

TRIZ와 DEFORM[®]을 활용한 트랜지션 노즐의 성형 공정 개선을 위한 가변 금형에 대한 연구

황희건*, 정원지*[#], 설상석*, 김대영*

*창원대학교

A Study on Variable Mold for Improving the Forging Process of Transition Nozzle using TRIZ and DEFORM[®]

Hui-Geon Hwang*, Won-Jee Chung*[#], Sang-Suk Sul*, Dae-Young Kim*

*Changwon National University

(Received 23 March 2020; received in revised form 23 April 2020; accepted 28 April 2020)

ABSTRACT

Transition Nozzles are used in industrial air-cooled heat exchangers and widely used in industrial sites as an important component in the heat energy transfer between a heat source and an actuating fluid. There is a worldwide demand for transition nozzles with various materials and shapes, depending on the use environment. This paper aims to improve the transition nozzle forging process suitable for the production of many varieties using Steps 1 to 6 of the TRIZ Methodology for Problem Solving. By utilizing the TRIZ Methodology, this study derives a method to design a variable mold, which is more efficient and can reduce costs compared with having to use several molds. To verify the suitability of the methods derived using the TRIZ technique, a forging analysis is performed on a transition nozzle using DEFORM[®], a commercial program for plasticity analysis, and the nozzle material is evaluated for damage as a result of deformation of the transition nozzle thickness. The derived methods can be applied to transition nozzle formation equipment to improve the efficiency of the formation process.

Key Words : Transition Nozzle(트랜지션 노즐), Variable Mold(가변 금형), 6 Step Creativity of TRIZ(6SC)(트리즈), Plastic Deformation(소성 변형), DEFORM[®]

1. 서 론

산업용 열교환기는 열원과 작동 유체 사이의 열 에너지를 전달하는 역할을 하기 때문에 플랜트 공정 효율에 큰 영향을 미치는 핵심 장치이다. 산업용 튜브 번들 모듈은 Fig. 1와 같이 핀 튜브, 트랜

지션 노즐, 튜브 지지물, 사이드 프레임으로 구성되어 있다. 여기서 트랜지션 노즐의 역할은 유체가 유입되는 파이프와 폭이 좁은 헤드를 연결해 주는 역할을 한다. 설치 공간의 최소화를 위해 헤드의 폭이 파이프의 직경보다 좁게 설계되며, 노즐의 형상은 Fig. 2와 같다^[1].

점차 산업은 사용 환경에 따라 다양한 형상을 가진 노즐을 요구하고 있으며, 다품종 소량생산을 원하고 있다. 하지만 현재는 트랜지션 노즐을 성형하기

Corresponding Author : wjchung@changwon.ac.kr

Tel: +82-55-213-3624, Fax: +82-55-263-5221

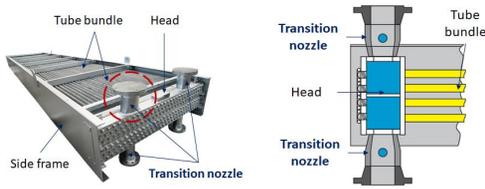


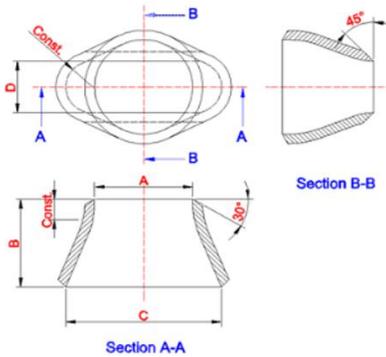
Fig. 1 Diagrams of tube bundle module and components

Circle shape
: connection with pipe



Slot shape
: connection with head

(a) Nozzle shape



(b) Nozzle dimension

Fig. 2 Transition nozzle shape and dimensions

위한 금형이 각각의 노즐 별로 제작되어 사용되고 있다. 이로 인해 복잡한 형상의 금형을 각각에 맞게 생산하여야 하므로 금형 제작에 대한 비용이 크며, 비효율적이다²⁾.

본 연구에서는 6SC(6단계 창의성 이론)를 적용한 실용 TRIZ 기법을 이용하여 트랜지션 노즐의 성형에 대한 공정을 줄이고, 여러 개의 금형을 대신하는 효율적인 개선 방안을 도출할 것이다. 또한 개선된 방안을 검증하기 위해서 DEFORM[®]을 이용한 소성 해석을 통해 트랜지션 노즐의 8inch에 대한 SCH100, SCH120, SCH140에 대하여 두께 변형률을

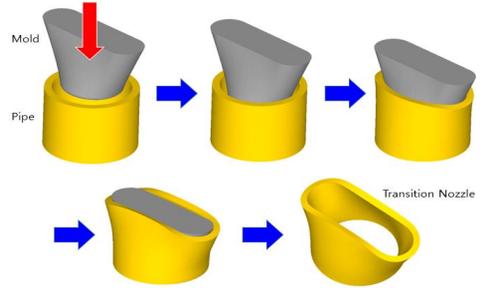


Fig. 3 Transition nozzle forging process

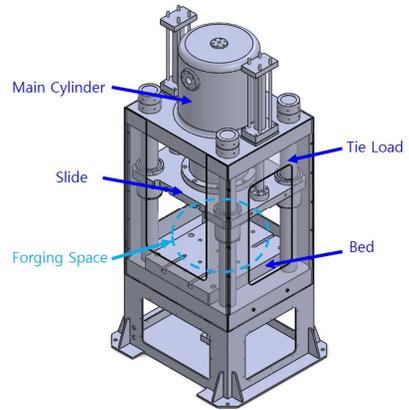


Fig. 4 3D model of transition nozzle forging equipment

확인하여 성형성을 판단할 것이다.

2. 트랜지션 노즐 성형 공정

트랜지션 노즐의 성형은 기본적으로 금형을 사용하여 파이프를 프레스로 눌러 일정한 반경과 직선을 가진 slot 형상을 가지도록 한다. 그러나 시장은 단품에 대한 대량 생산이 아니라 여러 규격에 대한 소량 생산을 요구하고 있기 때문에 각각에 맞는 금형을 제작하여야 한다. 또한 노즐을 생산하는 과정에서 작업자가 무거운 금형을 성형 장비로부터 자주 교체해야 하는 공정이 생기기 때문에 비효율적인 생산이 이루어지고 있다. 본 연구에 사용된 제품은 트랜지션 노즐의 8inch에 대한 SCH100, SCH120, SCH140에 해당한다. Fig. 3에 금형에 대한 파이프의 성형 공정에 대하여 나타내었으며, Fig. 4

에는 트랜지션 노즐 성형 공정 실험 장비의 모습을 모델링하여 나타내었다. Fig. 4와 같이 성형의 준비 과정으로 Forging space에서 제작하고자 하는 노즐에 맞는 금형을 위치시킨 후 Cylinder와 연결된 slide부가 내려오면서 파이프를 성형한다.

3. TRIZ 기법을 통한 개선안 도출

공정의 효율 개선에 대하여 6SC 표준 양식에 맞춘 6단계(A~F)에 걸쳐 문제의 해결책을 도출할 것이다³⁻⁴⁾.

3.1 문제 도식

Fig. 3의 성형 공간에서 작업자는 다른 스케줄에 대하여 성형할 때 계속해서 무거운 금형을 교체하여야 하는 불편한 공정의 문제가 존재한다. 또한 Fig. 5와 같이 8inch에 대하여 SCH 100, SCH 120, SCH 140에 대하여 주요 치수를 그림으로 표현하였고, 스케줄 별로 노즐의 치수가 달라지는 것을 확인할 수 있다. 여기서 슬롯 형상의 직선 길이와 노즐의 경사 각도가 성형 공정에서의 주요 변수라고 볼 수 있다.

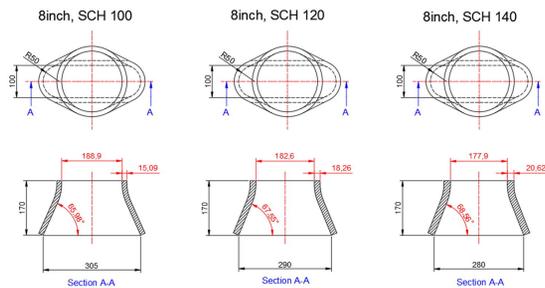


Fig. 5 Dimensions of the transition nozzle(8inch)

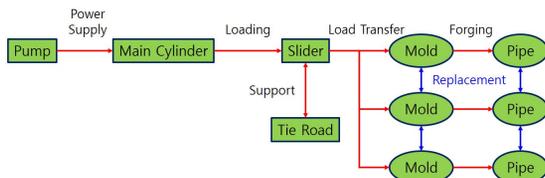


Fig. 6 System functional analysis of the transition nozzle forging system

3.2 시스템 기능 분석

시스템 기능 분석은 기술 시스템 및 목표 대상, 환경 요소로 구성되어 있다. 모든 시스템은 사각형으로, 목표 대상은 원형으로 표현된다. Fig. 6에 트랜지션 노즐 성형 공정의 시스템을 나타내었다³⁻⁵⁾.

모터, 메인 실린더, 슬라이더, 타이 로드를 기술 시스템으로 설정하였고, 목표 대상을 가공에 직접적으로 관여되는 금형과 가공 대상인 파이프로 설정하였다. 모터에서 메인 실린더로 에너지를 공급하고, 이에 대한 하중을 슬라이더를 통해 금형으로 전달한다. 이때 타이 로드에서 하중에 대한 지지 역할을 하고, 전달 받은 힘을 금형이 파이프를 성형하는데 사용한다.

3.3 이상 해결책(IFR)에 대한 가정

이상해결책의 개념은 이상적으로 문제를 해결하는 목표치에 대한 의미보다는 연구의 기초 방향을 알려주는 나침반과 같은 역할이라고 볼 수 있다³⁻⁴⁾.

시스템 기능 분석을 통해 공정의 생산성과 효율성을 높일 수 있는 이상해결책을 2가지로 정리하였다.

1. 메인 실린더의 하중 부여 속도를 증가시켜 성형 속도를 올린다.
2. 여러 개의 금형 하나로 성형할 수 있게 설계하여 작업자의 교체 시간과 금형 제작 비용을 줄일 수 있다.

3.4 모순

트랜지션 노즐 성형 시스템에서는 파이프를 노즐로 성형하기 위해서 금형을 사용하여 프레스한다. 이 때 프레스의 속도를 증가시키면 성형 시간이 줄어들어 생산성이 향상되는 반면, 그와 동시에 증가된 속도에 대한 메인 실린더의 고성능이 요구되기 때문에 비용이 증가하며, 성형의 정확성도 낮아지는 기술적 모순이 발생하게 된다³⁻⁴⁾.

3.5 요소의 상호작용 분석

Fig. 7은 트랜지션 노즐 성형 시스템의 핵심 요소인 메인 실린더, 금형과 공정 효율에 대한 요소의 상호작용에 대한 그림이다. 노즐의 생산 효율과 비

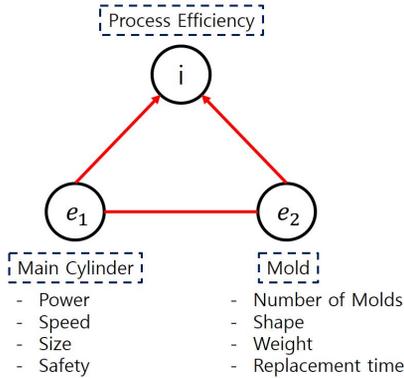


Fig. 7 Element-Interaction of the transition nozzle forging system

용에 영향을 미치는 각 요소에 대한 변수들을 나열하였다. 따라서 본 연구의 목표인 트랜지션 노즐 성형 장비의 생산성과 비용 절감에 영향을 주는 변수가 메인 실린더의 속력과 금형의 개수 등이 있는 것을 확인하였다.

3.6 해결 및 평가

도출된 문제에 대한 여러 가지 해결책과 변수를 최종적으로 선택하고 평가하는 단계이다³⁻⁴⁾. 노즐의 성형 공정 효율을 향상시키는 변수를 선정하기 위하여 고려해야 할 사항은 성형 속도 뿐만 아니라 장비의 제작 비용 측면도 고려해야 한다. 메인 실린더의 성형 속도를 늘리는 방안은 가장 효율적으로 성형 속도를 증가시킬 수 있지만, 그 만큼의 제작 비용이 발생하며 성형이 불안정해지기 때문에 후처리 비용이 추가 발생할 가능성이 있다. 하지만 성형 속도를 증가시키기 보다는 금형의 교체 시간 감소와 금형 제작 비용 감소를 이룰 수 있도록 금형을 설계하는 방안을 고안한다면 성형 시스템의 효율을 개선할 수 있다. 이에 따라 다음과 같은 해결 방안을 고안하였고, Fig. 8과 같다.

1. 성형 속력은 증가시키지 않는다.
2. 하나의 금형을 교체하지 않고 길이와 각도를 가변시켜 트랜지션 노즐을 제작한다면 교체 시간 감소와 제작 비용 감소의 효과를 기대할 수 있다.

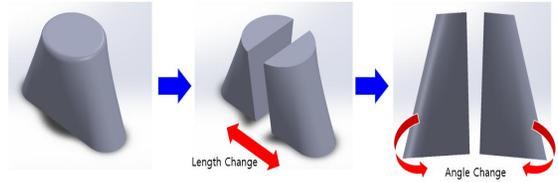


Fig. 8 Suggested solution

4. 금형에 대한 소성 해석

기존의 성형 방법과 도출된 가변 금형을 사용한 해석을 통하여 비교 검증하였다. 해석에 적용된 변수들을 Table 1에 나타내었다.

Fig. 9에 SCH 100, SCH 120, SCH 140에 대한 기존의 성형 방식으로 서로 다른 3개의 금형에 대하여 도식하였다.

Fig. 10 ~ 12에 SCH 100, SCH 120, SCH 140의 기존 성형 방식에 대한 소성 해석 결과의 정면도와 두께 변화율을 나타내었다. 두께 변형은 금형에 의해 벌어지는 부분에서 크게 나타났지만, SCH 100

Table 1 Simulation condition

Parameter	Unit	Value
The Material of Pipe	-	A106-B
The Material of Mold	-	SKD11
Inside Diameter of SCH 100	mm	188.9
Inside Diameter of SCH 120	mm	182.6
Inside Diameter of SCH 140	mm	177.9
Thickness of SCH 100	mm	15.09
Thickness of SCH 120	mm	18.26
Thickness of SCH 140	mm	20.62
Thickness Strain Tolerance	mm/mm	0.5
Angle of Mold for SCH 100	°	65.98
Angle of Mold for SCH 120	°	67.55
Angle of Mold for SCH 140	°	68.56
Forging Stroke	mm	170
Forging Speed	mm/s	1.5

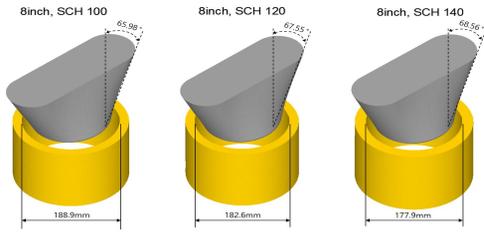


Fig. 9 Diagrams of existing forging methods and dimensions

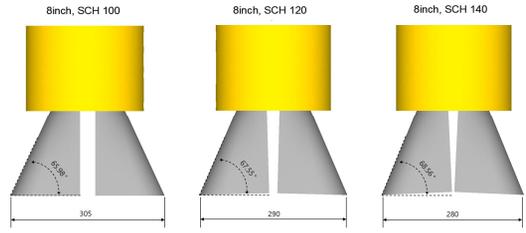


Fig. 13 Diagrams of flexible forging methods and dimensions

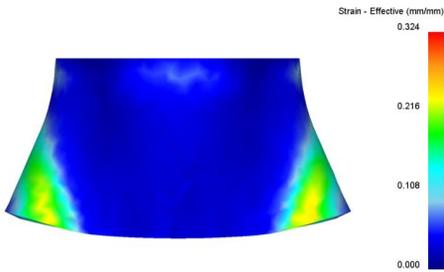


Fig. 10 Thickness strain of SCH 100 using the existing method

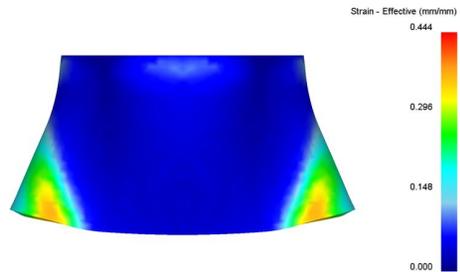


Fig. 14 Thickness strain of SCH 100 using the variable method

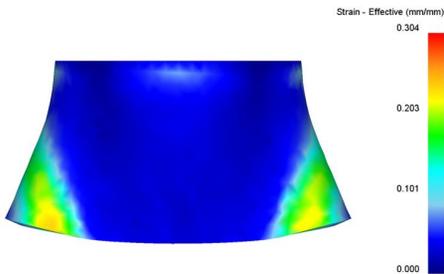


Fig. 11 Thickness strain of SCH 120 using the existing method

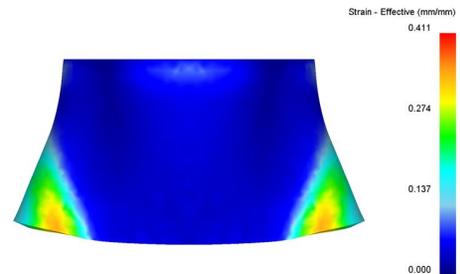


Fig. 15 Thickness strain of SCH 120 using the variable method

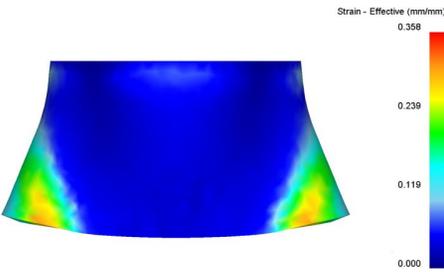


Fig. 12 Thickness strain of SCH 140 using the existing method

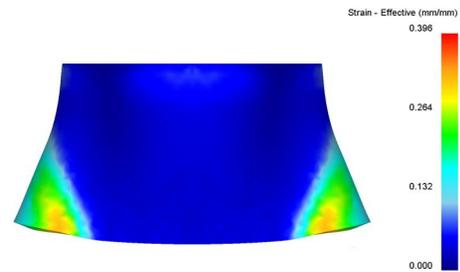


Fig. 16 Thickness strain of SCH 140 using the variable method

Table 2 A comparison of thickness strain results

Division	Unit	Thickness Strain of the Existing Method	Thickness Strain of the Variable Method
8inch SCH 100	mm/mm	0.324	0.444
8inch SCH 120	mm/mm	0.304	0.411
8inch SCH 140	mm/mm	0.358	0.396

는 0.324mm/mm, SCH 120는 0.304mm/mm, SCH140는 0.358mm/mm으로 모든 두께 변형률은 0.5mm/mm 이내로 나타났다.

SCH 100, SCH 120, SCH 140에 대한 가변 성형 방식으로 하나의 금형을 가변시켜 사용하였고, 이에 대하여 Fig. 13에 도식하였다. 설계된 금형의 각도는 66 degree이고, SCH 100에서는 -0.02 degree, SCH 120에서는 +1.55 degree, SCH 140에서는 +2.56 degree만큼 회전시켰다.

Fig. 14 ~ 16에 SCH 100, SCH 120, SCH 140의 가변 성형 방식에 대한 소성 해석 결과의 정면도와 두께 변화율을 나타내었다. 두께 변형은 금형에 의해 벌어지는 부분에서 SCH 100는 0.444mm/mm, SCH 120는 0.411mm/mm, SCH140는 0.396mm/mm으로 모든 두께 변형률은 0.5mm/mm 이내로 보였다.

Table 2를 보면 두 방식 모두 두께 변형률이 0.5mm/mm보다 작은 것을 확인할 수 있고, 수치와 노즐의 형상을 비교해 보면 큰 차이가 없음을 확인하였다. 정확한 수치적인 값보다는 동일 경계 조건에 대하여 공정이 개선된 방식에 대한 변형 경향 비교에 초점을 두었고, 이를 통해 금형의 가변을 통해 트랜지션 노즐을 성형하는 방식에 대하여 검증하였고, 이와 같은 공정 개선으로 금형 제작에 필요한 비용 절감과 작업자의 작업 효율 증대의 효과를 기대할 수 있다.

5. 결 론

본 논문에서는 트랜지션 노즐의 성형 장비의 개선 방안으로 여러 개의 금형을 하나로 줄이는 방안을 도출하였고, 이를 통해 시간 및 비용적 측면의 효율성을 증대를 기대할 수 있다. 6단계의 실용

TRIZ기법을 통해 트랜지션 노즐 성형 장비의 공정 효율성과 비용에 영향을 미치는 변수를 선정하였고, 이들 중 계속적으로 교체해야 하는 금형에 초점을 두었다. 다품종 소량생산을 요구하는 트랜지션 노즐의 시장성으로 인해 그에 따른 다양한 금형이 제작되어야 하는 비생산적인 문제를 해결하는 방안으로 트랜지션 노즐의 특정 치수에 부합하도록 길이와 각도를 조절할 수 있는 하나의 금형으로 성형하는 것을 도출하였다.

동일한 힘과 경계 조건에 대하여 소성 해석 소프트웨어인 DEFORM[®]을 이용하여 기존 성형 방식과 가변 성형 방식의 시뮬레이션 해석 결과로 두께 변형률이 미소량의 차이만 발생하였다. 따라서 하나의 금형을 길이와 각도를 조절하여 여러 개의 금형을 대신할 수 있는 효율적인 공정 개선 효과를 얻을 수 있었다. 이에 따라 금형이 제작 비용이 줄어들고, 작업자가 무거운 금형을 자주 교체해야 하는 공정을 개선하여 효율을 증대시킬 수 있다.

후 기

“이 논문은 2019~2020년도 자율연구과제 연구비 지원으로 수행된 연구결과임.”

REFERENCES

1. Kakac, S., "Boilers, Evaporators, and Condensers", pp. 143-152, 1991.
2. Ives, K. D., Shoemaker, A. K., McCartney, R. F., "Pipe Deformation During a Running Shear Fracture in Line Pipe", Journal of Engineering Materials and Technology, Vol. 96, No. 4, pp. 309-317, 1974.
3. Lim, D. J., Chung, W. J., Sul, S. S., Kim, D. Y., Choi, K. S., Cha, T. H., "A Study on Rotary Swaging Process Simulation using DEFORM", Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers, Vol. 18, No. 12, pp. 106-112, 2019.
4. Kim, H. J., "Practical TRIZ with 6 levels of

creativity", 2006.

5. Lee, S. J., Chung, W. J., Kim, G. G., Kim, J. H., "A Study on Optimal Design of Piece Removing Automation System Using TRIZ and Brainstorming", Journal of the Korean Society of Machine Tool Engineers, Vol. 17, No. 6, pp. 43-48, 2008.