

TOC의 사고프로세스를 이용한 곡블럭 서포트 파이프의 설계 및 공정 개선 방법에 관한 연구

권오욱^{1,†} · 송인¹ · 최상일¹ · 허철수¹ · 김혁준²
(주)현대미포조선 설계운영부¹
(주)현대미포조선 선체가공부²

A Study on Improvement for Curved Block Support Pipe Design and Process with TOC Thinking Process

Oh Uk Kwon^{1,†} · In Song¹ · Sang Il Choi¹ · Chul Su Hu¹ · Hyuk Jun Kim²
Design Process & Control Dep't, HYUNDAI MIPO DOCKYARD, Ulsan, Bangeojin, Korea¹
Hull Production Dep't II, HYUNDAI MIPO DOCKYARD, Ulsan, Bangeojin, Korea²

Abstract

For the purpose of supporting Curved Blocks, pipe welding is commonly used on Curved panel. Typically, when it comes to attaching supporting pipe on heavy incurvated surface, it makes much loss in the process of design, cutting, welding. This paper gives proper methods to collecting problems and Core conflicts surrounding Support Pipe by using of TOC (Theory Of Constraints). Therefore drawing two solutions, pipe development program and NC generating from pipe development Data for Plate Cutting machine. It describes a process of erasing loss surrounding Support Pipe with "TOC Thinking process" and development of two programs in this paper.

Keywords : TOC (Theory of Constraints), UDE (Un Desirable Effects), CRT (Current Reality Tree), EC (Evaporate Cloud), DE (Desirable Effects)

1. 서론

조선소의 경쟁력을 높이기 위해 생산성 향상을 위한 많은 노력들이 시행되고 있다. 새로운 장비의 도입 또는 기술 개발에 많은 노력을 기울이고 있는 것도 이러한 목표를 위해서 이다. 하지만 이러한 만만치 않은 시간과 금전적 투자에도 불구하고 목표했던 효과를 얻지 못하는 경우도 많이 있다. 이러한 실패들의 대부분은 문제가 가지고 있는 핵심에 다가가지 못하고 증상의 해결만을 했거나 병목이 아닌 구역에 대한 부분 최적화에 의해 발생한다. 최근 많이 이야기 되고 있는 TOC 사고프로세스는 핵심 문제에 접근하고 병목을 파악 함으로서 이러한 문제들을 줄여준다.

본 기고에서는 곡블럭 서포트 파이프의 제작과 조립상의 문제점을 파악하고 TOC(Theory of Constraints)를 이용하여 근본원인을 찾아내고 해결할 수 있는 방안을 시스템에 적용한 사례를 소개하고자 한다.

2. TOC의 활용

TOC의 이론에 대하여 최근 많이 보급되어 있으므로 그 중 본 기고의 문제를 해결하기 위해 활용된 사고프로세스(Thinking Process)의 몇 가지 도구들과 이의 적용에 대해 소개한다.

2.1 문제 해결에 사용된 TOC 도구들

문제해결을 위해 사용된 도구는 크게 문제점을 도출하기 위한 UDE(Un Desirable Effects)의 작성, 이를 연결한 CRT(Current Reality Tree), 찾아낸 문제점의 모순을 해결하기 위한 EC(Evaporate Cloud)와 문제가 해결된 바람직한 결과를 확인하기 위한 DE(Desirable Effects)이다. UDE는 바람직하지 않은 결과를 뜻하는 것으로 흔히 문제점이라고 말하는 것들을 근본 문제에 의한 증상으로 보고 이를 나열한 것이다. CRT는 현재의 상황을 정확히 파악하기 위하여 UDE들의 관계를 연결하고 그 아래 깔린 전제들을

찾아 근본 원인에 접근할 수 있게 해준다. EC는 핵심문제를 이루고 있는 모순을 도식화하고 해결방안(Injection)을 도출하여 문제를 해결 할 수 있도록 도와주는 도구이다. DE들은 도출한 해결방안에 의해 UDE들이 변화하여 원하는 목표 또는 바람직한 결과가 얻어졌는지를 확인할 수 있도록 해준다.

2.2 각 TOC 도구의 적용

가장 먼저TOC를 통해서 도달하고자 하는 목표를 하나의 문장으로 명확히 하는 것이 필요하다. 목표는 아래와 같이 정하였다.

“곡블럭 서포트 파이프의 제작과 조립상의 작업 손실을 줄인다.”

위의 목표의 달성에 방해가 되는 곡블럭 서포트 파이프의 설계, 가공, 조립에 걸친 문제점들에 대해 알아보았다.

당사에서는 Fig. 1과 같이 블록을 고정하기 위하여 서포트 파이프를 활용하고 있다.

그런데 곡면에 서포트 파이프를 시공할 때, 파이프의 절단면이 외판의 곡면과 맞지 않아 GAP이 많이 발생하였으며 조립과정에서 이를 바로 잡기 위해 많은 시간을 투입하고 있었다. 블록 서포트 파이프를 가공하기 위하여 설계에서는 Fig. 2와 같이 작도를

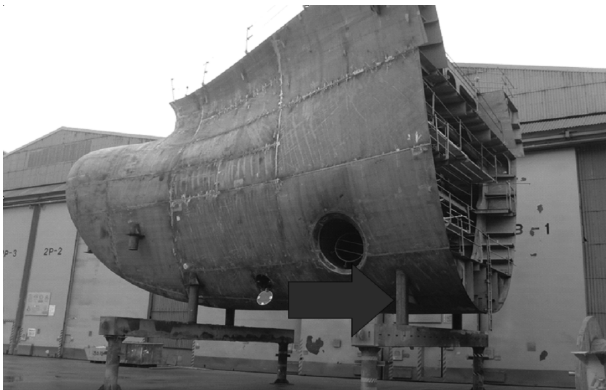
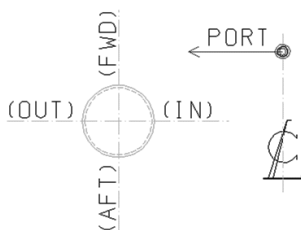


Fig. 1 블록 서포트 파이프

"PIPE" DIMENSION

(PORT기준)



	OUT	IN	AFT	FWD	PIPE SIZE
1P	1014	749	897	856	300A #40
2P	563	447	516	488	300A #40

Fig. 2 기존 도면상의 표현

통해 4개의 방향에 대한 Surface Intersection Point 값을 구하고 이를 도면에 표시하여 출도하였다. 가공에서는 도면의 수치를 기준으로 파이프를 제작하였다.

이러한 4포인트 가공 방식은 평면에 접하는 파이프의 단면을 표현하는 데는 문제가 없었으나 곡면에 접하는 파이프의 단면을 나타내는 것은 불가능하였다. 설계자가 더 많은 point의 Data를 제공하는 것은 설계 시수 투입이 많아 설계 효율을 감소시킨다. 위에 서술된 문제들을 UDE문장으로 단순화 하여 나열해 보았다.

UDE LIST

- ① 조립할 때 곡면과 PIPE 사이에 GAP이 많이 발생한다.
- ② 설계자가 PIPE의 Data를 작성하는데 시간이 오래 걸린다.
- ③ PIPE를 수절단 하는데 시간이 오래 걸린다.
- ④ PIPE의 가공이 정확하지 않다.
- ⑤ PIPE를 외판에 용접하는데 시간이 오래 걸린다.

각 UDE 간의 인과관계를 연결한다. 예를 들어 ①의 “조립할 때 곡면과 파이프 사이에 GAP이 많이 발생한다.”로 인하여 ⑤의 “파이프를 외판에 용접하는 시간이 오래 걸린다.”의 결과가 나온다.

이를 Fig. 3과 같이 연결한다.

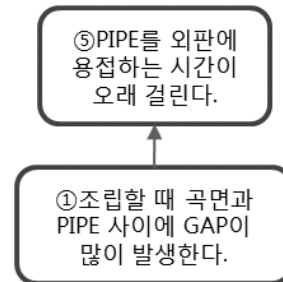


Fig. 3 UDE 인과관계 연결

UDE간의 인과관계에 대한 보강이 필요할 경우 추가 UDE와 설명을 포함하여 CRT 골격을 만든다.

CRT 골격으로부터 논리의 보강을 위한 설명문과 추가적인 UDE들을 보충하여 Fig. 5와 같이 CRT를 완성하였다. 완성된 CRT는 블록 서포트 파이프와 관련된 현재의 상황을 그대로 보여 주고 전체 관계를 파악하기 쉽게 해준다.

Fig. 5의 CRT를 통해서

- 파이프의 4포인트로 도면이 작성.
- NC 전환 프로그램이 없음.
- 파이프 자동 절단장비가 없음.

세 가지의 핵심 문제를 도출하였다. 이중 파이프의 4포인트로 도면이 작성 되는 부분은 설계와 가공의 입장이 상충되는 부분이 있다. 가공의 정도와 효율을 높이기 위해서는 기존 포인트의 수량을 늘려야 하고 설계에서는 추가적인 시수 투입을 막기 위해서는 포인트를 늘릴 수 없다. 이의 모순 관계를 EC로 도식화 하였다.

파이프 기준 포인트를 늘리면 설계효율이 떨어지고 현재의 상

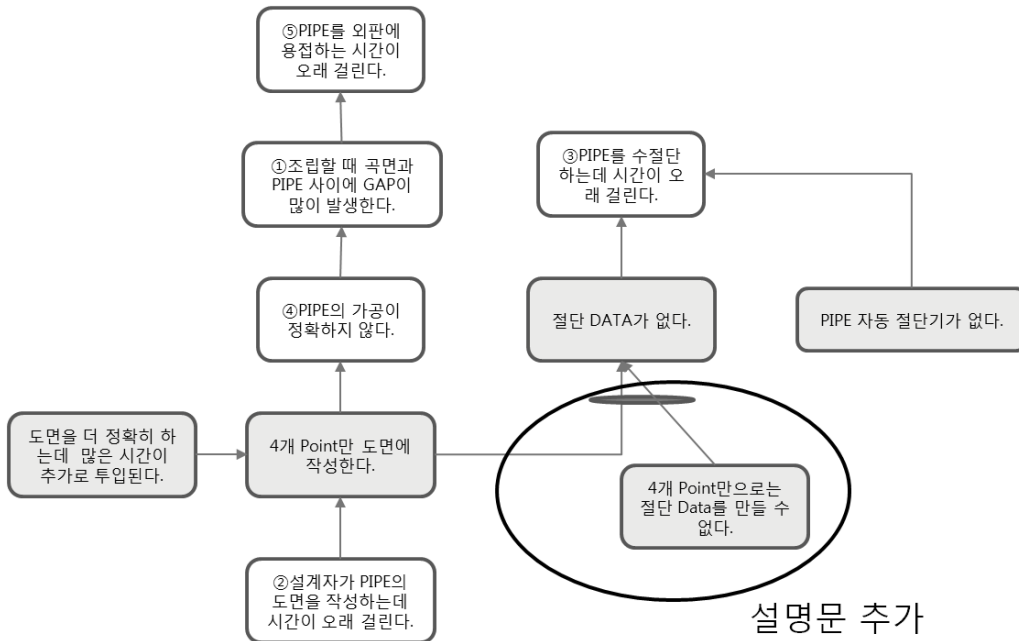


Fig. 4 CRT 골격

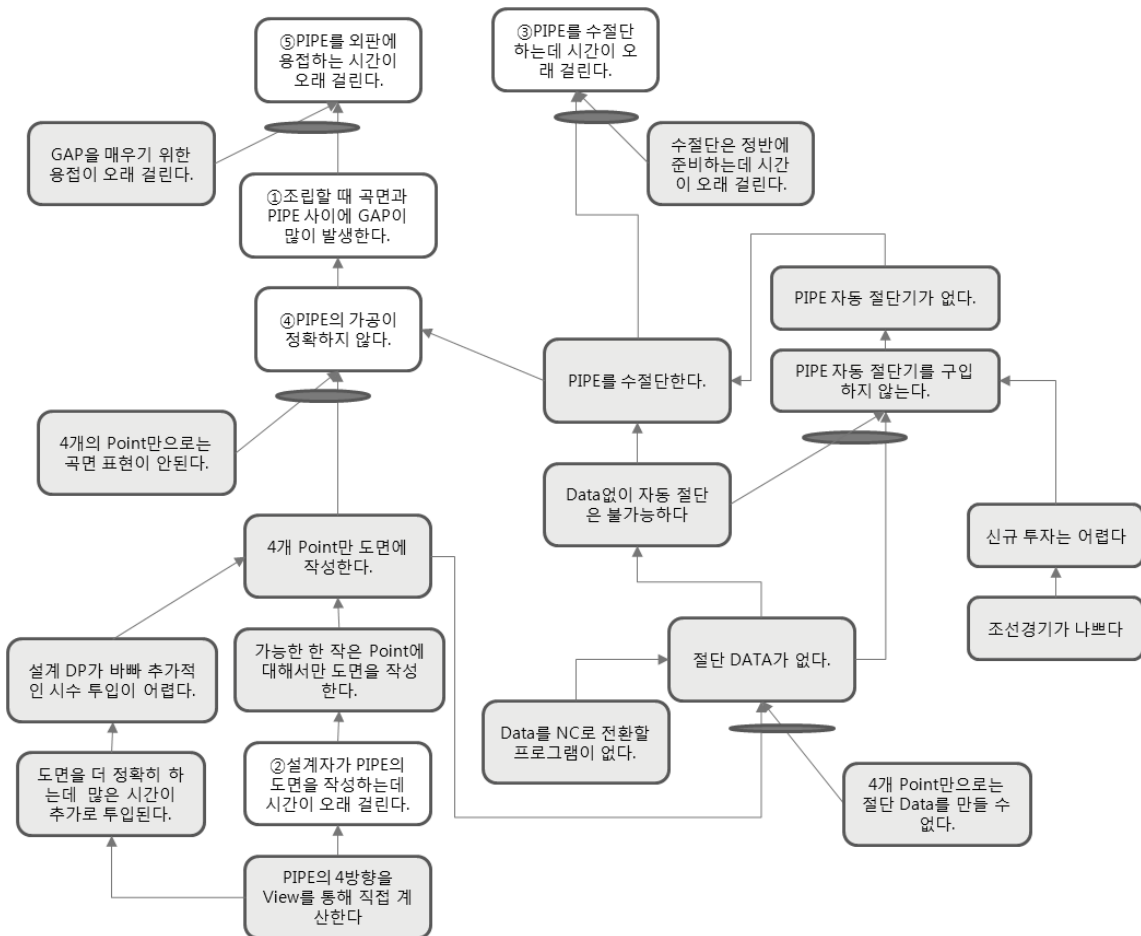


Fig. 5 완성된 CRT

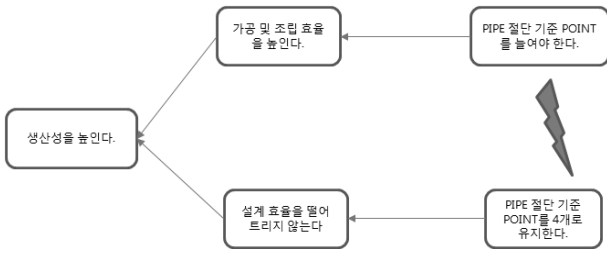


Fig. 6 파이프 기준 포인트 수량에 대한 EC

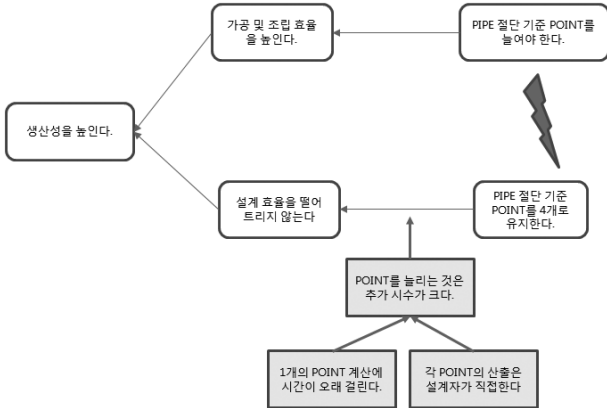


Fig. 7 EC를 이루는 전제

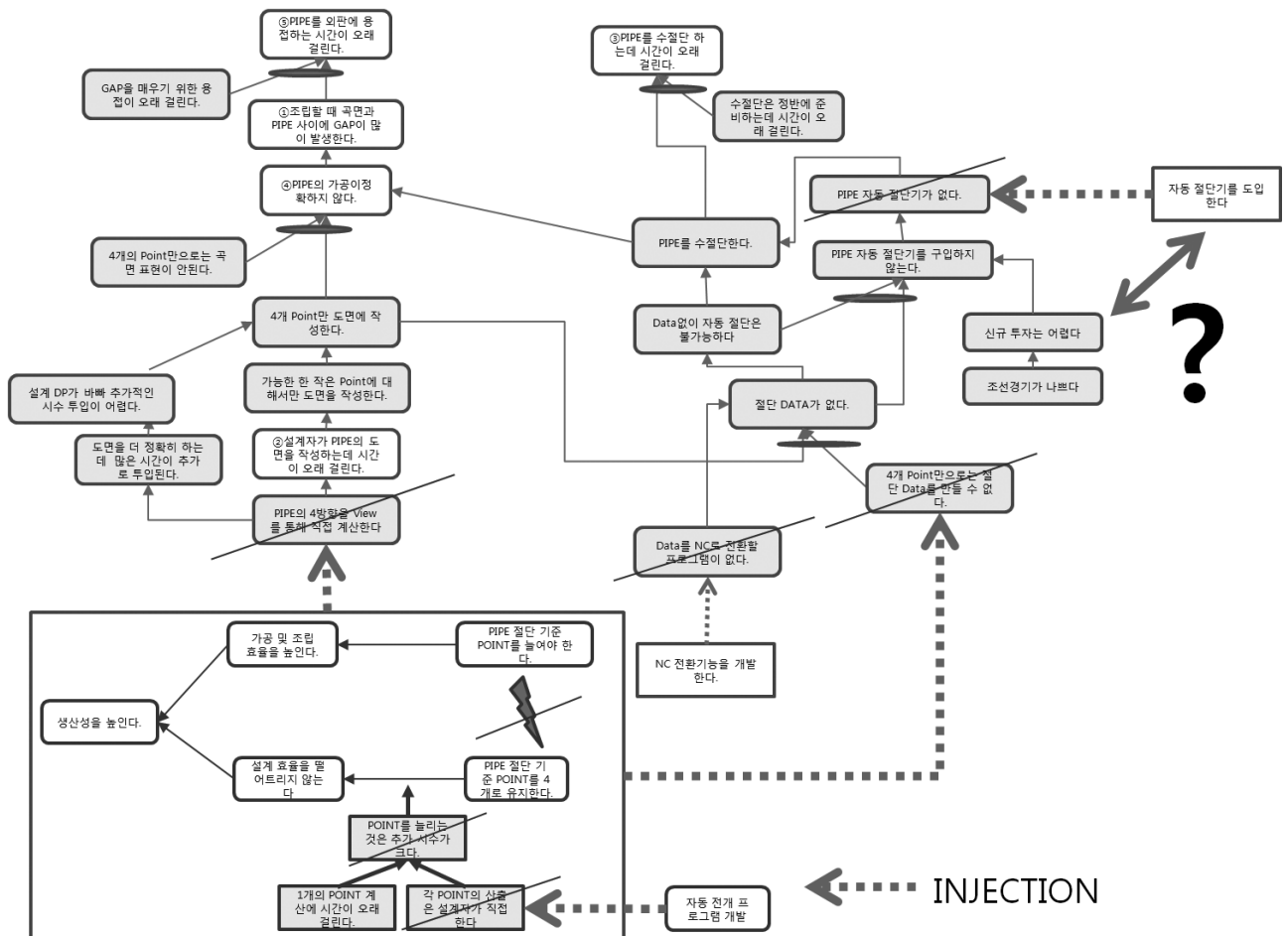


Fig. 8 Injection을 포함한 CRT

태로 그대로 둔다면 가공 및 조립의 효율이 떨어지게 된다. 물론 이 CASE의 경우 가공 및 조립의 손실이 설계손실보다 더 크기 때문에 포인트를 늘려야 한다는 결론에 도달 할 수밖에 없다. 하지만 설계손실도 방지하면서 가공 및 조립의 효율을 높일 수 있는 방법을 Fig. 6의 EC에 대한 전제를 분석하면 찾을 수 있었다.

설계부문에서 포인트를 늘리는데 시수가 투입되지 않는다면 Fig. 7 EC 도식의 모순점 이 사라지면서 전체 EC가 사라지게 된다. 따라서 포인트 계산에 시간이 오래 걸리지 않는 방법을 찾거나 설계자의 시수 투입이 되지 않는 해결 방안을 마련해야 했다.

파이프의 전개 기준 포인트를 늘리는 문제는 자동 전개 프로그램을 개발하여 이를 통해 도면을 작성함으로써 추가적인 시수 없이 전개 기준 포인트를 증가시킬 수 있었다. NC 전환 프로그램과 파이프 자동 절단 장비의 문제는 자동절단 장비가 도입되게 되면 해당 장비에 맞도록 맞추어야 되기 때문에 장비가 도입되면 자동 전개 프로그램 내에 NC 전환 기능을 넣기로 하였다. 해결방안들을 적용하여 CRT를 다시 그려보아 UDE 들이 모두 사라질 수 있는지 검토하여 보았다. 초기에는 자동절단기 도입을 검토하기로 하였기 때문에 “신규투자는 어렵다”라는 UDE가 “자동절단기를 도입 한다”가 대립관계로 남아 있지만 실제 개발과정에서 아이디어를 통해 신규투자를 하지 않으면서 자동절단기에 대한 Injection을 마련할 수 있었다.

3. 개발 과정

개발과정은 크게 곡면 접촉 파이프 전개 프로그램과 PLATE 절단 장비를 파이프 절단에 활용할 수 있도록 해주는 NC 생성 프로그램의 두 가지로 나누어진다.

3.1 곡면 접촉 파이프 전개

시스템에서 가져올 수 있는 Data는 파이프의 Start와 End Point를 통한 Vector와 Point 그리고 직경에 관한 내용이 전부이다. 화면상으로는 곡면과의 접촉을 확인할 수 있지만 실제 만나는 지점의 정확한 3D point는 자동으로 제공되지 않는다. 따라서 파이프의 진행 Vector에 대해 수직으로 향하는 Vector를 Fig. 9와 같이 파이프 진행 Vector 기준으로 일정 각도에 따라 회전시킨다. 이 Vector를 통해서 파이프를 이루고 있는 곡면을 Fig. 10과 같이 몇 개의 선들로 분할하였다.

더 세분화된 분할이 필요할 경우 각도를 줄이는 것으로 간단히

계산될 수 있다. 연속된 선으로 형성하기 위해서는 Surface 곡면에 파이프의 원형 곡면을 투영해야 하지만 정도에 문제를 일으키지 않을 정도의 분할을 찾는 것으로 해결할 수 있다고 판단하였다.

더 세분화된 분할이 필요할 경우 각도를 줄이는 것으로 간단히 계산될 수 있다. 연속된 선으로 형성하기 위해서는 Surface 곡면에 파이프의 원형 곡면을 투영해야 하지만 정도에 문제를 일으키지 않을 정도의 분할을 찾는 것으로 해결할 수 있다고 판단하였다.

분할된 Line과 Surface와의 접점을 계산하기 위하여 분할된 Line이 놓이는 평면을 Fig. 11과 같이 생성하여 이에 투영된 SURFACE의 곡선과 분할라인과의 교점을 통해서 접점을 계산해 내었으며 이를 가시화한 결과는 Fig. 12와 같다.

무한대의 분할은 실제 가공에서 무의미하므로 파이프의 정도에 영향을 미치지 않을 정도의 분할만을 하여 Data의 양을 줄이고 수행속도를 높이기 위해 적정 분할을 찾았다. 64, 32, 16의 세 가지 방식으로 분할하여 보았다.

세 가지 결과를 겹쳐보았을 때, 모두 곡의 최대 차이가 0.5mm 정도로 16분할 이상에서는 가공될 실물에 오작이라 할 만한 영향은 없을 것으로 판단되었다.

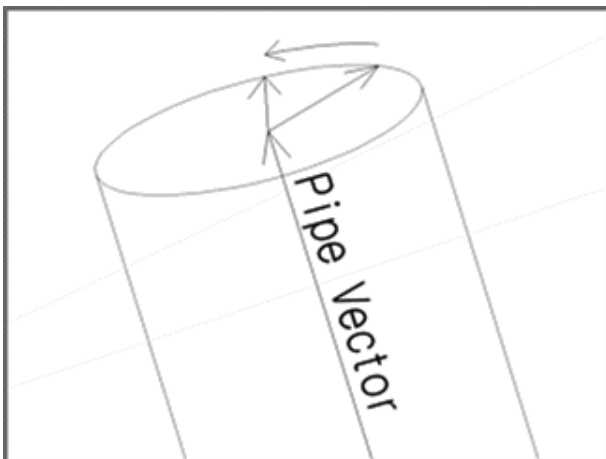


Fig. 9 파이프의 전개 기준 Vector 회전

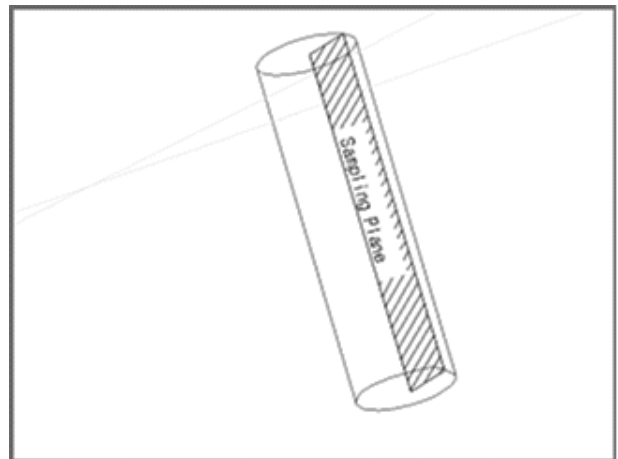


Fig. 11 분할된 면의 설정

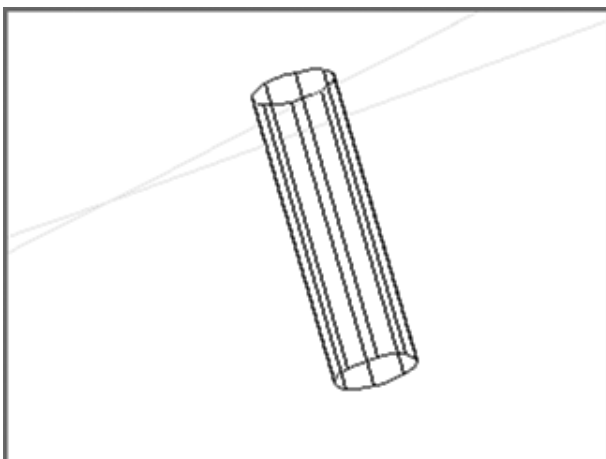


Fig. 10 파이프의 분할 Line 생성

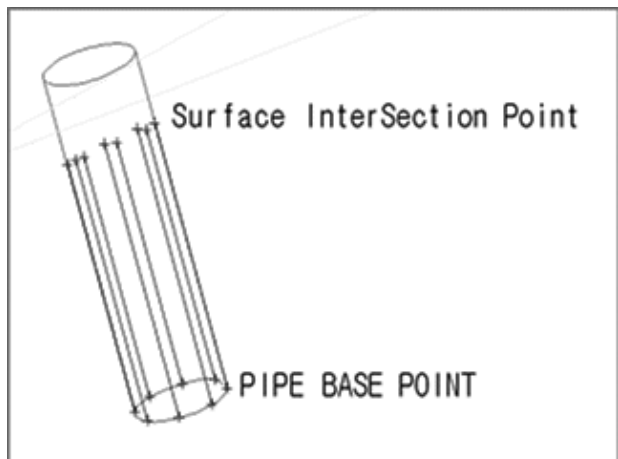


Fig. 12 산출된 Surface 접점

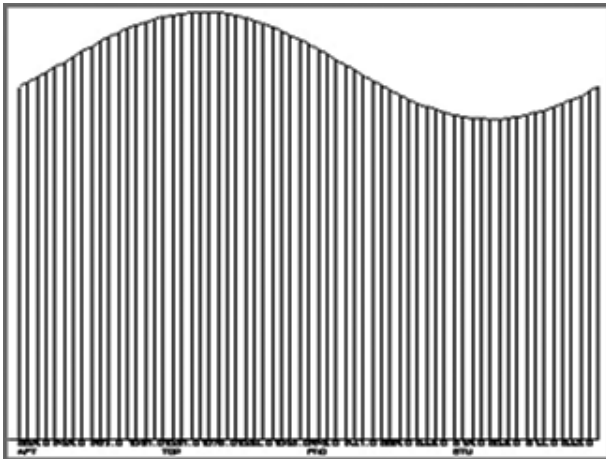


Fig. 13 64분할

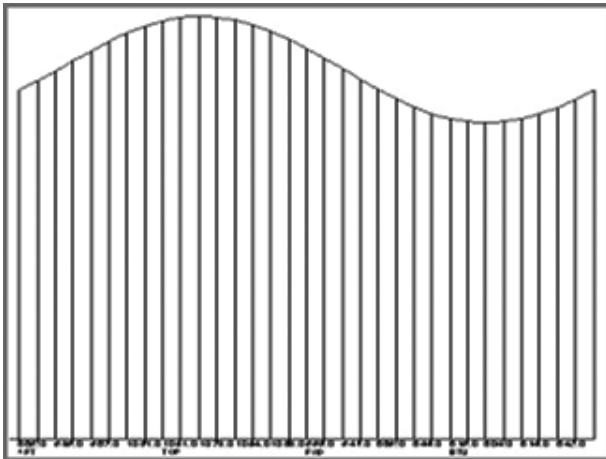


Fig. 14 32분할

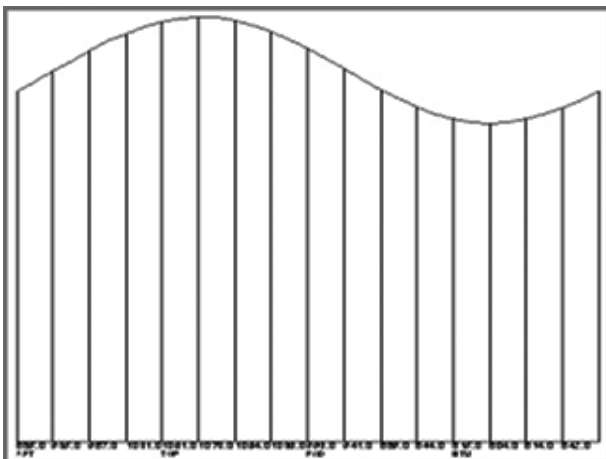


Fig. 15 16분할

3.2 전개도면 자동 작성

전개도면은 Fig. 16과 같이 작성된다. 플롯터로 출력하여 실물과 대조해 볼 수 있도록 1:1 Scale로 작성되도록 하였으며 파이프의 크기에 따라 최대한 곡선이 모두 표현되도록 프로그램 되었

다. 또한 가공하였을 때의 3D 형태를 함께 나타내어 Data 생성 시 발생할 수 있는 오류 등을 설계자나 현장 작업자가 확인 가능하도록 하였다

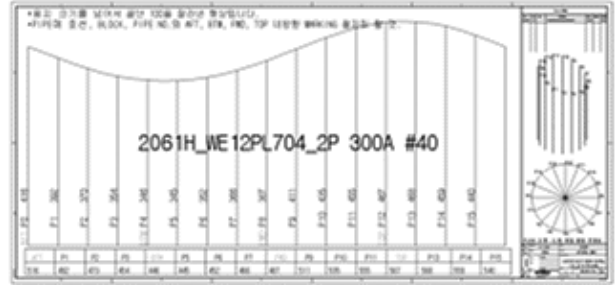


Fig. 16 자동 전개 도면

3.3 PLATE절단 장비에서의 파이프 절단

파이프 자동 절단기를 도입하여 절단기에 맞는 Data를 생성, 입력하는 방법으로 초기 협의가 진행되고 있었으나 투자에 대한 부담으로 쉽게 결정하지 못하였다. 그런데 기존의 오래된 PLATE NC 장비에 롤러를 추가하는 현장의 개선 아이디어가 나왔다. 해당 장비는 가스 토치가 달린 소부재를 절단하던 노후 장비로 소부재의 가스 절단이 줄어들면서 활용도가 떨어지고 있었다.

Data만 맞게 생성할 수 있다면 파이프 절단 장비에 대한 신규 투자의 부담 없이 사용률이 떨어지는 노후 장비의 활용을 높일 수 있는 방법이라 판단되었다. 이로서 Fig. 8에서 “신규투자는 어렵다”에 대한 대립관계는 “구형 PLATE 장비로 자동절단한다”라는 Injection을 통해 해소되어 CRT의 모든 UDE의 근본 원인들이 제거되었다.

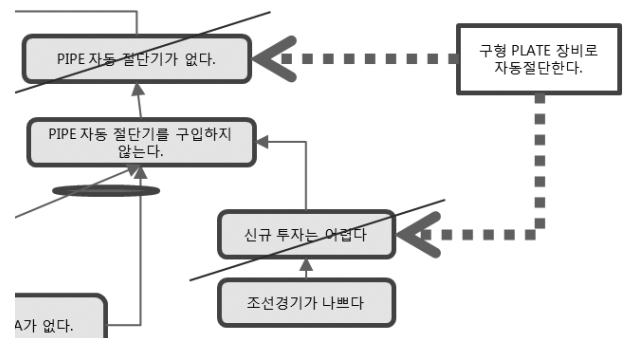


Fig. 17 Injection 변경

이에 따라 Plate절단 장비에서 파이프를 절단할 수 있는 NC의 생성과 현장 작업 방법에 대해 연구하기 시작하였다. 가스 절단기의 정반 옆의 빈 공간에 롤러를 배치하였다. 롤러와 절단기는 별개의 장비이므로 롤러의 회전은 제어가 불가능하였다. 따라서 가스 절단기의 토치 움직임만을 제어하여 파이프의 절단면을 형성하는 방식으로 개발되어야 하였다.

3.4 적용 가능성 파악을 위한 1차 테스트

파이프 전용 절단 장비가 아니었기 때문에 이러한 방식의 절단이 과연 가능할 것인가에 대한 실험이 필요하였다. 가스절단 장비가 노후되어 Data의 속도 수치대로 움직여줄 수 있을지 의문이었으며 롤러의 속도를 제어할 수 없는 것이 문제를 일으킬 수 있는지에 대해서도 확인하여야 하였다.



Fig. 18 공회전을 통한 테스트

기존 PLATE NC를 참고하여 NC Data를 생성하였다. 테스트 결과는 Fig. 18과 같이 제대로 된 곡선을 형성하지 못하였으며 롤러와 토치의 속도에 대한 계산이 맞지 않아 끝지점을 넘어가거나 절단이 다 되지 않은 상태에서 토치가 꺼져 절단이 끝나버렸다.



Fig. 19 1차 테스트의 최종 절단 결과

이후 Data를 수정해가면서 반복적인 공회전 및 절단을 실시하여 Fig. 19와 같이 절단되었다. 절단된 형태를 확인하였을 때 다음의 문제점이 발견되었다.

- 토치의 속도가 빠르거나 느림
- 각 구간에서 Edge 발생
- 정도 체크가 어려움
- 롤러에서 Slip 발생

위의 4가지 문제를 해결해야 할 목표로 정했다. Data의 생성 방법과 작업표준을 결정한다면 가능성이 충분하다고 판단하였다.

3.5 2차 절단 테스트 및 작업 기준 결정

먼저 1차 테스트에서의 문제들을 해결하기 위한 시도를 하였다. 파이프의 Slip현상을 방지하기 위하여 롤러를 Fig. 20과 같이 Magnetic 롤러로 교체하였으며 Data에 주어진 속도와 장비 속도의 차이에 대한 보정값을 찾기 위해 반복절단 하였다.



Fig. 20 Magnetic 롤러 및 절단 결과

절단 품질 향상을 위해 구간을 세분화하여야 Edge 발생을 막을 수 있을 것으로 판단되었다. 또한 개발을 시작하면서 처음 시도되는 작업이기 때문에 현장의 작업에 대한 기준이 없었다. 따라서 작업 표준에 대한 아래의 내용들을 테스트 과정에서 정립하였다.

- 롤러의 회전 방향
- Scrap의 방향
- 롤러의 회전 속도
- 정도의 검증 방법
- NC Data의 전달 및 관리방안

3.6 NC Data의 생성

일반적인 PLATE 절단에서 속도 값은 일정하지만 이번 절단 방식은 롤러의 속도를 조절할 수 없는 환경에서 이루어지기 때문에 구간마다 속도를 다르게 주어야 하였다.

롤러의 속도, 구간의 길이, 높이가 있다면 Fig. 21과 같이 간단하게 해당 구간에서의 토치속도가 구해질 수 있다.

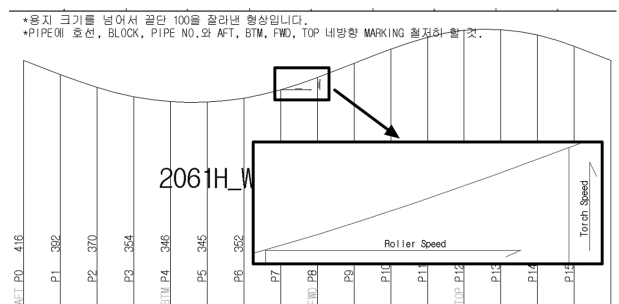


Fig. 21 토치 속도의 계산

1,2차 테스트를 통해서 16분할을 위와 같은 계산으로 절단하였을 때 품질이 떨어진다는 것이 확인되었다. 따라서 형성된 Data에서 각 구간의 곡선 계산을 통해 추가 Point를 형성하였다.

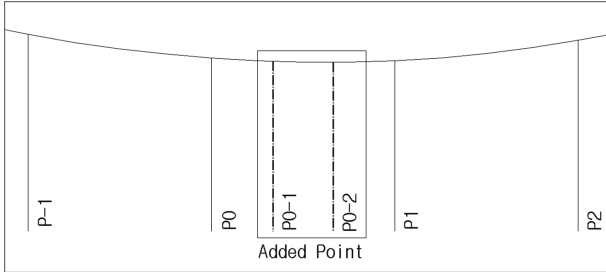


Fig. 22 3차 곡선을 통한 Point 추가

P-1,0,1,2를 통해서 3차 곡선을 형성하고 이를 통해 P0-1, 0-2를 추가하였다.

Plate 장비의 토치는 NC 구문 상에 들어있는 좌표에 도달하면 바로 다음 좌표로 이동한다. 그런데 이번 절단의 특성상 토치는 X축 한 방향으로만 이동을 하게 되므로 X변위가 거의 없는 만곡부에서 Fig. 23과 같이 변위차가0인 구간이 발생하게 되어 구간 생략 현상이 발생하였다.

P0	P1	P2	P3
452	450	450	451

Fig. 23 변위0로 인한 생략 구간(P1~P2)

Fig. 23에서 보여지 듯 P1과 P2의 변위차이는0이므로 CODE 상G00 X0 Y0이 된다. 토치는 이미 해당 좌표에 도달한 것으로 판단하여 롤러가 해당 구간 동안 돌아가는 시간을 기다리지 않고 바로 다음 코드로 진행된다. 따라서 이 구간은 Merge시켜 강제로 변위 차를 만들었으며 속도 값을 Merge된 길이만큼 보상하였다. 변위가0에 가까운 구간에서 Merge 되므로 이러한 방법에 의한 곡선의 정도 저하는 크지 않았다

3.7 3차 절단 테스트 및 결과

프로그램 코딩이 완료되고 최종 조정 작업을 위해 3차 테스트를 실시하였다.

또한 테스트 결과 확인을 위하여1:1 전개 도면을 출력하여 대조해 보았다. Fig. 25에 나타난 바와 같이 문제가 없음을 확인할 수 있었다.

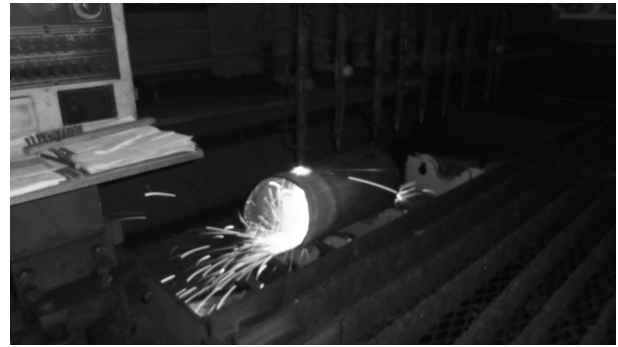


Fig. 24 3차 절단 테스트



Fig. 25 도면 대조를 통한 정도 확인

4. 결론

처음의 UDE와 대비하여 DE(Desirable Effects)를 작성하였다. DE는UDE와 반대 의미를 가지는 문장으로 바람직한 결과를 나타낸다. 이와 실제 결과의 대조를 통해 원하는 효과를 얻었는지 확인해 보았다.

DE LIST

- ① 조립할 때 곡면과 PIPE 사이에 GAP이 발생하지 않는다.
- ② PIPE의 Data를 작성하는데 시간이 오래 걸리지 않는다.
- ③ PIPE를 자동 절단하여 가공 시간이 짧다.
- ④ PIPE의 가공이 정확하다.
- ⑤ PIPE를 외판에 용접하는데 시간이 오래 걸리지 않는다.

①, ④는 기존 포인트를 4포인트에서 16포인트로 늘려 이를 곡선화 함으로서 가공의 정도가 높아지고 정도가 높아짐에 따라 자연히 GAP이 발생하지 않는다. 또한 GAP이 발생하지 않으므로 ⑤와 같이 용접에 시간의 손실이 없다. 자동전개 프로그램을 통해 ②와 같이 되었으며 PLATE 절단 장비에 롤러를 붙여 ③과 같은 결과를 얻었다.

이로서 초기 목표였던 “곡블럭 서포트 파이프의 제작과 조립

상의 작업 손실을 줄인다”에 대하여 상당한 성과가 있음을 확인할 수 있었다.

전개 프로그램의 개발에 있어서는 기존 개발 업체들의 Surface Curve의 전개 속도와 정확성을 뛰어넘기까지 많은 시행 착오와 시간이 걸렸으며 현재 당사의 CAD 시스템인 Tribon API 환경에서 개발된 전개 프로그램 중 가장 속도가 개선되었다. 또한 자동 절단은 현장 부서의 기발한 아이디어로 신규 투자의 진행 없이 기존 장비의 활용을 통해 이루어 내었다는 점에서 큰 이익이 되었다. 하지만 롤러의 정확한 Control을 할 수 없이 절단을 함으로써 블록 서포트 파이프 보다 더 정밀한 정도를 요하는 파이프에는 사용이 어려운 한계점도 있었다.

이번 연구 수행을 통해 TOC Thinking Process의 유용한 Tool 들을 활용하여 과제를 수행하면서 문제점과 현재 상황에 대한 체계적인 정리 및 분석이 가능하였다. 또한 핵심 문제와 이를 해결하기 위한 방안을 찾는 과정에서도 사고의 흐름을 체계적으로 가져갈 수 있어 직관에 의존했던 기존 방법에 비하여 진일보 할 수 있었다.

5. 응용 및 향후 발전 방향

조선소의 가공 업무 중 가장 제약이 많이 발생하는 부분 중의 하나가 곡가공 분야이다. 본 연구를 통해서 유사한 문제를 안고 있는 다른 가공 공정을 개선할 수 있는 기술을 확보할 수 있었다. 응용 사례로는 HAWSE PIPE에 접한 마이티 노즐의 전개에 개발된 프로그램의 Core가 그대로 활용되었으며 Surface에 접하는 모든 파이프 모델링에 대하여 응용이 가능하게 되었다. 추가하여 본 공정의 체계적인 관리를 위해 블록 서포트 파이프의 생성된 NC Data를 설계에서 사용 여부를 승인하고 현장에서 언제 사용하였는지에 대한 Data 사용 관리 방안을 마련하고 곡외판이 아닌 평판에 붙는 파이프 Data를 같은 형식으로 관리하는 방안도 마련할 예정이다.

참 고 문 헌

- Gisira Yu ji., 2009, *Thinking Process for solving total optimize problem*, ksamedia.
 Ji Young jun., Kim Hwa jun., Hu Jung kwon., 2009, *Numerical analysis with C*, NopllGippii.



권 오 옥



송 인



최 상 일



허 철 수



김 혁 준