

Top Spindle, End Coupling and Slipper Metal

(), (), ()

Structural analysis and drive simulation of the top spindle, end coupling and slipper metal which is an important component of hot rolling process.

S. W. Byun(Chungnam National University), Y. S. Lee(Dept. of Mechanical Design Engineering, CNU)
and H. Y. Lee(Chungnam National University)

ABSTRACT

The top spindle, end coupling and slipper metal are important components of the hot rolling process and are used for transmission of heavy rotational power. In this study, kinematic analysis is conducted using finite element method for hot rolling process under slipper metal combination types and operation situations. The structural analysis is performed by applying the combination type, rotational boundary condition of top spindle, end coupling and slipper metal. This study aims to minimize the mechanical problems which might happen in the production process.

Key Words : Hot rolling process(열간압연공정), Stress concentration(응력집중), Contact surface(접촉면)
CATIA DMU Space Analysis, CATIA DMU Kinematics.

1.

전 세계적으로 알루미늄은 자동차, 운송, 음료수 및 식품 캔, 건설, 산업제품 등의 산업이 발달하면서 그 수요가 증대되고 있다. 알루미늄 제조 공정의 하나인 열간압연공정은 고객이 원하는 두께, 편평도 및 물리적 특징 등을 갖출 수 있도록 추가적인 처리를 하는 중요한 공정중의 하나이다. 현재 급증하는 알루미늄시장의 경쟁력을 확보하기 위해서는 알루미늄 압연제품 생산 공정에서 발생할 수 있는 기계적인 문제점을 최소화 할 수 있는 생산기술의 확보가 필수적이다.

열간압연공정의 주요구성품인 top spindle, end coupling, slipper metal은 모터에서 발생한 동력을 롤러부에 전달해주는 역할을 하는 동력전달 부분이다. 모터부에 연결된 top spindle과 롤러부에 연결된 end coupling은 베어링 및 조인트 역할을 하는 slipper metal과 서로 결합되어 진다. 모터부에서 롤러부로 동력이 전달되는 과정에서 end coupling과 slipper metal의 접촉면 불일치로 slipper metal에 응력이 집중

적으로 발생 사용수명보다 아주짧은 시간에 마모가 일어난다. 또한 slipper metal의 교체시기를 놓칠 경우 top spindle과 end coupling의 직접적인 접촉이 발생하여 마모가 크게 발생한다.

본 연구에서는 정적해석을 위하여 사용 유한요소 프로그램인 ANSYS 8.0을 사용하였다. 결합부의 형상을 갖는 솔리드 모델이므로, ANSYS 8.0에서 제공되는 솔리드요소 중 적합한 요소로 Solid 92를 사용하여 응력해석을 수행하였다. 그리고 실제 조립공차와 구동현상을 알아보기 위하여 CATIA V5의 DMU Space Analysis와 Kinematics를 이용하여 시뮬레이션을 수행하여 생산 공정에서 발생할 수 있는 기계적인 문제점을 최소화하였다.

2.

2.1

해석 대상은 모터부의 동력을 전달하는 top spindle, 롤러부에 연결된 end coupling 그리고 베어링, 조인트 역할을 하는 slipper metal이다. 열간압연

공정은 슬라브의 두께에 따른 top spindle의 운전 각도(θ)가 $2.9717^\circ \sim 6.7000^\circ$ 로 변화한다. Slipper metal의 경우 top spindle와 end coupling사이의 조인트 베어링 역할을 하면서 응력집중이 발생 마모가 일어난다. 이러한 slipper metal의 재질은 알루미늄청동3종으로 다른 구성품보다 마모가 쉽게 됨으로써 top spindle와 end coupling이 먼저 마모되는 것을 방지한다. 또한 slipper metal은 소모품으로 일정시간동안 사용하다 마모되면 새로운 부품으로 교체된다. Fig. 1은 결합각(θ) 0.0000° 에서 구성품의 결합 형태를 나타낸 것이다.

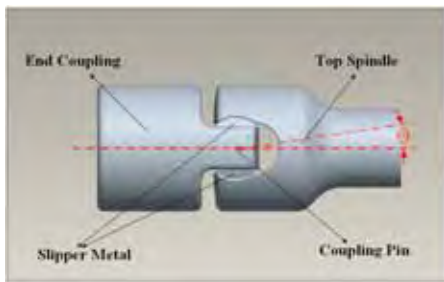


Fig. 1 Schematic diagram for combination structure of top spindle, end coupling and slipper metal

2.2 Top spindle

Top spindle은 모터에서 나오는 동력을 end coupling과 롤러에 전달해주는 역할을 하며 가장 큰 회전력을 받는 기계적 장치이다. 모터의 최대토크 발생 시점은 열간압연공정에서 슬라브가 맨 처음 롤러를 통과하는 순간으로 이때 가장 많은 부하가 작용한다. 이때 작용하는 최대토크는 1분 동안 모터 출력의 150%인 $3000.0 \text{ KN}\cdot\text{m}$ 이다. 또한 top spindle은 동력을 롤러에 전달하는 과정에 end coupling, slipper metal과 결합하여 회전하게 된다.

Top spindle은 최대토크 $3000.0 \text{ KN}\cdot\text{m}$ 을 경계조건으로 하였고 재료는 SNCM-8을 사용하였다. 응력해석결과 slipper metal과 접촉되는 끝 부분에서 항복응력 800 MPa 보다 작은 값인 최대응력 471 MPa 이 발생하였다. Table 1은 top spindle과 end coupling의 물성치를 나타낸다. Fig. 2는 top spindle의 응력해석결과를 나타낸 것이다.

Table 1 Mechanical properties of top spindle and end coupling

Young's modulus (GPa)	205
Poisson's Ratio	0.29
Density (kg/m^3)	7850

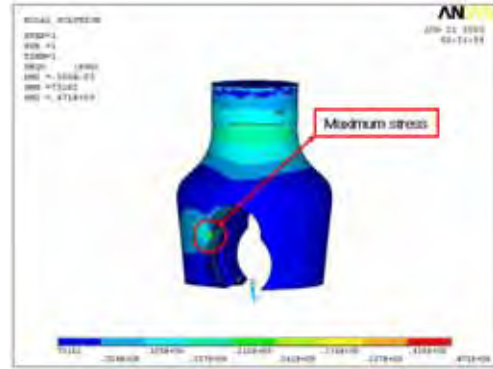


Fig. 2 Stress contour of top spindle

2.2 End coupling

End coupling은 롤러에 연결된 부분으로 top spindle로부터 모터의 동력을 전달받아 롤러에 전달해주는 역할을 한다. end coupling은 최대토크 $3000.0 \text{ KN}\cdot\text{m}$ 을 경계조건으로 하였고 재료는 top spindle과 같은 SNCM-8을 사용하였다. End coupling의 응력해석결과 slipper metal과 연결되는 안쪽부분에서 항복응력 800 MPa 보다 작은 값인 최대응력 400 MPa 이 발생하였다. Fig. 3은 end coupling의 응력해석결과를 나타낸 것이다.

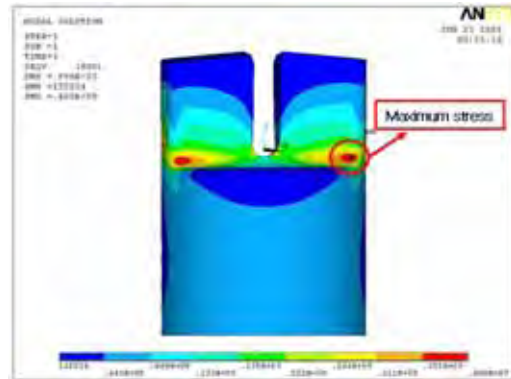


Fig. 3 Stress contour of end coupling

2.3 Slipper metal

Slipper metal은 top spindle과 end coupling사이에서 베어링 및 조인트 역할을 담당하는 구성품이다. Slipper metal의 재질은 알루미늄청동주물3종(ALBC3)을 사용하였다. Slipper metal의 응력해석결과 0.685 MPa 이 발생하였다. Table 2는 slipper metal의 물성치를 나타낸 것이다. Fig. 4는 slipper metal의 응력해석결과를 나타낸 것이다.

Table 2 Mechanical properties of Slipper metal

Young's modulus (GPa)	100
Poisson's Ratio	0.23
Density (kg/m ³)	8930

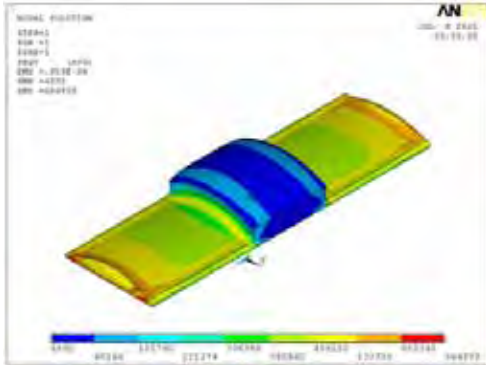


Fig. 4 Stress contour of slipper metal

3. CATIA DMU Space Analysis

3.1

CATIA-V5 DMU Space Analysis는 디지털 목업 환경에서 각 부품간의 운동성을 확인하여 설계를 검토할 수 있는 기능을 제공한다. 또한 운동을 시뮬레이션하면서 동시에 간섭과 최단거리도 계산하여 부가적인 설계 검토 작업을 수행할 수 있는 프로그램이다. 본 연구에서는 열간압연공정의 구성품인 top spindle, end coupling, slipper metal의 결합형태와 결합시 기하공차 및 치수공차의 불일치로 인한 제품간의 간섭을 체크하였으며, top spindle의 운전각도가 0.0000° ~ 6.7000°

. Fig. 5는 top spindle, end coupling, slipper metal의 CATIA 모델형을 나타낸 것이다.

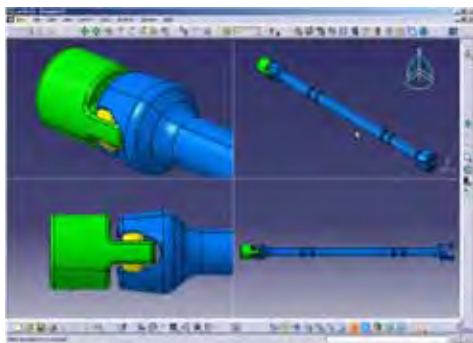


Fig. 5 Configuration design of top spindle, end coupling and slipper metal using CATIA

3.1.1 0.0000° top spindle, end coupling, slipper metal

Top Spindle, end coupling, slipper metal의 초기 결합시 구성품들이 0.0000°의 수평조건에서 결합을 하며, end coupling 중앙면과 top spindle 끝단의 간격은 70mm, end coupling 중앙면과 top spindle 결합부분의 중앙부와 간격은 230.0 mm를 유지하면서 결합한다. Fig. 6은 end coupling의 중앙부와 spindle, Slipper metal의 결합각이 0.0000°일때 체결부 중심거리를 나타내었다. 공차해석결과 end coupling, slipper metal간의 접촉조건이 0으로 간섭이 일어나는 부분은 없는 것으로 나타났으며, top spindle, slipper Metal간의 접촉조건도 0으로 간섭이 일어나는 부분이 없는 것으로 해석결과를 얻었다. 또한 해석결과 간섭되는 부분이 없기 때문에 허용공차 내에서 구성품간 결합은 정상적으로 이루어질 것으로 판단된다. Fig. 7은 top spindle, end coupling, slipper metal의 결합각이 0.0000°일때 공차해석결과를 나타낸다.

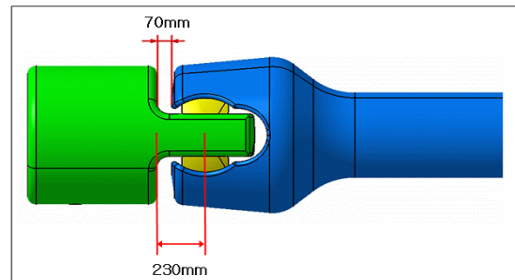
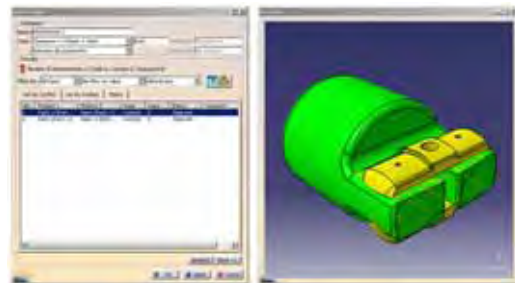


Fig. 6 The center distance of assembly part in case of 0.0000°



(a) Space analysis of end coupling and slipper metal



(b) Space analysis of top spindle and slipper metal

Fig. 7 Space analysis in case of 0.0000 °

3.2 Top spindle

3.2.1 2.9717 °

Top spindle의 운전각도가 2.9717°로 변하면서 top spindle과 slipper metal이 약14.5 mm 뒤로 밀리는 현상이 발생한다. 이때의 구동조건에서 발생할 수 있는 top spindle의 끝단부분과 안쪽부분이 end coupling과의 간섭여부 그리고 접촉면에 대한 공차해석과 시물레이션을 수행하였다.

End coupling의 중앙부와 top spindle, slipper metal의 체결부 중심과의 거리는 초기 0.0000°일때 230.0 mm에서 14.5 mm가 늘어날 244.5 mm이다. 공차해석 결과 end coupling, slipper metal간의 접촉조건은 0으로 간섭이 일어나는 부분은 없는 것으로 나타났으며, top spindle, slipper metal간의 접촉조건도 0으로 간섭이 일어나는 부분이 없는 것으로 해석결과를 얻었다. Fig. 8에서 보면 end coupling의 끝부분과 top spindle의 안쪽 부분과의 간섭이 일어나지 않았고 시물레이션 결과도 간섭이 일어나지 않는 것으로 해석결과를 얻었다. Fig. 9는 top spindle의 운전각도 2.9717°일 때 공차해석결과를 나타낸 것이다.

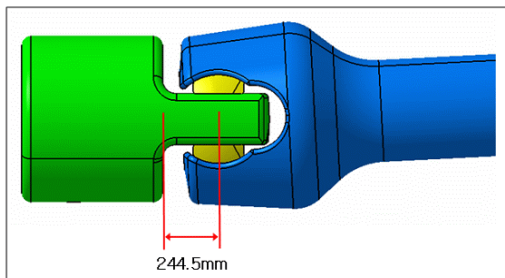
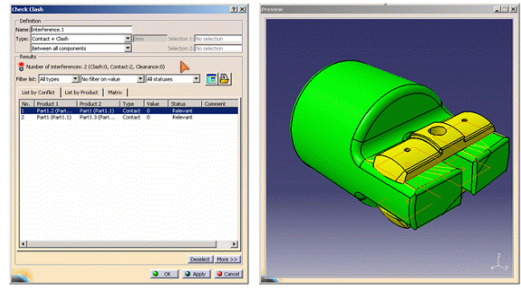
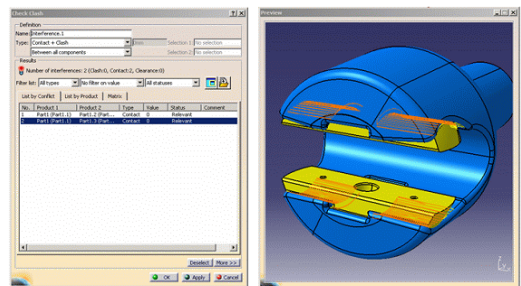


Fig. 8 The center distance of assembly part in case of 0.0000 °



(a) Space analysis of end coupling and slipper metal



(b) Space analysis of top spindle and slipper metal

Fig. 9 Space analysis in case of 2.9717 °

3.2.1 6.7000 °

Top spindle의 운전각도가 5.6415° ~ 5.7766°일 때 접촉면에 대한 공차해석을 수행한 결과 end coupling과 slipper metal 그리고 top spindle과 slipper metal의 접촉조건이 0으로 간섭이 일어나는 부분이 없는 것으로 해석결과를 얻었다.

실제 열간압연공정에서 사용되고 있는 최대 운전각도는 6.7000°로 이때의 공차해석도 수행하였다. Top spindle의 운전각도가 6.7000°로 변하면서 top spindle과 slipper metal이 약73.0 mm 뒤로 밀리는 현상이 발생한다. 이때의 구동조건에서 발생할 수 있는 top spindle의 끝단부분과 안쪽부분이 end coupling과의 간섭여부 그리고 접촉면에 대한 공차해석과 시물레이션을 수행하였다.

End coupling의 중앙부와 top spindle, slipper metal의 체결부 중심과의 거리는 초기0.0000°일때 230.0 mm에서 73.0 mm가 늘어날 303.0 mm이다. 공차해석 결과 end coupling, slipper metal간의 접촉조건은 0으로 간섭이 일어나는 부분은 없는 것으로 나타났으며, top spindle, slipper metal간의 접촉조건은 0으로 간섭이 일어나는 부분이 없는 것으로 해석결과를 얻었다. Fig. 10에서 보면 end coupling의 끝부분과 top spindle의 안쪽 부분과의 간섭이 일어나지 않았고 시물레이션 결과도 간섭이 일어나지 않는 것으로 해석결과를 얻었다. Fig. 11은 top spindle의 운전각도 6.7000°일

때 공차해석결과를 나타낸 것이다.

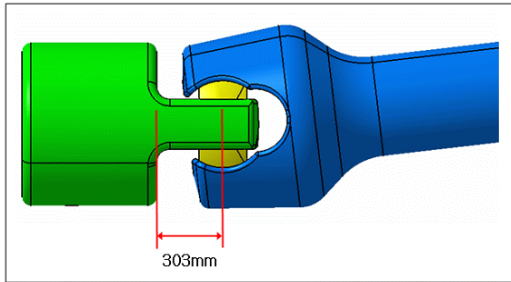
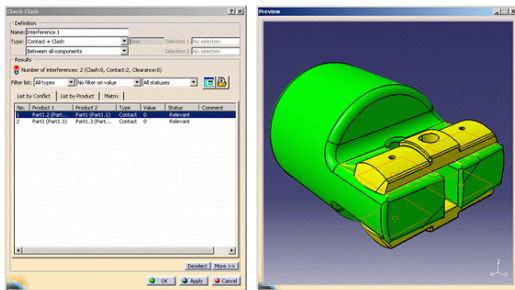
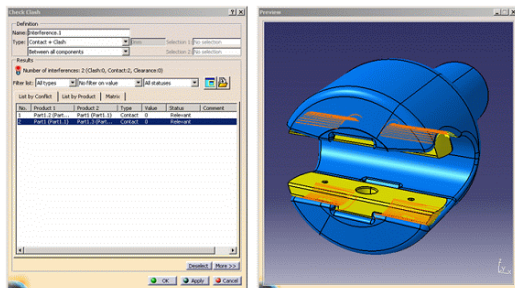


Fig. 10 The center distance of assembly part in case of 6.7000 °

경에서 각 부품간의 운동성을 확인하여 설계를 검토할 수 있는 기능을 제공한다. 정의된 운동은 아이콘을 이용하여 구동시킬 수 있고, 운동을 시뮬레이션하면서 실제 공정과 같은 현상을 구현할 수 있는 장점이 있으며, 동시에 간섭과 최단거리도 계산하여 추가적인 설계 검토작업을 수행할 수 있는 기법이다. 해석 방법은 다물체로 구성된 기계적 시스템을 Body Joint, Constraint, Driver Element 표현하고, Body와 Body 사이를 Joint connection으로 연결하여 기구학적으로 두 개의 물체가 공통된 구속조건으로 인하여 DOF(Degree of Freedom)을 줄어든게 한다. Fig. 12는 Kinematics Analysis에 사용되는 Joint를 나타낸 것이다.



(a) Space analysis of end coupling and slipper metal



(b) Space analysis of top spindle and slipper metal

Fig. 11 Space analysis in case of 6.7000 °

또한 실제 운전각도보다 큰 7.0000 ° 에서 공차해석을 수행한 결과에서도 end coupling과 slipper metal 그리고 top spindle와 slipper metal의 접촉조건이 0으로 간섭이 일어나는 부분이 없는 것으로 해석결과를 얻었다.

4. CATIA DMU Kinematics

3.1 CATIA DMU Kinematics

CATIA DMU Kinematics 기법은 디지털 목업 환

Joint	Icon	Study 1 Selection	Study 2 Selection	Assembly Constraints
Bracket		Axis system	Axis system	Coincident - axis system 1 to axis system 2
Cylindrical		Axis	Axis	Coincident - axis 1 to axis 2
Revolute		Axis, Plane	Axis, Plane	Coincident - axis 1 to axis 2 Coincident - plane 1 to plane 2
Screw		Axis	Axis	Coincident - axis 1 to axis 2
Gear		Planar Joint	Planar Joint	Constraints are that for the revolute joints
CV Joint		Line, Point	Line, Point	Coincident - point 1 to point 2 Coincident - point 2 to line 1
Spherical		Point	Point	Coincident - point 1 to point 2
Translational		Line, Plane	Line, Plane	Coincident - line 1 to line 2 Coincident - plane 1 to plane 2
Revolute, Cylindrical, Revolute		Line, Point	Line	Coincident - Point and Line 2, Angle - Line 1 and Line 2
Revolute, Spherical		Line, Plane	Point	Coincident - Plane 1 and Plane 2, Offset - Line 1 and Point
Revolute, Translational		Line, Point	Line, Plane	Coincident - Point and Line 2, Perpendicular - Line 1 and Plane
Helical		Line, Point	Line, Point	Coincident - Point 1 and Point 2 (Cross-Pla - Line 1 and Line 2 are antiparallel)
Planar		Plane	Plane	Coincident - Plane 1 and Plane 2
Spherical, Spherical		Point	Point	Offset - Point 1 and Point 2

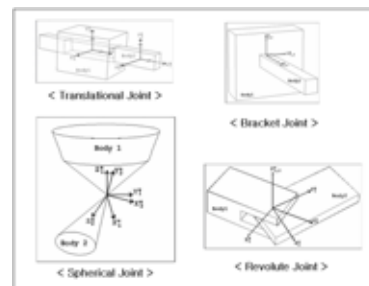


Fig. 12 Joint connection using kinematics analysis

3.2

CATIA DMU Kinematics 기법을 이용하여 열간 압연공정에서 구동되는 top spindle, end coupling, slipper metal의 구동시뮬레이션을 수행하였다. 시뮬레이션에 사용된 Joint는 Prismatic Joint 2개, Revolute Joint 4개, Cylindrical Joint 1개, Ground 1개로 구성되며 총 Joint의 개수는 8개이다. 또한 총 구속조건은 모두 16개로 Joint마다 2개의 구속조건을 주었고, Joint사이의 DOF를 0으로 만들었다. Kinematics 에서는 DOF가 0이어야 시뮬레이션을 수행할 수 있다.

Fig. 13은 DOF, Joint, 구속조건의 결과를 나타낸 Mechanism Analysis를 나타낸 것이다.



Fig. 13 Mechanism Analysis

Top spindle의 운전각도에 따른 구동시물레이션 결과 실제 구동현상과 같음을 보였고, 구성품간 접촉면에 대한 간섭도 일어나지 않는 것을 확인하였다. 또한 최대 운전각도인 6.7000° 보다 큰 7.0000° 에서도 시물레이션 결과 어떠한 간섭도 일어나지 않는 것을 확인하였다. 그러므로 실제 열간압연공정에서 top spindle, end coupling, slipper metal 결합 과정 및 운전중에 일어날 수 있는 구성품간의 간섭은 없을 것으로 판단된다. Fig. 14는 Joint connection 및 구동 시물레이션을 나타낸 것이다.

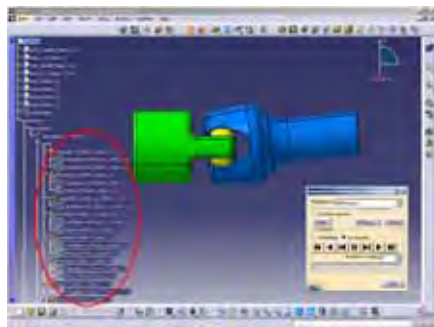


Fig. 14 Joint connection and drive simulation

4.

본 연구를 통하여 다음과 같은 내용을 확인할 수 있다.

- 1) Top spindle의 응력해석결과 항복응력 800 MPa 보다 작은 값인 최대응력 471 MPa 이 발생하여 초기 모델보다 낮은 응력값을 나타내었다.
- 2) End coupling의 응력해석결과 초기 모델보다 27 MPa 증가한 400 MPa 이 발생하였으나 설계 기준값 안전율 2를 유지하였다.

3) CATIA DMU Space Analysis를 이용한 공차해석결과 top spindle, end coupling, slipper metal의 결합시 접촉면에 대한 간섭은 일어나지 않았다.

4) CATIA DMU kinematics 결과 top spindle의 운전각 0.0000° ~ 7.0000° 로 이동하면서 구성품간 간섭은 일어나지 않았으며 실제 열간압연공정과 같은 시물레이션을 구현하였다.

1. 김동욱, 김정호, 박영진, 정경훈, 김진연, 이강걸, 노상도, “자동차 조립공장의 설립 DMU 적용, 신규/개조에 대한 비교연구”, 한국자동차공학회 추계학술대회논문집, 2004, pp.1055~1060
2. 심정욱, 이명규, 이정훈, 김승범, “VLM을 이용한 스마트 무인기 로터 조종시스템 구성부품의 예비하중 분석”, 항공우주학회 춘계학술대회논문집, 2004
3. F. Capece Minutolo, M. Durante, F. Lambiase, A.Langella, 2005, “Dimensional analysis of a new type of groove for steel rebar rolling”, Journal of Materials Processing Technology, PROTEC-9261
4. “ANSYS MANUAL (Ver.6.0)”, Swanson Analysis Systems Inc., 2001
5. G.J., Desalvo, “ANSYS User's Guide Manual”, 1995
6. "CATIA/ENOVIA Training, DMU Kinematics Simulator".