

쇄석을 가스배관 채움재로 사용시 배관피복에 미치는 영향 연구

조성호 · 전경수 · 이선엽 · 조용범 · 고영태

한국가스공사 연구개발원
(1998년 3월 7일 접수, 1998년 3월 27일 채택)

Study on the damage effect to the Gas pipeline coating by the crashed stone backfill material

Sung Ho Cho · Kyung Soo Jeon · Seon Yeob Li · Yong Bum Cho & Young Tai Kho

R&D Center, Korea Gas Corporation
(Received 7 March 1998; accepted 27 March 1998)

요 약

음극방식 시스템의 방식전류에 의한 압입구간내의 압입관과 배관의 부식거동에 관한 수학적 모델링을 경계요소법을 이용하여 수행하였다. 모델은 비선형 경계조건(Tafel 방정식)을 가진 라플라스 방정식으로 이루어져 있으며 압입관의 혼합전위를 구하기 위하여 혼합전위 이론을 응용한 반복법을 사용하였으며 그 위에 비선형 경계조건에 대한 해석을 위하여 이중 반복법을 사용하였다. 모델은 정상적인 압입구간 뿐만 아니라 압입관과 배관과의 금속간 접촉(metal touch)이나 외부환경과 압입구간 내부를 격리시키는 절연부위의 손상과 같은 결합들을 가진 비정상적인 압입구간에서의 각각의 경우에 대해서도 적용되었다. 수학적 모델링의 결과로부터 압입구간내의 전위분포나 전류분포를 계산할 수 있었다. 모델링의 타당성을 증명하기 위하여 모사실험을 수행하였으며 실험조건내에서 이론적인 결과와 실험 결과는 정상적으로 잘 일치하였다.

Abstract - To protect the underground pipeline from the mechanical damage and to enhance the cathodic protection effect, the river sand has been backfilled traditionally around the buried pipeline. However, river sand became depleted and expensive. One has to seek for the economic alternative materials. Crashed stone is a good candidate for the backfill material. In this study, how much the particle size and shape of the crashed stone can effect on the gas pipeline coating was examined. A series of laboratory and field test was performed. In the Lab, the increasing loads were applied to the coated pipeline surrounded by the crashed stone, where no significant damage was observed.

Key words : Steel casing, BEM(boundary element method), Mixed potential, Tafel equation, Metal touch

1. 서 론

배관매설시 배관 피복층의 보호, 채움재 다짐

효과, 진동에 대한 완충효과를 목적으로 배관 주위에 강사(江沙)를 채우고 흙을 되메우게 되어 있다. 따라서 채움재로는 일반적으로 강사

처럼 입도가 균등하고 미세한 모래가 사용되고 있다. 그러나 최근에 강사의 품귀로 인하여 강사외에, 해사(海沙)와 돌이나 암반을 깨서 만든 쇄석의 사용이 검토되고 있다¹⁾.

해사를 사용할 경우 모래에 포함된 염분을 제거하기 위하여 적절한 비율의 담수로 세척하여 사용하고 있으나,^{2,3)} 일정한 세척효과를 유지하기가 현실적으로 어렵다.

구미의 경우 흙이나 쇄석을 채로 쳐서 규격에 맞는 입도로 구성된 채움재를 사용하는 예가 많으며, 일본에서도 최근에 쇄석의 사용이 증가하고 있는 추세이다.⁴⁾ 한국가스공사에서도 채움재로서 강모래가 아닌 쇄석의 사용을 검토하고 있다.

이 연구에서는 채움재로서의 쇄석의 가능성을 알아보기 위하여 쇄석의 형상과 입도와 같은 물리적인 성질에 의한 배관 피복재의 손상에 미치는 영향을 조사하였다. 쇄석의 경우는 입도와 형상이 불규칙하기 때문에 배관피복에 손상을 초래할 가능성이 있다. 따라서 배관 주위의 쇄석이 토압과 통과 차량 등에 의해 하중이 가중되었을 때 배관 피복재에 손상을 주는 지를 여러 모사 실험을 통하여 확인하고자 하였다.

2. 토하중 계산

2.1. 마찰력과 응집력을 무시 할 경우의 토하중

기초상태가 불안한 매설 또는 2m 이하의 매설인 경우 마찰력과 응집력을 무시할 경우는 식 (1)을 사용하여 토하중을 계산할 수 있다⁴⁾.

$$W = \rho \cdot h \cdot 10^{-4} \text{ (kg/cm}^3\text{)} \quad (1)$$

ρ : 토양의 밀도 (kg/m³)

h : 토양 매설 깊이 (m)

따라서 흙의 밀도가 1600(kg/m³) 이고 모래의 밀도가 1900(kg/m³) 이었을 때 배관의 매설깊이가 1.5m라고 하고 흙이 1.2m 모래가 0.3m 쌓였을 때의 토하중은 0.246 kg/cm²이다.

Ditch형에서는 지하 5m까지는 점차로 강도가 증가하고 그 이상에 있어서는 토피의 두께에 의한 토압의 영향이 무시되는 식 (2)를 사용한다⁴⁾.

$$W = \frac{\omega}{3} \left[5 - \frac{(5-H)^3}{5^2} \right] \times 10^{-4} \quad (2)$$

ω : 토양의 밀도(kg/m³)

H : 토양 매설 깊이(m)

그러므로 매설 깊이가 1.5m라고 하고 흙이 1.2m 모래가 0.3m 쌓였을 때의 토하중은 0.1955 kg/cm²이다.

2.2. 차량하중에 의한 토하중 계산

토하중 이외에도 차량통과시의 하중을 고려하여야 한다. 차량하중에 의한 토하중은 식(3)를 사용하여 계산하였다⁵⁾.

$$W_t = \frac{3Q}{2\pi h^2} \left\{ 1 + \left(\frac{h}{\sqrt{h^2 + x^2}} \right)^5 \right\} \quad (3)$$

여기서, Q : 20ton 차량하중의 후륜하중으로 8000 kg, 충격계수 1.5에 의한 12000kg

h : 매설깊이(cm)

x : 2대 동시 주행시의 후륜간격 100cm

식(3)에 의하여 매설깊이가 1.5m일 때 차량하중에 의한 토하중은 0.36 kg/cm²이다.

3. 실험방법

본 연구의 핵심은 쇄석의 불규칙한 모양 및 크기에 의해, 강사처럼 일정하중으로 배관 피복재에 압력을 주는 것이 아니라, 배관 피복재에 편하중을 주어 피복재를 움푹 패이게 하거나 쇄석의 불규칙한 부위가 피복재에 박혀 손상을 초래하지 않을까 하는 것이다.

이를 검증하기 위하여 쇄석으로 채워져 있는 구간에서 20ton 트럭으로 차량하중을 가하면서 50회 왕복으로 하중을 가한후 일부를 굴착하였다. 또한 쇄석에 미치는 하중이 배관 피복에 미치는 영향을 정량화하기 위하여 실험실 실험도 병행하였다. 이때 사용된 쇄석은 우리나라 전역에서 쉽게 구할 수 있는 화강암을 분쇄기로 깬 것으로 입도의 분포는 Table 1과 같다.

Table 2. Particle size distribution of the crashed stone

입 도	압 축 전
4.75mm 이상	21.4%
2.80mm 이상	25.1%
2.0mm 이상	14.0%
0.85mm 이상	24.7%
0.3mm 이상	11.1%
0.075mm 이상	2.7%
0.075mm 이하	1.0%

실험실 실험에서는 현장보다도 극한 하중을 가하여 쇄석 입도에 의한 배관 피복 손상을 측정하였다. 배관(배관의 규격 : MDPE, T-die 압출식, 배관두께 : 11.3mm, 피복두께 : 4.3mm)을 55×132mm의 크기로 절단하여 시편을 만들었다. 또한 이 시편위에 쇄석을 채운후 하중을 가하기 위하여 지그를 제작하였다. Figure 1는 실험에 사용된 지그이다.

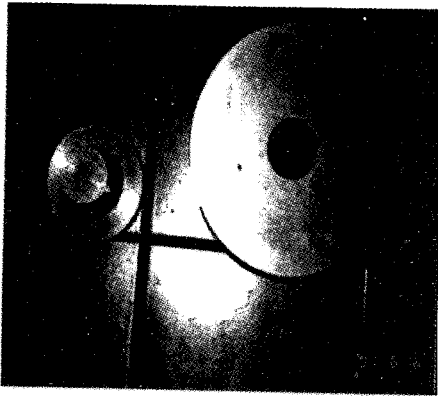


Fig. 1. A zig used in experiment

실험실 실험방법은 Figure 2와 같이 지그 하단부에 시편을 장착하고 Figure 1의 우측에 나타낸 지그 본체 원통 구멍부에 쇄석을 2/3정도 채운후 Figure 1의 좌측의 뚜껑을 지그 본체에 끼운후 프레스의 유압을 조작하여 정압이 유지 되도록 한후 일정시간 경과 후 시편을 꺼내 육안으로 관찰하는 순으로 수행하였다. 2절에서



Fig. 2. An Oil pressure press used in experiment

계산된 매설심도가 1.5m일때의 압력에 맞추어 실험을 해야 하나 실제적인 토압이 상당히 낮은 수준이었고 실험에 사용된 프레스의 최저 하중인 40 kg/cm²인 관계로 실험변수는 압력변화(40, 200, 400, 600, 800 kg/cm²)와 시간변화(10분, 120분, 720분)로 하였다.

또한 채움재로 사용되는 재료는 입도 및 형상 분석 역시 매우 중요하다. 따라서 쇄석의 입도가 각각 다른 sieve를 사용하여 하중을 가하기 전후의 입도를 분석하였다. 본 연구에서는 위와같은 실험을 통하여 쇄석에 의한 가스배관의 피복손상을 검토하였다.

4. 실험결과 및 고찰

현장실험에서는 굴착후 육안으로 확인한 결과 배관표면에는 경미한 스크래치는 보이나 이를 손상으로 보기는 어려웠다.

실험실 실험결과 Fig. 3 (a), (b), (c)는 압력이 40 kg/cm²일 때 시간변화에 따른 결과를 나타내었다. 흰부위가 쇄석으로 하중을 가할 때 발생된 부위이고 시간에 따른 뚜렷한 변화는 없었으며 표면도 매우 건전하였다. 시간에 따른 뚜렷한 변화가 관찰되지 않았으므로 시간을 120분으로 고정하고 압력을 40, 120, 400, 600, 800 kg/cm²으로 변화시키며 표면을 관찰하였다. Fig. 4에 그 결과를 나타내었다. 40 kg/cm²일때의 건전성을 유지하던 피복 표면이 200 kg/cm² 이상이 되면 건전성이 점차 나빠지는 것으로 관찰되었다. 표면 손상부위가 다수 발생되기는 하나 최대 손상 깊이는 전체 피복 두께의 20%로 손상 정도는 경미하였다.

현장실험 및 실험실 실험을 통하여 쇄석에 의한 가스 배관 피복에 손상이 발생하지 않은 사실은 압축 전후의 쇄석의 입도 분포를 분석하고 입도 사진을 찍어본 후 그 결과를 유추할 수 있었다. Table 2는 하중을 가하기 전후의 입도 분포를 나타낸다.

CSSC(Canada Soil Survey Committee)에 따르면 입도가 4.75mm 이상은 fine gravel에 속하고 2.0mm 이상 ~2.80mm 이하는 굵은모래에 속하며 0.3mm 이상 ~0.85mm 이하는 중간모래에 속한다⁶⁾. 또한 0.075mm 이상 ~0.3mm 이하는 고은모래에 속하며 0.075mm 이하는 silt 나 clay에 속한다. 따라서 쇄석의 주된 영역은 굵은모래와 fine gravel에 해당된다. 채움재로 사용되는 재료는 입도가 0.075mm 이하의 silt 함량이 없어야 하나⁵⁾, 이번 실험은 쇄석에 의한 물리적 영향만을 고려하였으므로

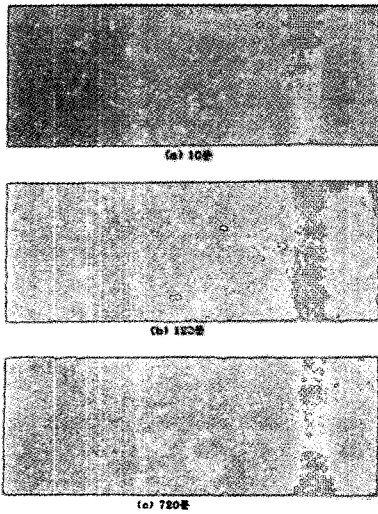


Fig. 3. Coating surface (40 kg/cm^2)

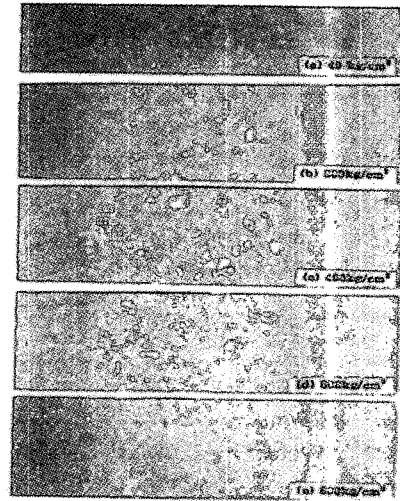


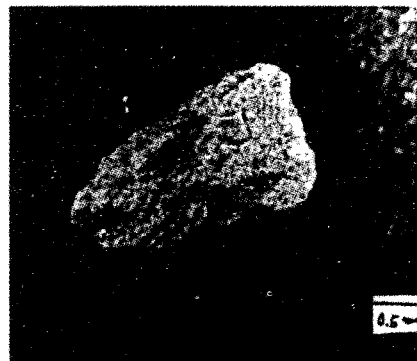
Fig. 4. Coating surface with loads (120 minutes)

Table 3. Change of particle size distribution by loading test

입 도	압 축 전	압 축 후
4.75mm 이상	21.4%	19.5%
2.80mm 이상	25.1%	21.1%
2.0mm 이상	14.0%	12.0%
0.85mm 이상	24.7%	25.0%
0.3mm 이상	11.1%	14.2%
0.075mm 이상	2.7%	5.9%
0.075mm 이하	1.0%	2.3%



(a) before loading test



(b) after loading test

Fig. 5. Shape of crashed stone

silt의 유무는 무시하였다.

Fig. 5 (a)와 (b)는 광학현미경으로 20배 확대하여 압축전후의 대표적인 쇄석의 입도이다. 압축전의 입도는 Fig. 5 (a)에서 보듯이 예리한 예각으로 되어있고 압축후의 입도는 Fig. 5 (b)에서 보듯이 대부분이 둥근형태로 구성되어 있다. 따라서 압축후의 입도를 분석해보면 fine gravel, 굵은 모래 영역의 입도가 줄어들긴 하였으나 여전히 압축후에도 주된 영역이다. 그러나 입자들간의 압축으로 인한 마모로 뾰족한 부분의 입자 형태가 둥근 형태로 바뀌어 가스배관 피복에는 커다란 손상을 주지 않는다는 판단을 하였다.

4. 결 론

쇄석의 입도가 배관 피복 손상에 미치는 영향을 조사한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 현장 실험 결과, 토하중과 차량하중에 의한 토하중은 매우 낮아서 굴착후 육안으로 확인한 결과 배관표면에는 경미한 스크래치는 보이나 이를 손상으로 보기는 어려웠다.

2) 실험실 실험 결과, 40, 200, 400, 600, 800 kg/cm² 까지의 여러 하중을 가하였을 때에도 피복의 손상깊이가 전체 배관 피복 두께의 20%이내였다.

3) 압축실험 결과, 뾰족한 형상의 입도가 압축으로 인한 마모로 둥근 형태의 입자로 바뀌었다.

이상의 결론으로부터 쇄석의 형상이나 입도에 의한 배관 피복재에 치명적인 손상을 초래하지는 않을 것으로 판단된다.

참고문헌

1. 한국가스공사, "공급배관의 설계, 시공, 유지 방법에 대한 검증 및 기준확립", 96-KA-PI-계획-173-00.
2. KS 규격, F4009-1991, 레디믹스 콘크리트 1-17
3. 日本土木學會 : 콘크리트標準時方書, 昭和49年制定, 100-105(1980)
4. 한국가스공사, "주배관 기본 설계서".
5. 일본가스협회, "本支管指針(設計編)".
6. Martin R. Carter, "Soil sampling and methods of analysis", Lewis Publishers (1993).