

〈 논문 〉

PE 피복형 파형강관의 플랜지 이음부 설계에 관한 연구

김태규* · 양상민† · 이호영**

(2006년 11월 29일 접수, 2007년 2월 8일 심사완료)

A Study on Flange Coupling Design of Polyethylene Corrugated Steel Pipe

Tae Kyu Kim, Sang Min Yang and Ho Young Lee

Key Words: Corrugated Steel Pipe(파형강관), Flange Coupling(플랜지 이음부), Polyethylene(폴리에틸렌), Leakage(누설), Snap-Fit(결합장치)

Abstract

The concrete pipe(Hume, PC) and polyethylene(PE) pipe are usually used for drain pipe in local market. Hume pipe, however, is heavy and needs the high cost of construction and PC pipe has a disadvantage to easily occur the deformation by the outside pressure even though it is light and constructible. The corrugated steel pipe coated with polyethylene is used increasedly because it is durable, constructible and economical. However, it is not used for sewage or waste water because it is hard to guarantee the watertight property on the coupling part. In this study, we studied on the flange coupling and the method of its construction to guarantee the watertight property and easy to use. If the developed flange coupling and method are used on a construction field, the economical property, constructible property and structural safety can be guaranteed.

1. 서 론

국내 배수관 시장에서는 콘크리트관(흙관, PC관) 및 폴리에틸렌(PE)관을 주로 사용하고 있으며, 흙관은 무겁고 공사비가 높으나, 사용실적이 많아 선호하고 있는 실정이다. PE관은 가볍고 시공성은 좋으나 외압강도가 낮아 변형이 발생하는 단점을 가지고 있다. 따라서 최근 국내시장은 외압강도가 높고 시공비가 저렴한 PE 피복형 파형강관으로 전환하는 추세에 있다.⁽¹⁾ 파형강관은 미국에서 개발되어 오수관과 용수로에 널리 사용되고 있으며, 타 배수관에 비해 내구성, 시공성 및 경제성이 우수하여 전 세계적으로 그 수요가 증

가하고 있는 실정이다.

PE 피복형 파형강관은 강관에 피복을 하여 내식성 및 내마모성을 개선한 제품으로 파형강관의 부식에 따른 문제를 보완하였으나 강관 연결부의 수밀성을 보장할 수 없다는 단점 때문에 오수 및 폐수용 배수관에는 사용을 기피하고 있는 실정이다.

최근 파형강관 및 피복형 파형강관의 내구성을 증대시키기 위하여 부식 및 마모 특성에 대한 연구^(2,3)와 구조적 안전성을 확보하기 위한 좌굴시험 및 우수한 피복성능과 수밀성을 보장하기 위한 플랜지의 연결공법⁽⁴⁻⁶⁾에 대한 연구가 진행되고 있으며 PE 배관재의 용착부의 건전성 평가⁽⁷⁾에 대한 연구가 진행되고 있다. 본 연구에서는 파형강관의 연결작업을 단순화할 수 있는 플랜지 이음부의 개발을 위한 설계 및 공법에 대한 연구를 수행하였다.

† 책임저자, 회원, (주)한빛파워서비스 AOV팀

E-mail : s_smyang@cnu.ac.kr

TEL : (042)821-7625 FAX : (042)821-825-7625

* 대덕대학 정밀기계시스템과

** 대구기계부품연구원 메카트로닉스부품산업화센터

2. 파형강관의 플랜지 이음부 설계

PE 피복형 파형강관은 내부식성 및 구조적 강도가 우수하고 수명이 반영구적이므로 경제성이 매우 높다. 기존의 파형강관을 연결하는 방법은 Fig. 1과 같이 두 개의 파형강관 형상에 따라 제작된 고무 패킹을 각각의 파형강관의 끝 부분에 부착한 후 파형강관을 맞대고 그 위에 플랜지 밴드를 이용하여 양 끝단을 결합하는 방법을 적용하였다. 그러나 이러한 연결방법은 파형강관의 모양 및 크기에 따라 제작된 고무 패킹이 추가적으로 필요할 뿐만 아니라 고무 패킹이 시간의 경과에 따라 변형되거나 파형강관과 완전히 접촉되지 않음으로써 배수관의 수밀성을 보장할 수 없다. 이로 인해 배관의 이음부에서 누출된 오폐수는 파형강관과 피복된 수지의 접착성을 저하시켜 누출된 오폐수에 의하여 파형강관이 부식될 가능성이 높다. 또한 지반의 상승 또는 침하에 의해 관의 연결부에 전단력이 가해지는 경우에는 구조적 강도측면에서 대단히 취약한 단점을 가지고 있다. 따라서 파형강관의 플랜지 이음부에 수밀성을 극대화하여 부식을 최소화할 수 있는 기술 개발이 요구되고 있다.

본 연구에서는 파형강관의 플랜지 이음부의 접착성을 강화하기 위해 플랜지와 접착재료의 재질을 파형강관의 코팅 재질과 동일한 폴리에틸렌을 사용하였다. 본 연구에서 개발한 플랜지 이음부는 Fig. 2와 같이 폴리에틸렌 플랜지를 제작하여 파형강관에 연결하고 원형 띠 형태의 열선 사이에 접착 PE(폴리에틸렌 수지)를 넣은 후 두 플랜지를 결합장치(snap-fit)를 이용하여 고정하였다. 두 플랜지의 접합은 연결된 플랜지 사이에 열선을 끼운 후 전기를 공급하여 접착 PE와 플랜지의 일부를 녹여 융착시키는 방법을 이용하였다. 이 방법을 적용하는 경우, 서로 융착된 폴리에틸렌

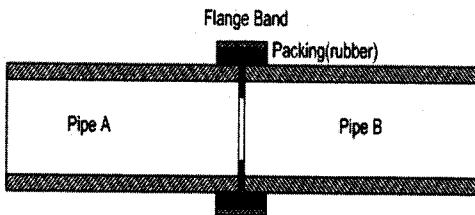


Fig. 1 Conventional connecting method of the PE steel pipes

은 접착력을 강화시켜 파형강관의 수밀성을 보장할 수 있다. 열선과 접착 PE는 Fig. 3처럼 플랜지의 접착부를 따라 원형의 띠 모양으로 제작하여 플랜지와 접착폴리에틸렌 사이에 장착된 열선을 이용하여 플랜지의 일부와 접착폴리에틸렌을 용융시켜 접합할 수 있도록 하였다.

3. 시편제작 및 강도시험

시편은 Fig. 4와 같이 사각형의 폴리에틸렌판 사이에 열선을 놓고 전기 가열장치를 이용하여 일정한 시간 동안 일정한 전류를 인가하여 제작하였다. 용착된 폴리에틸렌판은 전단강도를 시험하는 시편으로는 사용할 수 없으므로 Fig. 4처럼 점선의 영역만을 절단하여 전단시험에 사용할 수 있는 시험시편으로 제작하였다.

열접착을 위한 시험조건은 인가전류(35A, 40A)와 열선의 두께(2mm와 3.5mm)의 변화에 따라 수행하였으며 용착시간은 각 시험조건에서 600sec로 결정하였다. 열선은 일반 산업용으로 사용되는 재료 중에서 선택하였으며 인가전류는 폴리에틸렌

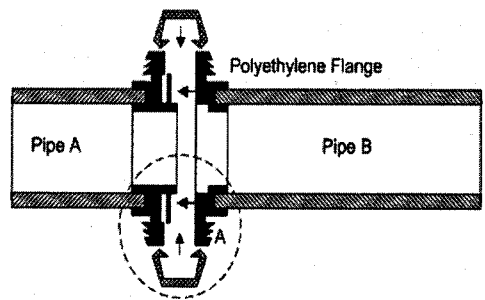


Fig. 2 Proposed connecting method of the PE steel pipes

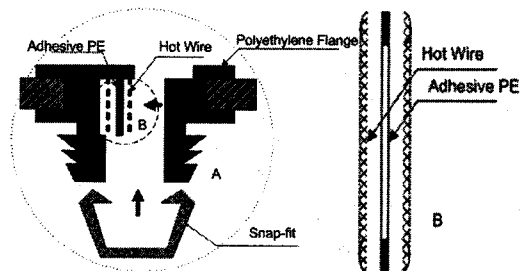


Fig. 3 Schematic diagram of the connected part

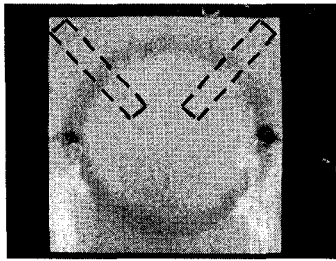


Fig. 4 Adhesive polyethylene plate for making test pieces and their locations

Table 1 Test conditions and final temperature

Test Label	Current (A)	Wire Dia. (mm)	Time (sec)	Temp. (°C)
35A20S	35	2.0	600	170
35A35S	35	3.5	600	192
40A20S	40	2.0	600	208
40A35S	40	3.5	600	216

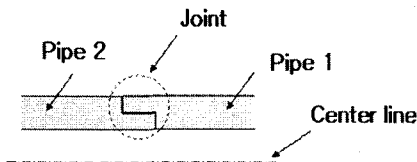


Fig. 5 Shape of the connected part of PE flange

재료를 여러 시험조건에서 시험한 결과 용융온도와 시간을 고려하여 선택하였다. 인가전류가 낮은 경우 용착시간이 많이 소요되고 인가전류가 높을 경우 폴리에틸렌 플랜지의 용융이 시작되기 전에 접착 PE의 용융온도가 급격히 상승함으로써 접착 불량 발생하였다. Table 1은 시험의 열접착을 위한 시험조건과 최종온도를 보여주고 있다. 시험의 온도는 리드선이 굵고 입력전류가 높을수록 용융부의 온도가 증가함을 알 수 있다.

PE 파형강관과 플랜지의 연결부위는 Fig. 5에서와 같은 끼움조립이 가능한 단형상으로 이루어져 있으며 열 접착면은 두개의 플랜지가 접합되는 면에서 이루어진다.

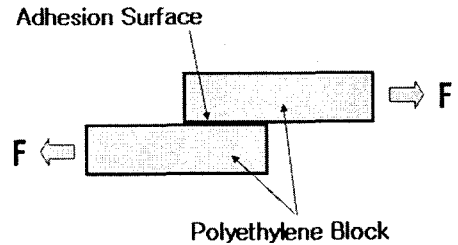


Fig. 6 Schematic diagram and photograph of test pieces

열접착으로 연결된 플랜지는 파형강관의 길이에 비해 접착면이 작으므로, 외부의 하중 및 내압에 의해 열접착 부위에서 전단하중이 발생함으로써 플랜지 이음부의 파단과 더불어 배수관의 수밀을 보장할 수 없다. 따라서 파형강관의 플랜지 이음부의 강도는 매우 중요하므로 접착조건에 따른 시험의 접합상태와 시험의 최대 전단하중을 중요한 변수로 고려하여 실험결과를 분석하였다.

전단시험을 수행하기 위해 2개의 동일한 폴리에틸렌 수지관의 접착부위에 상기의 열접착 조건을 부여한 전단시험편을 제작하여 사용하였다. Fig. 6은 본 실험에 사용된 열접착 시험편의 개념도와 시험편의 시험기 체결상태를 보여주고 있다.

본 연구에서 개발한 플랜지 이음부의 접착 강도를 평가하기 위해 인장강도 시험을 수행하였다. 용착된 관개의 접합강도 평가는 인장시험기를 이용한 인장/전단시험을 통해 이루어졌다. 접합면에 수직인 하중에 대한 접합강도의 평가는 접합된 재료가 판재이므로 매우 곤란하여 접합면과 평행인 하중에 대한 평가가 수행되었다. 일반적으로 전단하중에 의한 강도 평가는 수직하중에 의한 방법보다 더 안전한 방법으로 알려져 있다.

인장/전단시험은 폴리에틸렌 수지의 변형형태를 조절할 수 없는 문제로 본 연구에서 이용한 시험방법이다. Fig. 6은 인장시험기에 시험편을 장

착한 상태로 하중축이 일치하지 않아 하중을 가하면 초기에 굽힘이 발생하게 된다. 하중은 접합부의 파손이 발생되거나 모재에 넥킹(necking)이 발생될 때까지 가하였다.

4. 연구결과 및 고찰

열선의 두께와 인가전류의 변화에 따라 제작된 전단시편(35A20S, 35A35S, 40A20S, 40A35S)을 이용하여 접착강도에 대한 시험을 하였으며, 시험은 동일조건에서 제작된 두 개의 시편을 측정하여 그 결과를 분석하였다.

강도시험은 시험시편을 UTM 시험기에 장착하고 접합부의 파손이 발생하거나 모재에 넥킹이 발생할때까지 하중을 인가하였으며 측정된 UTM의 신호출력값을 이용하여 하중과 변위를 분석하였다.

그림 Fig. 7은 인가전류 35A와 열선의 두께 2.0mm의 시험조건에서 제작된 시편 35A20S1과 35A20S2의

하중변위선도이고 Fig. 8은 강도시험 후 시험시편의 최종형상이다. 시편 35A20S1은 접합부분이 아닌 모재에서 파단이 발생하여 하중의 완만한 감소가 발생하였으나 35A20S2는 접합부분에서 분리 되어 접합부의 분리 후 하중이 급격히 감소되었다. 두 시험편의 파손모드는 상이하나 강도는 동일한 것으로 평가되었다.

Fig. 9는 35A35S1과 35A35S2의 하중변위선도이고 Fig. 10은 시편의 강도시험 후 시험시편의 최종형상이다. 두 시편의 하중선도가 동일하고 변형형상도 모재가 변형되는 동일한 파손모드를 보였다. 따라서 접착부위의 강도는 모재의 파손강도보다 큰 것을 확인할 수 있었다.

Fig. 11와 Fig. 12는 40A20S와 40A35S의 하중 변위선도이다. 인가전류 35A에서 제작된 시험시편의 강도보다 증가하였으나 모재가 변형되는 동일한 파손모드를 보였다. 따라서 접착부위의 강도는 모재의 파손강도보다 큰 것을 확인할 수 있었다.

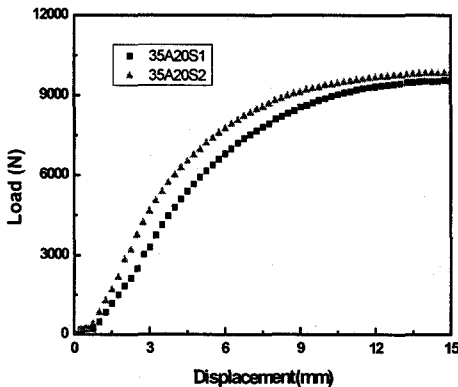


Fig. 7 Load-displacement curves of UTM test results(35A, 2.0mm)

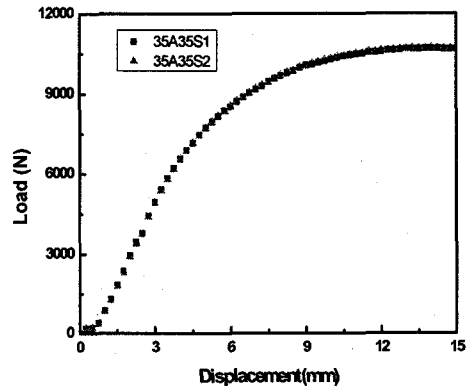


Fig. 9 Load-displacement curves of UTM test results(35A, 3.5mm)



35A20S1 35A20S2

Fig. 8 Final shape of test workpiece after UTM test(35A, 2.0mm)



35A35S1 35A35S2

Fig. 10 Final shape of test workpiece after UTM test(35A, 3.5mm)

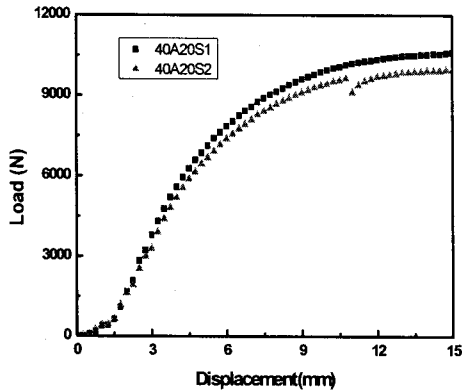


Fig. 11 Load-displacement curves of UTM test results(40A, 2.0mm)

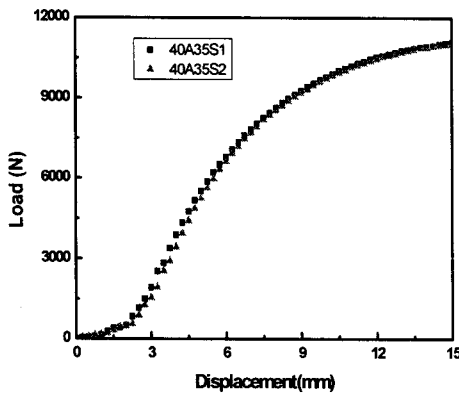


Fig. 12 Load-displacement curves of UTM test results(40A, 3.5mm)

8000 N의 하중이 작용하는 시점에서 열선의 두께가 2 mm인 경우, 6.5 mm의 변위가 발생하였으며, 열선의 두께가 3.5 mm인 경우, 변위가 4.5 mm 발생하였다. 인가전류 35A에서 제작된 시편의 강도시험 결과로부터 열선의 두께가 두꺼울수록 접착강도가 크게 나타나는 것을 알 수 있다. 또한 열선의 두께가 2 mm인 경우, 접착온도는 170℃와 208℃가 발생하였고 열선의 두께가 3.5 mm인 경우, 접착시 발생하는 열의 온도는 192℃와 216℃가 발생하였다. 따라서 접착강도는 접착온도에 따라 영향을 받음을 알 수 있다.

9600 N의 하중이 작용하는 시점에서 시편은 비접착 부위에서 백화현상이 발생되면서 넥킹되었으나 시편 35A20S2의 경우를 제외하고 접착부

위의 전단은 발생하지 않았다. 따라서 본 실험결과로부터 열선의 두께가 3.5mm인 경우가 2.0 mm인 경우보다 더 안정적인 접합상태가 발생됨을 알 수 있었다.

5. 결론

본 연구에서는 파형강관의 연결작업이 단순하고 수밀이 보장되는 플랜지 커플링의 개발에 대한 연구를 수행하여 아래와 같은 결과를 얻을 수 있었다.

(1) 본 연구에서는 두개의 폴리에틸렌 재료 사이에 2 mm 및 3.5mm의 열선을 삽입하였으며, 상기의 열선에 35A와 40A의 전류를 600sec 동안 가열한 경우, 열선접착에 의한 접착부위보다 모재의 파손이 발생함으로써 접착부위의 강도는 모재의 강도보다 크게 나타남을 알 수 있었다.

(2) 열선의 두께가 두꺼울수록, 인가전류가 증가할수록 접착부위의 열이 높게 발생되며, 접착강도가 증대됨을 알 수 있다.

(3) 열선을 이용하여 접착된 폴리에틸렌의 접착강도는 PE의 강도와 유사한 것으로 나타났으며, 이러한 시공법을 현장에 적용하는 경우, 경제성, 시공성 및 구조적 안전성을 보장할 수 있을 것으로 판단된다.

(4) 향후 전류 및 용착시간의 변화에 따른 접착강도의 변화에 대한 연구가 수행되어야 할 것이다.

참고문헌

- (1) Lee, K. H. and Park, J. H., 2006, "Evaluation of Construction Operation and Design Properties of CLSM for Corrugated Pipe in Underground," *Journal of Korean Society of Pavement Engineers*, Vol. 8, No. 2, pp. 63~74.
- (2) Kim, S. K., Jeong, J. S., Kwak, P. J., Choi, J. H., Lee, H. D. and Lee, T. Y., 2004, "Corrosion and Abrasion Characteristics of PE Sheet Laminated Corrugated Steel Pipe," *Journal of Korean Society on Water Quality*, Vol. 20, No. 2, pp. 163~169.
- (3) NCSIPA, 1996, "Evaluation Methodology for Corrugates Steel Pipe Coating/Invert Treatments."

- (4) Kim, J. M., Cho, S. D., Cho B. H. and Oh, S. Y., 2000, "Site Monitoring Analysis of the Corrugated Steel Pipe Using Geosynthetics," *Pros. of the Korean Society of Civil Engineers*, pp. 605~608.
- (5) Ahn, W. C., Han, T. H., Lim, N. H. and Kang, Y. J., 2003, "Buckling Behavior of Corrugated Steel Pipe Under External Uniform Pressure," *Journal of Korean Society of Steel Construction*, Vol. 15, No. 1, pp. 33~40.
- (6) Hwang, W. S., Wi, Y. M. and Jeong, D. A., 2003, "Tensile Behaviors of Corrugated Steel Plates in the Wave-Direction," *Journal of KSCE*, Vol. 23, No. 6, pp. 73~76.
- (7) Hwang, Y. T., Oh, S. K. and Yi, W., 2001, "Construction of Attractor System by Integrity Evaluation of Polyethylene Piping Materials," *Proc. of the KSME Conference*, pp. 609~615.