

RTM 을 이용한 노후 지하 매설관의 보수-보강에 관한 연구

진우석* · 권재욱* · 이대길*

A Study on Repairing Retired Underground Buried Pipes Using RTM

Woo-seok Chin, Jae-Wook Kwon and Dai-Gil Lee

KEY WORDS : RTM, Repair, Underground Buried Pipe, Trenchless Technology, Resin Wetting, Void Removal

ABSTRACT

To overcome problems of excavation technology for repairing or replacing underground buried pipes which are worn out or damaged, various trenchless repair-reinforcement technologies have been invented. But these trenchless technologies also have many problems in the aspect of economy and convenience of operation. In this research, the repair-reinforcement process using RTM (Resin Transfer Molding) which can solve problems of present trenchless technologies was developed. The resin wetting and void removal during RTM process to form large composite structures inside of buried pipes were experimentally investigated. From the experiment, it was found that the new technology had advantage over conventional methods by employing appropriate process parameters and void removal vents.

1. 서 론

지하에 매설된 가스관이나 상하수도관의 경우 설계-제작과 유지관리의 미흡으로 실제 설계수명에 훨씬 못 미치는 시기에 노후, 파손되는 것이 현재의 실정이다. 지금까지는 이러한 문제가 발생하였을 경우 불량 매설관이 매설된 도로 전체를 장시간에 걸쳐 광범위하게 통제하고, 중장비와 인력을 동원해 도로를 굴착하여 노후, 혹은 파손된 매설관을 교체하는 방법을 사용하였는데, 이러한 방법은 온전한 도로의 파손, 장시간의 도로통제로 인한 사회간접비용의 손실, 도로점거에 따른 교통체증의 유발 및 사고위험, 도로 재포장 비용 등 많은 비용과 시간을 필요로 하고 근처에 매설된 다른 지하 매설물 (상수관, 가스관, 통신시설, 기타 부속 시설)에 손상을 입힐 가능성이 높기 때문에, 최근에는 재래식 굴착 보수-보강공법의 불합

리한 점을 보완하여 비굴착 보수-보강공법이 도입되었다.

이러한 비굴착 보수-보강공법에는 신관삽입공법 (Slip Lining), 보강튜브경화공법 (Cured-In-Place Lining, CIPL), 변형관삽입공법 (Close-Fit Lining), 제관공법 (Spirally Wound Pipes Lining) 등이 있는데, 대표적으로는 폴리에스터 등의 수지를 함침시킨 부직포 튜브를 반전 삽입하는 방법과 열가소성 수지를 이용한 제관공법이 있다. 이러한 비굴착 보수-보강공법들 역시 경제성이 낮고 공정이 불편하여 비효율적이라는 점 등의 문제점을 안고 있으며 이러한 문제점을 해결하기 위하여 RTM (Resin Transfer Molding)을 이용한 하수관의 보수-보강공법의 개발을 수행하였다.

RTM은 높은 비강도, 비강성, 감쇠계수를 갖는 섬유강화복합재료 (Fiber Reinforced Composite Materials)를 이용하여 원하는 위치에 이방성 성질을 갖는 대형의 복잡한 3차원 구조물을 제조 가능하도록 한다 [1]. RTM은 대형의 복잡한 상업용

* 한국과학기술원 기계공학과

제품을 낮은 생산비용으로 제조할 수 있으며, 성형할 수 있는 구조체의 크기의 범위가 매우 넓기 때문에, 크기가 큰 지하 매설관의 보수·보강에의 적용이 용이하다 [2]. 하지만 지하 매설관 등과 같이 크기가 큰 지하 구조물의 RTM 성형에 대한 연구는 거의 이루어지지 않았다.

본 연구에서는 복합재료를 이용하여 지하 매설관을 보수, 보강하는 공정의 개발을 수행하였고, 지하 매설관의 신뢰성 있는 보수공법을 제안하였다. 수지 주입압력에 따른 내부 금형으로서의 PVC 필름의 필요 두께를 계산하여 내부 금형을 설계하고 안전성을 고려하여 외부 금형 및 덮개를 제작하였으며, 크기가 큰 구조물의 RTM 성형 시의 수지 함침과 기포 제거에 관한 연구를 수행하였다.

2. 노후 지하 매설관의 보수 공정

RTM의 기본적인 공정은 다음과 같다.

우선, 원하는 형상과 비슷하게 재단이 된 강화용 프리폼 (Preform)을 금형 내부에 안착하고, 금형을 닫은 후 체결 (Clamping)한다. 그리고 금형의 Gate (주입구)를 통해 수지를 주입하고, 수지가 금형의 Vent (통기)로부터 흘러나오기 시작할 때, 수지의 유동이 정지되고 수지 경화가 시작된다. 수지 경화 후 성형된 구조물을 금형에서 분리한다 [3].

RTM의 기본 공정을 적용한 지하 매설관 보수 공정은 다음의 Fig.1과 같으며, 크게 4 단계로 구성된다.

<1 단계>

관을 따라 이동할 수 있는 로봇을 이용하여 보수, 보강이 필요한 하수관의 내부청소를 한다. 그리고 로봇에 줄을 매달아 한 쪽 맨홀로 밀어 넣어관을 따라 이동시킨 후 반대쪽 맨홀을 통해 로봇을 수거하는 방법으로 맨홀과 맨홀 사이에 줄을 위치시킨다. 섬유 프리폼으로 둘러싼 원통형 PVC 필름 내부 금형의 한 쪽 끝에 줄을 연결한 후, 반대쪽에서 이를 잡아당겨 섬유 프리폼으로 둘러싼 내부 금형을 매설관 안에 위치시킨다.

<2 단계>

내부 금형의 한 쪽 끝에 압축공기를 불어넣어 내부 금형을 팽창시켜 섬유 프리폼이 매설관 외벽

에 밀착되어 외형을 유지하게 한다. 내부 금형의 한쪽 끝은 막혀있고, 반대쪽 끝엔 공기 주입구가 장착되어 있다.

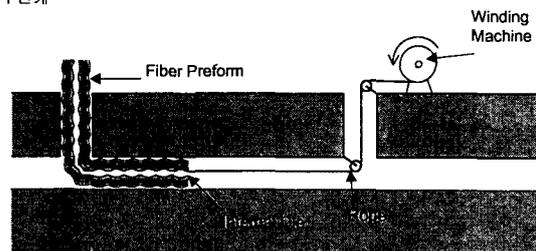
<3 단계>

매설관 내벽에 밀착된 섬유 프리폼과 PVC 필름 내부 금형의 양 끝을 Gate와 Vent가 있는 덮개로 덮은 후, 체결한다.

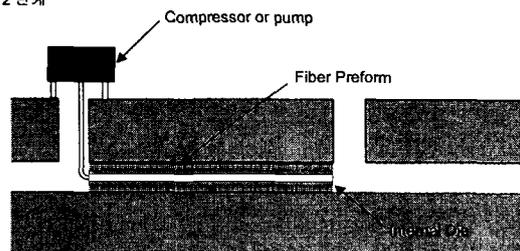
<4 단계>

덮개의 Gate를 통하여 수지 공급관을 연결하고 폴리에스터 수지를 주입한다. 이 때 사용되는 폴리에스터 수지는 단량체로 구성 되어 점도가 낮다. 따라서 주입 후 이송이 용이하여, 수지 주입에 큰 동력이 소모되지 않는다. 수지가 프리폼에 함침되어 PVC 필름 내부 금형과 하수관 외벽이 매워지게 되면 다른 쪽 끝 덮개의 Vent를 통하여 섬유 프리폼 내부의 공기가 빠져나가게 된다. 수지 주입 후 경화가 완료되면 PVC 필름 내부 금형을 떼어내어 공정을 마친다. PVC 필름 내부 금형은 테플론 (Teflon)으로 싸여 있어 경화 후 제거할 수 있고, 남겨서 코팅 효과를 줄 수도 있다.

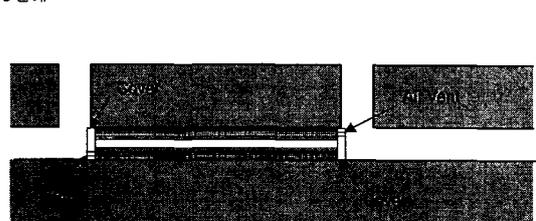
1 단계



2 단계



3 단계



4 단계

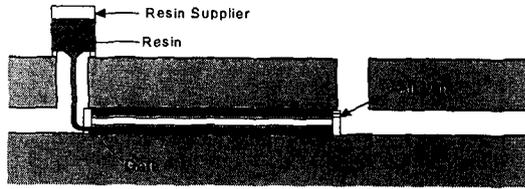


Fig. 1 Repair-reinforcement Process of Underground Buried Pipes Using RTM

3. 수지 함침 모사 실험과 RTM 실험

공정의 가능성을 검증하기 위해서 매설관 보수 공정 모델링을 위한 Prototype 을 제작하고, 이를 통해 수지의 함침 모사 실험과 RTM 실험을 수행하였다.

수지 주입에 사용한 RTM 기계는 Fig. 2 와 같은 Glas-Craft 사의 Spartan Modular RTM System 이다.

실험에 사용한 재료는 다음과 같다. 우선 섬유 프리폼은 7:3 Satin 계열 E-Glass Fiber Mat 를 사용하였다. 주입 수지로는 Table.1 에서와 같은 0.2Pa.sec 의 폴리에스터 수지를 사용하였고 함침 모사 실험을 위해 같은 점도를 갖는 실리콘 오일을 사용하였다.

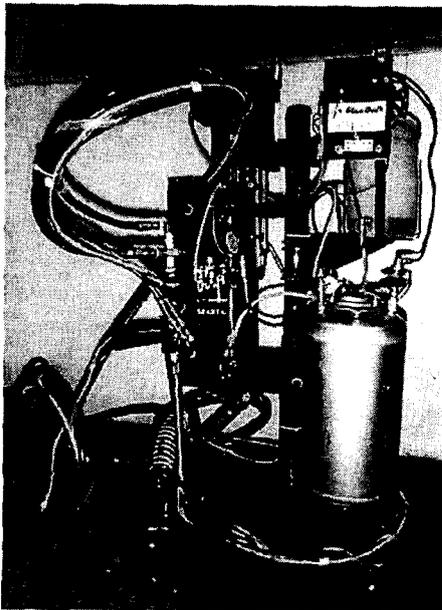


Fig. 2 Spartan Modular RTM System

실험에 사용한 수지는 애경화학의 PC-670 으로 Orthophthalic Type RTM 용 불포화 폴리에스터 수지이다. PC-670 은 적자색의 반투명한 2 액형 수지로서, 저점도이며 Filler 의 첨가가 가능하다. 주요 물성은 다음의 Table 1 과 같다.

Table 1 Material Properties of Polyester

Viscosity	0.2 Pa.sec
Gel Time	18 min
Tensile Strength	56 MPa
Young's Modulus	3.7 GPa

공정 가능성을 타진하기 위하여 실리콘 오일을 이용한 함침 모사 실험과 공정의 효율성을 평가하기 위하여 폴리에스터 수지를 이용한 RTM 실험을 수행하였다.

함침 모사 실험

실리콘 오일을 이용한 함침 모사 실험에서는 외부금형 (지하 매설관의 대응)으로 길이 1000mm, 외경 200mm, 두께 10mm 의 아크릴관을, 내부금형으로는 0.3MPa 까지의 수지 주입 압력을 견디도록 설계한 [4, 5] 두께 0.5mm 의 PVC 필름 파이프를 사용하였고, 양끝의 덮개는 Steel 로 만들었다. 실리콘 오일을 사용한 Fig. 3 과 같은 함침 모사 실험을 통해서 아크릴관의 상단가운데 부분에 Resin Jamming 에 의한 기공부위가 형성됨을 볼 수 있었는데, 이를 해결하기 위해서 다공성의 통기관을 보강부위의 상단에 길이방향으로 삽입하였다. 재 실험 결과 삽입된 통기관을 통해서 가운데 상단으로 몰린 기공부위의 기포가 Vent 로 이동하여 배출됨을 확인할 수 있었다. 실험에 사용된 수지 주입 속도는 28g/sec 이었으며, 수지 주입 압력은

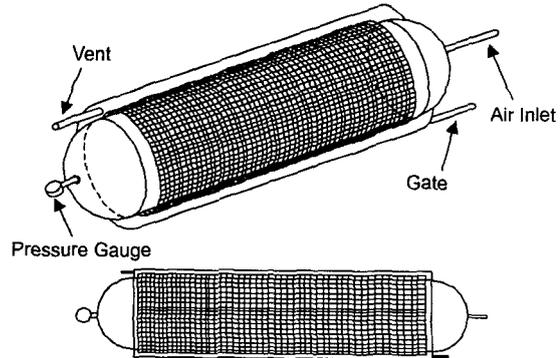


Fig. 3 Schematic Diagram of Wetting Experiment

0.1MPa 이내로 작았다. PVC 필름 내부 금형에 걸여준 공기압은 70kPa 이었다. 보강 공간을 모두 채우는 데 소요된 시간은 약 12 분이였다.

보강관 제작

함침 모사 실험을 통해서 원활한 함침이 가능함을 확인한 후, 상온 경화 용 폴리에스터 수지를 이용하여 RTM 실험을 수행하여 실제 보강관을 만들었다. 내부 금형의 재료는 함침 모사 실험과 동일하고, 외부금형과 덮개를 새로 설계, 제작하였다. 실험 장치는 Fig. 4 와 Fig. 5 와 같다. Steel 재질의 외부금형은 길이 550mm, 외경 200mm, 두께 10mm 이며, 외부에는 수지의 함침을 확인하기 위한 직경 10mm 의 아크릴 확인창을 Fig. 6 과 같이 가공하여 장착하였다. 확인창은 위에서부터 45°간격으로 4 열을 가공하였으며, 한 열 당 확인창은 개수는 5 개이다. 덮개는 Steel 로 제작하였다.

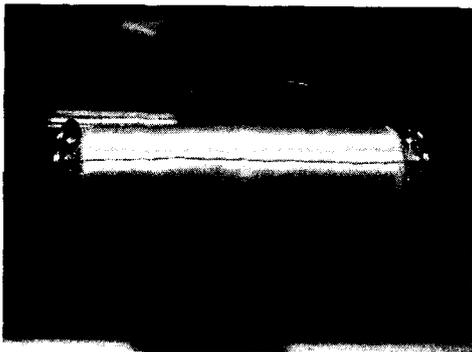


Fig. 4 Before Combining



Fig. 5 After Combining

수지 주입 속도는 25g/sec 이었고, 수지 주입 압력은 70kPa 이었다. 수지 함침 완료까지 소요된 시간은 약 13 분이었고, 함침 완료 후 상온에서 수지

를 경화하였다. 경화 반응을 촉진하기 위한 촉매로는 MEKPO (Methyl Ethyl Ketone Peroxide)를 사용하였으며, MEKPO 와 폴리에스터 수지를 부피비율 1:50 으로 섞어 주입하였다. 원활한 기포배출을 위하여 함침 모사 실험 결과 제안된 다공성의 통기관을 보강부위 상단부에 삽입하였다. 실험결과 균일한 함침 상태를 갖는 보강관을 제작할 수 있었다.

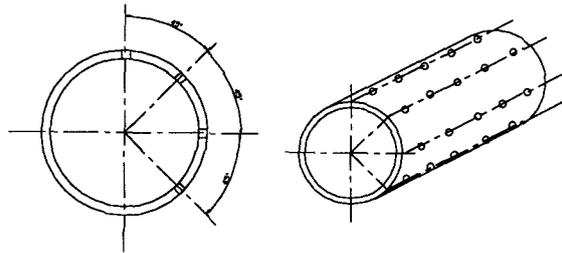


Fig. 6 Manufacturing Acryl Windows for Confirmation

4. 결론 및 고찰

본 연구는 경제성과 편의성을 갖춘 RTM 을 이용한 비굴착 지하 매설관 보수-보강공정의 개발과 크기가 큰 구조물의 RTM 성형시의 문제점 해결을 목적으로 수행하였다. 실리콘 오일을 이용한 함침 실험 결과, RTM 을 이용한 지하 매설관의 보수공정의 개발이 가능함을 알 수 있었다. 또한 효과적으로 기포를 제거할 수 있는 방법을 제안하였다.

실제 시공에 적용 가능하도록 공정과 금형을 개선하고 실제 지하 매설관에 대한 보수-보강 실험이 수행되면, 크기가 큰 구조물의 최적 RTM 성형 방법을 개발할 수 있을 것이다.

참고문헌

- (1) P. K. Mallick, *Fiber-Reinforced Composites*, Marcel Dekker, Inc., pp.3-4 (1988)
- (2) Timothy G. Gutowski, *Advanced Composites Manufacturing*, John Wiley & Sons, Inc., pp.28-32 (1997)
- (3) 이대길, 정광섭, 최진호, *복합재료 역학 및 제조 기술*, 시그마프레스, pp.367 (1998)
- (4) Ferdinand P. Beer, E. Russell Johnston, Jr., *Mechanics of Materials*, McGraw-Hill, pp.377-379
- (5) James E. Mark, *Polymer Data Handbook*, Oxford University Press, pp.502, pp.932