

고주파 벤딩을 통한 케이블 파이프의 변형에 관한 연구

주이환^{*,**}, 진진^{**}, 문성민^{**}, 류성기^{**,#}

^{*}삼성중공업(주), ^{**}경상대학교 기계항공공학부, 항공연

A Study on the Deformation of Cable Pipes via Induction Bending

Yi-Hwan Joo^{*,**}, Zhen Qin^{**}, Seongmin Moon^{**}, Sung-Ki Lyu^{**,#}

^{*}Samsung Heavy Industries CO., Ltd.,

^{**}School of Mechanical & Aerospace Engineering(ReCAPT), Gyeongsang National Univ.

(Received 29 December 2019; received in revised form 21 February 2020; accepted 24 February 2020)

ABSTRACT

Induction bending via high-frequency heating is widely used for manufacturing pipe and section steel bends. It allows productivity improvement, unit cost reduction, delivery time compliance, and good mechanical properties. The recent increase in high-end vessels and offshore plants has raised the demand for high-frequency bending, which should improve the product quality and reduce the costs by simplifying the fabrication process; therefore, the characteristics and performance of this technique must be studied and proper design technology is required. During hot pipe bending via induction heating, the outward wall thickness of the pipe is thinned due to tensile stress and this thickness reduction cannot exceed 12.5%. This study focused on pipe bends with a bending curvature of 5D and their optimization design; in particular, the conditions that can both improve the productivity of the high-frequency bending process and keep the maximum thickness reduction below 12.5% were determined.

Key Words : Bending(벤딩), High Frequency Heating(고주파 가열), Cable Pipe(케이블 파이프)

1. 서 론

해양플랜트 및 조선기자재용 파이프 고주파 벤딩의 제작 공정 및 설계 기술 확보하여 최적화된 파이프 고주파 벤딩의 설계 배치가 되도록 하는 것이 목적이다.

벤딩 분야에서 다양한 연구들이 수행되고 있지만, 해양플랜트 및 조선기자재용 파이프 고주파 벤딩에 대한 연구는 아직 미진한 실정이라 S3D /

PDMS(3D MODEL TOOL)를 활용하여 생산설계의 타당성을 검토하고, 벤딩두께 감소량과 감소율, 진원도 등을 고찰하여 개선하는데 목적이 있다.

고주파 벤딩의 특성을 알고 케이블 파이프를 설계한다면, 해양 플랜트 분야에서 좀 더 경쟁력을 가질 수가 있다.

본 연구에서는 생산성 향상과 설계조건을 만족하는 최적의 파이프 벤딩 공정설계를 위하여 먼저 파이프 벤딩 메커니즘을 이론적으로 규명한 다음 각 공정 변수들이 공정에 미치는 영향을 평가하였다. 또한 5D(Outer Diameter of Pipe) 벤딩에 따른 두께 감소량, 두께 감소율, 난형도(Ovality)를 확인

Corresponding Author : sklyu@gnu.ac.kr

Tel: +82-55-772-1632, Fax: +82-55-772-1578

하기 위하여 파이프 벤딩 시험을 수행하였다.

2. 케이블 파이프 설계

2.1 케이블 파이프의 사용 목적

케이블 파이프는 선박 외부에 케이블이 지나가는 경우 케이블을 보호하기 위하여 사용하며, 선박 내부 바닥이나 작업이 빈번하게 일어나는 경우 케이블 훼손 방지를 위하여 케이블 파이프를 사용한다. 그리고 용접 및 케이블 벤딩 작업이 줄어들게 함으로써 현장 작업 개선용으로 사용한다.

2.2 고주파 벤딩의 정의와 특징

고주파 벤딩(High Frequency Local Induction Heating Pipe Bend)은 Fig. 1과 같이 고주파 유도가열을 이용해 파이프, H형강, Channel, I-Beam 등 다양한 형태의 형강류를 굽히는 열간가공 기술이다.

고주파 벤딩은 다른 종류의 벤딩 가공 공법에 비해 두께 감소율, 타원화율이 적으며, 벤딩 반경, 벤딩 각도를 자유롭게 선택함과 동시에 복수 벤딩, 입체 벤딩이 용이하다.

그리고 고주파 벤딩 파이프는 직관부위 엘보를 고려해서 복수 벤딩, 입체 벤딩이 가능하여 배관계통 용접부위를 대폭 줄일 수 있다.

2.3 케이블 설치 시 간섭체크 시뮬레이션

케이블 파이프 내부에 설치되는 케이블을 Fig. 2와 같이 3D 모델링이나 2D 도면으로 그려 케이블 설치 시 고착되는 부분이 없는지를 확인한다.



Fig. 1 Equipment of induction heating pipe bending

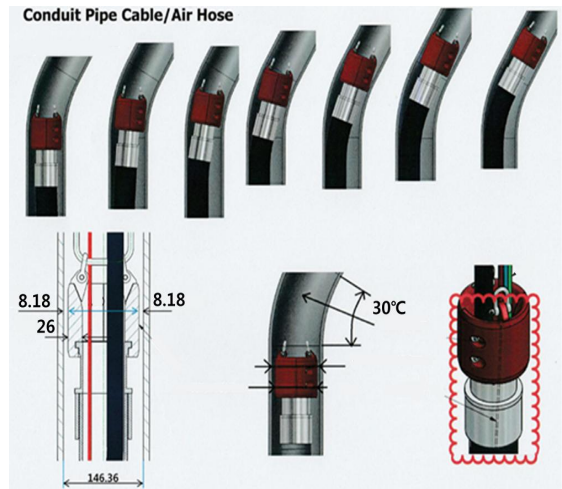


Fig. 2 Simulation of cable installation

케이블이 고착되는 부분이 발생하면 벤딩 각도를 수정하는 등의 케이블 파이프의 배치를 수정하던지 배관의 Size를 증가시켜서 문제를 해결한다.

2.4 두께 감소율과 난형도

두께 감소율은 식(1)과 같이 계산된다.

$$Tr = \frac{T_0 - T_1}{T_0} \times 100\% \quad (1)$$

여기서, T_0 은 벤딩 전 파이프 두께, T_1 은 벤딩 후 최소 파이프 두께, Tr 은 Thickness reduction ratio(%)를 말한다.

난형도(Ovality)은 식(2)과 같이 계산된다.

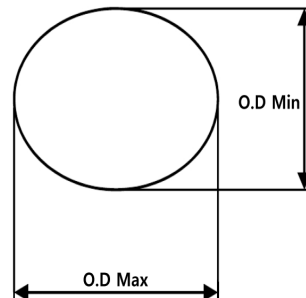


Fig. 3 Definition of ovality

$$Ovality = 2 \times \frac{(A-B)}{(A+B)} \times 100\% \quad (2)$$

여기서, A, B는 Fig. 3과 같이 나타내며,
A는 O.D(Outer diameter) Max.,
B는 O.D(Outer diameter) Min.을 말한다.

3. 케이블 파이프 제작

3.1 파이프 고주파 벤딩

고주파 벤딩기를 이용하여 파이프를 고주파 벤딩을 한다. 벤딩 곡률을 5D(Outer diameter of pipe)로 하여 벤딩을 실시하였다. 벤딩 이후에는 Fig. 4와 같이 파이프 벤딩부 자분탐상검사를 실시하여 벤딩부에 이상이 없는지 확인을 한다.



Fig. 4 Photograph of pipe bending product



Fig. 5 Demonstration test

3.2 모형 시험

케이블 파이프 내부에 설치되는 케이블의 크기가 크고, 케이블 가닥수가 많을 경우나 케이블 파이프의 배치 형상이 복잡한 경우에는 Fig. 5와 같이 모형을 만들어 설치 시 문제가 없는지 확인을 한다.

3.3. 케이블 파이프 제작 및 설치

케이블 파이프는 최대한 직선으로 배치를 하되, 벤딩이 필요한 경우 작은 각도로 벤딩을 하고 벤딩 각도가 45°를 넘지 않도록 배치한다. 45°가 넘게 되면 파이프 내부에 케이블을 설치할 때 문제가 발생할 수가 있다.



Fig. 6 Photograph of installed cable pipe



Fig. 7 Photograph of installed cable pipe with cable

케이블 파이프 설치 시 간섭이 되는 부분이 있는지 확인을 한다. 케이블 파이프가 설치되는 위치 주변에 다른 의장품이나 구조물의 위치를 확인하여 간섭이 발생하지 않는지 한 번 더 확인을 한다. 그 후에 설치도를 참고하여 케이블 파이프를 설치한다.

케이블 파이프 내부로 케이블 설치 시에는 파이프 내부에 걸려 설치가 되지 않는 부분이 없는지 확인한다. 아울러, 케이블을 끊어지지 않도록 무리하게 끌어당겨 설치하지 않도록 한다.

Fig. 6, 7은 실제 설치된 케이블 파이프와 케이블의 형상이다.

4. 실험결과 및 고찰

본 논문에서는 시험용 150, 100, 80 mm 직경의 파이프 각각 5개를 선정하여 파이프 벤딩 시험을 하였다. 벤딩부 치수 측정 전에 실시한 벤딩부 자분탐상검사 결과 모두 이상이 없는 것으로 나타났다.

4.1 파이프 제작치수 측정 및 고찰

본 논문에서는 150, 100, 80 mm 직경의 파이프에 대하여 30°로 고주파 벤딩을 실시하면서 확인되는 치수 변화를 치수와 그래프로 나타내었다.

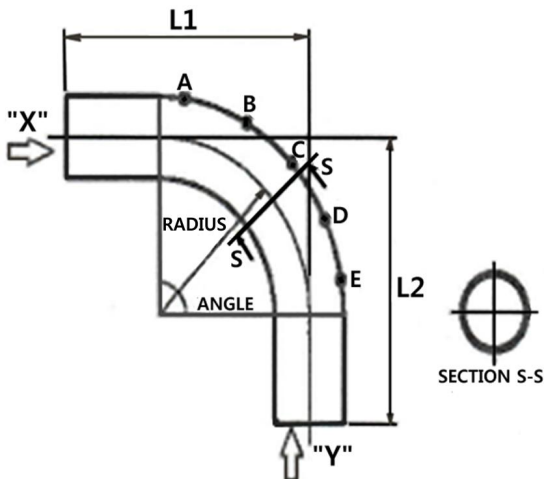


Fig. 8 Check point of bent pipe

Fig. 8과 같이 고주파 벤딩부에는 A, B, C, D, E 의 5 포인트에 대해서 치수를 측정하였고, 치수 변화를 확인할 수 있다.

4.2 측정결과

시험용 150, 100, 80 mm 파이프를 선정하여 5 포인트에 대해서 시험을 실시한 결과를 Table 1에 정리하였고, Fig. 9에 나타내었다.

시험을 통해 150 mm 파이프 각각의 평균 두께 감소량은 7.95~8.93 % 범위로 나타났으며, 전체 평균 두께 감소율은 8.37 %로 나타났다. 100 mm 파이프 각각의 평균 두께 감소량은 7.43~7.95 % 범위로 나타났으며, 전체 평균 두께 감소율은 7.79 %로 나타났다. 80 mm 파이프 각각의 평균 두께 감소량은 6.31~7.53 % 범위로 나타났으며, 전체 평균 두께 감소율은 6.90 %로 나타났다.

Table 1 Average thickness reduction ratio of 150, 100, 80 mm pipe

	A	B	C	D	E
150 mm ratio(%)	7.95	8.09	8.44	8.93	8.46
100 mm ratio(%)	7.78	7.43	7.89	7.88	7.95
80 mm ratio(%)	7.01	7.20	7.53	6.31	6.47

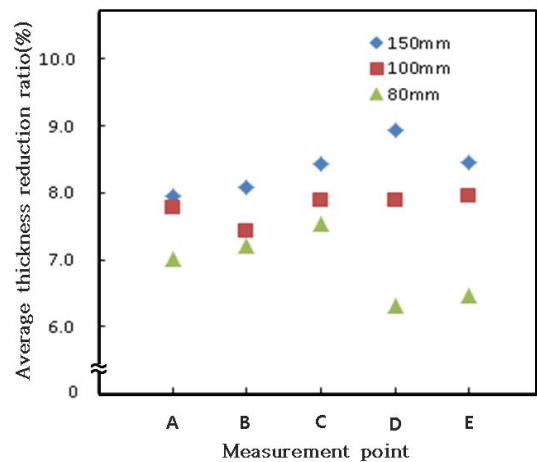


Fig. 9 Average thickness reduction ratio of 150, 100, 80 mm pipe

시험을 통해 150 mm의 두께감소율이 가장 크고, 80 mm의 두께감소율이 가장 작은 것으로 확인 되었다.

시험용 150, 100, 80 mm 파이프를 선정하여 5 포인트에 대해서 시험을 실시한 결과를 Table 2에 정리하였고, Fig. 10에 나타내었다.

시험을 통해 150 mm 파이프 각각의 Ovality는 0.99~1.05 % 범위로 나타났으며, 전체 평균 Ovality는 1.02 %로 나타났다. 100 mm 파이프 각각의 Ovality는 1.20~1.25 % 범위로 나타났으며, 전체 평균 Ovality는 1.22 %로 나타났다. 80 mm 파이프 각각의 Ovality는 0.35~0.48 % 범위로 나타났으며, 전체 평균 Ovality는 0.42 %로 나타났다.

시험을 통해 100 mm의 Ovality가 가장 크고, 80 mm의 Ovality가 가장 작다.

Table 2 Average ovality of 150, 100, 80mm pipe

	A	B	C	D	E
150 mm ovality(%)	1.03	1.05	1.01	1.03	0.99
100 mm ovality(%)	1.23	1.22	1.25	1.22	1.20
80 mm ovality(%)	0.45	0.45	0.48	0.39	0.35

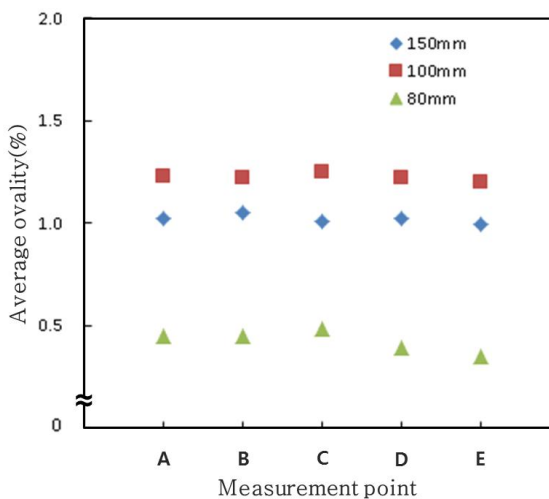


Fig. 10 Average ovality of 150, 100, 80 mm pipe

5. 결론

본 연구에서는 고주파 벤딩 시 발생하는 파이프의 치수 변화를 고찰한 결과 결론은 다음과 같다.

1. 150 mm 파이프 각각의 평균 두께 감소량은 7.95~8.93 % 범위로 나타났으며, 전체 평균 두께 감소율은 8.37 %로 나타났다.
2. 100 mm 파이프 각각의 평균 두께 감소량은 7.43~7.95 % 범위로 나타났으며, 전체 평균 두께 감소율은 7.79 %로 나타났다.
3. 80 mm 파이프 각각의 평균 두께 감소량은 6.31~7.53 % 범위로 나타났으며, 전체 평균 두께 감소율은 6.90 %로 나타났다.
4. 150 mm의 두께감소율이 가장 크고, 80 mm의 두께감소율이 가장 작은 것으로 나타났다.
5. 150 mm 파이프 각각의 Ovality는 0.99~1.05 % 범위로 나타났으며, 전체 평균 Ovality는 1.02 %로 나타났다.
6. 100 mm 파이프 각각의 Ovality는 1.20~1.25 % 범위로 나타났으며, 전체 평균 Ovality는 1.22 %로 나타났다.
7. 80 mm 파이프 각각의 Ovality는 0.35~0.48 % 범위로 나타났으며, 전체 평균 Ovality는 0.42 %로 나타났다.
8. 100 mm의 Ovality가 가장 크고, 80 mm의 Ovality가 가장 작은 것으로 나타났다.

본 연구를 통해서 파이프 고주파 벤딩(5D) 시 일반 벤딩에 비해 진원도가 유지되는 것을 알 수 있다. 하지만 벤딩 시에는 두께 변화가 생기기 때문에 파이프 공간설계를 할 때에는 이점을 주의하여야 한다. 본 연구를 통해 도출된 결과는 케이블 파이프를 설계할 때 참고자료로 사용할 수 있을 것으로 기대된다.

후 기

본 논문은 한국연구재단의 이공학개인지초연구 지원사업(과제번호: NRF-2016R1D1A1A09920105)과

삼성중공업(주)의 지원에 의하여 연구되었으며, 이에 감사드립니다.

Method," Trans. Mater. Process, Vol. 9, No. 4, pp. 339-347, 2000.

REFERENCES

1. Behne, T., "A New Bending Technique for Large Diameter Pipe," IAMI, Vol. 22, N0.1, pp. 34, 1983.
2. O'Keefe, W., "Inductive Bending Machine Seeks to Reduce Number of Welds in Nuclear Piping System," Power, Vol. 121, No. 12, pp. 74~75, 1977.
3. Blume, H., Speth, W. E., Bredenbruch, K. et al., "The Production of Pipe Bends for Power Stations by The Induction Heating," Energy Dev., Vol. 12, pp. 9~15, 1983.
4. Kuriyama, S., Aida, T., "Theoretical Analysis of Bending of Tube Having Uniform Distribution of Temperature by High Frequency Induction Heating," Proc. 4th Adv. Technol. Of Plasticity, pp. 464~469, 1993.
5. Asao, H., Okada, K. et al., "Numerical Analysis of Bending Force in Tube Bending Using Frequency Induction Heating-investigation of Metal Forming Local Heating," J. JSTP, Vol. 28, No. 313, pp.150~157, 1987.
6. Ryu, K. H., Lee, D. J., Kim, D. J., Kim, B. M., Kim, K. H., "Process Design of The Hot Pipe Bending Process Using High Frequency Induction Heating," Journal of the Korean Society for Precision Engineering, Vol. 18, No. 9, pp. 110~121, 2001.
7. Kim, E. S., Lee, J. M., Kim, B. M., "The Shape Optimization of Washing Machine Shaft for High-Speed Rotation through Analysis of Static and Dynamic Characteristics," Journal of the Korean Society for Precision Engineering, Vol. 25, No. 5, pp. 132-139, 2008.
8. Baek, S. Y., Kwon, J. W., Lee, K. D., "Effects of Blank Design Factors on Stretch Flange Forming of the Tailored Blank Using Taguchi