

-기술정보-

초고압수를 이용한 노후한 도수 강관 내 스케일 제거에 대한 실험적 연구

-Technical Reports-

The Experimental Study of Scale Removal Using Ultra High Water Pressure in the Old Steel Water Pipe

서태원<sup>1\*</sup> · 김진동<sup>2</sup> · 서현원<sup>2</sup> · 김태동<sup>3</sup>

Taewon Seo<sup>1\*</sup> · Jin-Dong Kim<sup>2</sup> · Hyun-Won Seo<sup>2</sup> · Taedong Kim<sup>3</sup>

1 국립안동대학교 기계공학부, 2 (주) 태주종합철강 기술연구소, 3 국립안동대학교 환경공학과

Abstract

This technical paper is proposing a sound concept in the application of the rehabilitation method of the water supply steel pipe in the large diameter ranged from 1,800mm to 3,500mm. There were conducted the experimental tests for the specimens as well as the real steel pipe of diameter 2,200mm. The water pressure ejected from nozzle tip should be at least 2,500bar to have the satisfied surface profiles required in the design criterion. The most difficult thing is to keep the water pressure at the nozzle tip as 2,500bar during the consecutive work in the interval of the work site more than 1km. It is found that the method suggested in this study is adequate method to meet the specified design criteria. The results of this study provide the useful information how to setup the equipments for the successful work. This method also provides not only the omission of the blasting process but also the effect of the budget reduction.

**Key words** : Steel Pipe, Rehabilitation, Scale Removal, Surface Roughness, High Pressure Pump

주 제 어 : 강관, 갱생, 스케일 제거, 표면조도, 고압펌프

1. 연구배경

1970년대에 들어 대도시로 인구의 과도한 집중 현상과 생활용수 수요의 증가와 함께 상수도 시설의 확충이 급속히 이루어졌다. 또한 국민들의 소득수준과 생활수준의 향상으로 양질의 수도물을 원하는 요구가 점점 증가하고 있는 실정이다. 인간 생활에 중요한 안정적이고 음용성이 우수한 양질의 수도물을 공급하기 위해 방대한 상수도 시설을 유지 관리하는 것은 매우 중요하다 할 수 있다.

2005년도 환경부 상수도 통계 자료에 의하면 우리나라에

매설되어 있는 총 수도관의 길이는 127,027Km이며, 이 중 취수 시설에서 정수장까지 원수를 공급하는 도수관의 길이는 1,439Km이다. 정수장으로부터 배수구역까지 정수를 보내는 송수관은 5,973Km, 배수펌프로부터 급수장치까지 이르는 배수관은 59,406Km이며 배수관으로부터 일반가정에 이르는 급수관은 60,209Km이다. 매설된 수도관 총 길이 127,027Km 중 20년 이상 경과된 수도관의 길이는 17,953Km, 10~20년 경과된 수도관의 길이는 54,906Km로 보고되고 있다(환경부, 2005).

1970년대 말에 매설된 상수도 도수강관은 부식 방지를 위

하여 콜탈에나멜 도료를 일정한 두께로 코팅하여 자체적인 방식효과를 얻도록 시공되었다. 이러한 콜탈에나멜 도료로 코팅된 도수관로는 시간이 경과함에 따라 수압에 의한 관로 내외 압력변동으로 인하여 관로의 도장이 탈리되어 방식성과 방청성이 떨어진다. 이로 인해 부식이 진행되고 관로 내부에 스케일이 침적되면서 관로의 수명을 단축시킬 뿐 아니라 핀홀(Pinhole)에 의한 누수 발생 및 두꺼운 물 때층을 이루는 미세한 진흙 등으로 인하여 수질 저하를 야기하게 된다.

수도권에 원수를 공급하는 수도권 광역상수도 시설은 30년 전에 매설된 시설로 상수도 강관의 내부는 콜탈에나멜로 도복이 되었다. 관로의 노후와 관 내부 기존 도복장인 콜탈에나멜의 손상이 심하여 부식이 상당히 진행된 상태인 것으로 조사되었다(한국수자원공사, 2007). 이와 같은 수도권 광역상수도 시설의 관 내부 상태 조사 결과 내부 도복장의 박리 현상이 심하게 발생한 것으로 나타났다. 이에 관로의 기능저하 방지 및 관 부식 진행을 억제하기 위하여 관 내부 도장의 보수 및 보강이 시급한 실정이다.

국민이 안심하고 마실 수 있는 깨끗한 수돗물 공급을 위해 노후한 도수관을 통해 공급되는 원수의 녹물 출수 문제를 해결해야 한다. 따라서 본 논문은 직경 1,800~3,500mm의 도수관 내 도복장인 콜탈에나멜, 벽면에 발생한 녹과 부착된 오염물질을 초고압수를 이용하여 제거하고 도수관을 재생하는 기술을 제시하고자 한다. 본 논문에서는 제시된 기술의 신뢰성을 확보하여, 도수관의 보수·보강 작업에 적용함으로써 사고를 사전에 예방하고 안정적인 음용수 공급 효율성을 증진시켜 공공의 안전성에 기여하고자 한다.

## 2. 현장 조사 및 설계 기준

### 2.1. 현장 조사

2007년 7월 18일부터 8월 17일과 9월 17일부터 10월 9일까지 2단계에 걸쳐 수도권광역상수도 1단계 도수시설 개량공사 사업에 대한 도수관로 내면 상태 조사를 실시하였다. 수도권광역상수도 1단계 도수시설 개량공사 현장은 서울특별시와 경기도 하남시 일원을 포함한 도수관 길이 총 89Km이며 도수관로의 직경은 800~2,800mm이다. 본 도수시설의 일일 시설 용량은 1,200,000m<sup>3</sup>이며 팔당호 물을 취수하여 서울특별시, 인천광역시, 부천시 등 수도권의 각 정수장에 원수를 공급하는 시설이다. Fig. 1-a는 팔당취수탑에 위치한 도수관내 진행되고 있는 부식상태를 나타낸 것이며, Fig. 1-b는 흑석동 지역을 지나가는 도수관내 침착되어 있는 진흙을 보여주는 사진이다.

본 도수시설에 대한 관 내부 상태를 조사한 결과 관 내부 도복장의 탈리 및 들뜸 현상이 심각하게 발생한 상태로 관로 내부 도장의 손상이 심하게 진행되고 있는 상태이다. 또한

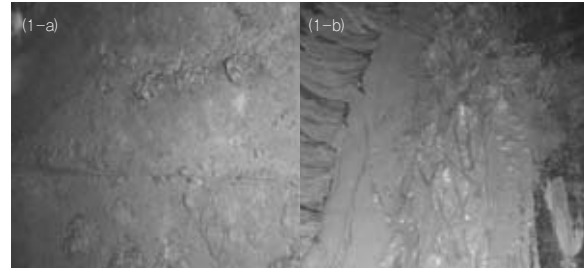


Fig. 1. Corrosion state (1-a) in the steel pipe and sedimentous slime (1-b).

관로는 도복장 손상으로 인한 부식과 핀홀 등 결함 발생으로 내구성, 기능 저하 방지를 위한 보수·보강이 요구되는 것으로 나타났다. (한국수자원공사, 2007).

### 2.2. 설계 기준

도수관로 개량 사업을 수행하기 위한 내부 도복장 및 표면처리에 대한 개략적인 설계 지침은 (한국수자원공사, 2007) 아래와 같다.

- ① 도수 관로 내 내부 도복장 제거 작업으로 인한 관로의 내·외벽면에 손상이 발생하지 않아야 한다.
- ② 바탕 면에 코팅 작업을 수월하게 수행할 수 있도록 기존 프라이머와 콜탈에나멜을 완전히 제거하여 SSPC-SP-10 (SA 2½)등급과 강재면의 표면조도는 50μm 이상 확보하여야 한다.
- ③ 도복장 제거 후 처리된 강재면은 산화가 시작되기 전 또는 4시간 이내에 방청재를 도포하여야 한다.
- ④ 표면 처리된 도수관로 강재면의 코팅재로는 강관과의 부착강도가 80Kgf/cm<sup>2</sup> 이상 유지되어야 한다.
- ⑤ 작업구의 설치는 시공 계획에 따라 적절한 간격으로 설치할 수 있으나 도심지를 통과하는 구간에서는 교통체증을 고려하여 작업구를 설치하지 않는 것을 원칙으로 한다.

## 3. 실험 장치 및 방법

### 3.1. 재료 및 시험관

본 연구에 사용된 재료는 Fig. 2에서 보는 바와 같이 쇼트블라스팅으로 표면 처리한 2개의 강관 시편(300x300mm)을 제작하였다. 제작된 시편의 표면은 5mm 두께의 콜탈에나멜로 코팅을 하였다.

본 연구에서 스케일과 녹을 제거하고자 하는 강관의 직경은 최소 1,800mm에서 최대 3,500mm의 1970년대에 매설된 도수관으로 Fig.2와 같이 작은 시편을 제작하여 얻은 실험 결과에 대한 신뢰성을 확보할 필요가 있다고 생각하였다. 이에 본 연구에서는 Fig. 3에 나타난 바와 같이 길이 6m이고, 직경 2,200mm인 강관을 안동에 위치한 태주종합철강의 야

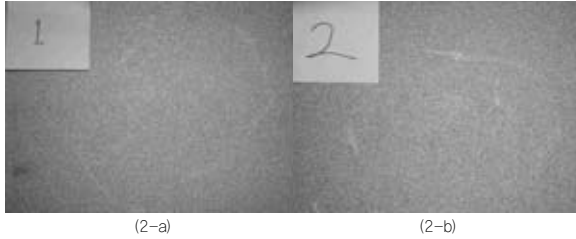


Fig. 2. Manufactured specimens before coating using coal tar enamel.

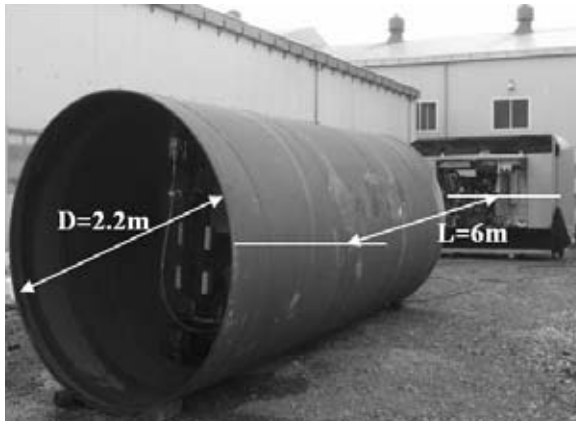


Fig. 3. Experimental setup for steel pipe with  $d=2,200\text{mm}$  and  $L=6,000\text{mm}$ .

적장에 설치하여 실험을 수행하였다.

### 3.2. 실험 방법

본 연구에서 실험 장치를 구성하는데 가장 어려운 점은 도심지에서 교통 체증 등을 고려하여 작업구를 1km 이상의 간격으로 설치하는 것이다. 1km 이상의 작업 구간에서 설계 기준의 중요한 요구 조건 중의 하나인 SSPC-SP-10 (SA 2½) 등급을 얻기 위해 요구되는 노즐에서 분사되는 수압은 최소

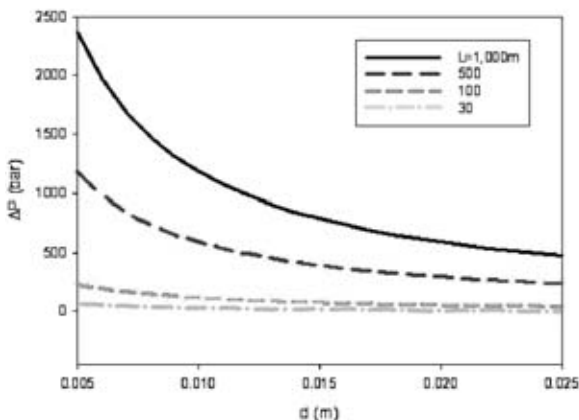


Fig. 4. Pressure drop for various high pressure water hose lengths.

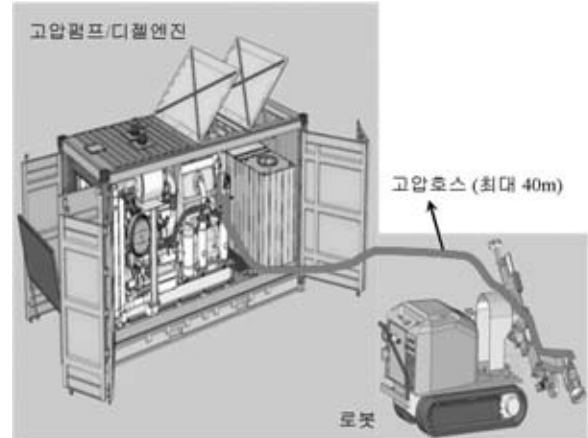


Fig. 5. Schematic layout of the equipment.

2,500bar 이상 되어야 한다.

현재 개발된 고압펌프는 최대 3,000bar의 압력을 올릴 수 있으며, 본 실험에서는 250KW, 3,000bar의 출력을 내는 Hammelmann 펌프 HDP 254를 사용하였다. 고압펌프를 구동시키는 구동장치는 출력 280KW이며 연료소비가 71L/hr인 디젤엔진을 사용하였다.

실험 방법은 향후 실제 작업 현장에서 용이하게 적용하기 위해 현장 조사와 설계 기준을 고려하여 실험을 수행하였다. 본 연구에서 3,000bar의 출력을 낼 수 있는 고압펌프를 사용하여 실험을 수행하는 경우 실제 작업 현장에서 SSPC-SP-10 등급의 도수관로 내부 표면을 얻기 위해 허용되는 압력 손실은 최대 500bar 이내임을 알 수 있다.

본 연구에서는 효율적인 실험장치의 구성을 위해 이론 해석을 수행하였으며, 그 결과를 Fig. 4에 나타내었다. 그림에서 보는 바와 같이 고압호스의 길이가 500m 이상 되는 경우 압력강하는 고압호스의 직경이 5mm인 경우 약 1,100bar이다. 이와 같이 압력강하 문제의 해결 없이 제시된 설계기준을 만족시킬 수 없음을 알 수 있다. 본 연구결과를 바탕으로 설계 기준을 만족하는 효과적인 장비의 구성 방법을 알 수 있었다.

실험장치의 개략적인 배치도는 Fig. 5에 나타내었다. 앞서도 언급하였듯이 고압펌프는 디젤엔진에 의해 구동되며 고압수는 직경 8mm의 고압호스를 통해 로봇에 연결되어 있는 직경 0.4mm의 노즐을 통해 분사되도록 장치되어 있다. 또한 고압호스의 최대 길이는 40m이다.

### 4. 실험 결과 및 고찰

본 연구에서는 고압으로 노즐에서 분사되는 수력과 유속을 계산하기 위해 이론해석을 수행하였으며, 그 결과를 Fig. 6과 7에 나타내었다. Fig. 6에서 보는 바와 같이 노즐에서 분사되는 수력은 유량에 비례하여 증가하는 것을 알 수 있다. 본 연

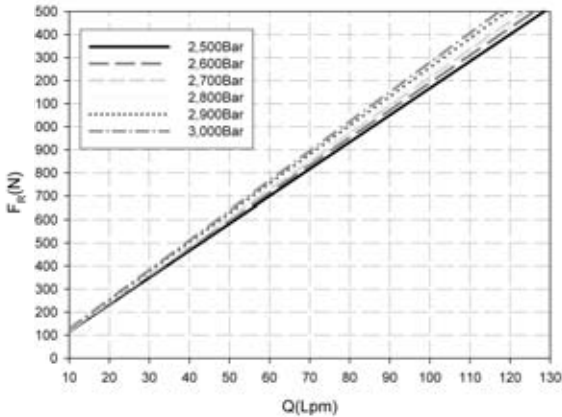


Fig. 6. Relationship between reaction force and volume flow rate.

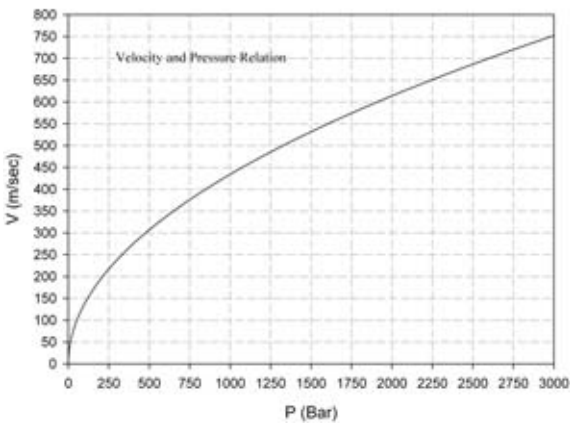


Fig. 7. Velocity magnitudes at the nozzle with the pressure variations.

구에서 적용된 유량은 약 40L/min이며, 이 경우 대략 450~500N의 반력이 강관 표면에 작용하는 것을 알 수 있다.

Fig. 7은 수압에 따른 노즐 출구에서의 속도를 나타낸 결과이다. 압력이 증가함에 따라 노즐 출구에서의 속도는 압력의 제곱근에 비례하여 증가하는 것을 알 수 있다. 2,500bar 이상의 수압에서 분사되는 물의 유속은 700m/s인 것을 알 수 있다.

Fig. 8은 노즐 직경이 0.4mm인 10개의 노즐에서 수압 2,750bar, 유량 41.5L/min으로 Fig. 2의 표면에 5mm 두께의 콜탈 에나멜로 코팅면을 제거한 사진이다. Fig 8-a의 경우 작업 능력이 시간당 36m<sup>2</sup>/hr, Fig 8-b의 경우는 작업 능력이 72m<sup>2</sup>/hr의 조건에서 실험을 수행한 결과이다. 각 그림의 왼쪽에는 SSPC (Steel Structures Painting Council)와 NACE (National Association of Corrosion Engineers)에서 제공한 SSPC-SP-10에 대한 사진이다. 사진에서 보는 바와 같이 콜탈 에나멜을 제거한 시편의 표면은 SSPC와 NACE에서 제공한 SSPC-SP-10 표면과 유사함을 알 수 있다.

Fig. 9는 시편 1에 대하여 표면처리 후 공 초점 레이저 주사현미경 (LEXT OLS3000, Olympus Japan)을 이용하여

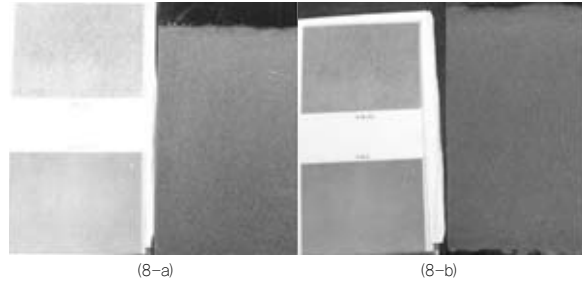


Fig. 8. Surface comparison after coal tar enamel removal.

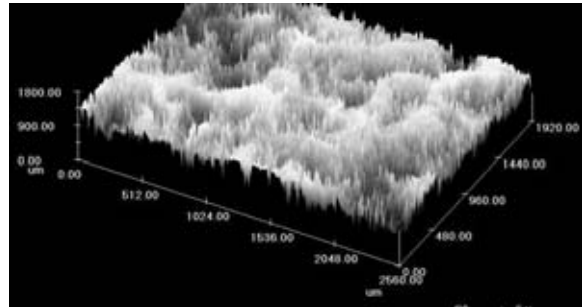


Fig. 9. The measured surface profile of the specimen 1.

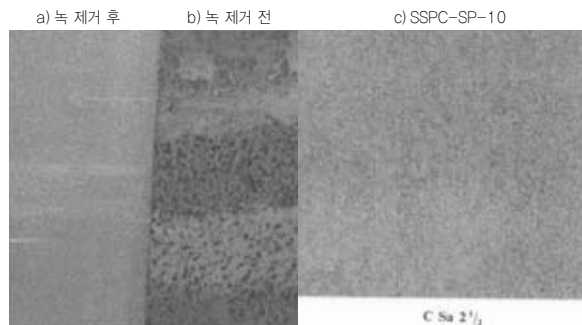


Fig. 10. Test result and comparison with the SSPC-SP-10 profile.

표면 조도를 측정된 결과이다. Fig. 9에 나타난 측정된 표면의 최대 표면조도는 821.4 $\mu$ m로 설계 기준으로 제시된 50 $\mu$ m의 표면 조도 조건을 만족하는 것으로 나타났다. 또한 그림에서 보는 바와 같이 표면 조도가 균일하게 형성되었기 때문에, 코팅 후 표면 처리된 도수관로 강재면의 코팅 부착강도가 80Kgf/cm<sup>2</sup> 이상 유지되어야 하는 설계 조건도 만족할 것으로 예상된다.

Fig. 10은 Fig. 3의 실험 장비에 대한 실험 결과를 나타낸 것이다. 2,500bar의 수압과 38L/min의 유량으로 분사하여 직경 2,200mm의 관 내부 표면에 부착된 녹과 스케일을 제거하였다. 그림에서 보는 바와 같이 녹을 제거한 후의 표면은 Fig. 10 c)와 유사함을 알 수 있다. 본 연구에서 시편을 제작하고 실험하여 얻은 결과는 직경 2,200mm의 강관에 적용하였을 경우와 같은 결과를 얻었다.

## 5. 결론

본 논문은 노후한 대구경 상수도 강관의 도막제거에 관한 기술로, 기존의 샌드블라스팅이나 쇼트블라스팅 공법에 비해 분진 발생과 소음이 거의 없는 친환경적인 기술이다. 본 논문에서 제시한 공법은 상수도 도수 강관 내에 오랜 세월 동안 녹슬고 부착된 스케일을 제거하고 표면 처리와 코팅을 하여 관을 재생시키는 기술이다. 실험 장치는 고압펌프, 디젤 엔진과 스케일 제거 로봇으로 구성되어 있다. 디젤 엔진에 의해 구동되는 고압펌프에서 3,000bar 이상의 압력을 지탱하는 직경 8mm의 고압호스를 통해 공급되는 최소압력 2,500bar의 고압수를 로봇에 부착되어 있는 노즐로 공급하여 실험을 수행하였다.

실험을 통하여 도막 제거 후 강재면의 표면처리는 SSPC-SP-10 등급과 강관의 표면 조도는  $50\mu\text{m}$  이상을 유지하여야 하는 설계조건을 만족하는 것을 알 수 있었다. 따라서 본 논문에서 제시한 도수관로 갱생 기술은 종래의 표면조도를 유지하기 위한 샌드블라스팅이나 쇼트블라스팅처럼 별도의 표

면처리 공정이 필요치 않다는 결론을 얻었다. 이러한 결과로 표면처리 공정에 의한 추가 비용을 절감하여 단가를 절감할 수 있을 뿐 아니라, 기존 강관을 재생하여 다시 사용하기에 신설 관 설치에 필요한 제반 비용을 절감할 수 있을 것으로 판단된다. 또한 실제 현장에서 본 기술을 적용하기 위한 장비의 구성 방안은 고압펌프의 구동 방식이 모터에 의한 구동 방식과 디젤엔진에 의한 구동 방식에 따라 달라질 수 있다.



## 참고문헌

1. 환경부 (2005) 2004 상수도 통계, p. 875, 환경부
2. 한국수자원공사 (2007) 수도권광역상수도 1단계 도수시설 개량 공사 기본계획보고서, p. 129, 수자원공사, 대전
3. 한국수자원공사 (2007) 수도권광역상수도 1단계 도수시설 개량 공사 기본설계보고서, p. 198, 수자원공사, 대전