

해양 시추선용 공조덕트 개발에 대한 수치해석

이중섭*, 진도훈**,#

*경남과학기술대학교 엔진부품검증센터, **다원텍(주)기술연구소

Numerical Analysis of the Development of an Air Conditioning Duct for Marine and Oil Drilling Ships

Chung-Seob Yi*, Do-Hun Chin **,#

*Gyeonnam National University of Science and Technology, Engine Parts Verification Center

**R&D Center, Dawon Tech LTD., CO.

(Received 6 February 2017; received in revised form 21 February 2017; accepted 8 March 2017)

ABSTRACT

This study is about the distributions of flow in an air conditioning duct used for marine and oil drilling ships. Three-dimensional steady state turbulence was assumed as a governing equation for describing the flow in the air conditioning duct in this study. We compared the flow field with the pressure distribution according to the inlet velocity for two types of air conditioning duct, and stress and safe factors were simulated using ANSYS W/B. The result of fluid analysis showed an increased pressure drop in the duct according to the inlet velocity. Furthermore, secondary flow and complicated flow characteristics occurred at the bellows zone.

Key Words : Drilling Ship(시추선), Air Conditioning Duct(공조덕트), CFD(전산유체역학)

1. 서 론

여러 해양플랜트 중에 해양 반시추선(Submersible semi drilling rig)의 경우 다리에 해당되는 Column과 Pontoon에는 해당구역의 통풍을 위해 일반적으로 공조덕트가 설치되어 있다.

현재 해양 시추선에는 일반적으로 많이 사용되는 공조용 덕트는 경량수밀 공조덕트로 Column

내부에 모듈형태로 설치되며, 표면에 주름부가 길이방향으로 형성되어 있어 강도의 보강 및 경량화가 가능하도록 설계되고 있다.

주름부에 의하여 경량수밀 공조덕트의 강도가 증가함으로써, 공조덕트의 두께를 상대적으로 얇게 할 수 있으므로 전체 무게를 경감 할 수 있게 되어 해양시추선에 효율적으로 사용 할 수 있기 때문에 유럽 등 오일메이저들이 신규 건조되는 시추선의 경우 대부분 경량화를 시도하고 있다. 반면 기존 시추선의 경우 Column에 설치되는 공조덕트는 단순히 평편한 표면의 철판으로 덕트를 제작하여 단부를 서로 용접하여 연결하여 사용하고 있다.

Corresponding Author : chindohun@hanmail.net

Tel: +82-51-629-7737, Fax: +82-55-327-2310



Fig. 1 Air conditioning duct

본 연구는 Fig. 1과 같이 기존에 사용되는 공조 덕트에 주름관을 설치하여 강도는 높일 수 있는 구조로 개발하기 위해 유동해석과 구조해석을 통해 설계자료를 도출하고자 한다.

2. 공조덕트 유동해석

본 연구는 Fig. 2와 같이 2가지 타입의 덕트에 대하여 유동해석을 수행하고자 한다. 또한 덕트 유동해석을 위해 Fig. 3과 같이 경계조건을 부여하여 수치해석을 진행하였다.^[1-3]

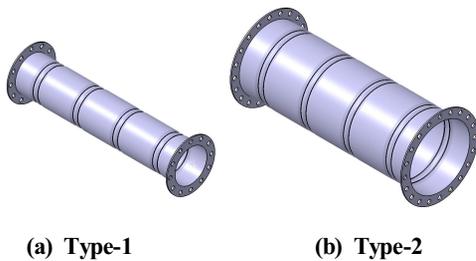


Fig. 2 Analysis parameter

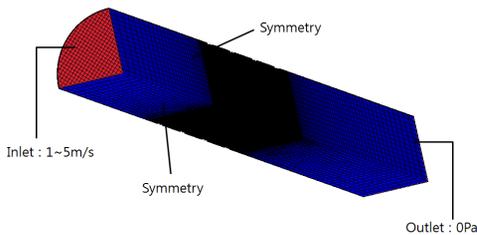
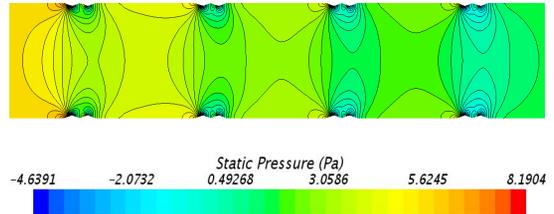
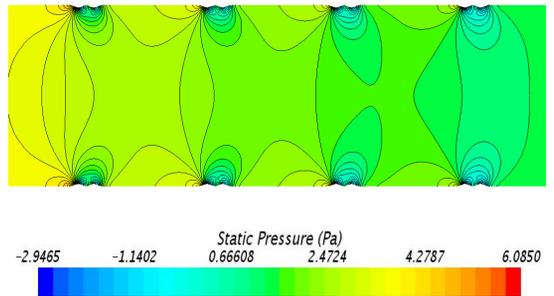


Fig. 3 Boundary conditions and control volume



(a) Type-1



(b) Type-2

Fig. 4 Comparison of static pressure

유동해석을 위해 우선 계산 도메인의 초기조건은 공기가 100%가 있다고 가정하였고, 경계조건인 입구에서 공기가 유입되는 조건을 부여하였다. 유입되는 공기는 유속으로 설정하였으며, 1~5m/s로 순차적으로 유속을 증가시켜 내부에 발생하는 유동장을 파악하고자 하였다. 또한 그림에서 보는 것과 같이 출구의 경우 대기압으로 설정하여 덕트의 압력강하를 확인하고자 하였고, 원형덕트이기 때문에 대칭조건을 사용하여 계산을 수행하였다.

최종 제어체적에서 입구와 출구의 경우 유동 안정성을 확보하기 위하여 수력반경 기준으로 입구 5배, 출구는 7배 Extrude시켜 격자를 생성하였다.^[4-6]

Fig. 4는 주름관이 설치되어 있는 영역에서 Type-1과 Type-2의 압력분포를 서로 비교한 것이다. 그림에서 보는 것과 같이 Type-2의 경우 직경이 증가됨에 따라 중심부에서의 압력변화가 Type-1에 비해 다소 줄어든 것을 확인할 수 있었다. 따라서 주름관 상부에 정채되어 유동재순환되는 구간에서 압력이 가장 높게 나타나는데 Type-2의 경우 압력이 다소 낮아짐을 확인할 수 있었다.

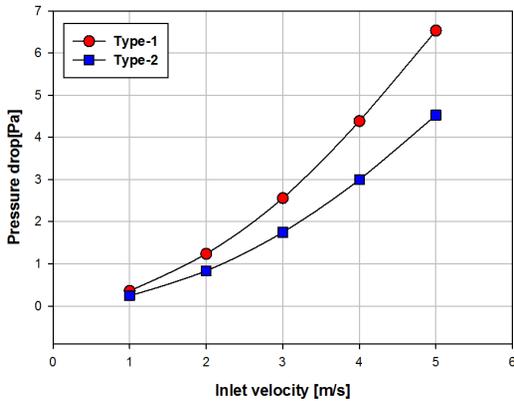


Fig. 5 Comparison of pressure drop at inlet and outlet

Fig. 5는 Type-1과 Type-2에 대한 압력강하를 서로 비교한 것이다. 상대적으로 덕트의 직경이 작은 Type-1의 경우 동일 유속에서 압력강하가 다소 높게 발생하는 것을 확인할 수 있었다. 또한 입구 유속 증가로 인해 압력강하는 크게 증가하였고, 2차 방정식의 형태로 증가되는 것을 확인할 수 있었다. Type-2의 경우 다소 압력강하가 낮게 나타남을 확인할 수 있는데 이는 결국 직경이 상대적으로 크기 때문이며, 이로 인해 동일한 크기의 주름관은 덕트의 직경이 증가할수록 유동저항요소가 낮아지기 때문에 이로 인한 압력강하에 영향을 덜 주는 것으로 판단된다.

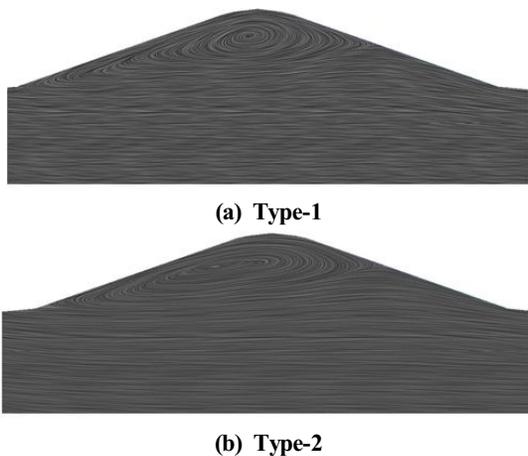


Fig. 6 Comparison of stream line at bellows zone

Fig. 6은 주름관 부위에 대하여 확대한 후 유선 분포를 비교한 것이다. 유선분포에서 보는 것과 같이 주름관에서 유동재순환 영역이 발생함을 확인할 수 있었다. 또한 이러한 유동재순환으로 인해 중심부로 지나가는 유동장에 영향을 미쳐 전반적으로 압력과 속도 변화가 발생하는 원인이 됨을 확인할 수 있었다. 이러한 유동재순환으로 인해 중심부로 지나가는 유동장에 영향을 미쳐 전반적으로 압력과 속도 변화가 발생하는 원인이 됨을 확인할 수 있었다. Type-1과 Type-2를 비교할 때 Type-2의 경우 주름관 상부에서 유선의 분포가

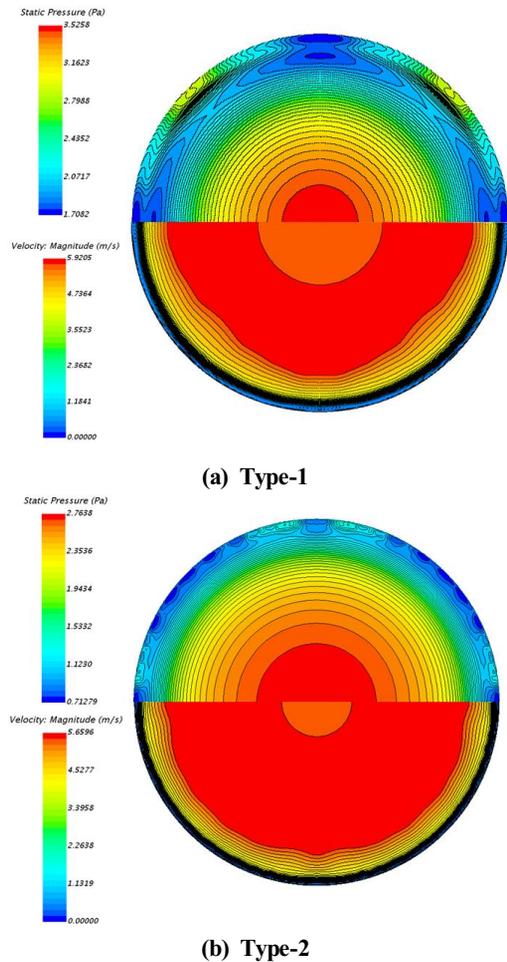


Fig. 7 Comparison of pressure and velocity magnitude at bellows section

다소 입구쪽으로 치우쳐져 있음을 확인할 수 있었고, 이는 출구쪽으로 나가는 유동의 영향이 다소 크기 때문인 것으로 판단되고, 직경이 크기 때문에 주류(主流)의 영향이 크기 때문인 것으로 판단된다.

Fig. 7은 입구유속 5m/s일 경우 배관내 첫 번째 주름관이 설치된 부분의 중앙단면에 대하여 압력과 속도분포를 비교한 것이다. 그림에서 보는 것과 같이 주름관 부위에서 압력 변화가 심하게 발생되고 있는 것을 확인할 수 있었고, 중심으로 이동하면서 압력변화가 둔화되는 것을 확인할 수 있었다. 또한 속도분포를 보면 마찬가지로 주름관에서의 속도차가 크게 발생하는 것을 확인할 수 있었고, 특히 주름진 부분에서 유동재순환으로 인해 속도가 크게 줄어드는 것을 확인할 수 있었다. 반면 중심부위에서는 유속의 변화가 둔화됨을 확인할 수 있었다.

압력분포의 경우 중심부에서 오히려 압력이 낮게 발생됨을 확인할 수 있었다. 이는 주름관의 영향이 압력변화에 미치는 영향이 크다는 것을 알 수 있었고, 주름관을 벗어나면서 유속증가로 인해 중심부의 압력이 낮아진 것으로 판단된다.

속도분포의 경우 또한 마찬가지로 중심부에서의 속도변화는 거의 발생되지 않았고, 덕트 벽면으로 이동하면서 속도기울기가 완만하게 발생하는 것을 확인할 수 있었다. 이는 벽면에서의 속도가 0이기 때문에 중심부의 속도와 기울기가 완만하게 발생하는 것을 확인할 수 있었다.

Type-2의 경우 Type-1과 비교할 때 배관내 첫 번째 주름관이 설치된 부분의 중앙단면에 대하여 압력과 속도분포를 비교한 것이다. 그림에서 보는 것과 같이 주름관 부위에서 압력 변화가 심하게 발생되고 있는 것을 확인할 수 있었고, 중심으로 이동하면서 압력변화가 둔화되는 것을 확인할 수 있었다. 그러나 Type-1과 비교할 때 다소 압력변동이 둔화되는 것을 확인할 수 있었다.

속도분포를 보면 마찬가지로 주름관에서의 속도차가 크게 발생하는 것을 확인할 수 있었고, 특히 주름진 부분에서 유동재순환으로 인해 속도가 크게 줄어드는 것을 확인할 수 있었다. 반면 중심부위에서는 유속의 변화가 둔화됨을 확인할 수 있

었다. 반면 Type-1과 비교할 때 중심부와 벽면과의 속도기울기를 보면 다소 양호한 것으로 판단된다. 이는 결국 주름관의 크기는 동일한 반면 직경이 커지면서 상대적으로 유동저항이 적게 발생하였기 때문으로 판단된다.

Fig. 8은 Type-1의 덕트 길이방향의 중심부에서의 압력분포를 나타내고 있다. 입구유속의 증가에 따라 입구에서의 압력이 증가함을 확인할 수 있었고, 주름관을 지나면서 압력이 상승하고 하강하는 것을 반복적으로 보여주고 있었다. 또한 출구로 빠져나가면서 대기압으로 설정되어 있기 때문에 출구에서 압력이 동일하게 발생하는 것을 확인할 수 있었다.

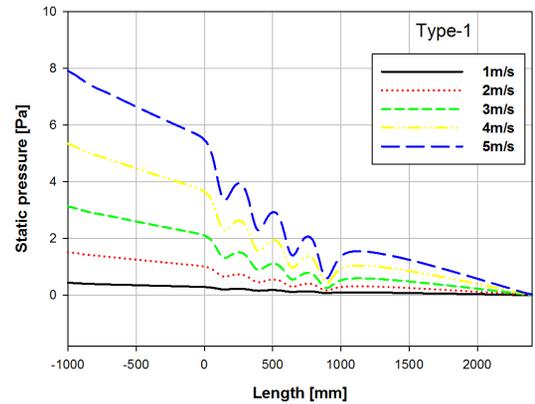


Fig. 8 Comparison of static pressure distributions at type-1

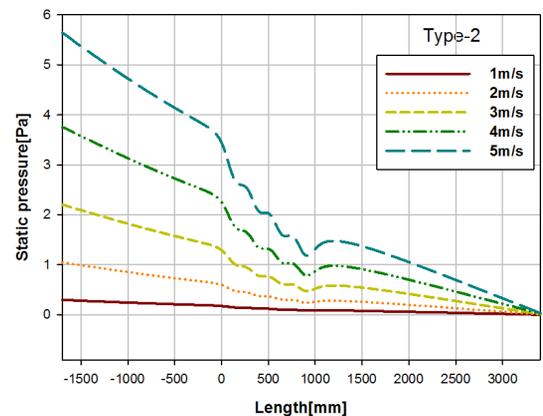


Fig. 9 Comparison of static pressure distributions at type-2

주름관에서의 압력변화가 발생하여 선형적으로 압력강하가 발생하지 않는 부분은 유동적인 측면에서 향후 유동에 의한 진동이 발생할 수 있는 여지가 많을 것으로 판단된다.

Fig. 9는 Type-2의 덕트 길이방향의 중심부에서의 압력분포를 나타내고 있다. 입구유속의 증가에 따라 입구에서의 압력이 증가함을 확인 할 수 있었고, 주름관을 지나면서 압력이 상승하고 하강하는 것을 반복적으로 보여주고 있었다. 또한 출구로 빠져나가면서 대기압으로 설정되어 있기 때문에 출구에서 압력이 동일하게 발생되는 것을 확인 할 수 있었다. 반면 Type1과 비교할 때 주름관이 설치된 부분에서 압력변동이 다소 줄어드는 경향을 알 수 있었다. 직경이 상대적으로 큰 Type-2의 경우 유동저항이 비교적 적게 발생하는 것을 알 수 있었다.

3. 공조덕트 구조해석

본 연구 대상인 경량수밀덕트는 단순 배관내부에 압력이 발생할 때 덕트 내부에 발생하는 응력 변화에 대한 구조해석을 수행하였다. 구조해석 S/W를 사용하여 덕트 양단에 설치되어 있는 플랜지가 고정되어 있을 경우 내압이 발생할 때 응력과 안전율을 확인하고자 한다. [표-1]은 덕트재질인 구조강에 대한 물성치를 나타내고 있다.

Fig. 10은 공조덕트에 대한 구조해석을 수행하기 모델링과 하중 및 구속조건을 나타내고 있다.

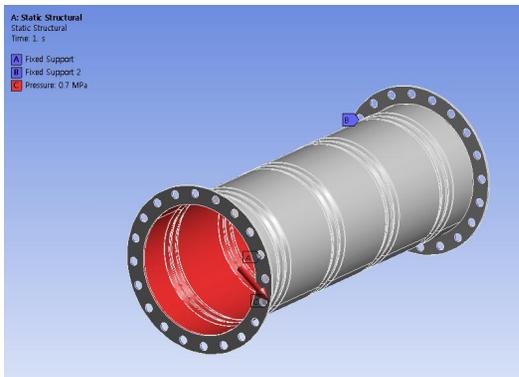


Fig. 10 Analysis model and constraint conditions

플랜지에 설치된 볼트 체결 홀에 구속조건을 부여하였고, 덕트 내부 전체 면에 압력으로 하중조건을 부여하였다. 하중조건에 대한 변수는 최초 설계 값이 0.7MPa에 대하여 구조해석을 수행하였고, 이후 5배인 3.5MPa, 7.5배인 5.25MPa, 10배인 7MPa에 대하여 순차적으로 구조해석을 수행하였다. 이러한 이유는 당초 설계치를 기준으로 덕트가 견딜 수 있는 압력까지 확인하고자 하였다.

Table 1 Material properties

Density (kg/m ³)	Modulus (GPa)	Poisson's ratio	Yield stress (MPa)	Tensile strength (MPa)
7,850	193	0.3	250	460

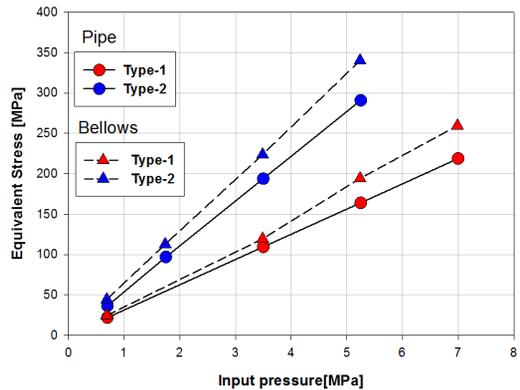


Fig. 11 Comparisons of equivalent stress at pipe and bellows

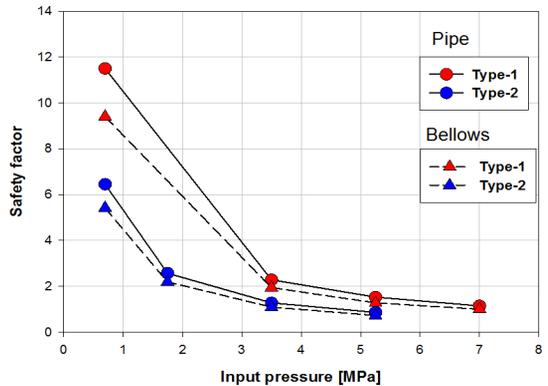


Fig. 12 Comparisons of safety factor at pipe and bellows

Fig. 11은 Type-1과 Type-2에 대한 덕트의 배관 부위와 주름관에서의 응력분포를 비교하고 있다. 이 부분은 덕트에서 중간에 설치된 주름관으로 허용응력 250MPa 이내로 사용할 수 있는 압력범위 최대 6MPa까지는 플랜지부를 보강할 경우 충분히 견딜 수 있는 것으로 판단된다. 또한 주름관 사이의 덕트 파이프에 대한 응력분포를 비교한 것으로 주름관에 비해 상대적으로 응력분포가 낮게 나타남을 확인할 수 있었다.

Fig. 12는 Type-1과 Type-2에 대한 덕트와 주름관에서의 안전율 분포를 비교하고 있다. 당초 설계치인 0.7MPa에서 아주 높은 안전율을 확보하고 있었지만 최대 설계내압의 5배까지가 한계인 것으로 나타났다. 또한 내압을 2.5배 증가시키면서 급격하게 떨어짐을 확인할 수 있었다. 또한 응력이 높게 나타난 주름관에서 비교적 낮은 안전율을 보여주고 있었다.

4. 결 론

해양시추선에 적용되는 공조덕트에 대한 유동해석과 구조해석을 수행한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 입구유속이 증가할수록 압력강하는 2차함수로 증가하였고, 상대적으로 직경이 작은 Type-1이 다소 높은 압력강하를 보여주고 있었다.
2. 덕트 배관 사이에 설치된 주름관에서 유동이 복잡하게 발생하였고, 유동재순환 영역이 발생하였다. 이로인해 유동저항이 발생하여 결국 유속이 줄어드는 효과로 인하여 주름관을 지나면서 유속이 증가하는 것을 확인할 수 있었다.
3. 덕트의 내압이 발생할 경우 구조해석을 수행한 결과 압력이 증가할수록 응력은 선형적으로 증가하는 반면 안전율은 2차함수로 급격하게 감소되는 것을 알 수 있었다.

후 기

본 연구는 산업통상자원부 지역주력산업육성(R&D)기술개발(R0004882)의 지원에 의해 수행되었습니다.

REFERENCES

1. Park. J. Y, C., Yi. C. S., Chin. D. H., "Numerical Analysis on the Development of Shut off Damper for Tsunami at Nuclear Plant", J.of KSMTE, Vol. 23, No. 5, pp. 471-477, 2014.
2. Yi. C. S., "Numerical Analysis of the Kitchen Hood Ventilation System for Marine Environment", Journal of KSMPE, Vol. 14, No. 5, pp. 96-101, 2015.
3. Yi. C. S., Jang. S. C., Choi. J. H., "Numerical Analysis on Hood Shape Improvement of Local Ventilation System", Journal of ACRE, Vol. 21, No. 4, pp. 260-265, 2009.
4. Jang. S. C., Jung. W. B., Yi. C. S., "A Study on Performance Improvement of Gear Type Vane Damper in Marine/Offshore FD Fan", Journal of KSMPE, Vol. 14, No. 2, pp. 7-13, 2015.
5. Seo. J. H., Kim. B. T., Chin. D. H., Yoon. M. C. Kwak. J. S., "Comparison of the Contact Characteristics for Sealing strips of the Tsunami Damper", Journal of KSMPE, Vol. 14, No. 1, pp. 21-28, 2015.
6. Lim. K. B., Lee. K. S. and Lee. C. H., "A Numerical Study on the Characteristics of Flow Field, Temperature and Concentration Distribution According to Changing the Shape of Separation Plate of Kitchen Hood System" Journal of KSME B, Vol. 30, No. 2, pp. 177-185, 2006.