

# 콜드헤딩머신의 구동장치에 대한 설계해석 Analysis for Driving Device of Cold Heading Machine

김광영, 류병순(한국기계연구원), 박영철(동아대), 윤두표(동아대학원)

kwang young Kim, byung soon Ryu(KIMM), young chul Park, doo pyo Yun(Dong A Univ)

## ABSTRACT

We performed analysis for crank shaft and connecting rod in driving device of Cold Heading Machine. The results of this study is following ;

1. The nominal pressure is happened at 8mm under bottom dead center. And then the theoretical angle of crank ( $\theta$ ) and connecting rod ( $\psi$ ) are  $\theta = 25^\circ 1'$  and  $\psi = 6^\circ 1'$  but the analysis angle are  $\theta = 25^\circ$  and  $\psi = 7^\circ$ .
2. The load is loaded at  $\theta = 51^\circ$  in crank angle.
3. The maximum stress of connecting rod is about 290MPa. It is exited inner stress range in consideration of safety factor.

## 1. 서 론

국내 산업기계는 기술고도화 정책에 힘입어 고성능, 정밀가공, 다량생산 및 생산자동화로 발전되어 가고 있으나, 일부의 산업기계는 재래식으로 사용되고 있어 생산성 증대를 위해서는 이의 개선과 성능향상이 요구된다.

국내에서 냉간단조 기계는 소품종 다량생산보다 다 품종 소량생산 기계로 활용하므로 기계는 고강성과 다양한 제어기능이 요구되며, 또한 다양한 형상의 가공에 적합한 기계의 수요가 증대되고 있다. 이러한 시점에서 냉간단조에 의한 기계요소 부품의 정밀가공이 가능하고, 생산성 증대를 위한 공장 자동화 설비로서 작업의 안전을 도모할 수 있는 고성능 콜드헤딩머신(cold heading machine) 개발이 필요하게 되었다. 콜드헤딩머신은 절단, 압축 및 압출, Trimming 가공을 수행할 수 있는 기능을 보유한 기계로서 요소부품 제작에 많이 활용되어지고 있다. 이 기계의 구조는 프레임, 동력전달장치, 소재의 공급장치, 커팅장치, 편치와 다이등의 부품들로 구성되어 있으며, 동력전달장치에 의하여 가압이 이루어지므로 그에 따른 구동부에 있어서의 강성이 필요하다. 따라서 콜드헤딩머신을 고성능화 하기 위해서는 이들 구조의 mechanism을 각 기능의 작동순서에 의하

여 분석하고 검토하여 원활한 작동이 가능하게 하고, 가압력에 대한 강성을 계산하여 구성부품을 설계하여야 한다. 이에 설정항 가압력에 대하여 크랭크축과 커넥팅로드의 응력과 변위 해석을하여 최적조건을 선정하여 기계설계의 기초자료를 제공하고자 하였다.

## 2. 크랭크축 이론 계산

콜드헤딩머신에서 주운동 기구인 크랭크축은 V-belt wheel을 통하여 동력을 전달받아 커넥팅로드를 이용하여 ram에 왕복운동을 전달하는 편심축이고, 그 편심량에 의하여 ram의 행정거리가 결정된다. Fig. 1은 크랭크축의 운동곡선을 나타낸 것이다.

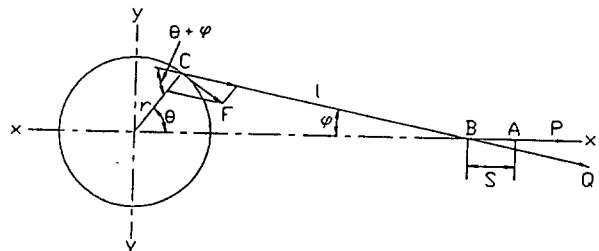


Fig. 1 The motion curve of crank shaft

### 3. 커넥팅로드의 응력해석

크랭크축의 torque는 콜드헤딩머신에서 행하는 작업에 의하여 결정되는 공칭압력 p와 크랭크 반경 r(행정의 1/2)과 상수 x로서 결정할 수 있으나, x의 값에 의하여 공칭압력을 발생하는 크랭크의 각, 즉 공칭압력을 발생시키는 위치가 결정된다. 크랭크 운동은 기구상 크랭크축의 torque를 일정하게 한 경우 stroke의 위치에 의하여 발생압력이 다르다. 즉 Fig. 2에서 보는 바와같이 stroke의 중앙부분에 있어서 발생압력이 가장 작고 하사점이 가까워짐에 따라 크게되며, 하사점에 있어서 무한대로 된다. 따라서 콜드헤딩머신의 기본 구조 설계에 있어서 공칭압력 p에 대하여 표준 stroke 2r를 결정하고, 이 경우에 stroke 중앙에서 공칭압력의 1/2를 낼 수 있는 크랭크축 torque를 결정한다. 크랭크축의 torque 용량은 식(1)에서와 같이

$$T_c = P \cdot r \cdot x \quad (1)$$

로 주어지고, 공칭압력의 발생위치는 S/2r에서 구할 수가 있다. 이상에서 주어진 조건들을 식에 대입하여 얻은 결과 공칭압력을 발생시키는 크랭크 각도는  $\theta = 25^\circ 1'$  이고, 커넥팅로드의 경사각은  $\psi = 6^\circ 1'$  이다. 이때의 상수 x는 식(2)와 같이 주어지고

$$x = \sin(\theta + \psi) / \cos \psi \quad (2)$$

이때의 x는 0.487이다.

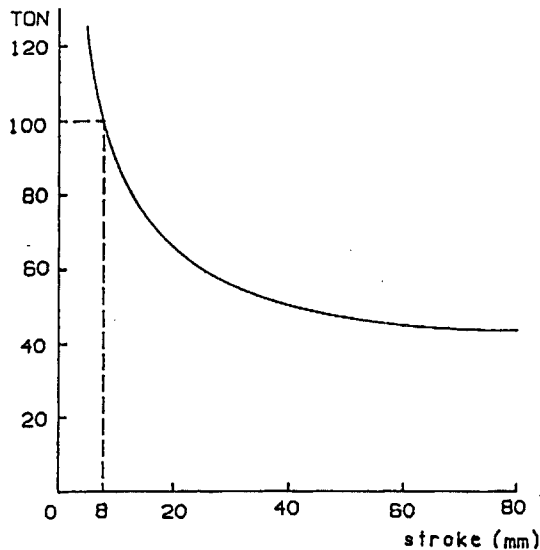


Fig. 2 The relation of crank stroke and pressure

콜드헤딩머신에서 동력을 전달하는 주요 구성 부품은 크랭크축과 커넥팅로드이다. 그러므로 이들 구성 부품은 제품의 생산을 위하여 최대의 하중을 받게 되므로 이의 최적설계를 위한 응력과 변위해석을 각 부품의 입체모델에 대하여 상용구조 해석용 범용 프로그램인 ANSYS 5.2를 이용하여 수행하였다. 해석에 사용된 element type은 3차원 평면요소인 shell 63과 3차원 입체요소인 solid 45이며, 이때의 element 수는 크랭크축은 4990개 이고, 커넥팅로드는 1840개 이다. 또한 절점인 node수는 크랭크축은 3343개 이고, 커넥팅로드 2399개 이다. Table 1은 본 해석에 사용한 재료의 기계적성질을 정리한 것이다. 커넥팅로드와 크랭크축 모두 S45C의 동일재료를 사용하였으며, 크랭크축의 경우 표면에 고주파열처리를 시행하여 기계적성질을 다르게 부가한 후 해석을 수행하였다.

Table 1. Mechanical Properties of Materials

Part name	Elastic modulus(Gpa)	Poisson's ratio
Connecting rod	S45C (193)	0.3
Crank shaft	S45C (193)	
	S45C (Heat treatment) (330)	

하중조건으로서는 크랭크축이 상사점에서 중심선에 이르는 구간만을 설정한 후 커넥팅로드가 중심축선과 이루는 각도를 계산하여  $5^\circ, 6.33^\circ, 7^\circ, 9^\circ, 10^\circ, 12^\circ, 13^\circ$  일 때 크랭크축의 원주 방향으로 100ton의 하중을 가하였다. Table 2는 위의 각도에 대하여 커넥팅로드와 크랭크축이 이루는 각도를 크랭크축의 중심에서 수평축을 기준으로 환산하여 나타낸 것이다. 이때의 구속조건은 커넥팅로드의 경우 우측면 핀홀 내면의 자유도를 모두 구속시켰으며, 크랭크축의 경우 양쪽 journal부를 고정 시킨 상태로 원주방향에 하중을 가한 방법으로 해석을 수행하였다.

Table 2. The contact angle of crank shaft and connecting rod

$\psi$	$5^\circ$	$6.33^\circ$	$7^\circ$	$9^\circ$	$10^\circ$	$12^\circ$	$13^\circ$
$\theta$	$19^\circ$	$24^\circ$	$27^\circ$	$36^\circ$	$41^\circ$	$51^\circ$	$58^\circ$

Fig. 3은 본 연구에서 사용한 커넥팅로드의 modelling을 나타낸 것이며, Fig. 4는 구속조건을 나타낸 것이다.

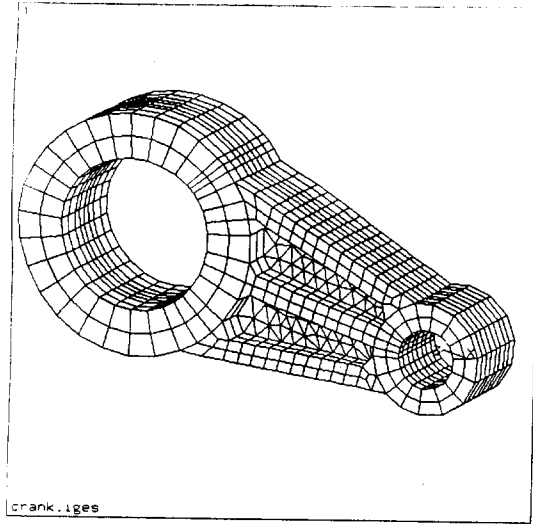


Fig. 3 Modelling of connecting rod

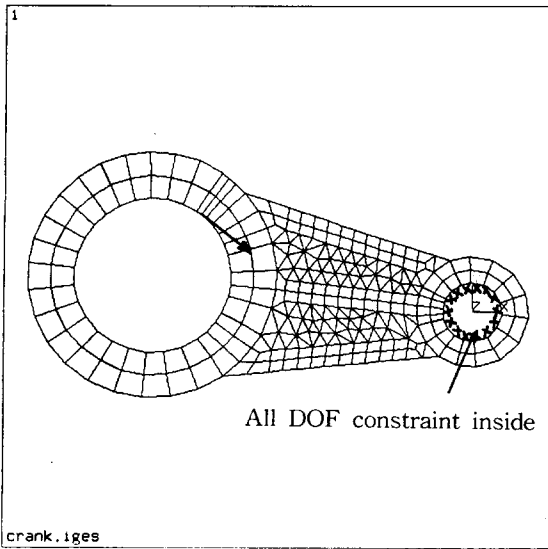


Fig. 4 Boundary condition of analysis

#### 4. 해석 결과 및 고찰

Fig. 5는 수평축과 커넥팅로드가 이루는 각( $\psi$ )의 변화에 따른 커넥팅로드의 전체 반력과 x방향만의 반력을 나타낸 그림이다.  $\psi$ 의 각도가 증가할수록

전체반력은 점차 감소하다가  $12^\circ$ 를 정점으로 평행한 모습을 보이고 있다. 이와는 달리 x축 방향의 경우 반력이 점차적으로 증가하는 현상을 나타낸다. 이러한 결과에서 본 해석의 경우처럼 접촉점에서 원주방향으로 하중을 가하였을때 접촉점으로부터 커넥팅로드와 크랭크축 방향으로 나누어지는 x, y방향의 분력은  $\psi$  각도의 변화에 따라 달라짐을 알 수 있다. 즉,  $\psi$ 가 증가할수록 접촉점에서 가해지는 하중의 방향이 y방향보다는 x방향의 분력에 더욱 영향을 주어 x방향의 분력이 증가함을 보이고 있으며,  $\psi$ 가 작아지면 x방향보다는 y방향에 미치는 영향이 커져서 상대적으로 x방향의 분력이 작아짐을 나타내는 것으로 생각된다. 또한 전체반력에 있어서는 크랭크축의 운동곡선과 비슷한 sine 파형을 보이고 있으나 해석결과에서보면 하중은 크랭크축의 정점인  $\theta$ 가  $90^\circ$ 에서 부하되는 것이 아니라  $\psi$ 각이  $12^\circ$ 인  $\theta$ 가  $51^\circ$ 이하에서 부하됨을 알 수 있다.

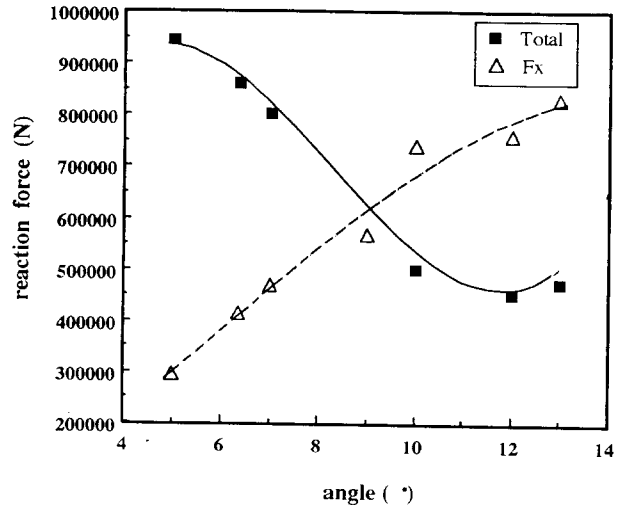


Fig. 5 Reaction force of connecting rod by change of contact angle  $\psi$

Fig. 6은 수평축과 커넥팅로드가 이루는 각( $\psi$ )의 변화에 따른 커넥팅로드의 응력을 나타낸 그림이다.  $\psi$ 가 13에서 10까지는 완만한 응력상태를 나타내고 있으나 하중이 실제로 부하되기 시작하는 기점인 10이하에서는 응력의 급격한 증가를 나타내고 있다. 이는 Fig. 2에서 보인바와 같이 크랭크축의 행정량에 따른 압력의 변화와 유사한 형태를 보이고 있으므로 본 연구의 해석방법도 또하나의 평가방법으로서의 유용성은 있다고 생각된다.

Fig. 7은 수평축과 커넥팅로드가 이루는 각( $\psi$ )의

변화에 따른 전체변위량과 x방향의 변위량에 대한 결과를 나타낸 그림이다.  $\psi$ 가 감소할수록 두 변위

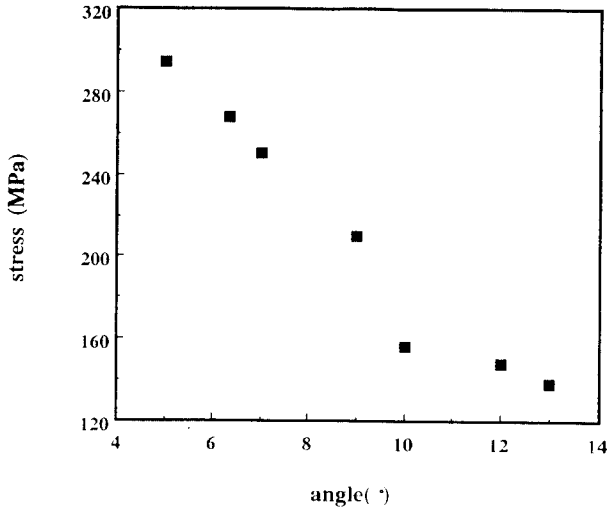


Fig. 6 Stress of connecting rod by change of contact angle  $\psi$

량의 차이가 커짐을 알 수 있으며, x방향의 변위의 경우 Fig. 5의 결과와는 반대로 분력이 높음에도 불구하고 변위가 낮은 것은  $\psi$ 가 9° 이상에서는 실제적인 부하는 크지 않다고 생각된다. 이는 2절에서 진술한 바와같이 공칭압력을 낼수 있는 위치가  $\psi$ 가 7° 인  $\theta$ 가 25° 부근이기 때문이라고 판단된다. 또한 전체변위의 급격한 증가는 커넥팅로드의 자중과  $\psi$ 의 변화에 따른 영향이라고 생각된다.

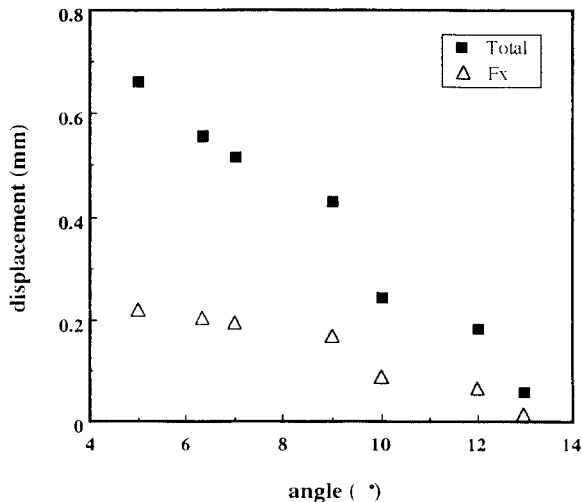


Fig. 7 Displacement of connecting rod by change of contact angle  $\psi$

Fig. 8과 9는 크랭크축에 있어서 커넥팅로드와 동일재료인 S45C를 표면으로부터 약 5mm정도의 고주파열처리 깊이를 가지도록한 후 해석한 결과이다. 고주파열처리를 하지않은 상태에서는 응력이 121MPa 정도로 상당히 높은 값을 가지나 본 해석에서와 같이 열처리를 시행한 재료는 69MPa정도로 안전한 상태를 나타내고 있다. 따라서 커넥팅로드와의 접촉지점인 크랭크축의 표면에 대하여 시행한 열처리는 대단히 중요한 효과를 가지고 있음을 알 수 있다.

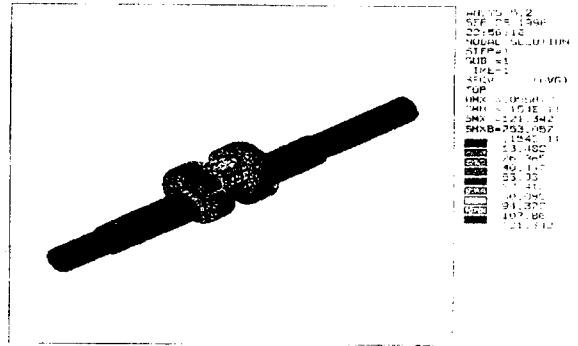


Fig. 8 Stress distribution of crank shaft (S45C)

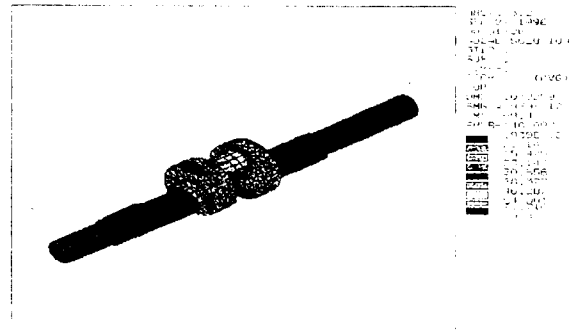


Fig. 9 Stress distribution of crank shaft (Heat treatment)

## 5. 결 론

콜드헤딩머신의 주요 구성 장치인 크랭크축과 커넥팅로드에 대하여 이론 계산 및 응력해석을 수행한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 공칭압력을 낼 수 있는 위치는 하사점 8mm이하이고, 이론계산상에서 크랭크 각도는  $\theta = 25^\circ 1'$  이고 커넥팅로드의 경사각은  $\psi = 6^\circ 1'$  이다. 해석연구에서는 크랭크 각도는  $\theta = 25^\circ$  이고 커넥팅로드의 경사각은  $\psi = 7^\circ$  이다.
2. 하중은 크랭크축의 정점인  $\theta$ 가  $90^\circ$  에서 부하되는 것이 아니라  $\psi$ 각이  $12^\circ$  인  $\theta$ 가  $51^\circ$  이하에서 부하된다.
3. 커넥팅로드의 최대응력은 약290MPa로서 안전율을 고려한 응력범위내에 있으며 그때의 변형량은 약 0.67mm로서 기계의 정밀도를 만족한다.

## 참 고 문 헌

1. 정선모외 1인, "표준기계설계학(신판)", 동명사
2. Donal F. Eary, "Technique of working sheet metal", Prentice-Hall. Inc
3. 김박윤, "압축가공 금형", 대광서림
4. Press가공 Data Book 편집위원회편 "Press 가공 Data Book", 일간공업신문사
5. Edited by Harold R. Daniels, "Mechanical Press Handbook", Hearman Publishing Inc
6. Garret N. Vanderolats, "Numerical Optimization Techniques for Engineering Design with Application", McGraw-Hill Book Company.