

속성이 부여된 2차원 엔터티 그룹을 이용한 로터의 3차원 모델 및 도면 생성

김영일*[#]

*두산중공업 증기터빈설계팀

Generation of 3D Model and Drawing of Rotor Using 2D Entity Groups with Attributes

Yeoung-Il Kim*[#]

*Steam Turbine Design Team, Doosan Heavy Industries & Construction

(Received 3 July 2019; received in revised form 8 July 2019; accepted 21 July 2019)

ABSTRACT

A method for generating 3D solid models and drawings for a rotor in the steam turbine is proposed. One of the most important design steps is generating the drawing for manufacturing it. This step is a very routine and time-consuming job because each drawing is composed of several kinds of views and many dimensions. To achieve automation for this activity, rotor profiles are composed of 2D entity groups with attributes. Based on this, the improved design process is developed as follows. First, the rotor profiles can be selected by searching for 2D entity groups using the related attributes. Second, the profiles are connected sequentially so that an entire rotor profile is determined. The completed profile is used to generate 2D drawings automatically, especially views, dimensions, and 3D models. The proposed method is implemented using a commercial CAD/CAM system, Unigraphics, and API functions written in C-language and applied to the rotor of steam turbines. Some illustrative examples are provided to show the effectiveness of the proposed method.

Key Words : Design Automation(설계자동화), 2D Entity Attribute(2차원 엔터티 속성)

1. 서 론

터빈발전기의 로터는 회전블레이드인 버킷의 원주 방향의 운동을 회전력으로 바꾸어 발전기로 전달하는 핵심 부품이다^[1]. 로터 설계는 3차원 모델을 이용하여 동특성 해석, 원심력 및 변형률 등을 계산하는 과정과 4가지 제작 공정별 도면 작성

과정으로 이루어진다. 공정별 도면은 각각 단조도(forging), 황삭도(gashing), 정삭도(finish), 그리고 조립도(assembly)이다. 단조도는 로터의 단조 소재 발주용 도면으로 로터의 완성 형상에 단조 여유를 추가한 것이다. 그리고 황삭도는 로터의 황삭 가공 형상을 표현한 것이며, 정삭도는 로터의 최종 형상용 도면이다. 마지막으로 조립도는 버킷 등 로터에 조립되는 부품을 함께 표현한 것이다. 로터는 기능적 특징으로 인해 터빈발전기의 부품 중에서 최고 대형이며, 각 단품과의 조립을 위한 형

Corresponding Author : yeoungil.kim@doosan.com
Tel: +82-55-278-6635, Fax: +82-55-278-6735

상 설계와 조립성 검증을 위한 세밀한 작업이 수반되어야 하는 고정밀도의 가공품이다. 따라서 설계나 후속 공정에서 불량이나 발생하면 막대한 비용 및 시간 손실이 초래된다. 로터와 15종류의 버킷의 조립형상을 보여주는 Fig. 1을 통해서 알 수 있듯이 로터의 정삭도에는 15종류의 버킷의 조립형상을 정의하는 상세도와 치수들이 필요하다. 따라서 로터 도면 작업의 대부분은 각 도면에 필요한 치수선의 삽입과 많은 상세도 작성 작업이 차지한다. 그러므로 이러한 도면 작업 환경이 자동화로 개선된다면 평균 3개월 이상이 소요되는 도면 작업을 대폭 단축하여, 기존의 단순·반복적인 작업 시간을 제작성 향상을 위한 구조 개선 등과 같은 설계 고유 업무에 더 할애할 수 있을 것이다.

3차원 솔리드 모델의 도면 자동화는 3차원 설계시스템에서 제공하는 기능과 인접면 정보와 같은 솔리드 모델의 형상정보^[2]를 이용하여 진행하며, 로터 외형선과 같이 원호와 직선 등 2차원 엔터티를 대상으로 한 도면 자동화를 위해서는 이들과 같은 엔터티의 식별자와 기능 단위로 형상이 구분된 엔터티들의 집합, 즉 그룹정보가 기본적으로 필요하다^[3].

본 연구에서는 이를 위해 터빈 조립도에 포함된 구성품의 2차원 엔터티 속성(attribute)정보를 활용하였으며, 이를 토대로 로터 도면 및 3차원 모델 자동 생성 방법을 제안하고 상용 CAD/CAM 시스템인 Unigraphics의 API^[4]를 이용하여 로터용 설계시스템을 개발하였다.

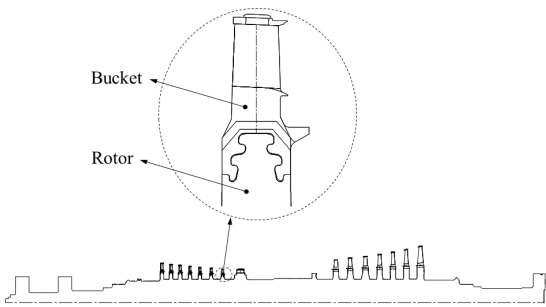


Fig. 1 A rotor and buckets

2. 외형선 추출과 단순화

로터의 3차원 모델과 각 도면을 작성하기 위해서는 먼저 로터의 외형선이 필요한데, 본 연구에서는 터빈발전기의 조립도에서 외형선을 추출한다. 터빈발전기의 조립도는 로터를 포함한 여러 부품의 외형선 외에 각종 치수선, 그리고 관련된 정보를 나타내는 노트로 구성되어있다.

설계시스템의 회전(revolution)^[5] 기능을 이용한 3차원 모델 생성과 도면의 치수선 중복 등을 방지하기 위해서 로터의 외형선은 중첩되지 않은 선분과 원호들이 서로 끝점으로 연결된 폐곡선 형상이 되어야 한다. 엔터티들간의 연결 관계를 조사하여 2개 이상의 동일 엔터티와 끝점으로 연결된 엔터티 사이에 존재하는 것을 제거한다. 일부는 다른 부품의 외형선과 중첩되어 있고, Fig. 2와 같이 외형선의 끝점이 서로 연결되지 않는 경우가 있으므로 이를 위한 처리 과정이 필요하다.

Fig. 3은 본 연구에서 개발한 외형선 추출 알고리즘을 보여주고 있다. 설계자가 선택한 시작선(seed)을 따라 조립도의 선분과 원호를 대상으로 연결된 엔터티를 찾는다. 다수 개가 존재할 경우 그동안의 도면 작업 경험을 바탕으로, 선행 엔터티와의 각도가 제일 적은 것 중에서 제일 긴 것을 다음 엔터티로 선정한다. 선정된 엔터티와 시작선이 일치하면 추출 과정을 종료한다. 다음 엔터티의 대상이 없는 경우도 추출 과정을 종료하고 Fig. 2의 경우가 발생하면 수작업으로 처리를 한 후 외형선 추출을 재실행한다.

황삭도의 형상은 로터 외형선에서 가공 여유량을 추가하고, 비교적 복잡한 형상을 단순하게 처리한 것이며, 단조 소재 발주를 위해 이것을 더 단순화한 것이 황삭도이다. 본 연구에서 적용하는 가공 여유량은 0.125"이며, Fig. 4는 로터 외형선과 오프셋한 외형선을 보여준다.

Fig. 5의 (a), (b), (c)는 오프셋한 외형선을 단순화한 예인데, 이 작업은 해당 영역을 자동 인식하여 타입별로 처리하기가 불가능하다. 따라서 본 연구에서는 설계자가 외형선의 단순화 작업을 편리하게 할 수 있는 기능을 추가하였다.

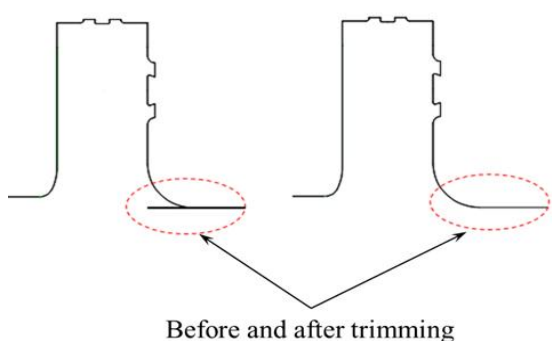


Fig. 2 Trimming to join two entities

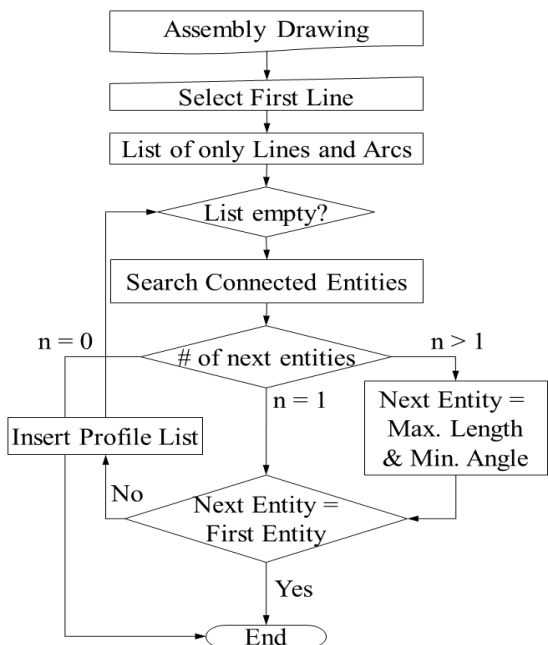


Fig. 3 The step of extracting outer profile

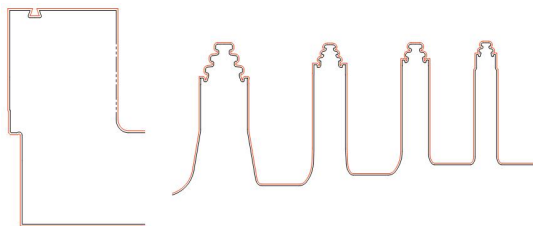
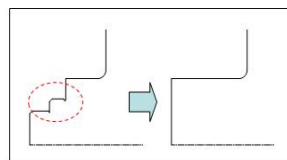
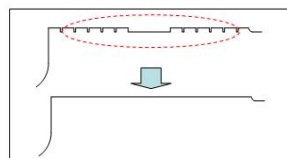


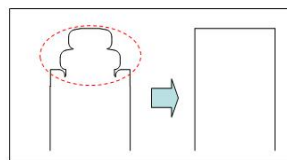
Fig. 4 The offset profiles



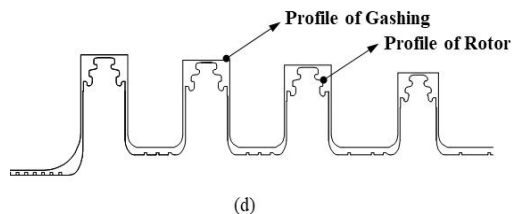
(a)



(b)



(c)



(d)

Fig. 5 The simplified profiles

3. 치수선 삽입 및 상세도 작성

치수선을 삽입하기 위해서는 치수선의 종류와 해당 엔터티들이 결정되어야 한다. 수작업으로 진행되는 경우에는 설계자의 판단으로 그 엔터티들을 지정할 수 있으나 시스템으로 처리할 때는 그것을 인식할 수 있는 별도의 정보가 필요하다. 터빈발전기 조립도에는 부품의 외형선이 Fig. 6과 같은 구조로 단위 기능별 그룹으로 묶여 있고, 각각의 엔터티에는 이름 등의 속성이 부여되어 있다.

로터 외형선과는 달리 단조도와 황삭도의 외형선은 로터 외형선을 오프셋한 것이기 때문에 위에서 언급한 정보를 이용할 수 없다. 본 연구에서는

수평 치수, 수직 치수 및 원호 치수를 정의할 수 있는 엔터티들을 대상으로 모든 치수선을 생성한 후 설계자가 필요 없는 치수선을 제거하는 방식을 적용하였다.

Fig. 7은 시스템으로 모든 치수선을 자동 생성 (Fig. 7a))한 후 원하는 영역을 상세도로 만드는 과정을 소개하고 있다. Fig. 7 (a)에서 설계자가 상세도 영역을 지정하면, 선택된 영역 내에 포함된 치수선들은 기본 뷰에서 삭제되고(Fig. 7 (b)), Fig. 7 (c)와 같이 상세도가 생성되면서 삭제된 치수선들이 상세도에 기재된다.

로터 외형선을 그대로 사용하는 정삭도와 조립도의 경우에는 앞서도 언급하였듯이 그룹과 엔터티의 이름을 이용하여 각 도면에 필요한 상세도의 영역을 찾아낼 수 있다. 상세도에는 다양한 치수가 기재되며, 이것을 자동으로 삽입하기 위해서는 상세도별로 치수선의 종류와 관련 엔터티가 지정되어야 하며, 이를 위해 본 연구에서는 Fig. 8(c)와 같은 치수선 DB를 구축하였다.

먼저 Fig. 8(b)와 같이 각 도면에 표현되는 상세도의 치수선의 종류와 관련 엔터티들을 나열하고, 이들을 찾기 위해 그룹 내에 있는 모든 엔터티에 일정한 방향으로 번호를 부여하였다.

시스템은 상세도 영역과 관련된 DB를 찾은 후, 상세도에 포함된 엔터티들의 번호를 구한 뒤, DB에서 지정한 치수선을 상세도에 삽입한다. 예를 들어 Fig. 8(b)의 치수선 D1은 엔터티 4번과 18번 사이의 수평 치수(H)이며, Fig. 8(a)에서 해당 엔터티들을 찾아 수평 치수를 작성한다.

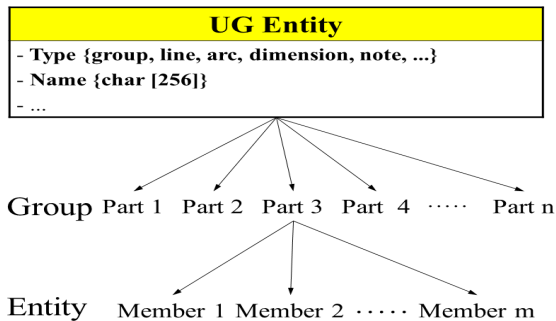


Fig. 6 Group and attributes of entity

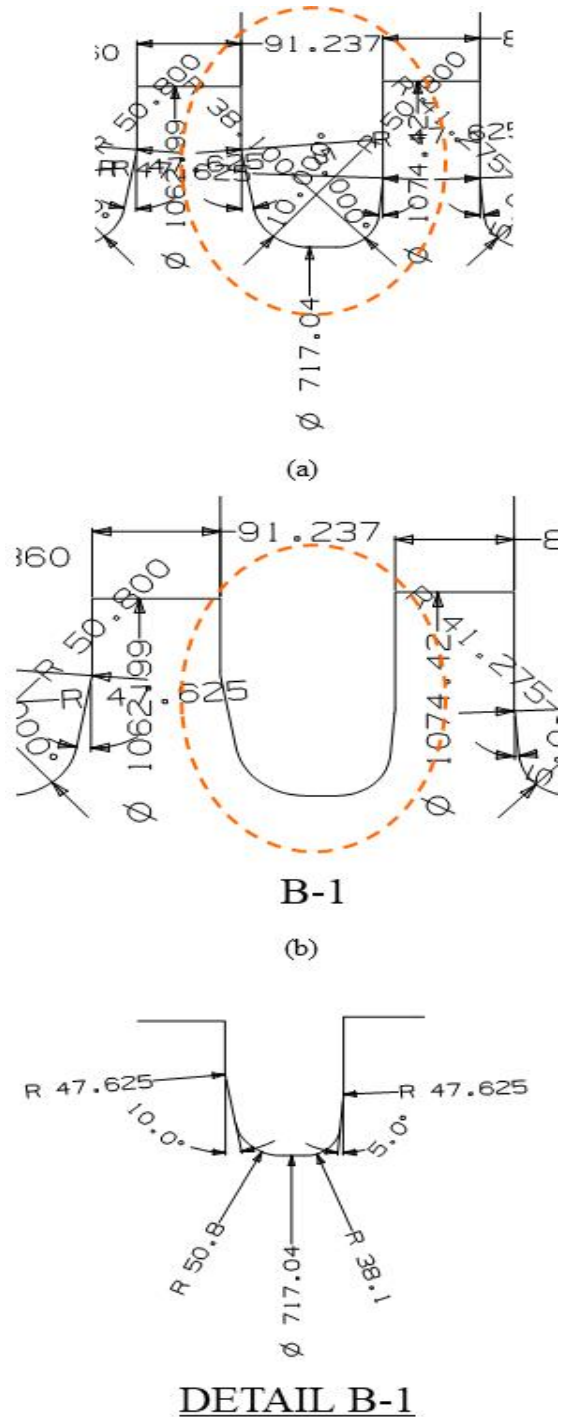
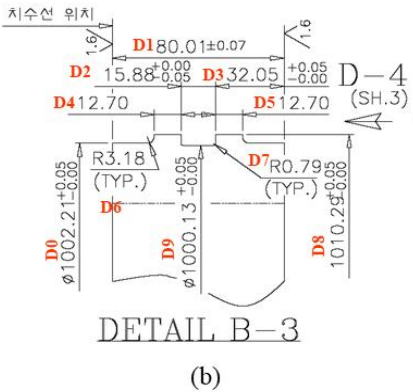
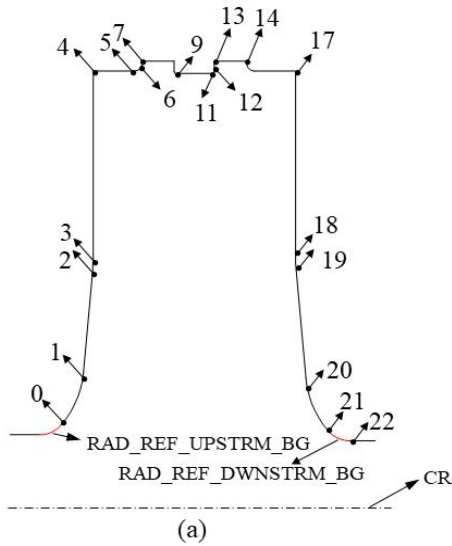


Fig. 7 The step of generating a detail view

4. 시스템 구현

본 연구에서는 앞에서 설명한 내용을 바탕으로 로터 설계시스템을 개발하였고, Fig. 9는 시스템의 구조를 나타낸다. 터빈 번호 등을 입력하여 설계 대상인 로터를 지정하면, 터빈 DB에서 조립도와 관련된 데이터를 내려받는다. 조립도를 오픈하여 외형선을 추출하고, 황삭도, 단조도, 정삭도, 조립도 순으로 도면을 작성한 후 외형선을 이용하여 로터 모델을 생성한다. 각 도면은 뷰 생성, 치수 기입, 상세도 작성, 그리고 표제란 생성 과정을 거쳐 완성하는 데 마지막 단계인 뷰의 정렬과 치수선 정리는 설계자의 수작업으로 처리된다.

Fig. 10은 단조도의 상세 생성 과정을 보여준다. 다른 도면도 이와 비슷한 절차를 거치며 조립도는 시스템에서 생성한 정삭도를 바탕으로 표제란 등을 추가하고, 설계자가 뷰와 치수선을 재배치하여 완성한다. Fig. 11은 조립도에 포함된 버킷 상세도의 예를 보여준다. Fig. 12는 로터의 모델과 이것을 이용하여 CAE 시스템에서 생성한, 해석용 FEM 모델을 보여준다.



Contents	start	RAD_REF_UPSTRM_BG
	end	RAD_REF_DWNSTRM_BG
# of entities	23	
Special Dimension	Rotor Center Line (CR)	
Annotation Variable	Detail(B-3)	
New Annotation	B-3	
Related View	Sheet3, View D-4	
Dimension	D0	V(CR, 5)
	D1	H(4,18)
	D2	H(9,13)
	D3	H(13,18)
	D4	H(7.9)
	D5	H(13,15)
D6	R(6)	
D7	R(12)	
D8	V(CR,14)	
D9	V(CR,11)	

(c)

Fig. 8 Dimension database

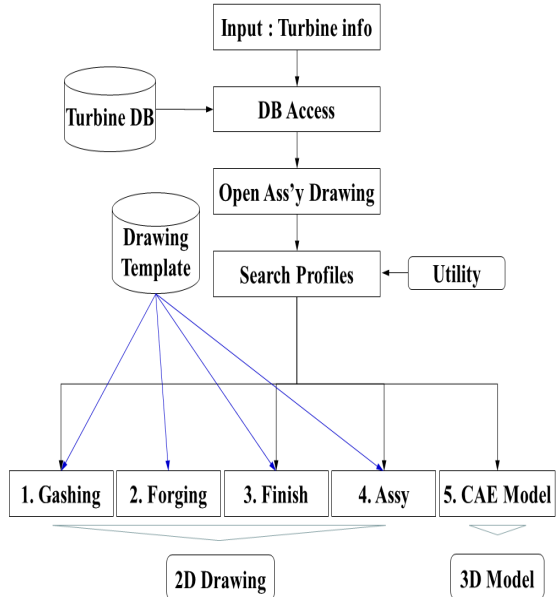


Fig. 9 The system structure

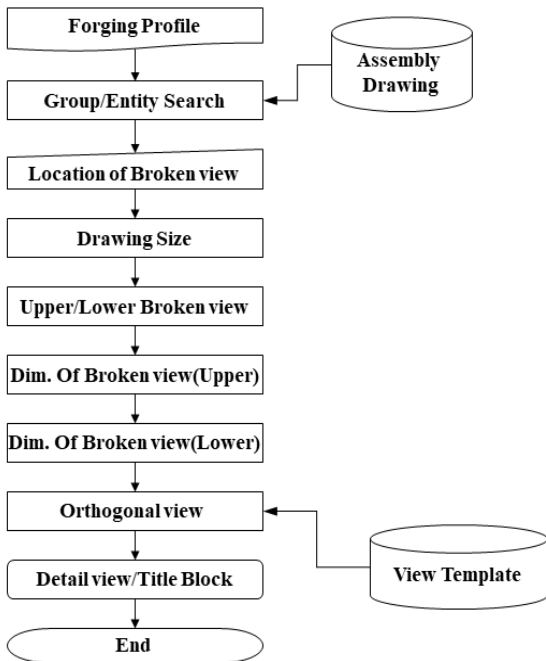


Fig. 10 The step of generating a forging drawing

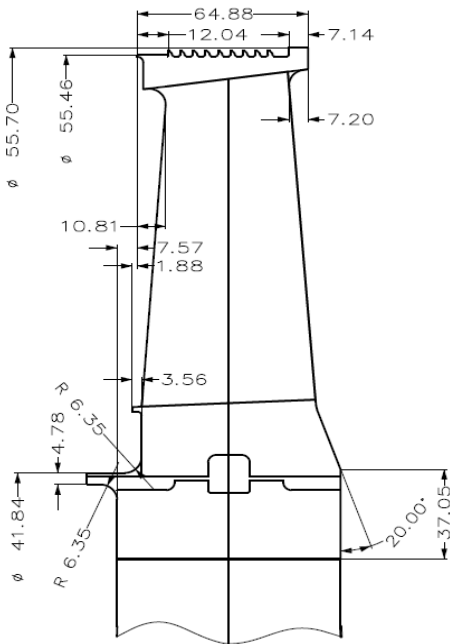
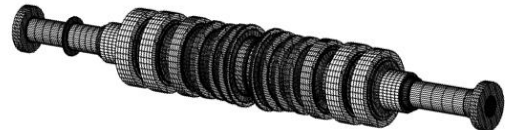


Fig. 11 An example of a detailed view



(a)



(b)

Fig. 12 An 3D rotor model

5. 결 론

본 연구에서는 터빈발전기의 로터 도면 작성에 필요한 방법을 제시하였고 상용 3D CAD/CAM 시스템인 Unigraphics의 API를 이용하여 구현하였다. 대형 단조 부품인 로터의 설계 불량은 타 부품과 비교하면 비용과 손실 측면에서 상당한 영향을 미치며, 4가지 도면도 복잡한 내용을 포함하기 때문에 도면을 완성하는 데는 상당한 시간이 소요된다. 그런데 대부분 도면 작업의 절차와 방법이 정형화가 되어있기 때문에 이것을 프로그램으로 처리하면 큰 효과를 기대할 수 있다.

본 연구에서는 이를 위해 아래의 방법을 개발하였다.

- 1) 로터 외형선의 추출 알고리즘
- 2) 단조도, 황삭도 형상을 위한 외형선 단순화 기능
- 3) 그룹 정보와 이름을 이용한 치수선 관련 엔터티 탐색
- 4) 상세도 작성을 위한 치수선 DB 구축

개발된 시스템의 현업 적용으로 수작업으로 진행하던 대부분을 자동으로 처리하게 되어, 로터 기능 향상 등 설계 본연의 업무에 더 많은 시간을 보낼 수 있게 되었으며, 입력 오류 등의 설계 불량 원인도 제거하는 효과를 보게 되었다. 이로 인해 종전 3개월가량 소요되던 로터 설계 시간이 1

개월로 단축되어 터빈발전기 전체 납기 준수에도 큰 도움이 되었고, 그에 따른 설계 비용 또한 크게 절감되었다.

REFERENCES

1. Kim, Y. I., Kim, D. S. and Jun, C. S., "A CAD/CAM System for Steam Paths of Turbine Generators," Korean Journal of Computational Design and Engineering, Vol. 10, No. 4, pp. 254-261, 2005.
2. Choi, B. K. et al., "CAD/CAM System and CNC machining," SciTech, pp. 443-445, 2001.
3. Unigraphics, Open/API Reference Guide NX11, EDS, pp. 1-205, 2017.
4. Kim, Y. I. and Jun, C. S., "A Study on Construction of Design Environment and Design Automation Using 3D CAD System," Korean Journal of Computational Design and Engineering, Vol. 13, No. 2, pp. 139-152, 2008.
5. Josef, H. and Dieter, L., "Fundamentals of Computer Aided Geometric Design," A. K. Peters, Ltd., pp. 322-326, 1993.