



폴리에틸렌 하수관 연결용 전기발포융착 이음관에 관한 연구

A Study of Electro-foaming Fusion Wrap for Polyethylene Sewer Pipe

계형산^{1*} · 주경훈²

Kye, Hyoungsan^{1*} · Joo, Kyung-hoon²

1 목원대학교 소재디자인공학과 · 2 (주)아주미

(2012년 2월28일 접수; 2012년 5월9일 수정; 2012년 5월11일 채택)

Abstract

A electro-foaming fusion wrap fitting for polyethylene sewer pipe was built and foaming mechanism has been studied. A foaming sheet, supporting sheet and clamping band is assembled into a all-in-one structured electro-foaming fusion wrap fitting. To specify foaming and fusion of electro-foaming fusion wrap for PE sewer pipe, series of fusion tests were performed in various conditions. A parallel plate compression test up to 50 % of inner diameter deflection has been performed to check integrity of fusion quality and it was found that there were no visible signs of crack in wrapped area of fitting. Also air tightness test based on KS M 3511-2 has been performed to evaluate perfectness of wrap fusion quality and we found there were no pressure drop up to 10 times higher value than KS standard regulation.

Key words : Polyethylene sewer pipe, Sewer pipe fitting, Electro-foaming fusion

주제어: 폴리에틸렌 하수관, 하수관 이음관, 전기발포융착

1. 연구의 배경 및 목적

1990년대부터 하수처리장 건설에 대한 정부의 집중 투자 이후 하수 처리율은 증가하였으나 상대적으로 하수관거에 대한 투자가 미미하여 하수관거에 대한 문제점이 노출되기 시작하였다. 따라서 정부는 전국의 하수관거 정비에 대한 투자를 실시하기로 결정하고, 2002년을 [하수관거 특별정비 원년]으로 설정한 이후 한강수계하수관거 정비사업과 댐상류 하수도시설 확충사업, 그리고 하수관거 BTL 사업 등을 시작하게 되었다(환경부, 2002; 2006; 2007). 이러한 사

업에는 필연적으로 대규모의 토목 공사와 하수관거 설치 공사 등이 포함되어 있으며, 관거 공사에서는 기존의 철근콘크리트 하수관거의 대체관종으로 내부식성이 뛰어나고, 운반이 용이하며, 내구성 및 내염해성 등이 우수하고 더불어 장기 내구성이 우수한 열가소성수지 계통의 연성관의 사용이 늘고 있는 현실이다. 이렇게 사용되는 열가소성수지 계통의 연성관은 우수관과 오수관으로 나뉘는 하수관거 중 뛰어난 내마모성과 내화학성 등의 특징을 살릴 수 있는 오수관에 대량으로 사용되고 있다. Moser와 Folkman(2008)에 의하면 대표적인 연성관으로 분류

되고 있는 열가소성 수지관은 그 사용 재질에 따라 Polyethylene(PE)관, Polypropylene(PP)관, 그리고 Polyvinyl chloride(PVC)관으로 나뉘고, 관의 단면의 형태에 따라 일반벽(Plain wall) 관과 구조형벽(Structured wall)관으로 나뉜다. 현재 하수관거용으로 사용되는 연성관의 대부분은 생산 시 6 m의 길이로 생산되고 있으며 또한 지중에 매립되어 사용되는 특성과 토압과 윤압 등의 하중을 지지해야하는 특성 때문에 구조형벽관으로 생산되고 있다. 이러한 구조형벽관은 재질과 관벽 두께에 따라 외관이 다른 특성을 보이고 있으며 PE, PP 하수관은 내·외면이 모두 평활한 형태이고 PVC관의 경우는 내면은 평활하지만 외면은 코리케이트 형태로 생산되고 있다. 이러한 관의 형태적 특성 때문에 관을 연결하는 방법이 관종마다 조금씩 다른 현실이다(한국상하수도협회, 2006; 계형산, 2005; ISO 21138-1, ISO 21138-2, 2007; Jeyapalan, 2007).

연성관은 각각의 관이 서로 연결되어야 관거로서 제 역할을 할 수 있다. 따라서 관의 이음 연결은 매우 중요하지만 연결 방법 및 연결 부속의 품질에 관한 연구는 하수관에 비해 상대적으로 취약한 것이 현실이다. 그 결과 이음 연결에 의한 문제 발생이 늘어나고 있으며, 이는 환경관리공단과 한국토지공사의 현장조사결과를 보아도 알 수 있다. 환경관리공단은 2005년도 17개 사업대상지역의 하수관거 388 km를 현장 조사하였고, 이 구간에서 47,253개소의 이상 항목이 발견된 것으로 발표하였다.(환경부, 2002) 이는 관거 8 m 당 1개소의 이상이 발생한 것이고 이를 좀 더 자세히 항목별로 살펴보면, 하수관거 이음부위 이상이 26,708개소(56.5%), 관 침하(3.2%), I/I(3.4%) 등 연결부위 및 누수에 의한 이상 현상이 전체 이상의 60%를 상회하는 것으로 나타났다. 또한 한국토지공사도 관거 조사를 실시하였고 역시 이음부의 문제가 47%를 상회하는 것으로 발표하는 등의 예를 살펴봐도 연결구에 의한 문제 발생이 매우 심각하다는 것을 알 수 있다. 이와 같은 이음관의 연결 불량에는 여러 가

지 이유와 입장이 있을 수 있으나, 연결 이음관의 누수 방지성능에 대한 확립된 시험 방법의 부재와 누수를 방지할 수 있는 우수한 연결 이음관의 부재가 제일 큰 원인이라 할 수 있을 것이고, 따라서 이러한 시험 방법의 개발과 누수를 방지할 수 있는 우수한 이음관의 개발이 매우 시급한 실정이라 할 수 있을 것이다.

그러나 현실적으로 국내 하수관 시장은 도급제도의 문제, 관종 간 과다경쟁, 저가 입찰 및 재생 제품의 사용 등 시공 상의 문제와 규격 미달의 제품이 유통되는 문제가 있으며, 이는 시공시 관의 파손과 누수 등의 결과로 나타나고 있다. 특히, PE 하수관의 경우 300여개에 달하는 제조업체들이 난립하고 있으며, 같은 PE 관이지만 다양한 구조의 관(이중벽관, 삼중벽관, 심레스관 등)이 생산되는 문제와 관 제조업체별 외경의 차이 및 수축률 차이에 따른 관의 치수 불일치, 그리고 과다한 적재 및 운반 상 시방 기준의 부재에 따른 관의 변형 발생 문제로 실제 시공현장에서는 관거의 이음시공 시 수밀성 문제가 발생하고 있는 현실이다. 또한 하수도 기자재 관련기준(인증)이 있지만 인증기간이 한정되어 있어 하수도 시설에 적합한 우수 품질의 식별이 곤란한 실정이다. 따라서 정부에서는 국가하수도 종합계획(2007~2015)을 운용하고 하수관거 정비제도의 개선을 위하여 하수관리정비사업 사후평가제도를 도입·실시하며 하수도용 기자재가 갖추어야 할 실질적 품질 특성치 등에 기준 제정 등을 통하여 하수도 자재 품질규격기준을 강화할 예정으로 발표하고 있다. 따라서 국가에서 시행되는 하수관거 사업에 있어 하수관뿐만 아니라 하수관 이음관의 신뢰성 확보는 필수적이라 할 수 있다. 하수관과 하수관거 이음관의 신뢰성 확보는 하수 누수에 의한 수질오염, 토양오염을 방지할 수 있으며, 하수관의 수명연장으로 재시공에 의한 막대한 비용을 절감할 수 있는 효과가 있다.

이렇듯 대규모 시장 형성에 따라 생산자 측에서는 시장 확보를 위한 노력을 경주하고 있고, 연성관의 사용이 날로 늘어남에 따라 사용자 측

에서는 연성관 및 관련 부품의 품질에 대한 많은 요구와 관심이 쏠리고 있다. 이러한 관심은 연성관과 부품의 품질과 관련한 다양한 연구와 개발로 이어지면서 그 결과는 연성관과 관련 부품의 품질 향상으로 나타나고 있다.

PE 하수관을 연결하는 기존의 이음 방법은 크게 기계식 이음 방식과 용착 방식으로 나누어진다(한국상하수도협회, 2006; 계형산, 2005; 한국표준협회, 2009). 이 중 기계식 이음 방식은 mechanical coupling 방식의 일종인 플렌지(flange) 방식, 소켓 방식 및 STS 밴드 방식이 사용되고 있으며 세 방법 모두 고무링에 의한 누수 차단 방식을 취하고 있다. 이러한 이음 방식은 시공이 간단한 장점이 있으나 고가이고 또한 시간이 흐름에 따른 고무링의 노화에 의한 누수 발생과 관의 변형 시 틈새를 통한 누수 발생 등 많은 문제를 일으키고 있다. 또 다른 이음 방식인 용착 방식은 맞대기 용착, 열수축 슬리브에 의한 압착과 전기용착시트를 이용한 방식이 있으나 맞대기 용착은 용착의 품질을 향상시키기 위한 현장에서의 시공이 어렵고, 열수축 슬리브는 압착의 방식이기 때문에 누수가 발생하는 단점이 있어 사용을 꺼리는 현실이다. 그 외 전기용착(electrofusion) 방식은 연결하고자 하는 관의 외부에서 용착포를 감싸고 전기를 주입하여 용착포를 용융시키면서 관을 연결하는 방식으로 열에 의해 녹은 관의 외면과 용착포가 일체형이 되면서 연결을 하기 때문에 이론적으로는 누수 발생이 없어야 하지만, 현실적으로는 용착포를 감쌀 때 일정한 두께를 지닌 고밀도 폴리에틸렌(HDPE) 수지 용착포가 서로 겹쳐지는 부분에 틈새가 생성되고 이를 통한 누수 발생이 빈번하게 발생하는 현실이다. 또한 이 용착포에 의한 이음 방법은 관 생산 시 관경의 허용 오차에서 발생하는 관단면의 단차를 완벽하게 막을 수 없어 이를 통한 누수가 발생하는 문제점이 있다.

본 연구는 하수관중 오수관거에 많이 사용되는 PE 및 PP 하수관의 이음 연결구에 관한 연구로써, 동일한 재료이지만 다양한 구조의 관(이중벽관, 다중벽관, 심레스관 등) 생산에 따른 관 제

조업체별 외경의 차이 및 관을 구성하는 PE 소재의 grade 별 수축률 차이에 따른 관의 치수 불일치, 그리고 과도한 적재 및 운반 상 시방 기준의 부재에 따른 관의 변형 발생 문제로 실제 시공 현장에서는 관거의 이음시공 시 누수가 발생하는 문제를 해결하기 위한 것으로 발포제를 투입한 PE 복합체의 발포 및 접착 능력을 이용하여 누수를 차단하여 환경오염을 방지하고 이음관의 품질 체계를 확립하는데 그 목적이 있다.

2. 실험

2.1 재료

본 연구에 사용된 재료는 발포 시트와 지지시트 및 접착성을 발현하기 위한 고분자 수지로써 고밀도 폴리에틸렌(HDPE) 수지, 저밀도 폴리에틸렌(LDPE), 접착 수지 및 메탈로센 폴리에틸렌(m-PE)을 사용하였으며 PE 수지와 용융 혼련하여 일정 온도에 도달하면 발포가 일어나는 발포제로는 유기계 발포제인 아조디카본아마이드(Azodicarbonamide, ADCA)에 activator를 투입하여 개질하여 사용하였다. 본 연구에서 사용한 PE 수지는 모두 LG Chemical 사의 제품이고 HDPE는 Lucene SP 980[®]으로써 압력관 및 중력관용 파이프 생산에 사용되는 수지이다. 또한 LDPE는 Lucene LB 4500[®]으로 시트 생산용 수지이다. 또한 점성과 접착성을 유지하기 위하여 접착수지를 사용하였으며 각 수지의 특성은 Table 1에, 발포제의 특성은 Table 2에 각각 나타내었다.

본 연구에 사용된 발포제는 유기계 화학발포

Table 1. Material characteristics used in this study

Material	Grade	Characteristic	Source
HDPE	Lucene SP 980	밀도 : 0.942-0.945 g/cm ³	LG Chem.
LDPE	Lutene LB 4500	밀도 : 0.921-0.925 g/cm ³	LG Chem.
접착수지	Adpoly EM 400		호남석유화학

Table 2. Chemical characteristics of foaming agent

Gas	Temperature(°C)	181~198	210~220	250~280
Evolved gas volume (ml/g)		185~218	263~322	355~454
Residue after decomposition (%)		72.5~76.7	61.3~68.0	46.9~56.5
Gaseous product after decomposition (%)		23.3~27.5	32.0~38.7	43.5~53.1
Evolved Gas	N ₂ (%)	70.8~72.9	53.9~58.8	42.6~48.9
	CO (%)	26.0~26.5	32.9~33.1	36.2~40.8
	NH ₃ (%)	0~0.9	7.4~12.0	8.2~19.1
	CO ₂ (%)	1.0~1.8	0.7~1.2	2.1~2.2

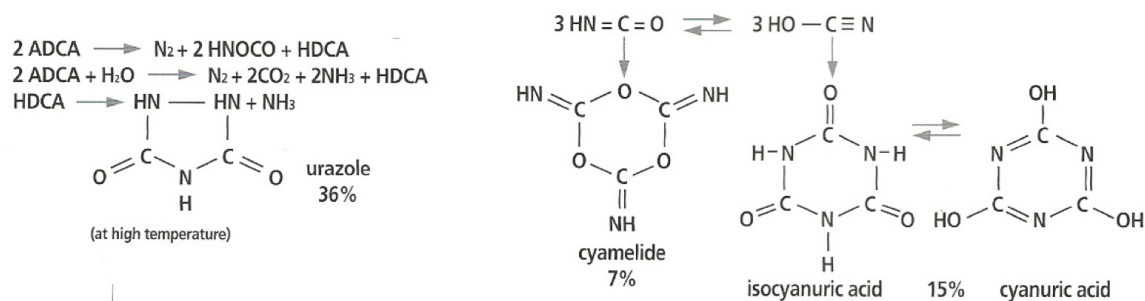


Fig. 1. Foaming mechanism for Azodicarbonamide.

제로써 아조디카본아마이드(ADCA)를 사용하였고 일정 온도에 이르면 발포하면서 부피가 팽창하는 특성을 지니고 있으며, 그 특성을 Table 2에 나타내었다.

일반적으로 아조디카본아마이드(ADCA) 발포제는 PE, PP 수지의 가장 효과적인 발포제로 알려져 있으며 활성화제(activator)의 선택에 따라 발포 온도를 상대적으로 높게 조절할 수 있는 발포제로써 일정 온도에 이르면 가스가 발생하면서 발포가 일어나되 cell 구조가 고르게 분포되어 발포 효율이 높은 물질이다. 본 연구에서는 갈슘복합체(calcium compound) 중 calcium

stearate activator를 1:1로 투입하여 발포 온도를 (120~180) °C 사이로 조정하였다. ADCA 발포제는 Fig. 1과 같은 발포 mechanism을 지니고 있으며, 발포 시 발포 온도에 따라 발생하는 가스의 거동을 Fig. 2에 나타 내었다.

2.2 발포 M/B 가공 공정

본 연구의 시트 가공 공정은 먼저 발포제 마스터배치(M/B)를 혼련 생산한 후 관경별로 발포제 함량을 조절하여 시트를 생산할 수 있도록 두단계의 압출 공정을 거쳤다. 우선 M/B 생산 공정은 LDPE 수지에 ADCA 발포제 50 phr

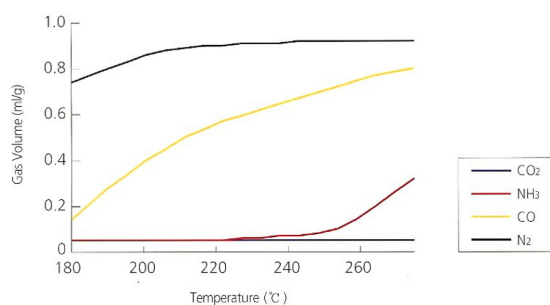


Fig. 2. Gas generation with temperature.



Fig. 3. Twin screw extruder used in this study.

을 tumble mix 한 후 이를 이축압출기(twin screw extruder)의 투입구를 통하여 투입하였다. 이 때 원료의 투입 속도는 1 kg/hr 이었고, 사용된 이축 압출기는 Bau-Tech 사의 BT 19 이축압출기로서 스크류 직경은 19 mm, L/D는 42인 modular 치합형(intermeshing) 동방향 회전(corotating) 이축압출기이다. (Fig. 3)

압출기의 온도 profile은 투입구로부터 각각 110, 160, 190, 210, 220, 180, 150, 130 °C로 유지 하였다. 이축압출기의 다이(die)를 통하여 압출된 압출물은 온도가 (25~35) °C인 냉각 수조를 거쳐 냉각된 후 pelletizer로 이송되어 펠릿으로 성형하였다. 성형된 펠릿은 대류식 건조 오븐에서 90 °C에서 4 시간 이상 건조하였다. 스크류 조합은 4개의 kneading disc block을 설치하여 수지와 충전제의 분산(dispersion) 및 분배(distribution) 혼합이 일정하게 잘 일어날 수 있도록 하였고, 그 배열을 Fig. 4에 나타내었다. 수지의 압출 시 온도 구배를 항상 동일하게 적용하고, 스크류 회전 속도는 100 rpm으로 하여 모든 실험에서 기계적 변수의 영향을 최소화 하였다.

- Element
- 2D×5
- 3D×5
- KB30×7
- KB60×6
- KB120×5
- 2D×3
- KB120×6
- 3D×1
- 2D×3
- KB120×6
- 2D×4
- KB120×5
- KB30×3
- 2D(left)×1
- 2D×4
- COMP×1



Fig. 4. Screw configuration used in this study.

2.3 발포 시트 제작

M/B 압출공정을 통해 혼련된 발포제 50 phr M/B는 대류식 건조 오븐에서 90 °C 이상으로 4 시간 이상 건조 시킨 후, 스크류 직경이 40 mm

인 단축 압출기의 투입구를 통하여 HDPE, 접착 수지 및 메탈로센 PE와 발포제 M/B를 투입하여 발포 시트를 생산하였다. 이때 투입하는 M/B의 함량은 이음관의 환경에 따라 (5~10) %의 비율로 투입하였다. 용융 혼련 후 압출되는 복합체는 압출기의 헤드(head) 부분에 칼렌더(calender)를 부착하여 시트로 제작하였으며 이를 Fig. 5에 나타내었다. 압출되는 발포시트는 이음관의 환경에 따라 시트의 폭과 길이를 조정하였다.



Fig. 5. Foaming sheet extrusion integrated with calender.

발포시트의 압출 시 단축 압출기(single screw extruder)의 온도 구배는 110, 160, 210, 200, 150, 120 °C로 유지하였으며 T-die의 온도는 110 °C 이하로 유지하여 시트 생산 시 온도에 의한 발포가 일어나지 않도록 조절하였다.

2.4 전열선 직조 및 합지 공정

발포용 PE시트 내부에 매립되는 전열선은 유리섬유로 피복된 금속 재질의 전열선을 사용하여 제작하였다. 전열선은 환경에 따라 제직 밀도를 조절하여 그물망(networking) 모양으로 제작하였고, 용착 시 열에 의해 base 수지가 용융될 경우 열선이 만곡되는 현상을 방지하기 위하여 경사와 위사로 제직하여 그물망 모양으로 제작할 수 있도록 라셀기(raschel)를 제작하여 사용하였다. (Fig. 6) 또한 연결하고자 하는 환경에 따라 열선의 간격을 조절하였으며, 용착을 위해 관의 외면을 감쌀 경우 겹쳐지는 부분에서

의 과열을 막기 위해 되고 전열선의 배열을 단일부와 이중부로 조정하였으며, 전열선을 직렬 또는 병렬로 서로 달리 배열하여 기존 전기용착시트 시공 시 발생하는 전열선 단락과 이중부 및 관 표면과 밀착되지 않은 전열선의 과열 및 과열로 인한 관벽 함몰 등의 문제를 해결하고자 하였다.

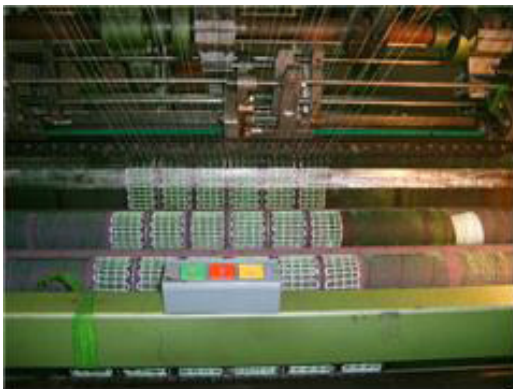


Fig. 6. Raschel wire weaving machine.

유리섬유로 피복되어 전선의 단락을 방지한 직조 전열선을 두 장의 발포용 PE시트 내에 거치시킨 후 롤밀(roll mill)을 통과시키면서 열과 압력에 의해 완전 밀폐 매립하여 전열선이 내장



Fig. 7. Casting roll mill.

된 발포시트를 제작하였다.(Fig. 7)

2.5 지지시트 제작 및 전기발포 용착이음관 제작
발포시트의 외면에 위치하면서 발포시트를

관에 밀착시키고 용착 시 발포시트와 용융/용착되어 관의 누수를 방지하는 기능의 지지시트를 제조한다. 지지시트의 인장강도(tensile strength)와 질감성(toughness)을 높이기 위하여 아연도금철망 또는 타이어코드 mesh위에 HDPE/LDPE 수지를 압출하여 지지시트를 제작한 후, 전열선이 내장된 발포용 PE시트, PE 지지시트, 조임밴드를 리벳과 나비너트, 볼트를 이용하여 일체형으로 조립 제작하여 시공 시 이음관의 체결이 간편하도록 구성된 전기발포 용착 이음관을 제작하였다.

2.6 전기발포용착 및 누수 시험

본 연구에서 제작한 전기발포 용착 이음관을 사용하여 D400 PE 관을 용착 연결하였다. 전기발포 용착이음관을 사용하여 PE 관을 용착한 후 관의 내경의 50%까지 가압 변형하면서 집착 부위의 파손여부를 확인하였다.

또한 발포 용착 연결한 후 PE 이중벽관 표준인 KS M 3500-1과 PE 용착식 이음관 표준인 KS M 3511-2의 수밀 또는 기밀 시험을 수행하였다. KS M 3500-1의 수밀 특성은 관을 연결한 후 관의 내부에 0.07 MPa의 수압을 가한 후 10분간 누수 여부를 확인하는 시험이고, 기밀 시험은 0.01 MPa의 기압을 가한 후 10분간 압력 강하 여부를 확인하는 시험이다. 또한 연결구 시험 방법인 KS M 3511-2의 수밀 특성 시험은 KS M 3500-1의 수밀 및 기밀시험 외에 KS M 3500-1의 시험 조건에서 일반적인 PE 관의 편평 하중 즉, 관 내경의 30% 변형 시 가해지는 하중을 관의 이음 부위에 가하면서 이음 부위의 누수 또는 파손 여부를 살펴보는 성능시험으로 우리나라에서 개발되어 사용되는 수밀 특성 시험이다.

3. 결과 및 분석

3.1 발포시트 압출 특성

접착 시트 생산을 위한 발포제 M/B 생산은 일반적인 압출 공정과는 온도 profile이 다른 특징을 지닌다. LDPE base 수지와 ADCA의 용융 압출을 기본으로 한다. 일반적인 LDPE 수지의 압출 가공 온도는 140 °C~250 °C 사이에서 가공을 하지만, 본 연구에서는 modified ADCA 발포제가 120 °C를 상회하면 발포가 일어나기 때문에 저온 압출을 하여야 한다. 저온 압출을 위하여 압출기의 배럴(barrel) 온도를 낮출 경우 LDPE 수지의 용융점도(melt viscosity)가 높아져서 발포제와의 분산 및 분배 혼합이 일어나지 않게 되고 그 결과 발포 시트로 성형한 후에 발포 정도가 낮아 본 연구에서 추구하는 목적을 이룰 수 없게 된다.

따라서 본 연구에서는 압출기 배럴의 온도를 LDPE 수지의 용융점보다 높이되 스크류 배열(screw configuration)을 조정하여 15D 부분부터 kneading disc block을 배열하여 수지를 용융 시킨 후, 배럴 온도를 220 °C 까지 상승시켜 발포제의 분산 및 분배 혼합 정도를 높이되 melt sealing이 일어나도록 하여 압출기 내부 압력을 상승시켜 고압을 유지하도록 하였으며 그 결과 수지의 용융 온도를 낮출 수 있었다. 또한 고압의 조건에서는 발포가 일어날 수 없고, melt seal 부분은 공기의 유입이 차단되기 때문에 고온에서 산소와의 접촉에 따른 발포제의 분해(decomposition)를 억제하는 효과도 얻을 수 있었다. 용융 혼련이 끝난 스크류의 melt conveying 부분에서는 배럴의 온도를 점진적으로 낮춰 130 °C에서 die를 통해 압출 되도록 하였다. 일반적으로 압출기의 die를 통과할 경우 고압에서 대기압으로 압출되면 부피가 팽창되면서 내부의 수지 혹은 발포제가 발포될 수 있기 때문에 압출되는 strand를 저온의(17 °C~25 °C) 냉각조를 통과시키면서 급냉(quenching)하여 부피 팽창과 잠열에 의한 발포 가능성을 차단하였다.

HDPE, LDPE와 접착 수지 base에 50 phr M/B를 혼련하여 발포 시트를 제작하였다. Base 수지의 HDPE의 함량은 관경에 따라 (40~70)

%로 변화를 주었고, 이는 연결하고자하는 PE 하수관의 관경이 클수록 관벽의 두께가 두껍고 관의 중량이 무겁기 때문에 발포시트의 인장강도가 높아야 관연결의 신뢰성을 높일 수 있기 때문이다. Base 수지에 LDPE를 투입하는 이유는 용융 혼련 시 발포제의 분산 및 분배 혼합이 잘 일어날 수 있고, 관의 외면을 감쌀 경우 LDPE의 유연성(flexibility)을 활용하여 빈 공간의 발생이 없도록 하기 위함이다. 또한 HDPE 및 LDPE 수지의 발포가 일어나면 수지의 부피가 증가하면서 인장 강도와 접착 강도가 떨어지기 때문에 접착 수지와 메탈로센 PE 수지를 투입하여 시트가 관의 외면과 접착을 유지할 수 있도록 하였다.

3.2 전열선 직조 연구

발포 시트에 열을 가하여 발포 시트가 용융되면서 발포가 일어나고 응착 후에는 시트를 강화(reinforcing)하는 복합체로 작용하기 위한 목적으로 금속 재질의 열선을 직조하였다. 전열선의 직조 시 위사와 경사를 이용하여 전열선을 고정시켰으며, 이는 발포시트가 용융된 후 전열선이 불규칙적으로 만곡 되거나 전열선이 겹치면서 발생하는 전열선의 단락 발생을 억제하고, 일정 간격을 유지함으로써 전기 주입 시 전열선이 고르게 발열되어 발포용 PE시트가 고르게 발포되도록 하기 위함이다. 또한 직조된 전열선 base mesh를 발포용 PE시트에 밀폐·매립하여 합치하되 연결하고자 하는 관의 관경에 따라 전열선을 직렬 또는 병렬로 배열하고, 전열선의 간격도 시트가 겹치지 않는 단일부와 시트가 이중으로 겹치는 이중부로 나누었다. 즉, 소구경(D150~D300)은 직렬로 배열하고 중·대구경(D400 이상)은 병렬로 배열함으로써 전열선의 굵기를 조절하였고, 전열선을 병렬로 배열함으로써 전열선이 가늘어지고 배열에 따라 시트 내 온도를 조절할 수 있어 중·대구경 관의 연결 시 발포용 PE시트의 발포·응착을 효율적이고 균일하게 할 수 있도록 하였다. 또한 연결하고자 하는 관의 직경이 D150~D300인 경우에는 전열

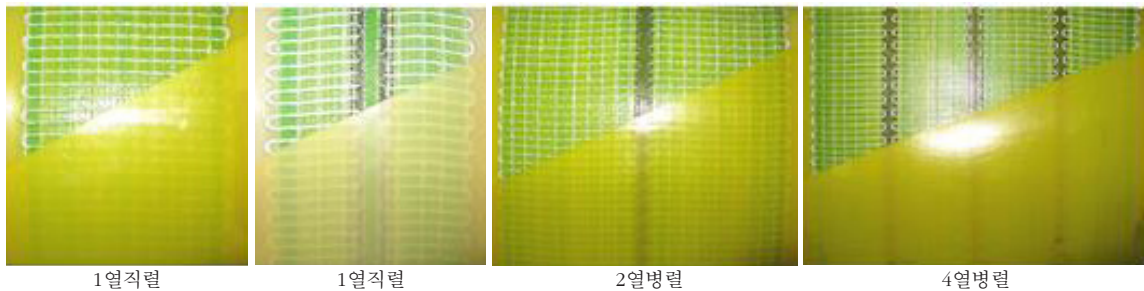


Fig. 8. Electric wire embedded foaming sheet.

선의 배열을 단일부 8 mm와 이중부 10 mm로 유지하였고, D400~D600의 경우에는 단일부 8 mm와 이중부 12 mm로 조정하여 기존 전기용착시트 공법의 단점인 이중부의 온도상승으로 인한 관벽 함몰을 방지할 수 있도록 하였다.

3.3 지지 시트 제조

PE 지지시트는 아연도금철망 또는 타이어코드망을 내장하여 시트의 두께를 줄이고 인장강도(tensile strength) 및 질김성(toughness)을 향상시켰으며 소구경 관에는 유연성이 좋은 저밀도 폴리에틸렌(LDPE) 수지를, 대구경 관에는 강성이 높은 고밀도 폴리에틸렌(HDPE) 수지를 사용하여 관경에 따른 특성을 보강, 시공 시 작업이 용이하고 관에 밀착이 잘 되도록 하였다. 기존 전기용착시트 제품은 시트가 HDPE(두께 5 mm~12 mm)로 제작되어 관을 감싸기가 불편하고 조임 밴드가 시트와 분리되어 있어 작업성이 많이 떨어진다. 반면, 본 연구의 연결 이음관은 관경에 따라 발포 시트(2~4) mm로 관의 외면을 감싼 후 (2~7) mm 두께의 지지시트로 완벽하게 조이면서 용착을 하기 때문에 기존의 전기용착 시트와 두께는 비슷하지만 지지시트 자체의 두께가 얇기 때문에 작업이 용이하고 관과의 틈새 발생을 막을 수 있는 장점이 있다. 소구경 관은 타이어코드 mesh를, 대구경관은 아연도금철망을 지지시트의 내부에 인입하여 질김성을 향상시켜 지지시트를 제작하였기 때문에 두께를 얇게 할 수 있었으며, 이를 Fig. 9에 나타내었다.



Fig. 9. Supporting sheet.

이렇게 제작된 지지시트의 기계적 물성을 측정하였고, 이를 Table 3에 나타내었다.

Table 3. Mechanical properties of materials and sheet used in this study.

	Yield Stress(MPa)	Strain at Break(%)
HDPE	21	360
LDPE	9.5	540
기존 EF sheet	19.5	700
지지시트(tire cord)	19.4	770
지지시트(wire mesh)	27.4	590
발포시트	7.2	670

Table 3에 보여진 바와 같이 HDPE 및 LDPE 수지의 항복인장강도는 각각 21 및 9.5 MPa 인 것에 비해 기존의 전기용착 sheet는 HDPE 수지로 제작되어 19.5 MPa를 나타내고 있다. 본 연구의 발포시트는 LDPE/HDPE 복합체로 제작되었지만 발포제가 투입되어 인장강도가 7.2 MPa로 낮은 수치를 보이고 있으나 외면에서 발포시트를 보강하는 지지시트는 LDPE 수지로 제작되었으나 내면에 타이어코드 또는 wire mesh가 인입되어 수지를 보강하는 효과가 있어 항

복인장강도는 각각 19.4 MPa와 27.4 MPa로 HDPE 수지로 제작된 기존의 EF 시트보다 높은 인장강도를 나타내었다.

3.4. 전기발포 융착이음관 제작

본 연구에서 제작한 발포시트, 지지시트와 조임밴드를 조합하여 일체형으로 구성된 전기발포 융착 이음관을 조립하였다. 우선 발포용 PE 시트에는 전기 주입을 위한 terminal을 연결하고, 전기 주입한 후 발생하는 열을 제어하기 위하여 전열선과 전열선 사이에 thermocouple이 위치 되도록 연결한다. 열이 가해지고 시트가 용융되면서 발포될 경우 열선의 만곡이나 위치 이탈에 따른 과열 등을 방지하면서 정확한 위치에서 융착이 일어날 수 있도록 발포시트와 지지시트를 리벳으로 일체화 연결하였다. 그 외면에 융착 시관과 이음관이 밀착될 수 있도록 견고하게 조여 주기 위한 조임밴드를 연결하여 이음관을 일체형으로 조립하였고 이를 Fig. 10에 나타내었다.

3.5. 전기발포융착 및 누수 시험

전기발포 융착이음관의 연결 완전성(integrity)을 확인하기 위하여 D400 PE 하수관을 연결 시공하고 수밀성 확인 시험을 실시하였으며,

관을 연결하는 순서를 Fig. 11에 나타내었다.

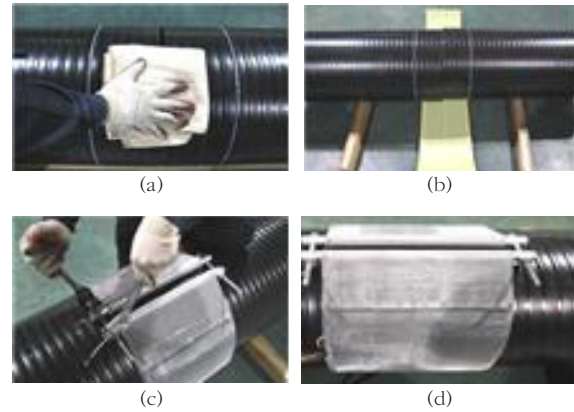


Fig. 11. Electro-foaming fusion procedure.

우선 연결하고자 하는 관의 끝단에 마커로 표시를 한 후 표면의 이물질 제거하고 전기발포 융착이음관을 지지막대를 볼트와 너트로 단단히 조인 후 전기를 주입하여 연결 시공을 실시하되 융착기의 조건을 Table 4와 같이 하였다.

Table 4에 나타난 바와 같이 D400의 융착 조건을 융착 온도별로 3가지로 실시하였다. 설정 온도를 각각 145, 130, 120 °C로 설정하여 융착 시간과 융착 품질을 살펴보았으며 그 결과를 Fig 12와 13에 나타내었다. 145 °C와 130 °C 조건에서는 과발포에 의해 발포 수지가 관의 내면으로 흘러들어가고, 발포 시트가 겹치는 이중부



Fig. 10. All in one assembly of EFF fitting.

에서 과열에 의해 관벽이 함몰되는 현상을 보였으나, 120 ℃ 조건에서는 완벽하게 용착이 일어남을 알 수 있었다.

Table 4. Electro-foaming fusion condition of D400 pipe.

실험	400A-T001	400A-T002	400A-T003
용착기조건	400A	400A	400A
온도설정	145 ℃	130 ℃	120 ℃
초기온도	19.7 ℃	22.7 ℃	20.7 ℃
전열전저항(R)	15.4Ω	15.2Ω	15.2Ω
출력전압(V)	216~217V	212~214V	212~214V
규격안전력량(P)	2,600W	2,600W	2,600W
산출전류(I)	12.99A	13.08A	13.08A

Table 4에 나타낸 바와 같이 D400의 용착 조건을 용착 온도별로 3가지로 실시하였다. 설정 온도를 각각 145, 130, 120 ℃로 설정하여 용착 시간과 용착 품질을 살펴보았으며 그 결과를 Fig 12와 13에 나타내었다. 145 ℃ ~ 130 ℃ 조건에서는 과발포에 의해 발포 수지가 관의 내면으

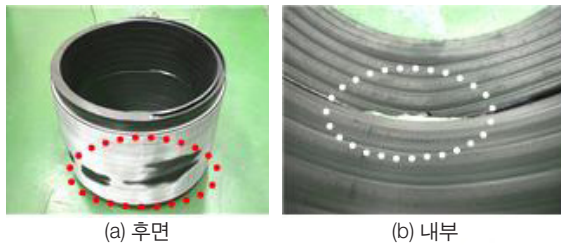


Fig. 12. Test result,(145, 130 ℃)



Fig. 13. Test result,(120 ℃)

로 흘러들어가고, 발포 시트가 겹치는 이중부에서 과열에 의해 관벽이 함몰되는 현상을 보였으나, 120 ℃ 조건에서는 완벽하게 용착이 일어남을 알 수 있었다.

또한 용착된 관을 관 내경의 10 % 단위로 내경의 50 %까지 압축에 의한 가압/변형을 시키면서 연결 부위의 파열 여부와 이중부 및 단일부의 용착 상태를 육안으로 관찰한 바(Fig. 14, Table 5) 내경의 50 % 까지 압축을 하여도 이음부위의 파열이나 변형이 일어나지 않음을 확인하였다.

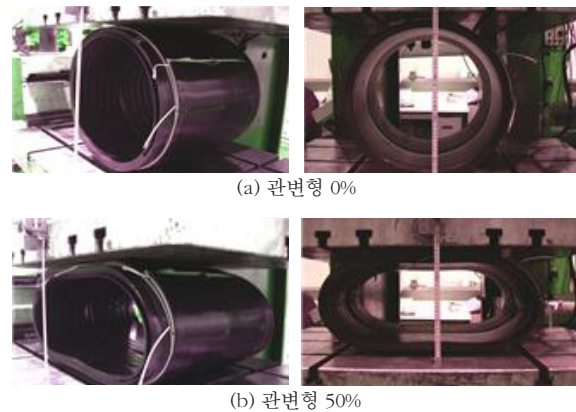


Fig. 14. Fusion condition for D400 up to 50 %.

Table 5. Fusion test result of D400.

시험번호	400A-T003						
	관변형	0%	10%	20%	30%	40%	50%
내부직경	400mm	360mm	320mm	280mm	240mm	200mm	
용착상	양호	양호	양호	양호	양호	양호	양호

또한 금속 열선이 외부에 노출된 기존의 전기 용착시트 연결 방법은 우천 시 또는 물이 있는 현장에서 시공이 불가능하였지만, 본 연구의 전기 발포 용착이음관의 상기와 같은 극한 조건에서의 작업 가능성을 확인하기 위하여 200 mm PE 심레스관을 물속에 1/3 정도 잠수 시킨 상태에서의 용착 시험과 발포용 PE 시트와 관 표면에 물을 분무한 상태에서 용착 시험을 실시하였으며 물속에서의 용착 및 기밀시험 결과를 Fig. 15에, 관의 표면에 수분을 분사한 후 실시한 용착 및 기밀시험 결과를 Fig. 16에 나타내었다.

Fig. 15에 나타낸 바와 같이 물속에서 실시한

융착 시험을 실시한 결과 융착이 일어났음을 확인 하였고 이는 수조의 물이 발포 시트 내부의 전열선까지 침투하지 않은 결과인 것으로 판단 된다. 즉, 발포 시트와 전열선이 완벽하게 합치 되어 수분의 침투를 막았기 때문에 전열선이 수분의 영향을 받지 않았음을 의미하고 혹은 수분이 침투하였다 하더라도 전열선의 피복이 수분의 침투를 완벽히 막아주기 때문인 것으로 판단 되고, 그 결과 수중이지만 관의 융착이 이루어진 것으로 보인다. 다만, 일반적인 조건에서는 10분 내외에서 융착 시공이 끝나는 반면 수중에서 실시한 융착은 15~20 분 내외의 시간이 걸리는 결과가 나타났으며, 이는 전열선에서 발생하는 열을 주위의 물에 빼앗기기 때문에 융착 시간이 약 50~100 % 정도 더 걸리는 것으로 판단 된다. 융착 후 연결의 완전성을 살피기 위해 기밀시험을 실시하되 KS M 3511-2의 0.01 MPa 조건 보다 10배 높은 0.1 MPa의 가혹한 조건에서 기밀시험을 실시하였다. 시험 결과 10배의 강한 압력 조건에서도 1시간 동안 압력 저하가 발생하지 않았으며, 관의 이음 단면을 잘라 살펴본 결과 이음 부위에 빈 공간이나 틈새의 발생이 없이 완전하게 융착이 이루어진 것을 확인할 수 있었다.



Fig. 15. Fusion under submerged condition, (Pressure= 0.1 MPa)

관의 표면과 발포시트의 표면에 수분을 분무하여 관과 이음관의 표면이 모두 젖은 상태에서 융착 시험을 실시하였다. Fig. 16에 실험 결과를 나타내었으며 관의 표면에 물을 뿌렸을 경우

의 융착 시간은 일반적인 조건에서의 융착 시간과 차이가 발생하지 않았다. 마찬가지로 융착 후 0.1 MPa 조건에서 기밀시험을 실시하였으나 1 시간 동안 압력 저하가 발생하지 않아 융착이 잘 이루어 졌음을 알 수 있었고, 이음 부위의 횡단면을 잘라 확인한 결과 이음 부위에 빈 공간이나 틈새의 발생이 없이 완전하게 융착이 이루어진 것을 확인할 수 있었다.

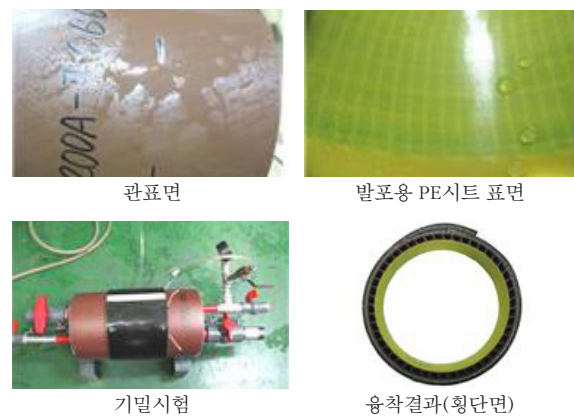
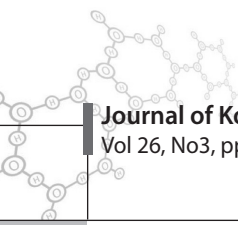


Fig. 16. Fusion in wet condition, (Pressure= 0.1 MPa)

본 연구에서 제작한 전기발포 융착 이음관을 사용하여 D400 PE 관을 융착 연결한 후 KS M 3500-1과 KS M 3511-2의 0.01 MPa의 기밀 시험 및 0.07 MPa 수압을 가한 후 10분간 누수 여부를 확인하는 수밀 시험을 수행한 결과 누기 혹은 누수가 발생하지 않았으며 이보다 가혹한 조건인 0.1 MPa의 기밀시험에서도 누기가 발생하지 않았음을 확인하였다. 더불어 연결구 시험 방법인 KS M 3511-2의 수밀 특성 시험인 KS M 3500-1의 시험 조건에서 일반적인 PE 관의 편평 하중의 평균은 이중벽관은 1380 kg_f, 복층벽관은 2400 kg_f, 심레스관은 2030 kg_f의 범위를 보였다. 본 연구의 누수 시험에 사용된 관은 이중벽관으로 가해지는 하중은 1380 kg_f의 하중을 가해야 하지만 가장 가혹한 조건인 복층벽관의 하중인 3400 kg_f의 하중을 가하면서 누수 여부를 살펴보았으며, 과한 하중이 가해지는 조건에서도 10분간 누수가 전혀 발생하지 않았으며 따라서 파손된 부위도 없었다.



4. 결론 및 제언

본 연구는 폴리에틸렌 구조형 하수관의 연결용 이음관의 개발에 관한 것으로, PE 하수관의 연결 시 기존의 전기 용착이음관이 해결할 수 없었던 관경의 차이가 발생하는 관을 수지 발포 mechanism을 이용하여 빈 공간을 채우면서 용착을 하는 이음관 개발 연구이다. 전기 발포 용착이음관의 내부에 위치하면서 발포 및 접착 기능을 하는 발포 시트의 내부에 전열선을 em-bedding 시킨 후 calendering에 의해 열용착을 하였기 때문에 수분의 침투를 근본적으로 막을 수 있었기 때문에 물이 있는 환경에서도 감전의 위험이 없이 용착이 가능하고 수분에 의한 전기 누전이나 감전의 위험성을 막으면서 시공이 가능한 전기 발포 용착이음관을 제작하였다.

제작된 전기발포 용착이음관을 사용하여 PE 하수관을 용착한 후 내경의 50%까지 변형을 가한 결과 이음관의 파손이나 변형이 발생하지 않았음을 확인하였다.

기존의 전기용착 시트를 사용할 수 없었던 수중이나 물이 있는 환경에서의 용착 시험을 실시하여 용착이 이루어 졌음을 확인 하였다. 물이 있는 환경에서의 용착 시간이 일반적인 조건보다는 50% 이상 더 소요되지만 시공자체가 불가능하였던 현장 조건에 적용이 가능하다는 결과를 얻었으며, 그 외 열수축 슬리브나 맞대기 용착 등의 이음 방법보다 시공 시간이 짧으며 가격이 저렴하기 때문에 경제성이 있음을 확인하였다.

용착의 정도를 확인하기 위하여 표준에서 요구하는 기준인 0.01 MPa 보다 10배 가혹한 0.1 MPa 조건에서 기밀시험을 실시한 결과 공기압의 누설이 없이 완벽하게 이음이 이루어 졌음을 확인할 수 있었으며, 더불어 이중벽관의 30% 편평 강도인 1380 kg_f 보다 1000 kg_f 이상의 강도로 가압하는 KS M 3511-2의 편평 수밀시험을 수행한 결과 연결부위의 파손이나 누수가 발생하지 않음을 확인하였다.

감사의 글

본 연구는 환경부 차세대 에코이노베이션 기술개발사업의 지원을 받아 수행하였으며, 본 연구를 가능토록 한 환경부 차세대 에코이노베이션 기술개발사업단에 감사를 드립니다.

참고 문헌

계형산 (2005), 폴리에틸렌관의 우수성에 관한 연구 결과, 연구보고서, 한국프라스틱공업, 협동조합 연합회

한국상하수도협회 (2006), 하수도용 연성관의 품질인증 등 관리방안에 관한 연구

한국표준협회 (2009), KS M 3500-1 배수 및 하수용 비압력 매설용 구조형 폴리에틸렌 (PE)관-제1부 : 이중벽관

한국표준협회 (2009), KS M 3511-1 배수 및 하수용 비압력 매설용 구조형 폴리에틸렌 (PE)관 연결구-제1부: 기계식 연결구

한국표준협회 (2009), KS M 3511-2 배수 및 하수용 비압력 매설용 구조형 폴리에틸렌 (PE)관 연결구-제2부: 용착식 연결구

환경부 (2002), 하수관거정비종합대책

환경부 (2006), 물환경관리기본계획

환경부 (2007), 국가하수도종합계획

ISO 21138-1 (2007), Plastic piping Systems for non-pressure underground drainage and sewerage-Structured wall piping systems of PVC, PP, PE-Part 1: Material and performance specifications for pipes, fittings and the system

ISO 21138-2 (2007), Plastic piping Systems for non-pressure underground drainage and sewerage-Structured wall piping systems of PVC, PP, PE-Part 2: Pipes with smooth external surface (all materials), Type A

Jeyapalan, J. K. (2007), Advances in underground pipeline design, construction and management, Chapter 4, pp. 4-1~4-49, ASTM Press

Moser, A. P., Folkman, S. (2008), Buried Pipe Design 3rd edition, Chapter 7, pp. 387~520, McGraw-Hill Companies,