KIGAS Vol. 18, No. 2, pp 81~86, 2014
(Journal of the Korean Institute of Gas)
http://dx.doi.org/10.7842/kigas.2014.18.2.81

LNG내부탱크 Stiffener 판재 비용의 최소화 분석 연구

†윤상국
한국해양대학교 기계에너지시스템공학부
(2014년 2월 3일 접수, 2014년 4월 28일 수정, 2014년 4월 28일 채택)

Study on the Lowest Cost Analysis of Steel Plates for Stiffener Installed on the Side Wall of LNG Tank

†**Sang-Kook Yun**
Dev. of Mechanical ansd Energy Systems, Korea Maritime Ocean University, Busan 606-791, Korea
(Received February 3, 2014; Revised April 28, 2014; Accepted April 28, 2014)

요 약

대형 LNG 내부 탱크의 내측 벽체에 가설되는 스티프너의 제작에 있어 판재 비용을 최소화하기 위하여 다양한 스티프너 규격에 따른 원 판재의 소요 중량과 비용을 분석하였다. 이를 위하여 판재 물량 산정 프로그램을 개발하여 자동화함으로써 설계자가 수작업으로 수행하는 물량 산정을 작업시간의 단축과 함께, 다양한 중량과 비용의 분석이 가능하도록 하였다. 분석결과, 판재 폭이 큰 것을 사용할수록 스티프너를 제작하는데 사용되는 원 판재의 총 소요개수, 중량 및 비용이 감소하였으나, 최적의 LNG탱크용 스티프너 판재 폭을 결정하기 위해서는 소요 판재의 중량과 함께 비용의 분석이 필요하였다.

Abstract - The analysis of the cost optimization and the total demand weight of 9% Ni-steel plates for installing shell stiffeners in the side wall of the large capacity LNG storage tank are carried out in order to reduce the costs of the plates for stiffeners. This study can be possible for developing the calculation program which evaluates the bill-of-material for stiffeners to reduce the manual calculation time of tank designer, and to enable the estimation of weight and cost for various plate width. The results show that the demand weight and cost are reduced as the plate width is wider. Nevertheless, both the weight and the cost with plate width for stiffeners should be compared and evaluated to obtain the optimum cost time to time because of various cost incremental factors of plates such as transportation and handling cost, etc.

Key words : stiffener, LNG storage tank, plate width, plate weight, plate cost

I. 서 론

LNG는 편리하고 저렴하면서 깨끗하여 국내 주요 에너지원으로 자리를 확고히 하고 있다. 도시가스, 발전, 차량용 연료로의 사용이 매년 증가되면서 도입량이 증가하고 있고, 이에 따라 LNG기지의 건설과 함께 저장탱크의 건설도 증가하고 있다. -162℃의 초저온 액체상태인 LNG를 저장하기 위한 탱크 형식을 보면, 단열이 된 이중 탱크로 내부탱크의 재료 형태에 따라 멤브레인식과 철재식으로 구분된다. 이중 철재탱크는 멤브레인식과 달리 로열티 문

†Corresponding author:yunsangkook@daum.net
Copyright ⓒ 2014 by The Korean Institute of Gas

제가 없고 직경 60~80m의 대형탱크 제작이 가능하여 주된 탱크 형태로 적용되고 있다. 이 LNG 내부탱크의 안쪽 벽체에는 외부 탱크 사이에 충전된 펄라이트 분말 단열재의 압력을 흡수하기 위하여 보강재인 스티프너(Stiffener, 중간 보강링)와 거더(Girder, 상부지지링)가 9 % Ni강으로 제작, 가설되어 진다.

LNG탱크의 설계자는 전체 탱크 제작에 소요되는 재료량의 분석 중 일부인 스티프너와 거더의 판재 물량도 산정하고 있다. LNG탱크에 적용되는 9 % Ni 강은 가격이 매우 비싸서 비교적 정확한 물량의 산출이 요구되어진다. 그러나 현재의 물량 산출방법은 수작업인 네스팅(Nesting) 방법이 사용되고 있다. 네스팅 방법이란 CAD를 이용하여 하나의 큰 직육면체 판재로 몇 개의 스티프너 조각 판들을 제작할 수 있는 가를 그려 넣어, 총 필요 판재 개수를 산정하는 것이다.

이 수작업의 문제점으로는 설계자가 선택하는 대형 판재의 폭, 크기에 따라 소요 물량의 차이가 발생하게 되는 것과, 1개의 탱크 제작에 소요되는 스티프너용 전체 철판의 물량을 추정하는 시간이 많이 소요되는 것이다. 현재는 네스팅 방법에 의한 물량 추정에 시간이 많이 소요되는 관계로 다양한 판재 규격에 따른 소요 물량 및 비용의 최소화 분석이 이루어지지 못하고 설계자의 판단에 의하여 주로 최대 판재의 폭 크기의 70~90%를 이용하는 것으로 하여 물량 산출이 이루어지고 있다.

본 연구에서는 다양한 스티프너 규격에 따라 원판재의 소요물량을 산정할 수 있는 프로그램을 개발하고, 이를 이용한 최소의 소요 중량과 비용의 설계가 가능하도록 하고자 하였으며, 물량 산정 시간을 단축시켜 설계자의 설계 능률을 크게 향상시키고자 하였다.본 스티프너의 관련 연구를 보면 주로 육상이나 선박의 구조적 해석과 지진에 관련된 연구가 수행되었으며, 본 논문의 소요재료와 비용관련 연구는 전무하다 [1-3].

Ⅱ. LNG 내부탱크의 Stiffener 규격

2.1. LNG 내부탱크의 Stiffener

Fig. 1은 본 해석의 기준이 된 직경 84m, 높이 38m, 용량 20만 m3 대형 LNG탱크의 전형적인 스티프너 구조도로 각 사양은 Table 1과 같다. 맨 상부 #1은 거더, 그리고 스티프너는 #2부터 #8까지 수평으로 탱크 내부의 벽체를 따라 용접 가설된다. 각각의 스티프너는 원형 탱크 내부 벽체를 따라 둥글게 절단된 수십개 즉 24개의 9 % Ni 철판이 용접되어 제작되는 것이다.

2.2. LNG탱크 Stiffener 소요량 산정

현재 네스팅에 의한 스티프너 소요량 산정은 Fig. 2와 같이 하나의 원판재 안에 각 스티프너 조각을 그려 넣어 총 소요 원판수와 무게를 산정하고 있다. 그림의 예시는 하나의 직육면체 원(Original) 판재를 사용하여 4쪽의 스티프너를 제작할 수 있음을 나타낸다.

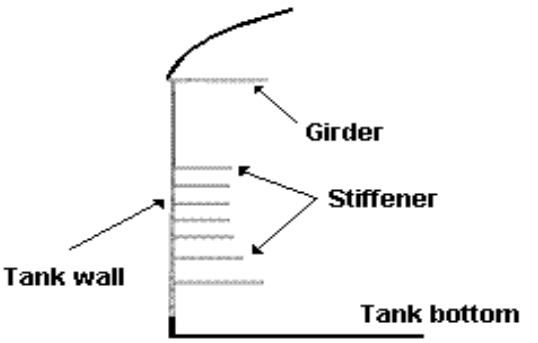


Fig. 1. Stiffener and girder structure of LNG Tank.

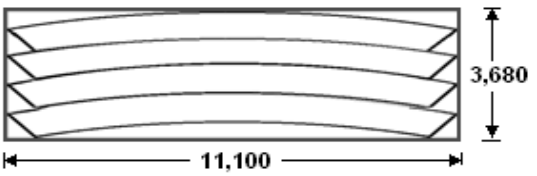


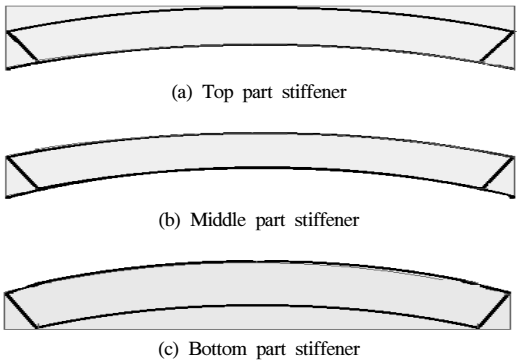
Fig. 2. Stiffeners in the one original rectangular 9 % Ni steel plate.

Table 1. Typical stiffener specification of large capacity LNG tank as 0.2million m3.

Stiffener no.	Side Width (mm)	Thickness (mm)	No of Stiffener
#1	1448	15.0	24
#2	279	10.0	24
#3	267	10.0	24
#4	267	10.0	24
#5	267	10.0	24
#6	292	10.0	24
#7	330	10.0	24
#8	432	15.0	24

Table 2. Dimension of available 9%Ni steel plate.

Plate thickness (mm)	Width (mm)	Length (mm)	
		Min.	Max.
4.7 to 6.99	2000	6000	12000
7 to 8 (>2000)	2000	6000	12000
7 to 8 (2500~3100)	3100	6000	12000
8.01 to 9.99	3100	6000	13000
10 to 15	3680	6000	13000
10~(Special)	3800	6000	13000
15.01 to 55	3680	6000	16000
15~(Special)	3800	6000	16000



(a) Top part stiffener

(b) Middle part stiffener

(c) Bottom part stiffener

Fig. 3. Each stiffener located in Fig. 2

Table 2는 현재 생산되고 있는 9%Ni steel의 원판재 1개의 규격을 나타낸 것이다. 판재의 두께에 따라 생산되는 폭과 길이가 정해진다. 즉, 7~8 mm 두께 강판 경우 폭이 2,000 mm이하이면 폭이 2,000, 길이가 6,000~12,000 mm가 생산되고 있고, 그 것보다 큰 폭의 판재가 필요하면 폭 2,500 mm~3,100 mm 판을 사용하여야 한다. LNG탱크 제작에 사용되고 있는 판재의 전형적인 표준 규격은 운송 및 제작 비용 등 여건으로 폭 2,000 mm, 길이 12,000 mm이 사용되고 있다.

#1 거더 경우는 폭이 1,448 mm로 커서 10 mm 두께의 원판재 폭 3,680 mm이상의 규격을 이용하여 2개의 거더를 만들 수 있게 된다. 그러므로 총 24개의 거더 제작을 위해서는 12개의 원 판재가 필요하게 된다. #2~#8의 스티프너는 폭의 규격이 각기 다르고 적어, 한 개의 원 판재의 크기에 따라 6~12개의 스티프너를 제작할 수 있게 된다. 이들은 탱크 원주

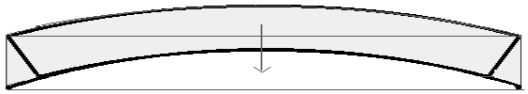


Fig. 4. Area calculation of middle part stiffener.

에 맞추어 제작되므로 Fig. 2와 같이 형상이 곡면으로 이루어져 있어, 원 판재의 윗부분 좌우와 아래 부분 중앙의 판은 불필요한 조각으로 남게 된다. 그러므로 원 판재의 폭이 적은 것을 시용할수록 스티프너를 제작할 수 있는 개수가 감소하여 원 판재 수가 증가하게 되고, 불용 조각의 증가로 인하여 불필요하게 Ni강 판재의 무게와 비용이 증가하게 되는 것이다. #1의 거더 경우도 스티프너와 동일하게 상부의 좌우 그리고 하부의 중앙부에서 불용의 조각이 발생하게 된다.

탱크 바닥에 대하여 수평으로 가설되는 #1 거더와 스티프너 #2~8의 제작을 위한 소요 판재량 계산 프로그램 개발을 위하여, 현재의 CAD 네스팅 수작업과 동일한 값이 되도록 Fig. 3와 같이 스티프너의 상 하부 면적을 먼저 계산하고, 중간에 삽입되는 면적을 계산하였다. 원 판재에 들어가는 최상부의 스피프너 판재는 좌우의 불용 조각을 포함하여 계산하고, 최하부의 판재는 바닥의 불용 면적을 포함하여 면적을 구하였다. 중간 부의 스티프너 면적은 Fig. 4와 같이 호 윗부분 면적이 아래측 불용공간의 면적과 동일하게 되므로 직육면체로 하여 면적을 산정하였다.

Ⅲ. Stiffener 소요판재 산정 프로그램

3.1. Stiffener의 소요판재 산정 프로그램

전산계산을 위하여 Microsoft Excel의 Macro를 사용하여 프로그래밍 하였으며, 그 흐름도는 Fig. 5와 같다. Fig. 6은 계산을 위한 입력창으로, 입력 데이터로는 Table 1의 거더와 스티프너 각각의 폭, 두께, 개수, 그리고 사용하고자 하는 원 판재의 규격, 즉, 폭과 길이가 삽입된다. 흐름도를 보면 원 판재에 들어가는 스티프너 개수 산정을 위하여 먼저 각 스티프너 폭에 따른 면적을 산정하게 된다. 판재의 상부에 위치하는 스티프너와 하부에 위치하는 스티프너의 면적을 계산하여 원 판재 면적에서 차감한 후, 잔여 판재 면적에 삽입될 수 있는 중간 스티프너의 개수를 계산하게 된다. 만약 선택한 판재의 폭이 부적합하면 판재 폭의 선택으로 되돌아가서 계산을 되풀이하여 총 원판 소요개수를 구하게 된다. 스티프너와 스티프너 사이는 절단을 위하여 1인치 유격을 두었다.

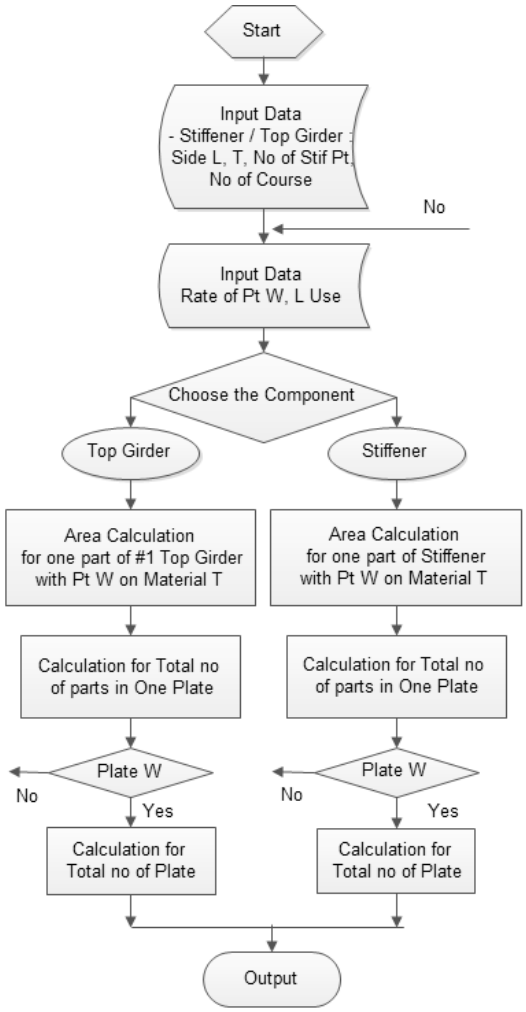


Fig. 5. Program flow chart of stiffener area calculation.

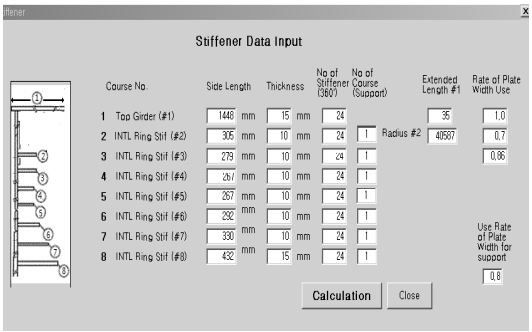


Fig. 6. Program input form.

IV. Stiffener 중량 및 비용 분석

4.1. 판재 폭 이용율에 따른 원 판재 소요 개수

Fig. 7은 직경 84 m LNG 탱크에 대하여 계산한 것으로, 판재의 폭 이용율에 따른 10 mm, 15 mm 두께의 소요 판재 개수를 나타낸다. x축 이용율 1.0은 3,680 mm 폭을 의미하며, 15 mmT는 #8 스티프너 그리고 10 mmT는 #2~#7의 스티프너를 합한 판재의 개수를 나타낸다. 결과를 보면 판재 폭 이용율이 적을수록 즉 판재 폭이 적을수록 판의 소요개수가 증가함을 보여준다. LNG탱크 제작에 이용되고 있는 표준 폭 규격은 2,000 mm로 이용율 0.6에 해당한다. 이 경우 판재 이용율에 따른 소요 판재수 산정을 식으로 나타내면, 두께 10mm 경우는 식(1)과 같고, 두께 15mm는 식(2)와 같게 된다. 여기서 x는 이용율, y는 판재의 개수이다.

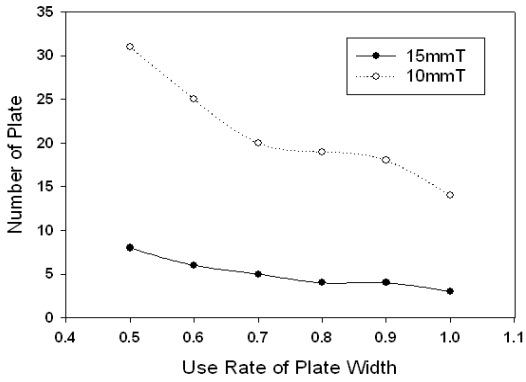


Fig. 7. Number of plate with the use rate of plate width.

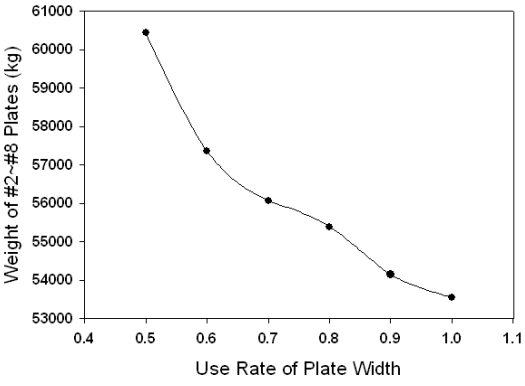


Fig. 8. Total weight of plates with the use rate of plate width.

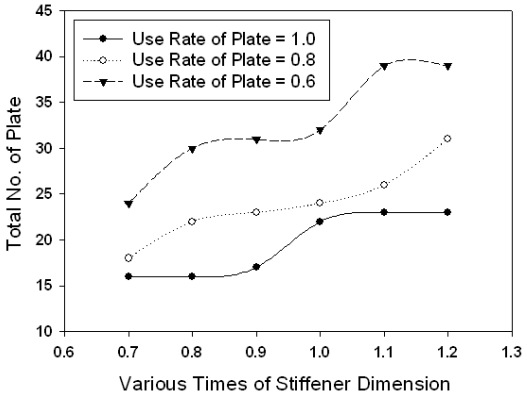


Fig. 9. Total number of plates with the various stiffener dimension.

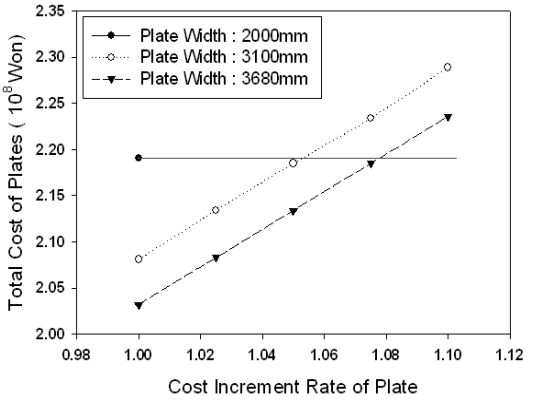


Fig. 10. Total cost variation of plates with the change of plate width and cost.

$$y=-296.3x^3+713.1x^2-585.2x+182.6 \quad (1)$$
$$y=64.81x^3+161.9x^2-139.3x+45.31 \quad (2)$$

4.2. 판재 폭 이용율에 따른 원 판재 소요 중량

Fig. 8은 판재의 폭 이용율에 따른 #2~#8의 스티프너 전체를 제작하는 데 필요한 판재의 총무게를 나타낸다. 전체 무게는 Fig. 7의 15 mmT와 10 mmT의 소요 판재를 합한 것으로 이용율 100 %와 60 %의 무게 차이는 4,5000 kg이 된다.

4.3. Stiffener 규격에 따른 원 판재 소요 개수

Fig. 9는 #2~#8 스티프너 규격의 변화에 따른 스티프너 전체를 제작하는 데 필요한 판재의 개수를 나타낸다. x축의 1.0은 Table 1의 Side width 규격이며, 이 값들을 기준하여 스티프너의 크기가 커질 때와 감소할 때 소요 판재의 개수 변화를 나타낸 것이다. 스티프너의 크기가 커질수록 소요 판재의 수가 증가하며, 이용율이 감소할수록 소요 판재 수가 증가하나 불규칙적인 증가를 보이고 있다. 판재 폭 이용률이 최대인 1.0인 경우를 보면, 스티프너 크기가 0.7~0.8배 그리고 1.1~1.2배 일 때 판재 소요 개수가 동일함을 보여준다.

4.4. Stiffener의 비용

소요판재의 비용 평가를 위해서는 판재 중량당 가격과 운송비, 용접비 등 제경비의 정밀한 분석이 필요하게 되나, 본 연구에서는 전체의 비용 변화 추이를 판단할 수 있도록 하기 위하여 대형 LNG탱크의 제작에 표준으로 사용되는 판재 규격인 2,000 mmW x 12,000 mmL을 기준으로 판재 폭의 변화에 따른 비용을 비율로 나타내었다.

Fig. 10은 판재 가격의 상승률에 따른 원 판재의 폭 크기별 총 비용을 나타낸다. 모든 판재의 가격은 폭 2,000 mm 표준 판재의 1 kg당 약 3,500원 정도 가격 기준으로 산정하였다. 기준인 1.0에서는 표준 판재의 비용이 가장 크고 폭이 클수록 비용이 감소함을 보여준다. 그러나 폭이 큰 판재의 경우, 제작 및 운송비용 등 가격 증가요인에 의하여 비용이 증가하면 폭이 적은 표준 판재의 비용보다 증가하게 된다. 즉, 폭 3,100 mm 판재는 2,000 mm 가격보다 5 %, 폭 3,680 mm 판재는 7.5% 상승하면 2,000 mm 비용과 동일하게 된다. 만약 비용이 그 보다 더 높으면 2,000 mm 판재를 사용하는 것보다 넓은 판재를 사용하는 비용이 더 소요되는 것이다.

그러므로 대형 LNG탱크 스티프너 제작용 판재의 비용을 최소화하기 위해서는 Fig. 8과 Fig. 10의 소요 판재의 중량과 비용을 분석하여 적정 폭의 판재를 사용함이 바람직함을 알 수 있다.

Ⅳ. 결 론

본 연구에서는 대형 LNG 내부 탱크의 내측 벽체에 가설되는 스티프너의 제작에 있어 판재 비용을 최소화하기 위하여, 다양한 스티프너 규격에 따른 원 판재의 소요물량을 산정할 수 있는 프로그램을 개발하여 소요 중량과 비용을 분석한 결과, 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 판재 폭이 큰 것을 사용할수록 스티프너를 제작하는 데 사용되는 원 판재의 총 소요개수와 중량이 감소한다.

(2) LNG탱크용 스티프너 판재 비용의 최소화를

위해서는 소요 판재의 중량과 비용을 분석하여 최적 폭의 판재를 사용하여야 한다.

(3) 설계자가 수작업으로 수행하는 LNG탱크 스티프너 제작용 판재 물량 산정을 프로그램화하여 작업 시간의 단축과 함께 다양한 중량과 비용의 분석이 가능하도록 하였다.

REFERENCES

[1] Jin, C., Jin, K.K., Ha, S.k., Seo, H.S., and Yoon, I.S., "Structure Analysis and Design Optimization of Stiffeners in LNG Tanks", KSME, 36(3), 325-330, (2012)

[2] Lloyd's Register, "Primary Structure of Membrane Tank LNG Ships Guidance on Direct Assessment", 5-34, (2013)

[3] Jin, B.M., etc., "Earthquake Response Analysis of LNG Storage Tank by Axisymmetric Finite Element Model and Comparison to the Results of the Simple Model", 13th World Conference on Earthquake Engineering, No.394, 43-57, (2004)