

플랜트에서 가치공학 개념을 적용한 대관경 배관두께 선정에 관한 연구

최가영, 유호선*, 문승재**†

현대엔지니어링(주), *숭실대학교 기계공학과, **한양대학교 기계공학부

Selection of the Large Diameter Pipe Wall Thickness by Value Engineering for a Plant

Gayoung Choi, Hoseon Yoo*, Seung-Jae Moon**†

Hyundai Engineering Co., Ltd, Seoul 158-051, Korea

*Department of Mechanical Engineering, Soongsil University, Seoul 156-743, Korea

**School of Mechanical Engineering, Hanyang University, Seoul 133-791, Korea

(Received July 5, 2011; revision received September 18, 2011)

ABSTRACT : This research has suggested a method to select pipe wall thickness by application of the value engineering to reduce the cost and quantity that are major part of construction materials. This research shows that the application of value engineering reduces the cost of piping materials by optimizing pipe wall thickness while maintaining process flow date of design pressure and design temperature. Based on this knowledge, the application of the value engineering will lead to the cost reduction and quantity reduction by effective selection of pipe wall thickness. The application of the value engineering will help the EPC companies to win a contract in the overseas plant market.

Key words : value engineering (가치공학), pipe wall thickness (배관두께), flange (플랜지), line design condition (배관설계조건)

기 호 설 명

- A : 허용 부식치, [mm]
- C : 생애비용
- DO: 배관의 바깥지름, [inch, mm]
- E : 용접이음 효율계수
- F : 발주자가 요구하는 시설물의 성능
- M : 허용 공차, [%]
- P : 내부 설계압력, [psig, bar]
- S : 배관 재질의 허용응력, [psig]
- V : 가치지수
- Y : 자재별 온도에 따른 보정계수

1. 서 론

최근 대내외적으로 중요시되고 있는 가치공학 설계 적용 활성화에 발맞추어 국내 건설공사 가치공학 설계의 경우는 지난 2005년 건설기술관리법 시행령 ‘설계의 경제성 등 검토’로 100억 이상의 건설공사에 확대 적용되도록 개정되어 공공기간을 비롯한 많은 지자체에서 ‘VE 경진대회’를 개최하여 가치공학 설계 활성화에 나서고 있다.^[1] 또한, 여러 지자체 및 정부투자기관에서 건설공사 발주 시 가치공학 설계를 적용토록 고시하는 등 가치공학 설계의 관심이 높아지고 있는 현실이다. 이처럼 가치공학 설계가 중요시되는 이유는 기본 목적에 있다.

가치공학 설계의 목적은 계획 및 기본설계, 실시설계 단계에서 전문지식을 활용하여 원래의 계획이나 설계의 단계를 재검토하고 대안을 발견하여 그것을 도입함으로써 가치를 최대한 높이는 것이다. 건설사업의 경우 계획 및 설계방법의 변경만으로도 시설물

† Corresponding author

Tel.: +82-2-2220-0450; fax: +82-2-2298-4634

E-mail address: smoon@hanyang.ac.kr

을 건설하는데 공사비를 대폭적으로 절감할 수 있으므로 가치공학 설계의 잠재력을 극대화하여야 한다.

가스플랜트 건설공사의 자재물량 중 배관자재가 가장 많은 부분을 차지하기 때문에 가치공학 설계를 배관자재 부분으로 실시한다면 경제성을 극대화할 수 있다. 그리하여 본 연구에서는 배관자재에 대한 가치공학 설계 중 대관경 배관두께의 선정에 가치공학 개념을 도입하고, 분석하여 가치창출 극대화 방안을 모색하려고 한다. 대관경 배관이란 직경이 24 inch를 초과하는 단접관을 뜻한다. 여기서, 단접관이란 판재를 이용하여 강관을 고온에서 롤(roll)에 넣어 둥글게 굽히거나 링(ring)을 통과한 후, 견인기로 잡아당겨 둥글게 관상으로 만든 다음 이를 맞대거나 포갠, 양 가장자리를 약 1,300℃로 가열한 뒤, 가압하면서 접합하는 방식을 가진 배관이다. 이러한 방식을 가진 24 inch를 초과하는 대관경 배관은 플랜트 건설 시에 소관경 배관에 비해 사용 빈도는 적으나, 플랜트 건설 시 요구되는 배관의 크기 및 자재물량이 플랜트의 용도 및 규모, 그리고 설계에 따라 상이하기 때문에 대관경 배관은 기성품화하여 대량 제작을 할 수 없다. 이런 제작방식으로 대관경 배관은 주문자의 발주를 통해 용도에 맞게 생산되므로 배관자재 비용이 고가이며, 설계방식에 따라 비용에 큰 차이를 가진다. 그러므로 연구 내용으로는 대관경 배관두께의 산정방식을 분석하여 사업주가 원하는 성과품의 성능을 보증하되, 배관두께를 줄여 경제적 가치를 극대화하는 방법을 모색하고자 한다.

2. 기존 배관두께 선정법

사업을 시작할 때 사업주는 사업에 관한 사업설명서를 설계자에게 제공하며 사업설명서에는 배관의 재질 및 배관 관경의 크기, 두께, 공정별로 유체의 온도 및 압력을 정리한 리스트가 포함되어 있다. 이때, 사업설명서에 지정된 배관두께는 ASME B16.5 code의 규정에 의거 배관자재의 종류에 따라 플랜지 레이팅 기준으로 산정한다. 규정된 플랜지 레이팅의 최대 허용압력으로 배관두께를 산정하며 사업주가 제공하는 배관두께도 이를 기준으로 작성된다. 여기서, 플랜지 레이팅이란 해당되는 배관자재에서 사용 가능한 주어진 온도와 압력의 조합관계를 정의한 것으로 배관설계 시 특정 온도 및 압력 조건에서 안전한 설계가 이뤄지도록 하는 가장 기본적인 가이드 역할을 한다. 레이팅의 등급을 클래스라 하며, 동

일한 클래스 내에서는 압력이 높을수록 사용 가능한 온도는 내려가고 온도가 높을수록 사용 가능한 압력은 내려가는 관계를 가지고 있다. 클래스의 종류로는 150, 300, 400, 600, 900, 1500, 2500이 있다. 값이 클수록 허용압력이 커지며, 고원가 자재에 속한다. 배관두께는 플랜지 클래스에 따라서 온도를 고려한 최대 허용압력, 배관의 크기, 재질의 허용응력 및 용접이음 효율계수, 재질에 따른 온도 보정계수 등을 고려하여 내압을 받는 직관부의 배관두께를 계산한다. 내압을 받는 직관부의 두께(t) 계산공식은 식 (1)과 같으며, ASME B31.3 code에 명기되어 있다.

$$t = \frac{P * D_o}{2(SE + PY)} \quad (1)$$

여기서, P 는 내부설계의 압력으로 배관내부에 흐르는 유체의 설계압력을 나타내며, S 는 배관재질의 사용 온도에서 최대 허용응력을 나타낸다. 내부설계 압력과 최대 허용응력의 단위는 psig로 pound force per square inch에 게이지(gauge)가 붙는 단위이다. D_o 는 배관의 바깥지름을 나타내며 단위는 mm이다. Y 는 배관재질의 온도에 따른 보정계수 값을 적용한다. 보정계수 산정 시에 구분되는 배관재질은 페라이트강, 오스테나이트강, 니켈합금 및 그 밖의 재질로 세분화하며, 재질별로 온도에 따라 보정계수 값이 산출된다. 온도기준은 482℃이하(900°F이하), 510℃(950°F), 538℃(1,000°F), 566℃(1,050°F), 593℃(1,100°F), 621℃(1,150°F), 649℃(1,200°F)의 기준이며, 그리고 677℃이상(1,250°F이상)으로 나타낸다. 이때, 온도기준에서 변하는 온도에 대해서는 보간법을 이용하여 보정계수를 구한다. 여기서 보간법이란 내삽법이라고도 하며, 함숫값을 알고 있는 주위 점들에 대한 가중평균을 이용하여 중간에 빠진 함숫값을 추정하는 방법이다. 배관재질이 페라이트강일 경우에는 온도기준이 482℃이하(900°F이하)에서는 0.4로 나타내며, 510℃(950°F)에서는 0.5로 나타낸다. 그리고 온도기준이 538℃(1,000°F)이상일 경우에는 0.7로 나타낸다. 배관재질이 오스테나이트강일 경우에는 온도의 기준이 566℃(1,050°F)미만에는 보정계수를 0.4로 나타내고 566℃(1,050°F)에는 0.5로 나타낸다. 그리고 593℃(1,100°F)이상에는 0.7로 나타낸다. 배관재질이 니켈합금 및 그 밖의 재질

일 경우 593℃이하(1,100°F이하)에는 0.4로 나타내며, 594℃이상(1,100°F이상)에는 0.7로 나타낸다. E는 용접이음 효율계수를 나타내며 이음이 없는 배관의 용접이음계수 값은 1.0이고 이음이 있는 배관의 경우는 이음형태에 따라 값을 적용한다. 이음형태는 크게 전기, 가스용융용접과 전기저항용접으로 나뉜다. 전기저항용접의 용접이음 효율계수 값은 0.85로 산출된다. 전기, 가스용융용접은 용가재 사용 유무 및 용접방법에 따라 세분화한다.

첫째, 용가재를 사용한 한쪽 면 맞대기 용접을 할 경우에는 용접이음 효율계수 값이 0.8로 산출되며, 둘째, 용가재를 사용하지 않는 한쪽 면 맞대기 용접의 경우에는 용접이음 효율계수 값이 0.85로 산출된다. 셋째, 용가재 사용 유무에 관계없이 양쪽 면 맞대기 용접을 할 경우에는 용접이음 효율계수 값이 0.9로 산출되며, 넷째, 용가재 사용 유무에 관계없이 한쪽 면 또는 양쪽 면 맞대기 용접의 100% 방사선 투과시험 검사를 할 경우에는 용접이음 효율계수 값이 1.0으로 산출된다. 배관재질의 온도에 따른 보정계수 및 용접이음계수의 값은 한국산업인력공단의 산업안전보건법 제27조, 산업안전기준에 관한 규칙 제283조, 제296조, 제300조의 규정에 의한 화학설비 배관의 두께 계산방법에 명기되어 있다. 내압을 받는 직관부의 두께 (t)는 배관의 재질을 기준으로 식 (1)을 고려하여 값을 구하고, 그 두께에서 부식여유 및 배관의 제작허용오차를 고려하여 실제 배관두께 (t_{nom})를 (2) 공식에 대입하여 계산한다.

$$t_{nom} = \frac{t + A}{(1 - M)} \quad (2)$$

여기서, A는 배관재질의 허용부식 정도를 의미하며, 사용 중 부식으로 인하여 손실될 것을 미리 예상하고 그 분량만큼 여유를 고려하여 배관을 두껍게 만드는 것으로 공정별, 사업주의 특성에 따라 다르다. 이는 사업주가 제공하는 사업설명서에 명기되어 있으며, 그 값을 적용한다. M은 배관의 제작허용오차를 의미하며, 배관자재별로 배관을 제작할 때, 설계상 정해진 치수에 대해 실용상 허용되는 범위의 오차를 나타낸다. 배관의 제작허용오차는 12.5%로 ASME B16.9 code에 규정되어 있다. 사업주가 제공하는 배관두께 산출기준도 식 (1)과 (2)를 적용하여 배관재질에 따른 플랜지 레이팅의 기준으로 최대 허용압력을 대입하여 배관두께를 산출한다.

가스플랜트에서의 배관두께 산정도 ASME B31.3 code에 명시되어 있는 공식을 통해 ASME B16.5 code의 배관자재에 따른 플랜지 레이팅의 허용압력을 기준으로 한다. 아랍에미리트의 아부다비 합산지역에 위치한 A프로젝트는 자연계에서 추출한 천연가스를 가스플랜트까지 수송하고 수송된 천연가스를 정제하는 공정으로 구성되었다. A프로젝트의 사업주가 제공한 대관경 배관의 두께도 ASME B16.5 code의 플랜지 레이팅을 기준으로 배관두께를 산정하였으며, ASME B31.3 code를 적용하여 30 inch 대관경의 배관두께를 선정하였다.

Table 1은 30 inch 대관경 배관의 상세설계조건이다. 배관재질은 저탄소강 용접강관(Low Temperature Carbon Steel Welded Pipe)이며, 설계조건에 따른 배관자재에 따른 플랜지 레이팅 그룹은 1.3 자재로 구성되어 있다. 이는 내압을 받는 직관부의 두께를 산출하는 경우 배관내부에 흐르는 유체의 설계

Table 1 Detail design conditions for the application of value engineering

Basic Material	Low Temperature Carbon Steel Welded Pipe
Limit	Flange Rating Group 1.3 Material (ASME B16.5 Code)
Rating	1500
Outside diameter (D)	30 inch / 762.0 mm
Pipe	Welded Pipe, ASTM A671 Group, Grade CC60 Class.22(-46DEG C)
Flange	Welding Neck Flange, A350 Group .LF2 Class.1 ASME B16.5 Code
Corrosion allowance (A)	3 mm
Mill tolerance (M)	0.125
Weld factor (E)	1.0
Coefficient (Y)	0.4
Stress value (S)	20,000 psi @ below 100 °C
	20,000 psi @ below 212 °F
Operating	Pressure : 85.5 bar / 1240 psig
	Temperature : 70 °C / 158 °F
Line design condition	Pressure : 171bar / 2480 psig
	Temperature : 85 °C / 185 °F

압력(P)을 플랜지 클래스 기준으로 허용온도에 따른 최대 허용압력 값으로 산출하며, 이것은 ASME B16.5 code에 규정되어 있다. 설계조건인 플랜지 레이팅의 클래스는 1500이며, 배관관경은 30 inch(762.0 mm)이다. 배관의 ASME B31.3 code를 기준으로 베이직(basic) 자재에 따라 스펙(specification)과 클래스(class)가 나뉘므로, 설계조건인 배관은 저탄소강 용접강관으로 스펙 넘버(specification number)가 A671이며, 클래스는 22이다. 이는, 배관재질의 허용응력(S)값과 배관자재에 따른 용접이음 효율계수(E)값을 산출할 시에 기준이 되어준다. 배관설계조건인 부식여유는 3 mm이며, 배관의 제작허용오차는 12.5%이다. 그리고 유체의 최대 허용압력은 171 bar(2,480 psig)이며, 최대온도는 85°C(185°F)이다.

ASME B31.3 code를 기준하여 Table 1에 상세설계조건인 배관을 플랜지 레이팅 기준으로 내압을 받는 배관두께를 산정하면 내부설계압력(P)값은 설계조건인 플랜지 레이팅이 클래스 1500이므로, 최대 허용압력(P)은 3750 psig임을 알 수 있다. 배관의 바깥지름(D_o)값은 762 mm, 배관재질의 허용응력(S)값은 ASME B31.3 code의 배관재질에 따른 허용응력 표에서 배관재질 및 스펙 넘버, 클래스와 유체의 온도를 기준으로 산출한다. 설계조건 배관재질의 스펙 넘버는 A671이며, 그룹(group)은 그레이트 CC60이다. 그리고 플랜지 클래스 1500의 최대 허용압력은 온도기준이 100°F이내였으므로, 배관재질의 허용응력값은 20,000 psig로 산출되었다. 배관자재에 따른 용접이음 효율계수(E)는 배관자재의 스펙 넘버와 클래스를 기준으로 정리한 ASME B31.3 code의 배관에 따른 용접이음 효율계수에 규정되어 있다. 설계조건인 배관자재는 스펙 넘버가 A671이며, 클래스가 CC.22이므로 이에 해당되는 용접이음 효율계수는 1.00으로 산정됨을 알 수 있다.

배관재질에 따른 온도보정계수(Y)값은 플랜지의 설계조건에서 허용온도를 고려하여 구하며, 상세설계조건에서 플랜지 재질에 따른 허용온도가 -46~0°C이므로 보정계수값은 0.4이다. 식 (1)에 대입하면 내압을 받는 직관부 배관의 두께(t)값은 66.45 mm로 산출된다. 이를 식 (2)에 대입하여 부식여유 및 배관의 제작허용오차를 고려한 실제 배관두께(t_{nom})를 구한다. 내압을 받는 직관부 배관의 두께(t) 66.45 mm과 허용부식(A) 3 mm을 더한 값을, 1에

서 배관의 제작허용오차 12.5%를 뺀 값으로 나누면 실제 배관두께(t_{nom})는 79.37 mm로 산출된다. 그러므로 플랜지 레이팅을 기준으로 배관관경의 두께를 계산했을 때는 30 inch 대관경 배관의 두께는 79.37 mm이다.

3. 가치공학 적용 대관경 배관두께 선정법

3.1 가치공학

가치공학 설계는 총체적 의미로서 문제해결, 품질개선, 공기절감, 비용절감 및 자원관리 등을 최적화하기 위해 이용되는 창조적 접근법 또는 최저의 생애주기비용(life cycle cost)으로서 필요한 기능을 확실히 달성하기 위하여 제품이나 서비스에 대한 기능분석과 개선에 쏟는 조직적인 노력이다.^[2] 이를 플랜트 설계 시에 국한하여 설명한다면 발주자로부터 맡겨진 예산을 최대한 활용하여 최종적으로 가치향상을 꾀하는 것이다.

가치에 대한 지수는 기능과 원가의 비로 나타낼 수 있으며 기능을 향상시키거나 비용을 낮춤으로써 가치향상을 꾀하는 방법을 유형별로 구분할 수 있다. 즉, 기능과 비용의 관계에 따라 가치혁신형, 기능향상형, 기능강조형, 비용절감형 등으로 표현하게 되며 각 유형 중 첫째로 가치혁신형은 비용을 최소화하고 기능을 최대화하며 4가지 가치향상 유형 중 설계를 최우선 목표로 한다. 둘째, 기능향상형은 비용을 그대로 유지시키고 기능을 향상시킨다. 셋째, 기능강조형은 비용은 다소 증가하더라도 기능을 향상시키며, 기본기능 외에 편의성 등 사업주 및 사용자 요구사항 등의 2차 기능을 보완한다. 넷째로 비용절감형은 기능은 그대로 두되 비용을 최소화한다. 가치지수는 식 (3)과 같이 적용한다.

$$V = \frac{F}{C} \quad (3)$$

여기서 V 는 가치지수를 나타내며, F 는 발주자가 요구하는 시설물의 성능을, 그리고 C 는 생애비용을 나타낸다.^[1] 가스플랜트 설계에서 가치공학 설계란 사업주에서 제공한 입찰안내서에 명기되어 있지 않지만, 설계내역에 대한 경제성 및 현장적용 타당성을 기능별, 대안별로 검토하여 건설공사의 품질향상 및 원가 절감을 도모하는 설계이다. 가치공학 설계의 적정 시기는 사업계획 초기 및 설계단계이며, 이

시기에는 여러 분야 담당자들이 충분한 시간을 갖고 의견교환, 브레인스토밍 기법 등으로 공사투입 비용 절감 대비 기술성능 유지향상을 분석하여 최종경제성이 있는 원가절감효과를 만들어내기 쉽다.^[3]

가치공학 설계의 목적은 설계 및 시공단계에서 전문지식을 활용하여 계획, 설계, 시공 방법을 재검토하고 대안을 발견하며 그것을 도입함으로써 비용투자효과 즉, 비용가치를 최대한으로 높이자는 것이다. 비용가치를 높이는 방법으로는 일정한 비용으로 최대의 기능을 산출하는 방법과 일정하게 정해진 기능은 유지하되 비용을 최소로 하는 방법이 있다. 가스플랜트에서는 결과물의 기능성이 사업의 전제조건이 되기 때문에 정해진 기능은 유지하되 비용을 최소화하는 목적을 두고 있다.

3.2 배관두께 선정법

사업을 시작할 때 사업주가 설계자에게 지정해준 대관경 배관의 두께는 ASME B16.5 code에서 규정하는 플랜지 레이팅의 최대 허용압력을 기준으로 산정한다. 배관제작 방식으로 인해 고가 자재로 간주하는 대관경 배관을 ASME B16.5 code에서 규정하는 배관자재별 플랜지 레이팅의 최대 허용압력을 기준으로 규격화하여 배관두께를 산정한다면, 공정별 유체가 요구하는 허용압력 및 허용온도 보다 필요 이상의 압력 및 온도를 견디도록 두께가 산정된다. 이는 과도한 배관자재 물량 및 비용을 산출하게 된다. 과도한 자재비용 산출을 막기 위해 대관경 배관은 가치공학 개념을 적용한 배관두께 선정을 제안한다.

필요 이상의 배관두께로 선정하지 않으려면, 규격화된 플랜지 레이팅의 최대 허용압력을 기준이 아닌 각 공정별 유체의 배관설계조건 (line design condition)을 기준으로 허용압력 및 허용온도를 고려하여 배관두께를 산정한다. 배관두께 선정에 가치공학 개념을 적용하려면, 플랜트 설계 시에 대관경 배관을 리스트화하여 물량을 파악하고, 공정별로 유체의 온도 및 압력, 배관의 관경의 크기, 재질을 분류하여 정리한다. 대관경 배관은 가치공학 개념을 적용하여 공정별 유체의 최대 압력 및 온도를 기준으로 배관설계조건에 따라 배관두께를 산출하면 동일한 설계조건이라 하여도 두께를 효율적으로 감소시킬 수 있으며, 배관자재 물량의 절감이 가능하다.

Table 1의 설계조건을 가진 배관을 가치공학 개념을 적용하여 배관두께를 산정할 경우에는 ASME

B31.3 code에 명기되어 있는 식 (1) 내압을 받는 직관부의 두께(t)값과 식 (2)를 고려하여 실제 배관두께(t_{nom})를 구한다. 내부설계압력(P)은 상세설계조건인 플랜지 레이팅 클래스 1500의 최대 허용압력이 아닌, 공정별 유체의 최대 허용압력 및 허용온도로 정리한 배관라인 리스트를 참조하여 각각의 배관설계조건으로 배관관경의 허용압력과 허용온도를 고려해 산정한다. 유체의 최대 허용압력(P)은 171 bar(2,480 psig)이므로, 내부설계압력(P)은 2,480 psig이고, 배관의 바깥지름(D_o)은 762 mm이다. 그리고 배관재료의 허용응력(S)은 20,000 psig, 배관재질에 따른 온도보정계수(Y)는 0.4이므로 식 (1)에 대입하여 산출하면, 내압을 받는 직관부의 두께(t)는 45 mm로 산출된다. 이것과 허용부식(A) 3 mm를 더한 값을, 1에서 허용오차 12.5% 뺀 값으로 나누면 허용부식 및 제작허용 오차를 고려한 실제 배관두께(t_{nom})가 54 mm로 산출된다.

Table 1 상세설계조건인 30 inch 대관경 배관의 배관두께 산정 시, 내부설계압력(P)값을 규격화된 플랜지 레이팅 기준의 최대 허용압력 기준으로 하였을 경우에는 79.37 mm로 산출되었고, 배관설계조건 기준의 허용압력으로 하였을 경우에는 54 mm가 산출되었다. 배관두께 산정 시 가치공학 개념을 적용하여 25.37 mm가 감소되는 효과를 얻었다.

3.3 가치공학 개념 적용 대관경 배관두께 선정 검증

가스플랜트 산업에서는 배관류나 기기 등의 허용압력 및 용접부에 대한 건전성을 확보하기 위하여 배관을 시공한 후 일정 시간 동안 일정 수준의 수압의 물을 관으로 흘려보내는 수압 테스트를 실시하도록 ASME B31.3 code에 규정되어 있으며, 테스트 및 복구 작업이 완료되면 기계적인 시공이 완료된 것으로 인정된다. 테스트를 통해 각 배관 라인별로 설계조건에 필요한 압력, 홀딩타임 및 가압 소요 시간으로 배관의 이상유무를 확인한다. 수압시험의 압력은 ASME code 규정에 따라 설계압력의 1.5배로 실시하며, 테스트의 시간은 최소 10분으로 한다. 수압테스트 구간 해당 배관의 등축(isometric)도면을 참조하여 배관라인을 패키지로 구성하고 수압테스트의 구간을 설정한다. 테스트는 송출량 작동압력(operating pressure)에서 10~20분, 설계압력에서 10~20분, 설계압력의 1.5배를 더한 테스트 압력에서 30분 동안 수압을 가하는 단계로 실시하며, 테스트를 통해 해당 배관과 기기 등이 수압에 의한

Table 2 Hydrostatic test package format of piping for the application of value engineering⁽⁴⁾

Line No.	30"-17FL307-39N	
Material /rating	Low temperature carbon steel class 1500	
Break point quantity	30x24 : 3 30x16 : 2 30x8 : 2	30x1.5 : 3 30x0.75 : 4
Operating pressure (bar)	85.5 bar	
Line design pressure (bar)	171 bar	
Test pressure (bar)	256.5 bar	
Operating pressure turnaround time	15min	
Line condition pressure turnaround time	15min	
Test pressure turnaround time	30min	
Drain turnaround time	120min	
Result	acceptable	

이상유무가 발생하는지 확인한다. A프로젝트의 사례 현장에서도 가치공학 개념을 적용한 배관두께 선정 검증 단계로 수압테스트를 실시하였고, 배관 등 축도면을 기준으로 수압테스트의 구간을 설정한다. 등축도면은 배관설계 도면의 한가지로서 이차원인 평면의 공간에 삼차원의 형상을 표현하는 기법을 적용한 도면이다. 배관 등축도면에는 배관의 라인 넘버, 관경의 크기, 배관소재 및 플랜지 레이팅 클래스의 값, 치수, 배관 서포트의 위치 등 해당 배관의 상세정보가 표기되어 있어 배관설치에 사용되고 수압테스트의 테스트 구간을 설정하고 테스트 시에 요구되는 송출량 작동압력 및 송출량 작동온도, 설계압력 및 설계온도, 테스트 압력 등의 상세정보가 표기되어 있다. Table 1의 상세설계조건에 해당되는 대관경 배관은 수압테스트 사전에 배관 등축도면을 참조하여 수압테스트의 구간을 설정하고 배관형상을 확인한다. 3단계의 수압테스트를 위해 배관 등축도면을 기준으로 Table 2와 같이 수압테스트 패키지 양식을 작성한다. 수압테스트 패키지 양식에는 해당 배관의 라인 넘버와 배관재질, 플랜지 레이팅, 브레이크 포인트의 수를 파악하고 기입한다. 또한, 수압테스트에 요구되는 압력과 소요 시간을 기입하고 수압테스트 실시 후 결과를 확인한다. Table 2는 상세

Table 3 Comparison table for pipe wall thickness applied value engineering

Item	Size (inch)	Material Specification	Original bill of quantity (A)	Revised bill of Quantity (B)	Difference (C=B-A)
			Thickness (mm)	Thickness (mm)	Thickness (mm)
Pipe	26	LTCSA671-CC60-CL.22EFWW	25.40	15.88	-9.5
Pipe	30	BELTCSEFWA671-CC60CL.22	33.32	30.18	-3.1
Pipe	36	BELTCSEFWA671-CC60CL.22	41.28	35.71	-5.6
Pipe	48	BELTCSEFWA671-CC60CL.22	50.80	49.00	-1.8
Pipe	28	LTCSA671-CC60-CL.22EFWW	33.32	30.18	-3.1
Pipe	30	LTCSA671-CC60-CL.22EFWW	41.28	34.93	-6.4
Pipe	42	LTCSA671-CC60-CL.22EFWW	46.03	40.49	-5.5
Pipe	30	ALLOY A691-11/4CR-CL.22 EFW BE B36.10M	34.93	22.23	-12.7
Pipe	36	ALLOY A691-11/ 4CR-CL.22 EFW BE B36.10M	40.00	25.40	-14.6
Pipe	30	LTCSA671-CC60-CL.22EFWW	74.62	57.00	-17.6
Pipe	36	LTCSA671-CC60-CL.22EFWW	88.90	68.00	-20.9

설계조건에 배관을 가치공학 개념을 적용하여 배관 두께를 산정하여 절감하고, 해당 배관의 안전성을 검증하기 위한 수압테스트 양식이다.

상세설계조건을 가진 배관은 배관 등축도면을 참조하여 테스트 구간을 설정하고 형상을 파악한다. 또한, 브레이크 포인트의 크기와 수를 확인하고 봉합하여 수압테스트 시 오류가 없도록 한다. 수압테스트는 배관설계조건에 압력과 시간을 고려하여 실시한다. Table 1의 상세설계조건에 배관은 가치공학 개념을 적용하여 두께를 산정하고, 운전상의 압력인 85.5 bar에서 15분, 설계압력인 171 bar에서 15분, 테스트압력인 256.5 bar에서 30분 동안 압력을 가하였다. 3단계 테스트를 실시한 결과 누수가 발생하지 않았으므로 안전상의 문제가 없음을 확인하였다.

3.4 경제성 검토

Table 3은 상세설계조건에 배관을 포함한 A프로젝트의 사례 사업에서 26 inch 이상의 배관은 대관경 배관으로 간주하고, 설계단계에서 가치공학 개념

을 사전에 인지하고 적용하였다. 대관경 배관의 두께 산정 시 플랜지 레이팅의 허용압력기준이 아닌 각각의 유체의 최대 허용압력으로 계산하여 사업주가 원하는 기능을 보증하되 배관두께를 절감하였다. 절감한 배관두께는 배관자재 물량의 효율적인 감소를 통해 공사비 절감을 가능하게 하였다.

Table 3은 A프로젝트의 사례 사업에서 26 inch 이상 대관경 배관의 두께선정에 가치공학 개념을 적용할 경우, 적용여부에 따른 배관두께 비교표이다.

Table 4는 가치공학 개념을 적용하여 대관경 배관의 두께 감소로 인한 배관자재 물량의 감소를 나타낸 표이다. 배관자재 물량은 배관의 무게로 나타내며, A프로젝트의 사례 사업에서는 대관경 배관의 두께를 줄임으로써 가치공학 개념을 적용하지 않았을 경우와 비교하여 배관자재 물량이 총 1,821 ton 감소하는 것을 알 수 있다.

Table 5는 A프로젝트의 사례 사업에서 26 inch 이상 대관경 배관에 대해 가치공학 개념을 사업주에게 제안하고 적용하였다. 대관경 배관의 두께 산정 시 유체의 최대 허용압력으로 계산하여 두께를 줄이

Table 4 Comparison table for piping material quantity by applying value engineering

Item	Size (inch)	Material Specification	Original bill of quantity (A)	Revised bill of Quantity(B)	Difference (C=B-A)
			Total weight (ton)	Total weight (ton)	Total weight (ton)
Pipe	26	LTCSA671-CC60-CL.22EFWW	472	262	-210
Pipe	30	BELTCSEFWA671-CC60CL.22S2W	551	301	-250
Pipe	36	BELTCSEFWA671-CC60CL.22S2W	2,972	2,489	-483
Pipe	48	BELTCSEFWA671-CC60CL.22S2W	18	17	-1
Pipe	28	LTCSA671-CC60-CL.22EFWW	2,099	1,910	-189
Pipe	30	LTCSA671-CC60-CL.22EFWW	2,128	1,914	-214
Pipe	42	LTCSA671-CC60-CL.22EFWW	537	469	-68
Pipe	30	ALLOY A691-11/4CR-CL.22 EFW BE B36.10M	118	76	-42
Pipe	36	ALLOY A691-11/ 4CR-CL.22 EFW BE B36.10M	827	534	-293
Pipe	30	LTCSA671-CC60-CL.22EFWW	20	16	-4
Pipe	36	LTCSA671-CC60-CL.22EFWW	308	241	-67
Total			10,050	8,229	-1,821

Table 5 Comparison table for piping material costs with application of value engineering in the a project.

Item	Size (inch)	Material Specification	Original bill of quantity (A)	Revised bill of Quantity(B)	Difference (C=B-A)
			Price (USD)	Price (USD)	Price (USD)
Pipe	26	LTCSA671-CC60-CL.22EFWW	798,740	505,856	-292,884
Pipe	30	BELTCSEFWA671-CC60CL.22S2W	669,265	609,193	-60,072
Pipe	36	BELTCSEFWA671-CC60CL.22S2W	3,494,552	3,042,483	-452,069
Pipe	48	BELTCSEFWA671-CC60CL.22S2W	23,932	23,120	-812
Pipe	28	LTCSA671-CC60-CL.22EFWW	3,571,564	3,250,989	-320,575
Pipe	30	LTCSA671-CC60-CL.22EFWW	3,353,493	2,858,436	-495,057
Pipe	42	LTCSA671-CC60-CL.22EFWW	792,879	692,954	-99,925
Pipe	30	ALLOY A691-11/4CR-CL.22 EFW BE B36.10M	272,126	176,125	-96,001
Pipe	36	ALLOY A691-11/ 4CR-CL.22 EFW BE B36.10M	1,847,264	1,192,596	-654,668
Pipe	30	LTCSA671-CC60-CL.22EFWW	33,242	26,176	-7,066
Pipe	36	LTCSA671-CC60-CL.22EFWW	487,611	381,480	-106,131
Total			15,344,668	12,759,408	-2,585,260

고 배관자재 물량을 총 1,821 ton을 감소시켰다. 가치공학 개념을 적용하지 않았을 경우의 대관경 배관의 자재물량 비용대비 \$2,585,259를 절감하는 경제적 효과를 얻었다.

사례 현장의 26 inch 이상 대관경 배관의 물량을 설계단계에서 사전에 파악하고, 가치공학 개념을 적용하여 기성품화 제작이 불가능한 대관경 배관에 대해서는 유체의 최대 허용압력 및 허용 온도를 확인하여 두께를 산출하였다. 가치공학 개념을 적용하여 배관두께 산정을 한 배관은 수압테스트를 통해 배관의 안전성 및 배관 건전성 확보를 확인하였다. 테스트를 통해 이상유무를 확인한 대구경 배관은 사업주가 원하는 기능을 보증하면서, 배관두께를 절감하는 효과를 얻었다.

4. 결론

가스플랜트 프로젝트 설계단계에서 배관의 두께 선정 시 사업주의 요구에 따라 배관자재별 플랜지 레이팅의 최대 허용압력을 기준으로 대관경 배관의 두께를 선정하면, 필요 이상의 두께가 산정되면서

자재비용이 증가된다. 필요 이상의 자재비용을 막기 위해 가치공학 개념을 인지하고 설계단계에서 반영하고, 대관경 배관의 두께는 선정 시 배관설계조건 의 최대 허용압력 및 허용온도를 기준으로 설계할 것을 제안한다. 가치공학 개념을 적용하였을 경우, 자재물량이 감소하는 것을 A프로젝트 사례 사업에서 알 수 있다.

A프로젝트 사례 사업에서는 가치공학 개념을 적용하여 대관경 배관의 두께를 배관설계조건 의 최대 허용압력 및 허용온도 기준으로 산출하였다. 가치공학 개념을 적용한 배관은 수압테스트를 통해 안전성을 검증하여, 사업주가 요구하는 기능을 보증하면서 배관두께를 감소시킬 수 있었다. 가치공학 개념을 적용하여 배관두께를 감소시킨 배관의 자재물량은 10,050 ton에서 8,229 ton으로 총 1,821 ton을 감소시켰고, 그에 따라 \$2,585,259를 절감하였다.

설계단계에서 가치공학 개념을 적용하여 대관경 배관의 두께를 선정한다면, 사업주가 요구하는 기능은 보증하면서 자재물량의 감소를 통해 공사비 절감 효과를 얻을 수 있다. 이처럼 배관설계 시 사전에 대관경 배관자재 물량을 검토하고 가치공학 개념을 적

용한 배관두께 산정을 통해 공사비 절감의 효과를 이룰 수 있다.

참고문헌

1. 김기한, 이현석, 임희동, 김병수 2007, “턴키 및 입찰사업의 설계 VE성 과분석”, pp.1011-pp.1012, 국가과학기술정보센터.
2. 최석인, 2004, "건설 VE 프로젝트에서 효과적인 기능분석 적용방안", pp.79, 국가과학기술정보센터.
3. 이수정, 2010, “CPVC배관의 VE설계 최적화를 위한 수리해석 방법에 관한 연구”, 서울시립대도시과학대학원, pp.77.
4. 준영기공, 2007, 수압테스트 절차서, 준영기공.