



고밀도 폴리에틸렌 파이프의 설치중 구조안정성에 대한 연구

송헌배¹ · 김도균² · 최한석³ · 박규식⁴

포스코엔지니어링 과장¹, PETRONAS 공과대학교 교수², 포항공과대학교 교수³, 포스코 전문연구원⁴

A Study of Structural Stability of HDPE Pipe during Installation

Song, Hyun-Bae¹ · Kim, Do-Kyun² · Choi, Han-Suk³ · Park, Kyu-Sik⁴

¹Manager, Marine Works Group, POSCO Engineering, Incheon, Korea

²Senior Lecturer (=Assistant Professor), Department of Civil and Environmental Engineering, Universiti Teknologi PETRONAS, Bandar Seri Iskandar, Perak, Malaysia

³Professor, Graduate School of Engineering Mastership, POSTECH, Pohang, Korea

⁴Principal Researcher, Steel Business Division, POSCO, Seoul, Korea

Abstract: In this study, structural stability of large diameter high density polyethylene (HDPE) pipe during installation was numerically investigated in order to investigate the effect of concrete collar dimension, water depth and tension (pulling force). From the numerical simulation results, the total stress of HDPE pipe with designed concrete collar was within 2.5%, so the total weight of concrete collar for sinking of HDPE is important rather than concrete collar dimension. Furthermore, the tension area for possible installation is decreased as the air filling rate is increased. Therefore, it is important to calculate the reasonable tension range before actual installation for safe installation of HDPE pipe.

Key Words: high density polyethylene (HDPE), concrete collar, floating and sinking method, pipe installation

1. 서론

전 세계적으로 에너지 수요가 증가와 더불어, 발전소의 해수 취수 설비와 같은 장비들의 대형화가 급속도로 진행되고 있다. 과거에는 이러한 해수 취수 설비로 강관이나 콘크리트 파이프가 많이 사용되었으나 현재는 대구경화 되면서 Fig. 1과 같이 HDPE(High Density Polyethylene) 파이프의 사용이 점차 증가하는 추세이다. 이러한 HDPE 파이프는 높은 부식저항성, 경량성, 유연성, 제조용이성 등의 장점을 특징으로 하며, 강관에 비해 용이한 사용성, 간단한 설치방법, 상대적으로 긴 파이프 단위길이 등과 같은 특성으로 인해 특히 천해의 취수 설비에 그 사용량이 증가하고

있다.

Jackson(1984)은 이러한 HDPE 파이프의 유연성과 부양성을 이용한 시공방법을 다방면으로 검토하였다. 또한 HDPE 파이프를 이용한 배수 설비 시공은 일반적으로 사용되는 강관에 비해 시공기간 및 시공비 절감에 큰 효과가 있다 (Anscombe and Howard, 1993). 일반적으로 HDPE 파이프는 부유 및 하강방법 (Floating and Sinking Method) 또는 바닥 견인방법 (Bottom Pulling Method)으로 설치되며, HDPE 파이프는 부양성이 뛰어나기 때문에 부유 및 하강방법이 주로 사용된다. Janson(1990)은 HDPE 파이프 설치 후 안정성과 보호를 위해 사용되는 콘크리트 칼라(Collar) 무게에 대해 연구해, 연안 근처에서는 부력의 70% 이내의 무게만 필요하며, 대부분의 경우에 25%~50%의

주요어: 고밀도 폴리에틸렌 파이프, 콘크리트 칼라, 부유 및 하강방법, 파이프 설치

Corresponding author: Park, Kyu-Sik

Steel Business Division, POSCO, Teheran-ro 440, Gangnam-gu, Seoul 135-777, Korea.
 Tel: +82-2-3457-1679, Fax: +82-2-3457-6000, E-mail: kyuusik.park@posco.com

Received March 4 2015 / Revised March 23, 2015 / Accepted March 25, 2015

무게면 충분하다는 것을 밝혀냈다. 또한 Reiff(2002)는 소구경(~1,600mm) HDPE 파이프의 콘크리트 깔라 간격에 대해 연구했으며, 시공성 및 안정성 때문에 일반적으로 콘크리트 깔라 간격은 5~6m로 제한하고 있다. 미국 PPI(Plastic Pipe Institute)는 직경 1,600mm 이하의 HDPE 파이프에 대해 콘크리트 깔라의 간격은 3~6m, 설치시 파이프내 공기량은 10~20%를 추천하였다 (PPI, 2006). HDPE 파이프 하강시 해저면과의 접촉점(Touchdown Point)에서 발생하는 파이프의 응력으로 인한 좌굴을 방지하기 위해 충분한 견인력을 확보해야 하며, 이러한 견인력은 바람, 파랑, 조류에 의해 발생하는 유체동역학적 하중에 따라 달라진다 (Roberts 등, 2010).

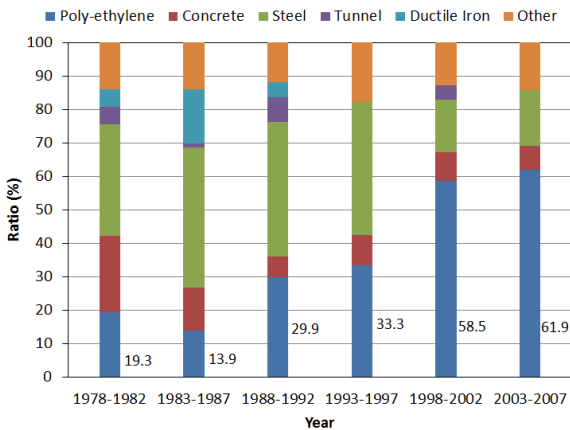


Fig. 1 Outfalls Material Ratio (Grace, 2009)

HDPE 파이프에 대한 기존연구는 주로 1,600mm까지의 소구경에 관한 연구이며, 현재 그 사용량이 증가하고 있는 대구경 HDPE 파이프에 관한 연구는 부족한 실정이다. 따라서, 본 연구에서는 대구경 HDPE 파이프 시공중 콘크리트 깔라형상 (두께, 폭, 간격)에 따른 구조 안정성 영향 및 HDPE 파이프 하강시 수심 및 견인력에 따른 구조 안정성 영향을 수치해석 기법을 통해 밝히고자 한다.

2. 부유 및 하강에 의한 해양설치

2.1 HDPE 파이프 하강 설계

HDPE 파이프 부유 및 하강에 의한 설치에서 가장 중요한 고려사항은 하강과정이다. 따라서, 미국 PPI는 Fig. 2와 같은 하강설계 절차를 제안하였다(PPI, 2006). 이러한 HDPE 하강과정에서 설계자는 부력에 의한 상향력과 콘크리트 깔라에 의한 하향력간의 균형을 맞추어야 하며, 하강을 위해서는 하향력이 일정량 상향력보다 커야한다.

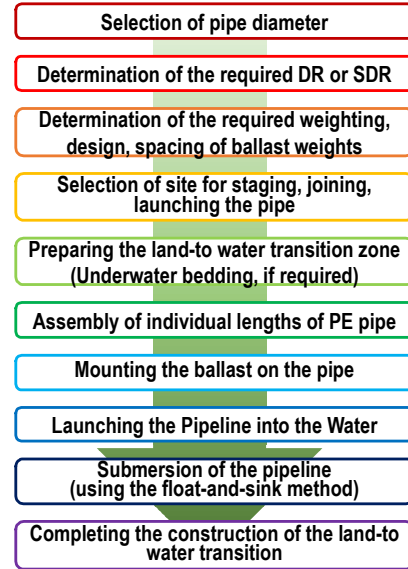


Fig. 2 Sinking Design Procedure (PPI, 2006)

HDPE 파이프 설치시 최대응력은 해저면과의 접촉점 또는 해수면에서 발생한다. 이러한 최대응력을 허용응력 이하로 유지하기 위해서는 HDPE 파이프의 곡률반경을 조절해야 한다. HDPE 파이프의 곡률반경을 조절하는 변수는 공기압, 견인력, 하강속도이며, 각각의 상세내용은 다음과 같다.

2.1.1 공기압

HDPE 파이프의 내부 공기압은 콘크리트 깔라의 무게와 연관되며, 식 (1)과 같이 공기량과 수심에 관계된다.

$$p = a_a \cdot H \quad (1)$$

여기서, p : 내부 압력

a_a : 공기량

H : 수심

$$a_a = \frac{w_{cs} + w_{ps}}{\pi \frac{ID^2}{4} r_w} \quad (2)$$

여기서, w_{cs} : 단위길이당 콘크리트 깔라 수중질량

w_{ps} : 단위길이당 파이프 수중질량

ID : 파이프 내경

γ_w : 해수 단위중량

2.1.2 견인력

HDPE 파이프의 곡률반경을 허용치 이하로 조절하기 위한 견인력은 식 (3-4)와 같으며, 이때 파이프에 작용하는 견인력과 공기량의 관계는 Fig. 3과 같다.

$$P_1 = w_1 \cdot R_{\min} \quad (3)$$

$$P_2 = w_2 \cdot R_{\min} \quad (4)$$

여기서, P_1 : $a_a > 0.5$ 일때 필요 견인력
 P_2 : $a_a < 0.5$ 일때 필요 견인력
 R_{\min} : 최소 곡률반경
 w_1 : 해수 충전 파이프의 단위무게
 w_2 : 공기 충전 파이프의 단위무게

$$w_1 = a_a \pi \frac{ID^2}{4} \gamma_w \quad (5)$$

$$w_2 = \frac{1 - a_a}{a_a} w_1 \quad (6)$$

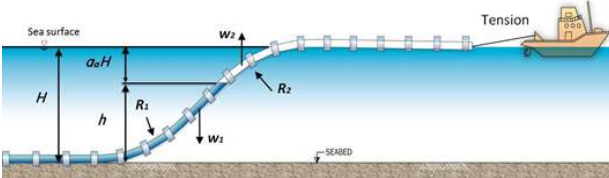


Fig. 3 Relationship between Air Filling Ratio and Forces acting on HDPE Submarine Outfall during Submersion (Roberts et al., 2010)

2.1.3 하강속도

HDPE 파이프의 하강속도는 공기방출 비율 또는 해수 유입률로 조절된다. 하강속도는 파이프에 과도한 응력을 발생시키는 것을 막기 위해 가능한 느리게 일정한 속도를 유지하는 것이 중요하다. Roberts 등 (2010)은 시공경험을 바탕으로 하강속도를 0.3m/sec로 추천하였다.

2.2 콘크리트 칼라설계

HDPE는 무게가 가볍기 때문에 하강 및 안정적인 설치를 위해서는 영구적인 콘크리트 칼라가 필요하다. 콘크리트 칼라의 설계는 설치방법 이나 주변 환경조건에 따라 달라지며 일반적인 설계과정은 Fig. 4와 같다.

콘크리트 칼라 설계시 가장 중요한 것은 설치 후 외부하중에 대한 해저안정성(On-bottom Stability)이다. 콘크리트 칼라가 설치된 HDPE 파이프에 작용하는 힘은 Fig. 5와 같으며, 식 (7)과 같은 파이프 안정성을 위한 소요무게 보다 식 (8)과 같은 HDPE 파이프 총무게가 커야 한다.

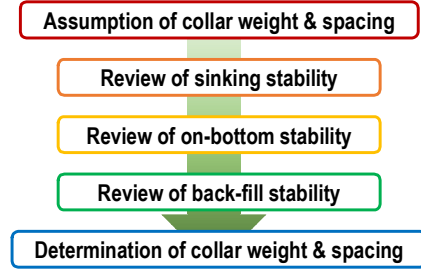


Fig. 4 Concrete Collar Design Procedure (Shin, 2013)

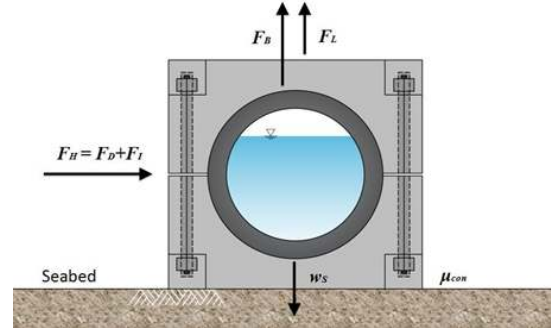


Fig. 5 Forces of HDPE Pipe on Seabed

$$W_{s,req} = \frac{F_H + \mu_{con} F_L}{\mu_{con}} \quad (7)$$

$$W_S = w_{con,sea} + w_{p,air} + w_{cont} - F_B \quad (8)$$

$$\frac{W_S}{W_{s,req}} > 1 \quad (9)$$

여기서, $W_{s,req}$: 안정성을 위한 소요무게
 W_S : 칼라 체결된 HDPE 파이프 총무게
 F_H : 수평력 (항력 및 관성력)
 μ_{con} : 해저면과 콘크리트 칼라 마찰계수
 F_L : 수직력 (양력)
 $w_{p,air}$: 공기중 파이프 무게
 w_{cont} : 공기중 내부유체 무게
 F_B : 수중 파이프 무게

3. 콘크리트 칼라 설계예제

3.1 설계데이터

본 연구에서는 부유 및 하강 방법에 의한 HDPE 파이프의 설치방법을 고려했으며, 주로 하강조건에 대한 변수연구를 수행하였다. 본 연구에서 고려된 설계 데이터는 시공현장의 특성을 반영하여 결정된 것이다. Table 1은 대구경 HDPE 파이프 제원을 나타낸 것이다.

Table 1. HDPE Pipe Data

| HDPE Pipe Data | Value |
|--------------------------------------|-------|
| Material Type | PE100 |
| Dimension Ratio | 30 |
| Outer Diameter(mm) | 2,500 |
| Min. Thickness(mm) | 83.3 |
| Specific Density(kg/m ³) | 961 |
| Yield Strength(MPa) | 23 |
| Poisson Ratio | 0.5 |

3.2 환경하중

본 연구에서는 수심 18.88m 인 지역을 고려하였으며, 상세한 설계조건은 Table 2와 같다.

Table 2. Water Depth and Seabed Data

| Design Data | Value |
|------------------------------------------|-----------------------|
| Water Depth(m) | 18.88 |
| Specific Density(kg/m ³) | 1,025 |
| Kinematic Viscosity(m ² /sec) | 1.05X10 ⁻⁶ |
| Seawater Temperature(°C) | 27.2 |
| Seabed Soil Type | Clay/Sand |
| Seabed Bottom Roughness(m) | 2.08X10 ⁻⁵ |

HDPE 파이프의 설치안정성 및 하강 검토를 위한 환경하중을 Table 3 및 Fig. 6과 같다. 이때 안정성 검토를 위한 하중조합은 10년 파랑하중과 1년 조류하중 조합, 1년 파랑하중과 10년 조류하중 조합을 고려하였다.

Table 3. Wave and Current Data for On-bottom Stability

| Environmental Load | | Return Period | |
|--------------------|----------------------------------------------|---------------|-------|
| | | 1 yr | 10 yr |
| Wave | Significant Weave Height(H _s , m) | 1.6 | 2.01 |
| | Peak Spectral Period(T _p , sec) | 9.9 | 10.7 |
| Current | Speed(m/s) | 0.27 | 0.37 |
| | Direction from Wave(Clockwise, deg) | 45 | 45 |

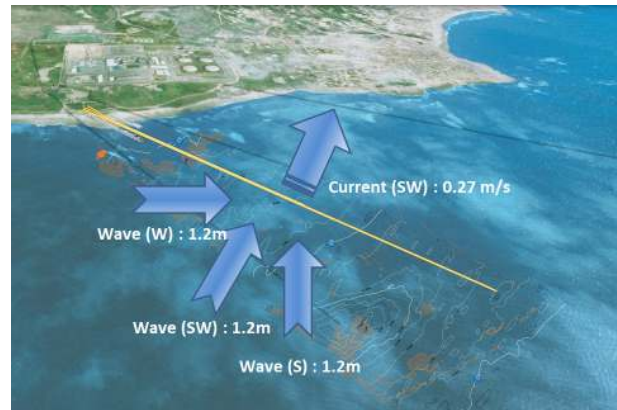


Fig. 6 Applied Wave and Current Directions for Sinking

3.3 설계기준

HDPE 하강설계를 위해서는 해저면 안정성, 곡률반경, 공기량 등의 설계기준을 만족해야 한다. 일반적으로 DNV 설계기준이 적용되며, 이때 고려된 DNV 설계기준은 DNV-RP-E305 (DNV, 1988), DNV-RP-C205 (DNV, 2010a), DNV-RP-F109 (DNV, 2010b) 이다. 또한 HDPE 재료 물성치는 ISO 898-1 (ISO, 2009)를 고려하였다.

해저면 안정성 설계기준은 식(9)와 같이 HDPE 총 무게가 안정성을 만족시키기 위한 소요무게보다 커야 하며, DNV 기준에서는 경제성과 시공성을 고려하여, 일반적으로 안정성에 대한 별도의 안전율은 고려하지 않는다. 또한, 본 논문에서 사용된 HDPE 파이프는 설치후 백필(backfill)을 하기 때문에 추가적인 안전율을 고려하지 않았다. HDPE 파이프 하강시에는 파이프의 응력 뿐만 아니라 곡률반경도 설계기준에 만족해야 한다. 파이프의 응력은 식 (10)으로부터 계산되는 von-Mises 응력이 식 (11)로 계산되는 설계응력보다 작아야 한다. 이때 PE 재료는 온도와 노출 시간에 따라 물성치가 변하기 때문에 본 연구에서는 PipeLife (2002)에서 제시한 PE100 재료에 대해 20°C, 5시간 노출(하강시간)에 대한 파괴응력인 11.7 MPa를 고려하였다.

$$\sigma_t = \sqrt{\sigma_h^2 + \sigma_l^2} - \sigma_h \sigma_l \tag{10}$$

여기서, σ_t : 파이프 전체 응력

σ_h : 파이프 hoop 방향 응력

σ_l : 파이프 축방향 응력

$$\sigma_d = \frac{\sigma_{c,5hr}}{SF_{stress}} \tag{11}$$

여기서, σ_d : 설계응력

$\sigma_{c,5hour}$: 5시간 노출시 파괴응력

SF_{stress} : 응력 안전율 (1.25)

파이프의 최소곡률반경은 Roberts 등(2010)에서 제시한 식 (12)를 사용했으며, 이때 안전율은 1.5를 사용하였다.

$$MBR_{allowable} = SF \times OD \frac{(DR-1)}{1.12} \quad (11)$$

여기서, $MBR_{allowable}$: 최소 곡률반경

OD : 파이프 외경

DR : 형상비 (외경/두께)

SF_{bend} : 곡률반경 안전율 (1.5)

HDPE 파이프의 하강을 위해서 콘크리트 칼라가 필요하다. 콘크리트 칼라의 무게는 파이프내의 공기량에 따라 달라지게 된다. 따라서, 본 연구에서는 PipeLife (2002)에서 추천되는 10, 15, 20%의 공기량을 고려하였다.

콘크리트 칼라 사이에 과도한 변형이 발생할 경우 콘크리트 칼라가 설치된 지점에 과도한 응력이 발생할 수 있다. 따라서, 콘크리트 칼라 사이의 변형이 2.54 cm 이하로 발생하도록 식 (12)와 같이 콘크리트 칼라 간격을 제한한다 (AWWA, 2006).

$$S = \sqrt[4]{\frac{384EIy_s}{5(w_p + w_i)}} \quad (12)$$

여기서, S : 콘크리트 칼라 간격

E : 탄성계수

I : 관성모멘트

y_s : 콘크리트 칼라 사이 변형

w_p : 파이프 무게

w_i : 파이프 내부유체 무게

3.4 해석 소프트웨어

본 연구에서는 Orcina사에서 개발한 OrcaFlex (Orcina, 2013)을 사용하여 해석을 수행하였다. OrcaFlex는 3차원 비선형 시간영역 해석을 수행할 수 있는 해양분야에 특화된 유한요소해석 소프트웨어이다. OrcaFlex는 라이저, 계류라인, 파이프라인 등을 해석할 수 있으며 해양분야에서 사용되는 파이프라인, 플랫폼, 부표, 해저면 등을 손쉽게 모델링 할 수 있다. (Park 등, 2015)

3.5 해석결과

3.5.1 콘크리트 칼라 형상에 따른 영향

본 연구에서는 Fig. 7과 같이 사각형의 콘크리트 칼라를 고려하였으며, 콘크리트 칼라의 설계변수는 폭, 두께 및 설치간격을 고려하였다. Fig. 8은 수심 18.88m, 견인력 900 kN에 대해 설치간격에 따라 설계기준을 만족하는 콘크리트 칼라의 폭 및 두께를 나타낸 것이다.

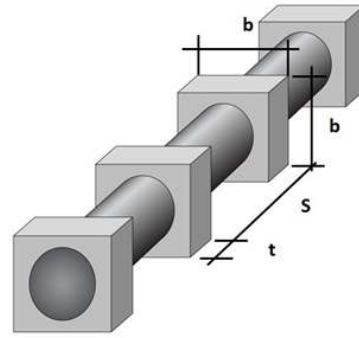
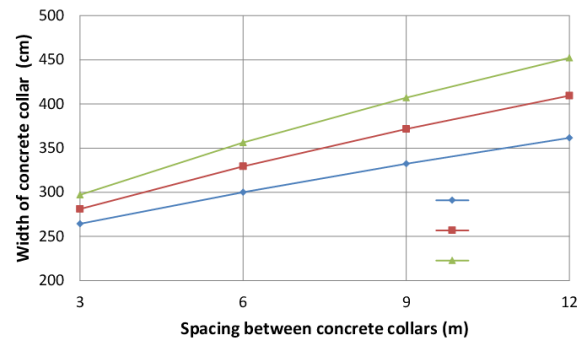
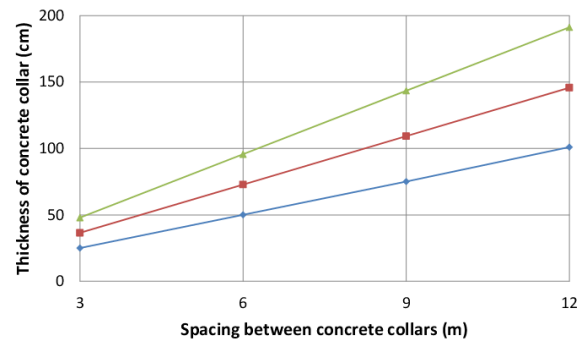


Fig. 7 Concrete Collar Dimension



(a) Required Width of Concrete Collar with t = 50cm



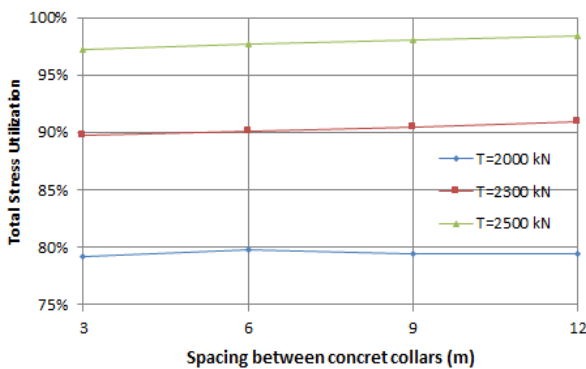
(b) Required Thickness of Concrete Collar with b = 300cm

Fig. 8 Concrete Collar Dimension with T = 900 kN

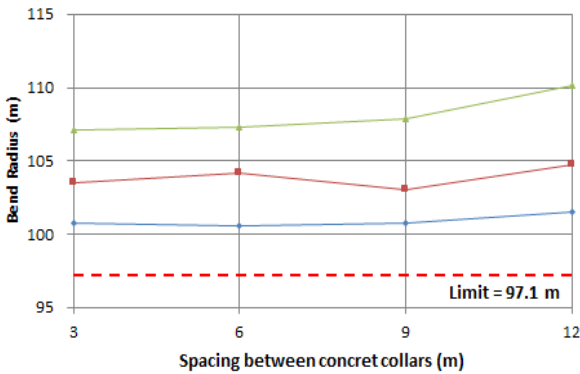
Fig. 8에서 보듯이 설계기준을 만족하기 위한 콘크리트 칼라의 무게를 유지하기 위해 콘크리트 칼라 간격이 증가할수록 폭이나 두께가 증가하는 것을 알 수 있다. 또한, 파이프내의 공기량(a_a)이 증가할수록 필요

한 콘크리트 칼라의 무게가 증가하기 때문에 그에 따라 주어진 콘크리트 칼라 간격에 대해 폭이나 두께가 증가하는 것을 알 수 있다.

Fig. 9는 공기량 10%, 두께 50 cm일 때 콘크리트 칼라 간격에 따른 응력 및 곡률반경을 나타낸 것이다. Fig. 9에서 보듯이 콘크리트 칼라 간격에 따라 설계된 콘크리트 칼라의 무게가 유사하기 때문에 간격에 따른 응력 및 곡률반경이 큰 차이가 없는 것을 알 수 있다. 또한, 견인력이 커짐에 따라 HDPE 파이프의 응력 및 곡률반경이 증가하는데 콘크리트 칼라는 허용 최대응력과 허용 최소 곡률반경의 상반적인 관계를 이용해 설계해야 한다.



(a) Calculated Total Stress Utilization



(b) Calculated Bend Radius

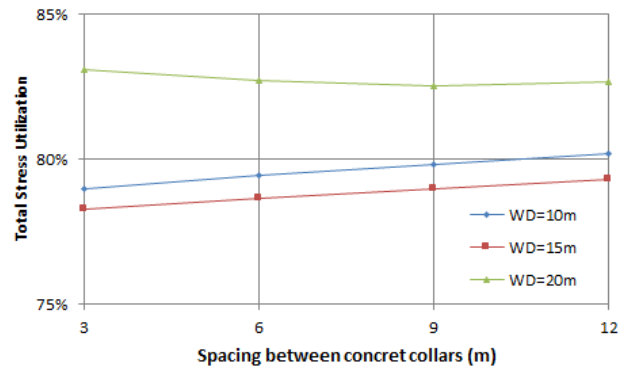
Fig. 9 Design Criteria with Tension

3.5.2 설계수심 및 견인력에 따른 영향

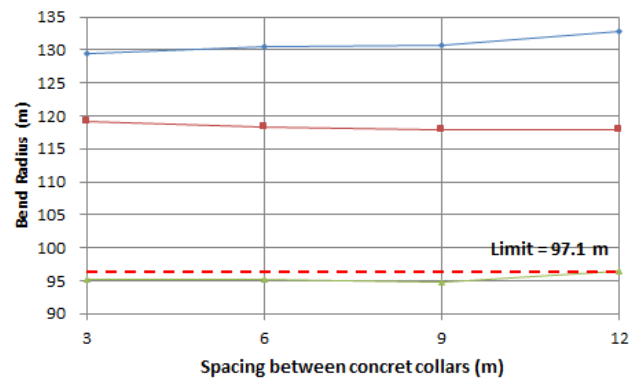
HDPE 파이프에 작용하는 하중은 설계수심에 밀접한 관계가 있다. 따라서, 10, 15, 20m의 설계수심에 대해 HDPE 파이프의 안정성을 검토하였다. Fig. 10은 공기비율 10%와 견인력 2,000kN에 대해 콘크리트 칼라의 설치간격에 따른 응력 및 곡률반경을 나타낸 것이다. 그림에서 보듯이 수심이 증가할수록 HDPE 파이프의 응력은 증가하는 반면 곡률반경은 감소하는

것을 알 수 있다. 또한, 응력에 비해 곡률반경이 수심에 대해 민감한 결과를 보였으며, 수심 20m 일 때 곡률반경은 최소곡률반경보다 작게 되어 설계기준을 만족하지 못하였다.

설계수심 및 견인력과 관계를 알아보기 위해 Fig. 11과 같이 설계수심 및 콘크리트 칼라 간격에 따른 견인력 범위를 검토하였다. 그림에서 보듯이 공기비율이 10, 15% 일 경우에는 수심 10, 15, 20m 모두 설치가 가능한 견인력 범위를 나타냈으며, 수심이 증가할수록 그 범위는 감소하였다. 또한, 공기비율이 15% 일 경우에는 공기비율 10% 인 경우와 비교해서 견인력 범위가 좁으며, 이는 실제 HDPE 파이프 설치 시 상대적으로 정밀한 견인력 제어가 필요한 것을 의미한다. 공기비율 20%인 경우에는 수심 13m 이상 초과 시 필요한 최소 견인력이 최대 견인력 보다 크기 때문에 HDPE 파이프를 설치할 수 없다.

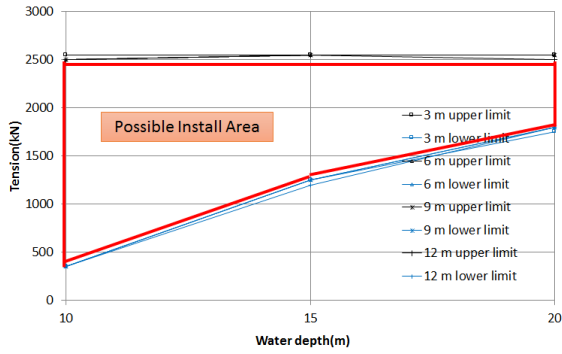


(a) Calculated Total Stress Utilization

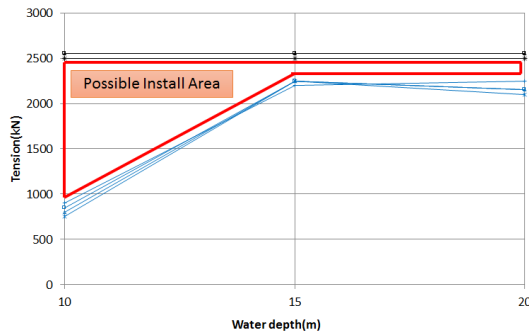


(b) Calculated Bend Radius

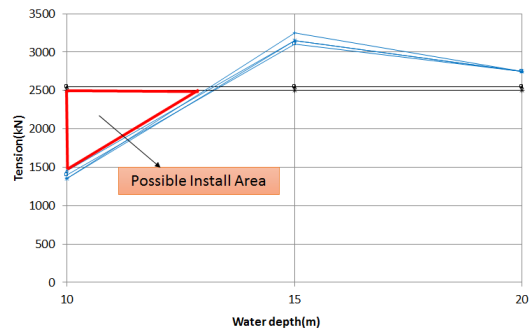
Fig. 10 Design Criteria with Water Depth



(a) Air Filling Rate of 10%



(b) Air Filling Rate of 15%



(c) Air Filling Rate of 20%

Fig. 11 Tension Range with Air Filling Rate

4. 결론

기존 연구에서는 외경 1,600mm 이하의 소구경 HDPE 파이프에 대한 안정성을 고려하였으나, 본 연구에서는 최근 그 사용량이 증가하고 있는 대구경 (2,500mm) HDPE 파이프의 설치중 구조안정성 수치 해석 기법을 통해 검토하였다. 콘크리트 깔라 형상, 설계수심 및 견인력에 구조안정성을 검토하였으며, 이를 통한 연구결과는 다음과 같이 요약할 수 있다.

(1) 콘크리트 깔라 형상에 따른 구조안정성 검토결과, 설계된 다양한 형상에 대해 응력은 2.5% 이내로 변동되는 것을 확인하였다. 이는 HDPE 파이프의 하

강을 위한 콘크리트 깔라는 총 무게가 중요하며, 콘크리트 깔라의 형상 (폭, 두께, 설치간격)은 영향이 작다는 것을 의미한다. 따라서, 콘크리트 깔라의 형상은 제조설비, 설치방법 등의 영향을 더 크게 받는다.

(2) 본 연구에서 고려된 콘크리트 깔라 예제를 통해 공기량이 증가 할수록 설치 가능한 견인력의 범위가 감소했으며, 일정 수심 이상에서는 설치가 불가능하였다. 따라서, HDPE 파이프의 원활한 설치를 위해서는 사전에 소요되는 견인력 범위를 계산해야 한다.

감사의 글

이 논문은 산업통상자원부가 주관하는 2013년 엔지니어링 전문인력양성사업 (과제번호: H2001-13-1001)의 지원받아 수행되었으며, 이에 깊은 감사드립니다.

References

- Anscombe, R. and Howard, M. (1993), "Installation of a polyethylene outfall pipeline," *The 11th Australasian Conference on Coastal and Ocean Engineering*. Queensland, Australia. pp. 269-274.
- AWWA (2006), *M55 PE Pipe - Design and Installation*. American Water Works Association, Washington, D.C., USA.
- DNV (1998), "On-bottom Stability Design of Submarine Pipeline," DNV-RP-E305, *Det Norske Veritas*, Oslo, Norway.
- DNV (2010a), "Environmental Conditions and Environmental Loads," DNV-RP-C205, *Det Norske Veritas*, Oslo, Norway.
- DNV (2010b), "On-bottom Stability Design of Submarine Pipelines," DNV-RP-F109, *Det Norske Veritas*, Oslo, Norway.
- Grace, R. A. (2009), *Marine Outfall Construction: Background, Techniques, and Case Studies*. American Society of Civil Engineers (ASCE) Press, Reston, VA, USA.
- ISO (2009), Mechanical properties of fasteners made of carbon steel and alloy steel -- Part 1: Bolts, screws and studs with specified property classes -- Coarse thread and fine pitch thread (ISO 898-1). International Organization for Standardization, Geneva, Switzerland.
- Jackson, L. A. (1984), "Large Diameter Polyethylene Submarine Outfalls," *Coastal Engineering Proceedings*, pp. 3148-3156.
- Janson, L. E. (1990), "Review of design and experience

- with thermoplastic outfall piping,” *ASTM Special Technical Publication*, pp. 336-343.
- Orcina (2013), OrcaFlex User's manual version 9.6c. Orcina Ltd., Cumbria, UK.
- Park, K. S., Choi, H. S., Kim, D. K., Yu, S. Y., and Kang, S. C. (2015), “Structural Analysis of Deepwater Steel Catenary Riser using OrcaFlex,” *Journal of Ocean Engineering and Technology*, 29(1), pp. 16-27. (in Korean)
- PIPELIFE (2002), *Technical Catalogue for Submarine Installations of Polyethylene Pipes*. Pipelife Norge AS, Stathelle, Norway.
- PPI (2006), *Marine Installations*, Plastics Pipe Institute (PPI), Irving, TX, USA.
- Reiff, F. M. (2002), *Small Diameter (HDPE) Submarine Outfalls*. CEPIS, Washington, D.C., USA.
- Roberts, P. J. W., Salsa, H. J., Reiff, F. M., Libhaber, M., Alexandre L. and Thomson, J. C. (2010), *Marine Wastewater Outfalls and Treatment Systems*. IWA Publishing, London, UK.
- Shin, W. C. (2013), “Introduction of GHANA TAKORADI T2 Project Large HDPE Pipe Sinking Design,” *POSCO Engineering Technology Magazine*, 29(1), pp. 46-57 (in Korean)