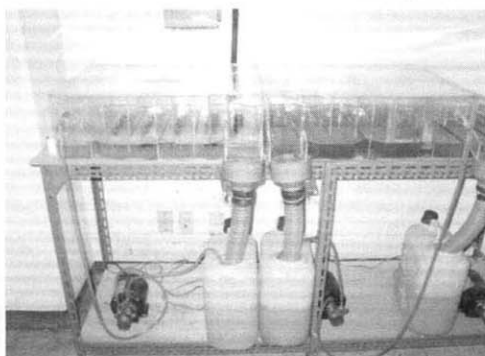
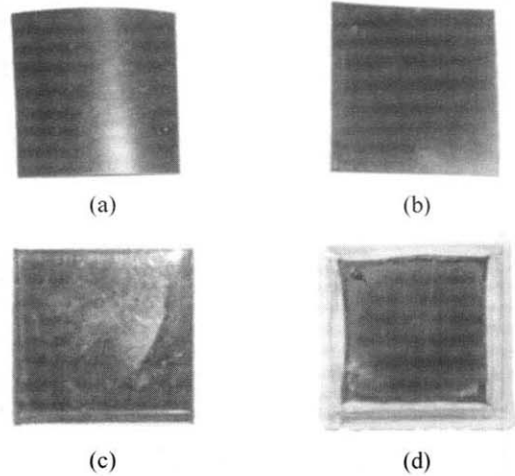


Fig. 1. Corrosion test reactor.



a: PE(WJ company). b: PE(JM company)
c: PE coated plate, d: PE coated plate(mold)

Fig. 2. PE test pieces.

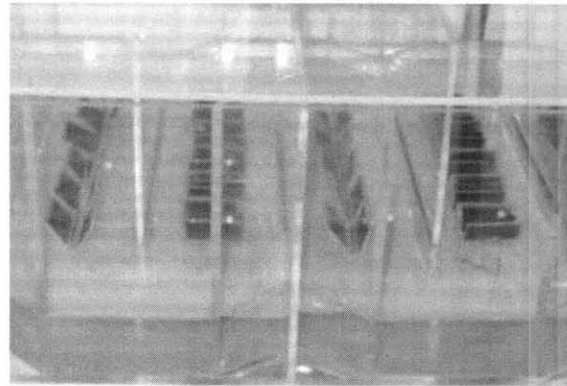


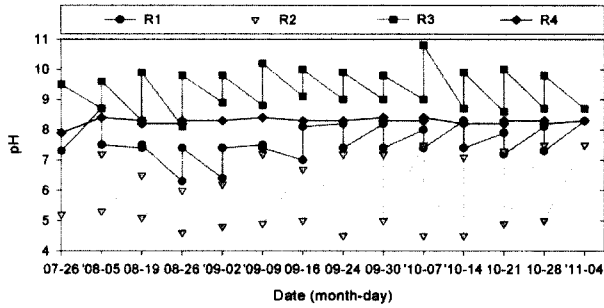
Fig. 3. Installed test pieces.

대한 실험을 병행하였다.

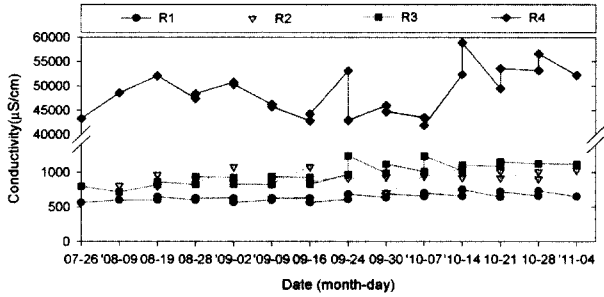
펌프(유량 7L/min)를 이용하여 하수 및 해수를 순환하였고 그 유속은 2.5~3.5cm/sec이었다. 하수의 수질은 고형물 침전, 이산화탄소 용존 및 다른 반응에 의해 변화하기 때문에 7일마다 하수를 교체하였고, 해수의 수질은 큰 변화가 없어 주기적으로 증발로 인한 부족분을 보충해 주었다. 실험초기 하수 및 해수의 수질 특성을 Table 1에 나타내었고, 실험기간 중의 수질변화는 Fig. 4에 나타내었다.

Table 1. Characteristics of water quality

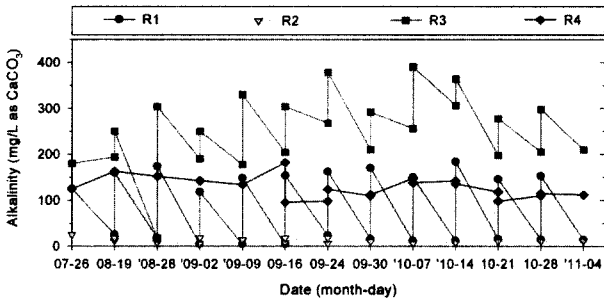
Items	R1	R2	R3	R4
pH	7.3	5.2	9.5	7.9
Conductivity(μΩ/cm)	564	802	798	43,300
Alkalinity (mg/L as CaCO ₃)	125	25	180	125
Hardness (mg/L as CaCO ₃)	47	68	71	42
Chloride(mg/L)	42	131	52	4,176
Sulfate(mg/L)	47	47	54	2,050
SS(mg/L)		163		15
COD(mg/L)		237		-



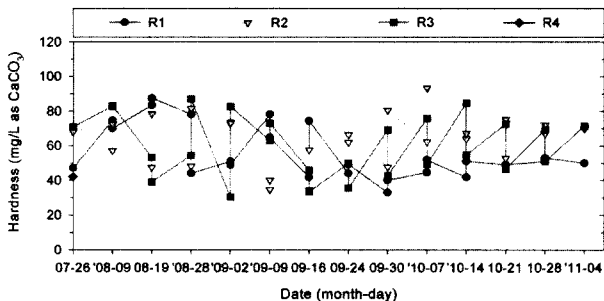
(a) pH



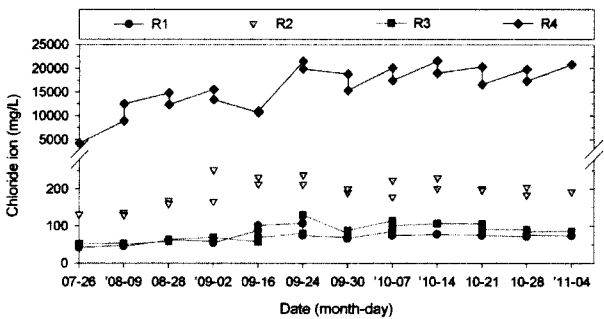
(b) Conductivity



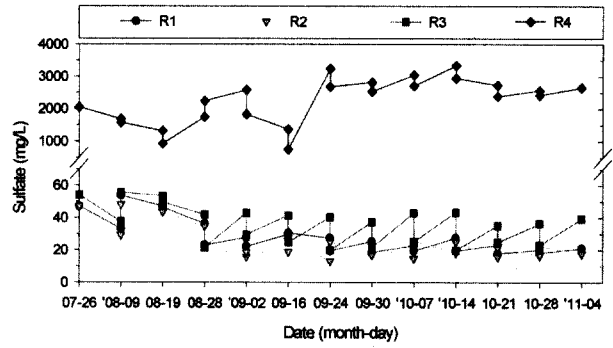
(c) Alkalinity



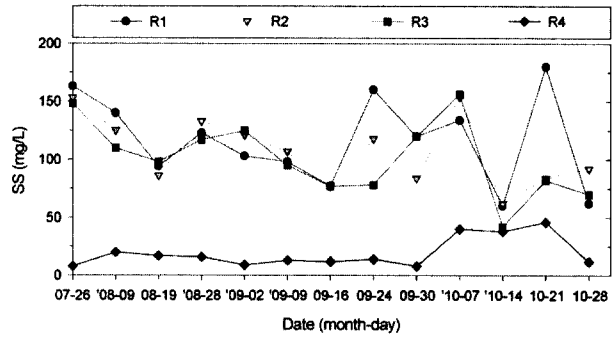
(d) Hardness



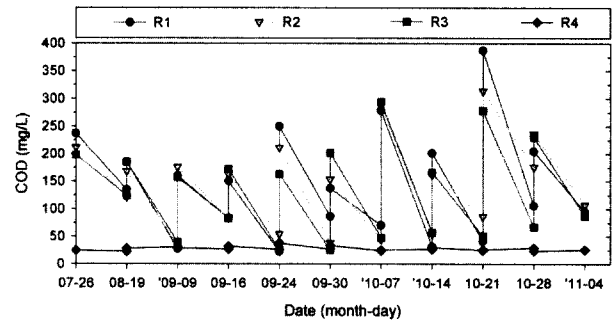
(e) Chloride



(f) Sulfate



(g) SS



(h) COD

Fig. 4. W.Q. variations of tested water.

2.2. PE 선피복 파형강관의 연결부의 부식 실험

J사에서 생산하는 PE 선피복 파형강관의 말단부분은 피복되지 않은 상태로 슬리브 사이의 고무패킹에 의해 수밀성을 확보하며 연결한다. 관 절단면이 고무패킹 속을 파고 들어가는 하지만 이는 피복되지 않은 관 절단부와 하수와의 접촉을 방지할 수 없기 때문에 연결부의 부식성을 평가할 필요가 있다.

본 실험은 Fig. 5와 같이 길이 1m 인 PE 선피복 파형강관 2개를 연결하여 양 단면을 용접한 반응조에 하수 및 해수를 각각 140L 주입하여 밀봉한 후 180일 동안 방치하였다. 주입한 하수 및 해수는 2.1절에서와 같이 하수원수(R1), 염산을 첨가하여 산성조건으로 만든 하수(R2), 수산화나트륨을 첨가하여 알칼리성으로 만든 하수(R3) 및 해수(R4)로, 각 반응조에 주입한 하수 및 해수의 수질 특성은 Table 1과 같다.

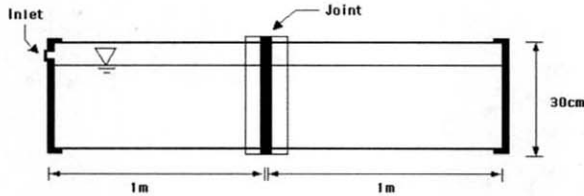


Fig. 5. Joint corrosion test reactor.

2.3. 파형강관 종류별 외면 부식 실험

파형강관의 토양에 의한 외면 부식성 평가를 하기 위하여 J사, S사, P사(나관)에서 생산된 파형강관을 각 제조사별로 3개(직경 30cm, 40cm, 50cm)씩 총 9개를 K연구원 부지 내에 매설하여 285일 동안 방치하였다(Fig. 6). 깊이 약 1.5m 정도 굴착한 후 모래를 10cm 정도 깔고 관이 덮일 때 까지 모래로 뒤채움 하여 그 위층에 굴착해낸 풍화토를 덮은 후 굴삭기를 주행시켜 다짐하였다. 매설한 폴리에틸렌 피복 파형강관의 일부는 칼집을 내었다.

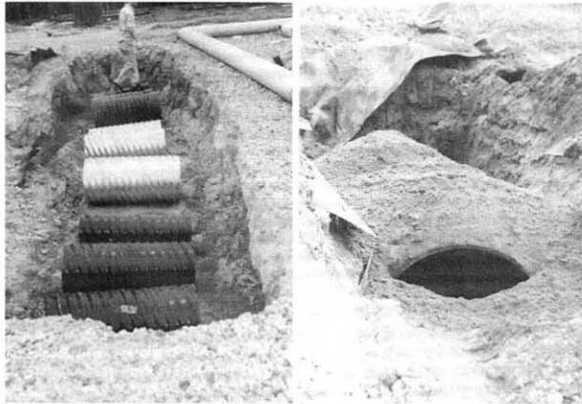


Fig. 6. Laying site.

2.4. PE 선피복 파형강관의 마모 실험

하수관거 내에는 모래와 같은 고형물들이 퇴적되어 있다 가 유량이 많을 때는 Flush out된다. 이 때 관거 표면은 고품 입자와의 마찰로 인해 침식된다. 따라서 본 실험은 PE 선피복 파형강관에 물과 모래를 채워 흔들어 주면서 모래에 의한 피복 PE의 마모성을 평가하는데 목적이 있다. 실험 장치는 Fig. 7과 같고 J사에서 생산한 직경 30cm, 길이 50cm인 PE 선피복 파형강관에 물 12L, 모래 3kg을 넣어 상하 45° 각도로 왕복 72,000회(1일 8시간을 운전하여 90일간 720 시간 운전, 왕복 100회/시간)를 흔들어 준 후 피복된 PE의 마모도를 평가하였다. 실험장치는 모래입경을 달리 하여(S : 모래입경 0.3 ~ 0.5mm, B : 모래입경 0.5 ~ 2mm) 2조로 운전하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. PE 필름 및 PE 선피복 시편의 부식 특성

하수 및 해수를 순환시키면서 시편의 표면변화를 육안으로 관찰하였고, 40일 및 100일 경과 후 각각의 시편을 반

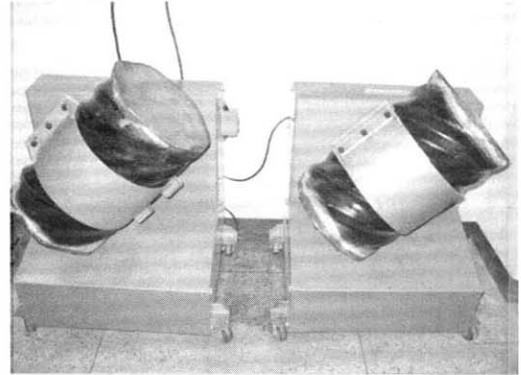
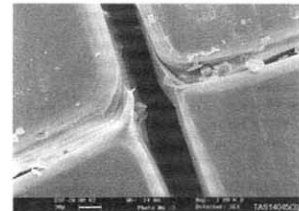
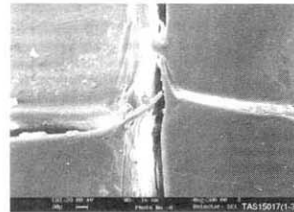


Fig. 7. Abrasion test reactor.



<Before>



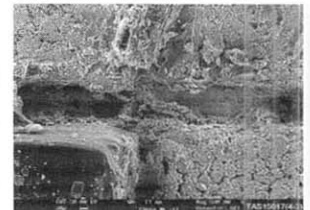
<R1>



<R2>



<R3>



<R4>

Fig. 8. Photographs of SEM(40 days, X500).

응조에서 채취하여 표면변화를 육안으로 정밀조사 한 후, SEM으로 시편의 표면변화를 검사하였다. 40일 경과 후 시편 표면의 SEM 촬영결과는 Fig. 8과 같다. 육안관찰 및 SEM 촬영 결과, PE 필름과 몰딩처리한 PE 피복 시편의 표면변화는 관찰되지 않았으나, 몰딩처리 하지 않은 시편의 각 절단면과 십자모양으로 칼집을 낸 부분에서 아연이 용해되면서 OH와 결합하여 백색의 Zn(OH)₂가 생성된 것을 알 수 있었다. 육안 관찰결과 그 정도는 R4 > R3 > R2 > R1의 순이었고, R1, R2는 그 정도가 크지 않았다. 그리고 R4의 경우 30일 경과 후부터 PE가 탈리되기 시작하였다. R4 시편은 PE 피복이 탈리되어 SEM 촬영을 위해 시편을 절단할 때 PE 피복의 3/4이 떨어져 나간 것을 알 수 있었다.

100일 경과 후 SEM을 이용한 각 시편의 표면을 촬영한 결과(Fig. 9) PE 필름과 PE 피복 시편의 표면은 하수와 해

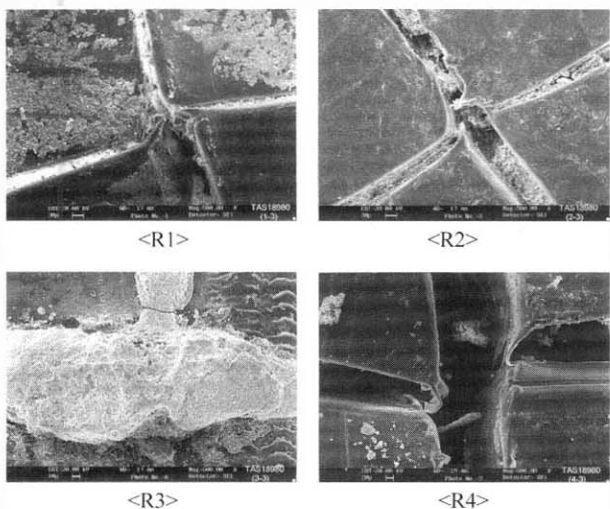


Fig. 9. Photographs of SEM(100 days, X500).

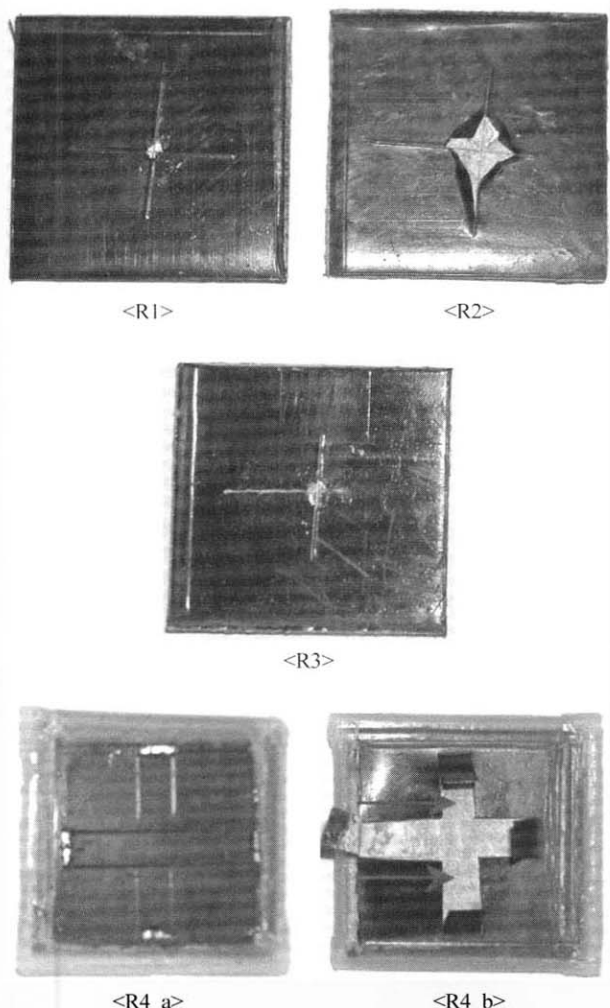


Fig. 10. Permeation of tested water(100days).

수(R1~R4) 모두에서 변화가 관찰되지 않았다. 물딩처리하지 않은 시편의 각 절단면과 십자모양으로 칼집을 낸 부분에서는 백색의 Zn(OH)₂층의 두께가 40일 경과 후 보다 두꺼운 것으로 나타났다. 또한 시편의 절단면에서 붉은색의

녹이 발생하기 시작하였다. 알칼리성인 R3에서 Zn(OH)₂의 생성량이 가장 많은 것을 알 수 있었으며, Zn(OH)₂는 시간이 경과하면서 피복층이 두꺼워져 수산화피막(Hydroxide film)을 형성하였다. R4의 경우 아연이 용해되어 수산화피막도 없어지고 해수의 침투로 PE는 탈리되어 들떠 있는 것을 알 수 있었다.

해수의 침투 정도를 평가(Fig. 10)하기 위하여 십자모양으로 칼집을 낸 시편에 인공적인 힘을 가하였으나 R1 및 R3 시편은 수산화피막의 형성으로 절단면으로 해수의 침투가 없었던 것으로 판단되며, 부착력은 실험 전 시편의 부착력과 비슷하여 PE를 벗길 수 없었다. 그러나 R2는 R1 및 R3에 비해 해수의 침투가 진행되고 있음을 알 수 있었다. R4의 경우는 물딩처리하지 않은 시편의 PE 대부분이 박리되었기 때문에 물딩 처리한 시편 내부를 칼로 잘라 해수의 침투 정도를 평가하였다. R4 a와 같이 물딩처리가 양호한 시편에서는 해수의 침투가 없었으나, R4 b와 같이 물딩처리가 불량한 부분에서는 해수가 침투하여 시편 전체로 전파된 것을 알 수 있었다. 장기간 실험을 하면 해수에서도 해수와 같이 피복이 손상된 부분으로 해수의 침투가 일어나 PE가 박리될 가능성을 배제할 수 없을 것으로 판단된다. 따라서 PE 선피복 파형강관의 성능을 제고하기 위해서는 철저한 품질관리가 이루어져야 할 것으로 판단되며, 특히 이음매(Lockseam) 부분의 핀홀 발생을 방지할 수 있는 품질관리가 이루어져야 할 것으로 판단된다.

3.2. PE 선피복 파형강관의 연결부위 부식 특성

해수 및 해수를 채워 180일 경과 후 연결부를 해체하여 관 말단부의 변화를 관찰하였다. Fig. 11과 같이 해수(R1, R2, R3)에서는 절단면에 약간의 녹이 발생되었으나 피복된 PE는 탈리되지 않았다. 그러나 해수(R4)를 채웠던 PE 선피복 파형강관은 절단부위 둘레로 PE가 탈리되어 안쪽으로 전파되고 있었으며, 특히 이음매 부분으로부터 전파된 부분

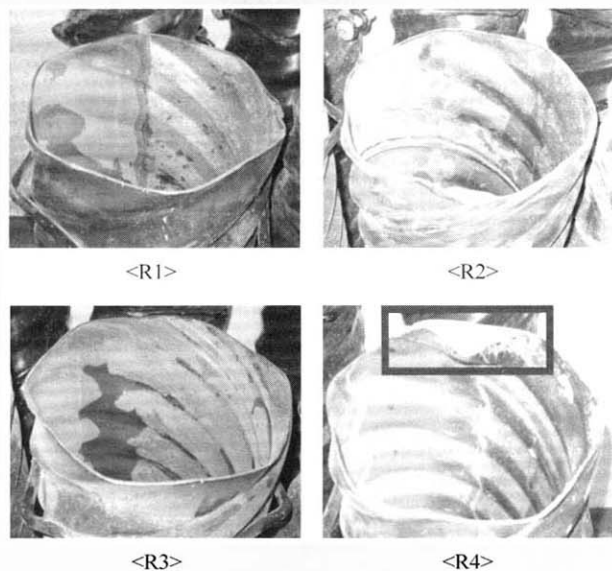


Fig. 11. Corrosion of pipe end.

이 큰 것으로 나타났다. 또한 단면의 기저부에 붉은 녹이 발생했으며, 특히 해수에서 녹 발생량이 많아 부식이 진행되고 있음을 알 수 있었다. 180일의 실험기간 중 해수에서는 피복한 PE가 탈리되지 않았으나 현장에 적용하면 수년 내에 절단부에서의 PE 탈리가 일어날 가능성을 배제할 수 없어 장기간 모니터링이 필요하며, PE 탈리로 인한 파형강관의 부식이 가속화될 잠재가능성이 높다고 할 수 있다. 따라서 절단부와 하수의 접촉을 방지할 수 있도록 제조방법을 개선할 필요가 있는 것으로 판단된다.

3.3. 파형강관 종류별 외면 부식 특성

매설된 파형강관을 285일 경과 후 굴착하여 파형강관의 부식 및 PE 피복 상태를 관찰하였다. 굴착 시 토양부식 인자를 측정하기 위하여 뒤채움 모래와 풍화토를 채취하였다. 토양부식 인자로는 토양의 비저항, 함수량, pH, 염소이온 농도, 황산이온 농도 등이 있으며, 각 인자를 분석(Table 2) 하여 ANSI와 DVGW에 의한 토양부식성을 고찰한 결과, 약한 부식성을 나타내었다.^{5,6)}

굴착한 파형강관 내외면의 피복 상태를 관찰한 결과(Fig. 12) 피복이 손상을 받지 않은 부분은 변화가 없었으나, J사에서 생산한 시편에 칼집을 낸 곳의 PE가 부분적으로 탈리되었고, 절단부에서도 탈리가 시작되었다. 또한 J사와 S사의 PE 피복 시편 내·외면에 부식과 같은 붉은 녹이 발견되었으나 이것은 편흔이 발생한 곳의 부식이 아니라 토양 중의 철과 같은 물질이 침적되면서 산화된 것으로 판단된다. J사 PE 시편의 피복 탈리부분과 P사의 피복하지 않은 시편의 표면은 아연이 용해되면서 백색의 Zn(OH)₂가 생성되면서 부식이 진행되고 있었다.

3.4. PE 선피복 파형강관의 마모 특성

절단한 파형강관 시편 내부 표면변화를 육안 관찰 후 PE의 두께와 광택도를 측정하였으나 모래와의 마찰이 심한 아랫부분과 마찰이 없는 윗부분의 피복된 PE는 큰 변화가 없었다. Fig. 13에 절단한 파형강관의 마루, 중간 및 골 각각 12지점에 대한 PE 두께측정 결과를 나타내었고, Table 3에 광택도에 대한 결과를 나타내었다. 광택도는 모래와 마찰이 심한 아랫부분이 좀 떨어지나 큰 차이가 없었다. 따라서 PE 선피복 파형강관의 마모에 대한 내구성은 양호한 것으로 판단된다.

이와 같이 PE 선피복 파형강관의 부식 및 마모 특성을 평가한 결과, 선피복 파형강관은 부식 및 마모에 취약한 기존 파형강관의 대체 하수관으로서 활용도가 높을 것으로 판단된다. 그러나 PE 선피복 파형강관의 활용도를 제고하

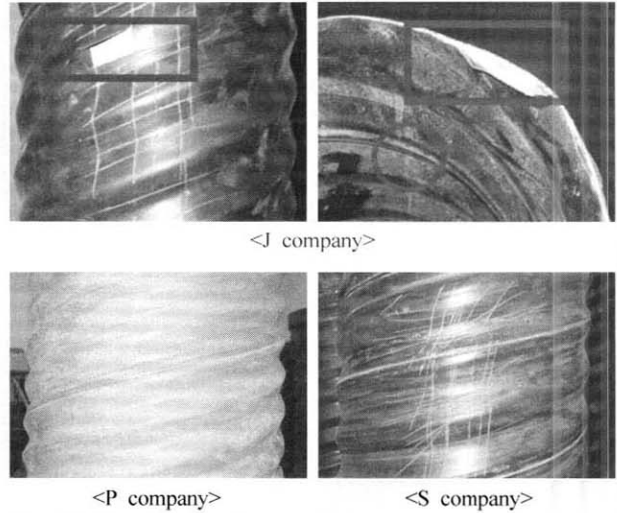


Fig. 12. Results of soil corrosivity test.

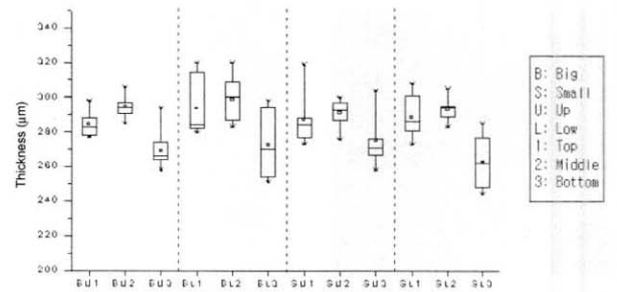


Fig. 13. Thickness of PE sheet laminated CSP assigned points.

기 위해서는 엄격한 품질관리 및 시공관리로 PE 피복에 손상이 없도록 하여야 하며, 관 말단부 처리기술을 개발하여야 할 것이다. PE 피복 손상 시에는 적절한 기술을 활용하여 손상부위를 복구하여 사용하여야 한다. PE 피복이 손상된 PE 선피복 파형강관을 현장에 부설할 경우에는 PE 피복이 박리되어 관의 내구년수가 저하될 가능성을 배제할 수 없기 때문이다. 특히, 파형강관 자체가 해수에 노출되면 PE 피복의 박리와 함께 파형강관 자체의 부식을 초래할 수 있어 해수의 유입이 우려되는 지역에서는 PE 선피복 파형강관의 사용에 신중을 기울여야 할 것이다.

4. 결론

PE 선피복 파형강관의 하수관거 적용 가능성 평가를 위한 PE 선피복 파형강관의 부식 및 마모 실험을 수행하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

1. PE 필름 및 아연도금 강관에 PE를 피복한 관체시편의

Table 2. Result of soil analysis

Item	Soil Specific Resistance (Ω/cm)	ORP (mV)	Water contents (%)	pH(25℃)	M-Alkalinity		Cl ⁻ (mg/L)	SO ₄ ⁻² (mg/L)
					Acidity (mg/L as CaCO ₃)			
Sand	31,871	290	6.9	9.0	24.3	5.0	0.7	7.8
Soil			14.0	8.9	36.4	4.0	1.9	20.2

부식성 실험 결과, PE 필름 및 피복한 PE의 표면변화는 없는 것으로 나타났다. 절단면을 물딩 처리한 시편은 하수 및 해수에 노출되더라도 PE 피복은 강한 부착력을 유지하였으나, 시편 절단면을 물딩 처리하지 않거나 피복된 PE를 칼로 흠집을 내어 실험한 결과, 하수 및 해수에 강판이 노출되면 부식이 진행되는 것으로 나타났다. 특히, 강판이 해수에 노출되면 단기간(30일)에 PE 박리가 일어나기 시작하였으며, 핀홀(Pinhole)과 같은 결함이 있더라도 해수 침투에 의해서 파형강관 전체에서 PE가 쉽게 박리되는 것으로 나타나 제품의 철저한 품질 관리가 필요하다는 것을 알 수 있었다. 한편, 이러한 PE 피복 박리현상은 산성조건인 하수에서 중성 및 알칼리성 조건의 하수보다 빨리 진행되는 것으로 나타났다.

2. PE 선피복 파형강관의 연결부 부식성 실험 결과, 180일 경과 후 하수에서는 절단면에 약간의 녹이 발생하였으나 피복된 PE는 박리되지 않았다. 해수에 노출된 PE 선피복 파형강관은 절단부위 둘레로 PE가 박리하여 안쪽으로 전파되고 있었으며, 특히 단면이 고르지 않은 이음매(Lockseam) 부분으로부터의 PE 박리는 더 깊숙이 전파된 것으로 나타났다.
3. PE 선피복 파형강관의 매설 실험 결과, 약한 토양부식

성 조건에서 PE 피복이 손상 받지 않은 부분은 변화가 없었으나, 칼로 흠집을 낸 부분은 PE가 부분적으로 박리되었고, 관 절단부위에서도 박리되는 것으로 나타났다.

4. PE 선피복 파형강관의 마모성 실험 결과, 모래와 마찰이 심한 마모성 환경에서도 피복한 PE의 광택도와 두께에 큰 변화가 없어 PE 선피복 파형강관의 마모에 대한 내구성은 양호한 것으로 나타났다.

참고문헌

1. NCSIPA, *Evaluation methodology for corrugates steel pipe coating/invert treatments* (1996).
2. NCSIPA, *CSP Durability Guide* (2000).
3. 포항산업과학연구원, 오수관용 파형강관 내구성 향상을 위한 피복 방안 (1998).
4. 한국건설기술연구원, PE 선피복 파형강관의 하수관거 적용성 연구 (2003).
5. ANSI, A21.5, American National Standards Institute (1972).
6. 한국건설기술연구원, 상수도관로의 부식 및 노후도 예측모델 개발 (2002).