

FEM방법을 적용한 Jack-Up Leg Chord 벤딩 공정 평가 Evaluation of Bending Procedure for Jack-Up Leg Chord Using FEM

#황석철¹, 김일동¹, 정희균¹

#S. C. Hwang(hsc841123@sgtkor.com)¹, I. D. Kim¹, H. G. Jeong¹

¹성진지오텍(주) 기술연구소

Key words : Jack-up leg, Jack-up leg Chord, Bending analysis, Chord bending procedure

1. 서론

일반적으로 벤딩공정은 판재 및 봉재를 소성가공하여 필요한 형상으로 가공하는 공정을 말한다. 본 논문에서는 해양 시추설비, 해상 풍력발전기 설치선 및 잭업 바지(Jack-Up Barge)등 승강형 구조물을 지지하기 위한 잭업 레그(Jack-Up Leg)의 코드(Chord)를 제작하는 벤딩(Bending)공정에 대해 연구하였다. 연구에 적용한 잭업 레그의 코드는 F사의 잭업 레그를 기초로하였으며, 형상은 Fig.01과 같다.

본 연구는 포스코에서 개발한 해양 구조물용 강재를 잭업 레그의 코드 제작에 적용하고자 개발 강재의 고온 인장시험을 수행하였으며, 이 결과를 기초로 벤딩 공정에 대한 구조해석을 수행하였다. 구조해석 결과를 바탕으로 실제 잭업 레그 코드의 벤딩을 실시함으로써 벤딩 공정을 평가하였다.

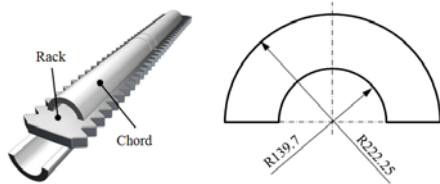


Fig. 01 Jack-up leg and chord

2. 잭업 레그의 코드 벤딩 공정 전산모사

잭업 레그의 코드 벤딩을 위한 금형은 상부금형(Top Die)와 하부금형(Bottom Die)로 구성되어 있으며 금형의 재질은 SS400이다. 금형은 강도 확보를 위해 표면을 열처리를 실시하는 것이 일반적이다. 그러나 해석 시 표면 열처리 조건은 고려하지 않았다. 잭업 레그의 코드 벤딩 시험을 위한 시험편은 폭1,000mm, 길이700mm, 두께83t 포스코 개발 강재 JR690Q(가칭)를 적용하였다. 코드 벤딩 시험

은 연신률 향상을 위해 예열을 실시하므로, 100~400℃ 고온 인장시험 수행하였으며, 인장시험 결과를 구조해석 재료 물성으로 적용하였다. 구조해석을 위한 재료의 물성은 아래 Table 01과 같다.

Table 01 Result of high temperature tensile test

Temperature (°C)	Yield strength (MPa)	Tensile strength (MPa)	Elongation (%)
100	686	754	21
200	649	735	21
300	648	746	21
400	608	689	22

일반적인 소성가공 해석에서 재료의 물성은 Flow stress를 적용하여 해석을 수행해야 하나, 본 연구에서는 코드 벤딩 시 재료의 손상(Crack)여부 판단에 목적이 있으므로, 200℃ Stress-Strain Curve를 해석시 적용하였다. 잭업 레그의 코드 벤딩 공정은 끝단으로부터 벤딩을 시작하며, 가장 큰 하중을 받는 시험편의 중앙은 최종 공정에 벤딩을 실시한다. 해석을 위한 모델은 벤딩 공정중 손상이 발생할 것으로 예상되는 최종 공정을 모사하였다. 금형 및 시험편은 CATIA V5를 사용하여 모델링하였으며, ANSYS WORKBENCH 14.0을 사용하여 유한요소 모델링 및 해석을 수행하였다. 경계조건은 하부 금형 저면의 X, Y, Z 방향 자유도를 구속하였으며, 상부 금형은 -Z 방향 자유도를 제외한 모든 자유도를 구속하고, 1500ton의 하중을 적용하였다. 접촉(Contact)조건은 No Separation 조건을 하부 금형과 시험편, 상부 금형과 시험편에 적용하였다. No Separation 조건은 미소한 미끄러짐을 허용한다. 이상의 해석 모델 및 경계조건을 Fig. 02에 나타내었다.

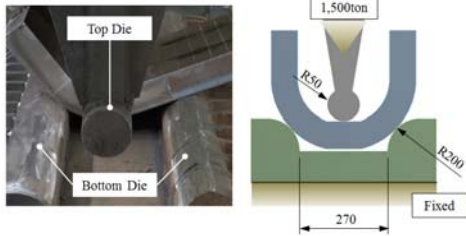


Fig. 02 Boundary condition of structure analysis

Fig. 03은 잭업 레그의 코드 벤딩 구조해석 결과이다. 해석 결과 시험편과 하부 금형의 접촉부에서 최대응력이 발생하였으며, 1,795MPa의 응력이 발생하였다. 이 값은 인장강도를 초과하는 값으로 재료의 손상이 예상된다.

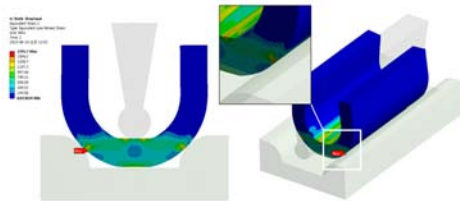


Fig. 03 Result of structure analysis

3. 잭업 레그의 코드 벤딩시험

포스코 개발강재 JR690Q를 적용한 잭업 레그의 코드 제작 가능여부를 평가하기 위해 벤딩 시험을 실시하였다. 코드 벤딩은 5,000ton 프레스를 사용하여 시험을 실시하였으며, 구조해석 조건과 동일한 조건을 적용하였다. 벤딩 시험에 앞서 시험편의 예열을 위해 예열토치(Torch)를 사용하여 200℃까지 예열을 실시하였으며, 예열 완료된 시험편을 벤딩하였다. 벤딩 시 하중은 1,300~1,500ton을 적용하였다. 코드 벤딩 조건을 Table 02에 나타내었다.

Table 02 Condition of Jack-up leg bending

Step	Temperature (°C)	Humidity (%)	Pre heat (°C)	Load (ton)
First step (Edge)	15	30	200	1300
...
Final step (Center)	15	30	60	1500

코드 벤딩 결과 시험편의 끝단 벤딩 시 손상없이 벤딩 공정이 진행되었으나, 시험편의 중앙을 벤딩

하는 마지막 공정에서 손상이 발생하였다. 손상은 최초 곡면부 끝단에서 미소 균열 발생하였으며, 공정이 진행됨에 따라 균열이 확대 되었다. 벤딩 결과를 Fig. 04에 나타내었다.



Fig. 04 Result of jack-up leg chord bending test

잭업 레그의 코드 벤딩 시험결과 균열의 원인은 강재의 연신율이 낮아 균열이 발생한 것으로 예상된다. 본 강재의 경우 100~300℃ 예열 시 연신률의 변화가 적으므로 400℃ 이상의 예열을 통해 연신률 향상 후 코드 벤딩을 실시하거나, 강재를 어닐링 처리 후 벤딩 가공 한다면 균열이 발생하지 않을 것으로 예상된다.

4. 결론

본 연구에서는 개발 강재의 잭업 레그의 코드 제작 적용성 평가를 위해 벤딩 절차를 전산모사하였으며, 실제 벤딩 시험을 통해 다음과 같은 결론을 도출하였다.

1. 잭업 레그의 코드 벤딩 전산모사를 통해 최대 응력은 1,795MPa로 시험편과 금형의 접촉부에서 발생하였으며, 벤딩 시험결과 최종 벤딩 단계에서 금형 접촉부 끝단 및 곡면에서 균열이 발생하였다.
2. 개발 강재 JR690Q는 100~300℃ 예열 시 연신률의 변화가 적어 벤딩 시 400℃ 이상의 예열 혹은 어닐링 처리가 필요할 것으로 예상된다.

후기

본 연구는 “동남지역사업평가원”의 “광역경제권 선도산업 육성사업”으로 수행된 연구결과입니다.

참고문헌

1. K. S. Park., S. H. Kim., "Study of rack and chord formability for jack up drilling platform," meta-kforming 2012 Vol. 1 No. 1, 2012.