

슬라이드의 하강속도특성을 개선한 기계프레스의 구동부

구형욱, 최호준, 황병복*
인하대학교 공과대학 자동화공학과

Mechanical Press Drive with Enhanced Downward Velocity Characteristics

Hyung-Wook Koo, Ho-Joon Choi, and Beong-Bok Hwang*
Department of Industrial Automation, Inha University

ABSTRACT

A crank-slider mechanism is driven by the rotating disk with arc crank-pin guide to be applied to the deep drawing and cold forging presses. Load characteristics for different presses are summarized to see the basics of deep drawing of sheet metal and forging in terms of load-stroke relationship. Several types of conventional deep drawing presses are also shown to be compared with the rotating disk-type press. Kinematic performances by the arc guide driving mechanism are analyzed in terms of load capacity, stroke, and slide velocity characteristics, and they are compared with those by conventional drivings, e.g. Niagara-type press and so on. Kinematically better performances is shown by arc guide drive than those by conventional ones. The new driving mechanism is also proven to be one of the best for mass production press in terms of short cycle time. Possible applications of the arc guide press to deep drawing and cold forging work are in terms of kinematics and load capacity.

Key Words : Crank-slider mechanism, Arc crank-pin guide, Deep drawing, Cold forging, Load capacity, Kinematic performance.

1. 서론

일반적으로 프레스는 기계적인 기구 또는 유압을 이용하는 방법으로 구동되며 주로 판재부품을 생산하는데 사용된다. 프레스 중에서 금속성형산업에 주로 이용되는 것은 장비의 값이 저렴하면서도 자동화하기 쉽고, 유지비용이 비교적 적으며 높은 생산성을 갖는 기계프레스(mechanical press)이다. 이러한 이유로 기계프레스가 수세기 동안 많은 용도로 널리 이용되어 왔으나, 하중-행정특성(load-stroke characteristics)과 슬라이드

(slide)의 하강속도특성(downward velocity characteristics)이 행정 중에 일정하지 않아서 디프드로잉(deep drawing)가공이나 압출(extrusion) 등 단조품의 가공에는 한계가 있었다. 기계프레스에서는 비교적 간단한 크랭크기구를 이용한 구동방법과 슬라이드의 속도특성을 개선시키기 위한 여러 가지의 편심구동 방법이 이용되었으나, 최근에 산업체에서 보편적으로 사용되고있는 구동기구로는 (주)쌍용정공이 개발한 직선가이드를 이용한 크랭크핀구속방법(SSangyong linear guide)¹⁾, 나이아가라링크구동(Niagara link drive)²⁾, 원호를 이용한 크랭크핀구속방법(Arc guide drive)³⁾⁴⁾과 같은 여러 가지로 수정된 링크구동법이 개발되었다.

기계프레스는 하중, 행정, 램 또는 슬라이드속도, 그리고 과부하(overload) 등의 측면에서 유압프레스에 비하여 열등한 특징이 있다. 유압프레스는 슬라이드의 능력을 행정 동안 일정하게 유지시키거나 가변적으로 조절할 수 있는 반면에, 기계프레스에서는 능력이 슬라이드의 변위에 따라 심하게 변하며 임의로 조정하는 것이 거의 불가능하다. 따라서, 유압프레스는 임의로 조정 가능한 행정과 슬라이드속도의 특성을 이용하기 위하여 주로 사용된다. 그러므로 기존의 기계프레스의 특성들은 비선형 적이고 조정이 불가능하므로 다양한 종류의 부품성형에 응용하기 어렵다. 최근에 이러한 유압프레스의 특성과 비교해서 링크기구에 의한 기계프레스도 구동모터의 토크(torque) 및 회전속도, 그리고 링크의 길이를 컴퓨터에 의해 제어함으로써 행정-하중특성과 하사점의 위치를 임의적으로 변경할 수 있는 구동방법에 대한 연구가 있었으나 성형산업체에 이러한 프레스의 응용은 아직 검증되지 않았다.⁵⁾⁶⁾⁷⁾

기계프레스의 제조업자들은 특히 디프드로잉공정과 압출공정 및 기타 성형공정의 응용에서 유압프레스와 경쟁하기 위해 새로운 링크기구를 개발하여왔다. 이러한 노력은 디프드로잉부품을 성공적으로 제조하기 위해 작업행정구간에서 접근속도를 줄이고 성형 후의 귀환속도는 증가시키는데 주로 초점을 두었으며, 이러한 결과로서 나온 구동기구들은 대개가 급속귀환운동을 하는 기구였다. 또한, 같은 프레임강도(frame strength)에서 하사점상 높은 위치에서 일정한 고능력을 갖는 구동기구를 찾기 위한 시도가 있어왔으며, 이러한 노력은 같은 프레임강도에서 프레스의 무게, 크기, 및 제작비용을 줄이고자 하는 것이다.

본 논문에서는, 원호크랭크핀가이드를 갖는 회전원판구동이라는 새로운 구동원리를 소개하며, 특히 슬라이드운동에서의 기구학적특성(kinematic characteristics)을 다른 링크구동방법을 갖는 기존의 기계프레스들과 비교하였다. 또한, 새로운 구동방법이 프레스의 능력을 크게 개선시키는 이유 및 다른 구동방법에 비교하여 급속귀환특성이 개선되어 생산성향상에도 크게 기여할 수 있다는 점도 설명된다. 또한 다른 링크구동방식과 같은 프레임강도로서 회전원판구동방식이 성형 가능한 공작물의 크기에 있어서 커다란 장점이 있다는 점도 비교하였다. 그러나, 새로운 구동방식이 프레스의 능력 및 속도특성은 개선시키기는 하지만 토크의 증가로 구동모터의 출력이 커져야 하며 플라이휠(flywheel)의 크기도 커져야 한다.

2. 프레스와 가공의 하중-행정곡선 및 가공속도

프레스의 호칭능력은 통상 가공하중이 75~80%가 되도록 여유를 가지고 선택한다.

그 이유는 프레스작업이 과부하를 일으키기 쉬우며, 호칭능력을 최대한으로 사용하면 프레임의 변형량이 커져서 금형의 수명을 단축시키고 제품의 정도를 낮추기 때문이다. 가공에 여유가 있는 능력의 프레스를 선택하는 것은 금형의 수명, 프레스의 수명, 과부하에 대한 안전성 측면에서 보아 경제적이다 할 수 있다.

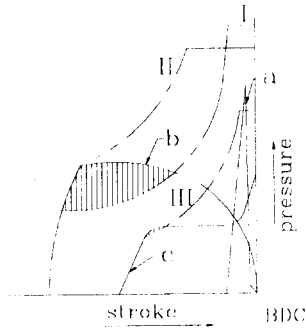


Fig. 1 Relationships between Pressure and Stroke

일반적으로 프레스의 최대가압능력은 구동부에서 전달되는 토크의 크기에 따라 결정되기 때문에 토크능력이라고 부르기도 한다. 가압능력은 그림 1에서와 같이 압력-행정선도로 표시된다. 프레스를 선택할 때에는 가공할 공작물의 하중-행정곡선을 우선적으로 구하고, 이 곡선에서 프레스의 압력-행정곡선이 행정의 어느 위치에서도 높게 위치하고, 두 곡선의 차이가 적당한 것을 고르는 것이 일반적이다. 그림 1에서 가공작업 a, b, c에 적당한 프레스는 각각 I, II, I이다. 프레스의 프레임은 보통 호칭능력에 따라 결정되기 때문에 같은 호칭능력의 프레스라도 압력-행정선도의

차이에 따라서 가공할 수 있는 부품의 크기는 달라진다. 그림에서작업 a는 타발가공을, 작업 b는 디프트로잉가공을, 그리고 작업 c는 압출단조가공의 하중-행정곡선의 특징을 보여준다. 그림에서 알 수 있듯이 프레스를 선택할 때에는 가공공정의 최대가공하중이 하사점상 어디에 위치하느냐가 중요하다. 일반적으로 디프트로잉과 압출단조의 경우 하사점상 고능력을 갖는 프레스를 선택하여야 가공에 무리가 따르지 않는다. 그림에서와 같이 압출가공에서는 직접이든 간접이든 컨테이너를 꽉 채우는 슬러그(slug)의 초기 압축에 의하여 급격한 압력의 증가가 발생한다. 초기의 높은 압력은 Duffill et al⁽⁸⁾에서 의해 논의되었다. 압출공정에서는 프레스가 행정 중에 높고 일정한 가압능력(load capacity)을 갖는 것이 좋다.

일반적으로 디프트로잉가공에서는 드로잉속도가 중요하다. 드로잉속도는 드로잉시 슬라이드의 속도를 나타내며 보통 ft./min.으로 표현한다. 이상적 조건하에서, 저탄소강의 디프트로잉에는 75(ft./min.) 정도의 프레스속도를 이용한다. 그러나 공정에 아이어닝(ironing)이 포함될 때에는 25ft./min. 정도로 한다⁽⁹⁾. 대개는 디프트로잉 제품을 성공적으로 가공하기 위하여 저속으로 드로잉가공을 한다.

3. 기존의 디프트로잉과 압출공정에의 프레스

위에서 기술한 대로 기계적인 링크구동에는 여러 가지 유형이 있다. 이 기구들의 목적은 행정중의 가공구간에서 슬라이드의 속도를 줄이고, 공정의 시작단계에서 성형하중능력(forming load capacity)을 개선하고, 그것을 전체 행정동안 일정하게 유지시키는 것이다. 냉간압출과 디프트로잉성형작업에는 유압프레스가 널리 이용되어 왔다. 직접구동에 의한 유압프레스에서는 전체 행정 중 어느 점에서나 최대의 프레스능력이 가해질 수 있다. 또한 유압프레스의 속도제한범위 내에서는 슬라이드의 속도가 전체 행정사이

클 동안 연속적으로 변화될 수 있다. 그러나 생산성의 향상을 위하여 급속귀환과 급속 접근을 하게 되면 유압에 의한 충격(hydraulic shock)이 발생하며, 이점이 유압프레스를 고속으로 사용하고자할 때 커다란 문제가 된다.

최근 개발된 기계프레스의 구동방법으로 4절 기구(four-bar linkage)⁵⁾⁶⁾⁷⁾가 이용되었는데, 그 특징은 네개의 링크중 하나의 길이를 임의로 조정하거나 슬라이드와 연결된 링크와 드래그링크(drag link)의 연결점을 변화시킴으로서 슬라이드의 압력-행정특성과 속도특성을 변화시켰다. 따라서, 비교적 큰 행정에서도 높은 가압력을 유지할 수 있어서 압출과 디프드로잉에 적용할 수 있다. 그러나 이러한 복잡한 링크구동은 경제적인 면에서 볼 때 좋지 않다.

4. 새로운 구동부 설계의 기준

대부분의 경우 새로운 구동기구를 설계하기 위해서는 다음과 같은 사항들을 고려할 필요가 있다.

- a. 전체 행정 동안 높고, 비교적 일정한 가압능력을 가져야 한다.
- b. 작업행정 중 비교적 일정한 슬라이드속도를 가져야 한다.
- c. 생산성이 높아야 한다.
- d. 프레스제작이 저렴하여야 한다.

위에서 언급된 사항들은 기존의 링크구동과 비교되어야 하고 그것으로 새로운 기구설계에 대한 가능성도 입증되어야 한다.

5. 원호크랭크핀가이드의 원리

그림 2는 디프드로잉과 압출공정에 응용할 수 있는 프레스에 대한 새로운 구동기구를 나타낸 것이다. 이것은 직선의 크랭크핀가이드(crank pin guide)를 원호의 가이드로 대체한 것으로, (주)쌍용정공의 직선가이드구동(linear guide drive)¹⁾¹⁰⁾¹¹⁾을 수정한 것이다. 여기서 원호가이드의 곡률은 1500mm이다. 그림에서 보는 바와 같이 주기어(main gear)는 원호의 크랭크핀가이드를 갖으며 크랭크슬라이더기구(crank-slider mechanism)의 운동은 원호의 크랭크핀가이드에 의하여 구속된다. 그림에서도 인식되는 바와 같이 주피니언(main pinion)에서 주기어로 동력이 전달되며, 주기어의 크랭크핀가이드를 통하여 커넥팅로드(connecting rod)에 동력이 전달된다. 커넥팅로드는 높은 정밀도로 슬라이드에 연결된 플런저(plunger)와 플런저가이드(plunger guide)에 부착되어있다.

그림 3은 새로운 구동부의 원리를 도식적으로 표현한 것이다. 가장 일반적으로 사용되는 기계프레스인 크랭크프레스(crank press)나 크랭크레스프레스(crankless press)는 모두 기어와 크랭크의 중심이 일치한다. 그러나 본 논문에서 소개되는 구동기구는 그림에서 보는 바와 같이 주기어중심 O와 크랭크중심 Q 사이에 편심거리 L_1 과 편심각 K를 갖고 주기어 속에 원호의 크랭크핀가이드를 갖고 있다. 그림과 같이 크랭크핀가이드를 원호로 만듦으로써 작업구간에서 거의 일정한 슬라이드속도, 전행정을 통한 높은 가압능력 및 작업구간에서 낮은 슬라이드속도를 갖는 등 개선된 성능을 얻을 수 있다. 주기어가 O점을 중심으로 회전할 때 크랭크핀은 G점에서 가이드에 의해 미끄러지며 크랭크

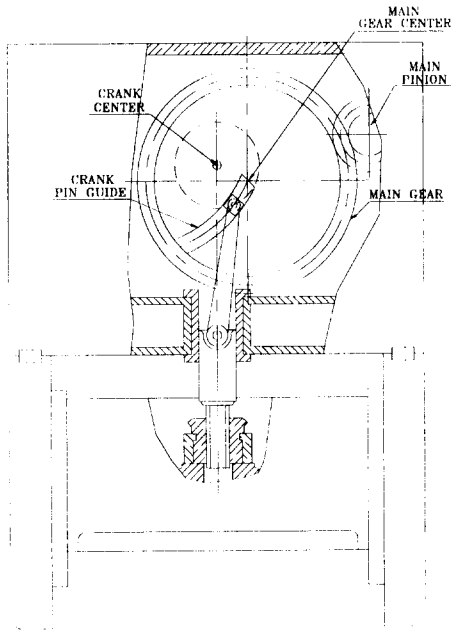


Fig. 2 Driving mechanism of newly developed press using arc crank-pin guide.

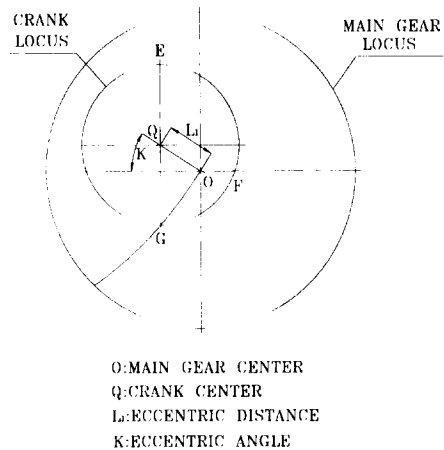


Fig. 3 Principle of the new driving part.

는 크랭크궤적(crank locus)에 따라 회전할 것이다. 점 E는 크랭크핀의 상사점, 점 F는 작업행정 시작점, 점 G는 하사점에서의 크랭크핀의 위치를 표시한다. 대개 디프드로 잉용 프레스의 작업행정구간은 전체 행정거리의 1/3이 최대이다. 그림에서 $\angle EOF$ 는 하강행정이고, $\angle FOG$ 는 작업행정을, 그리고 $\angle GOE$ 는 상승귀환행정을 나타내며, 각 행정의 크랭크각도는 약 120° 이다. 크랭크핀가이드부가 직선이라면(점 O와 점 G가 직선으로 연결되었을 때), 각각의 행정을 나타내는 크랭크각도들은 정확하게 주기어의 회전시간에 비례한다. 그러나 그림에서와 같이 주기어에 원호의 크랭크핀가이드를 채용하였을 때에는 주기어상에서의 상승귀환각도는 줄어들게 되어 상승시간은 사이클시간(cycle time)의 1/3보다 작아진다. 따라서, 급속귀환특성이 직선가이드보다도 우수한 것이다.

그림에서 편심거리 L_1 과 편심각도 K 를 적당하게 변화시킴으로서 다양한 슬라이드속도와 가압능력특성을 얻을 수 있다. 만약 크랭크중심 Q가 주기어중심 O의 오른쪽 아래에 위치한다면 Bliss Shear Machine¹²⁾과 같이 작업구간에서 고속을 필요로 하는 전단 작업(shearing)에 바람직한 기구학적, 동역학적 특성을 제공할 수 있다. 그림에 나와 있는 원호의 크랭크핀가이드를 갖는 프레스의 명세는 표 1과 같으며, 본 논문에서 모든 계산에 사용되는 수치이다. 그림 4는 크랭크레스프레스, 직선가이드프레스, 원호가이드프레스의 구동부를 하사점위 13mm 위치에서 모델링한 것이다. 일반적으로 크랭크슬라이더기구에서는 하사점에서 무한대의 가압능력을 갖지만, 하사점 위의 13mm 지점에 슬라이드가 있는 경우를 모델링한 후 그때 호칭능력이 발생되는데 필요한 토크를 기준으로 정하여 작업능력을 계산한다.

편심길이 L_1 (mm)	195.6
편심각 K (deg)	32.47
곡률 반경(mm)	1500
최대가압능력 (ton)	700
분당 회전수(spm)	20
표준 행정길이(mm)	650

Table 1 Specification for a Press with Arc Crank-Pin Guide

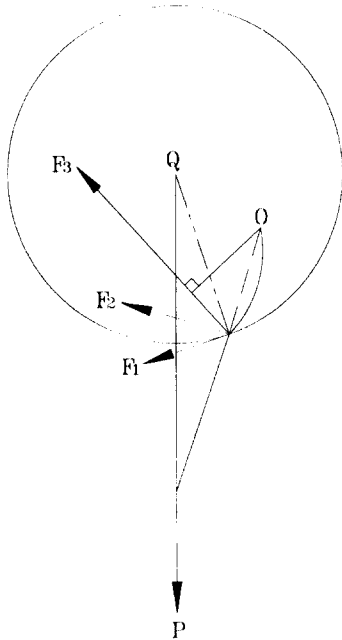


Fig. 4 Force Characteristics for each Drive

$$P(\theta) = \frac{T_{at13}}{T_\theta} \times 700 \quad (1)$$

	CRANKLESS	NIAGRA	SSangyong	ARC GUIDE
Torque Capacity(kgf · m)	70092.23	65020.13	60100.59	100889.0

Table 2 Torque Capacity for each Press

여기서 F 는 프레스의 호칭능력이고, T_{at13} 은 슬라이드가 하사점위 13(mm)에 위치할 때의 토크용량, 그리고 T_θ 는 주기어가 θ 만큼 회전하였을 경우의 토크이고, 700은 프레스의 최대가압능력(ton)이다.

6. 기구학적 성능의 비교

프레스의 크기는 대략적으로 구동부의 요동면적에 비례한다. 전 행정에 걸쳐 각각의 프레스에서 구동부 링크들의 동작상태가 그림 5에 나와있다. 주기어 또는 크랭크의 각도를 입력데이터로 하여 상업용 CAD 프로그램인 Auto-CAD¹⁴⁾에 의한 후처리를 통하여 각각의 링크위치들을 표현하였다. 그림에서 알 수 있듯이 나이아가라링크프레스에 비하여, 직선 또는 원호가이드프레스의 프레임 크기는 나이아가라링크에 비하여 상대적으로 작으나, 크랭크레스프레스의 프레임 보다는 약간 크다. 하지만, 링크형식의 프레스가 특수한 가공에 적용되는 점을 고려한다면, 크랭크레스프레스와의 비교는 큰 의미를 갖지는 못한다.

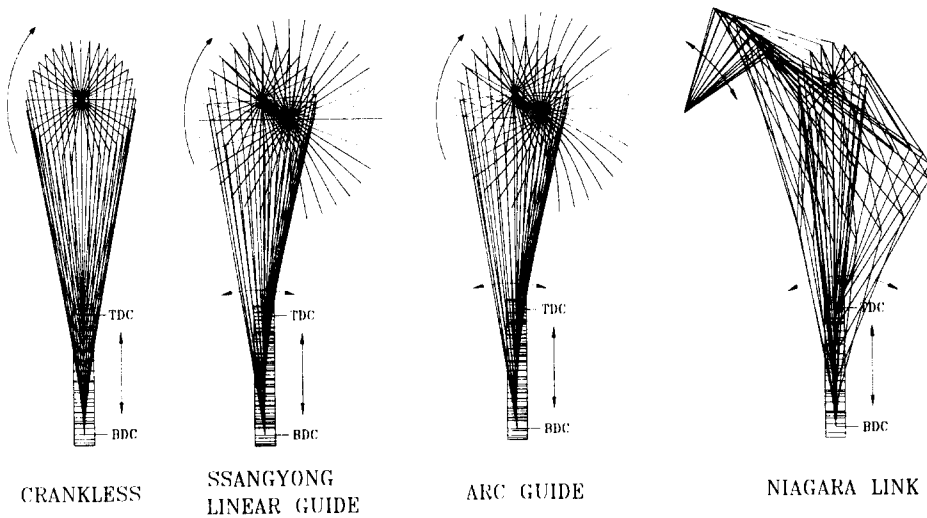


Fig. 5 Plots of the links position with varying angles of the several presses.

그림 6은 슬라이드의 행정거리와 주기어각도 사이의 관계를 나타내며, 그림으로 부터 크랭크레스구동프레스(BDC에서 주기어 각이 180°)를 제외하고는 행정거리특성이 비대칭임을 알 수 있다. 크랭크프레스나 크랭크레스프레스는 작업행정구간에서 전체 싸이클 시간의 18% 정도를 소모하게 되며, 싸이클시간의 82%는 아이들시간(idle time)이다. 또한, 나이아가라와 쌍용의 직선가이드 구동에서 아이들시간은 각각 72%와 76%이다. 그러나, 원호의 크랭크핀가이드 구동의 경우 아이들시간은 68%로 다른 비교하는 프레스 중 가장 낮다. 다시 말해서, 같은 슬라이드속도로 가공한다면 원호가이드를 이용한 구동방법이 가장 높은 생산성을 갖게 되는 것이다. 그림에서 작업구간은 디프트로잉시 최대 작업행정구간을 표시한 것이다.

그림 7은 슬라이드속도와 주기어각도 사이의 관계를 나타낸다. 이 그림으로부터 원호 크랭크핀가이드와 관련된 슬라이드속도가 작업행정구간에서 거의 일정함을 알 수 있다. 작업 구간에서 슬라이드의 평균속도가 다른 프레스보다 느리며 유압프레스와 비슷하게 거의 일정한 슬라이드속도를 갖는다. 또한, 원호가이드에 의한 구동이 공작물에 접촉하는 순간의 슬라이드속도도 가장 낮은 것으로 나타났다. 이러한 속도성능으로 볼 때, 원호가이드를 이용한 구동이 디프트로잉 작업에 특히 유리함을 알 수 있다.

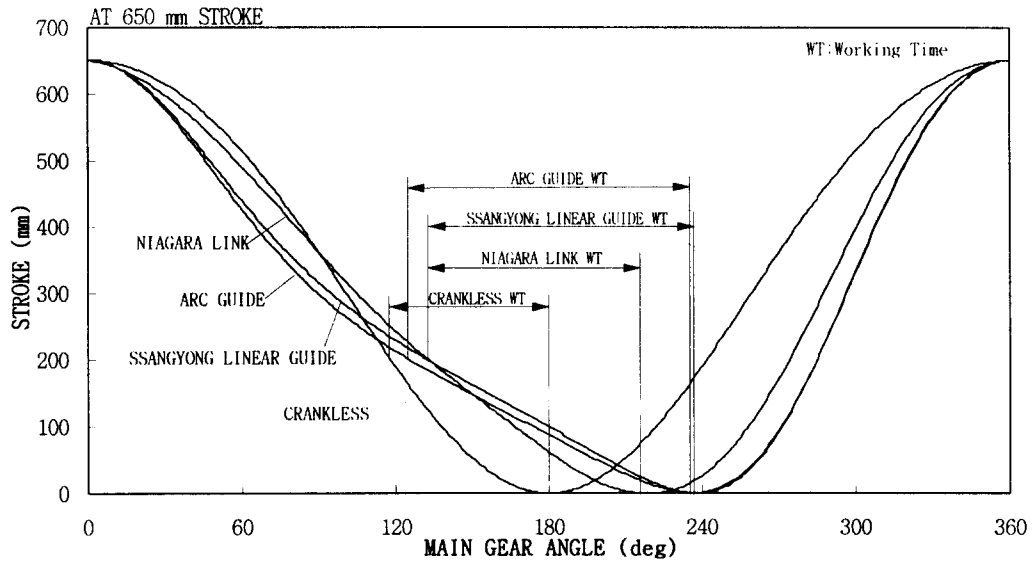


Fig. 6 Relationships between main gear angle and stroke.

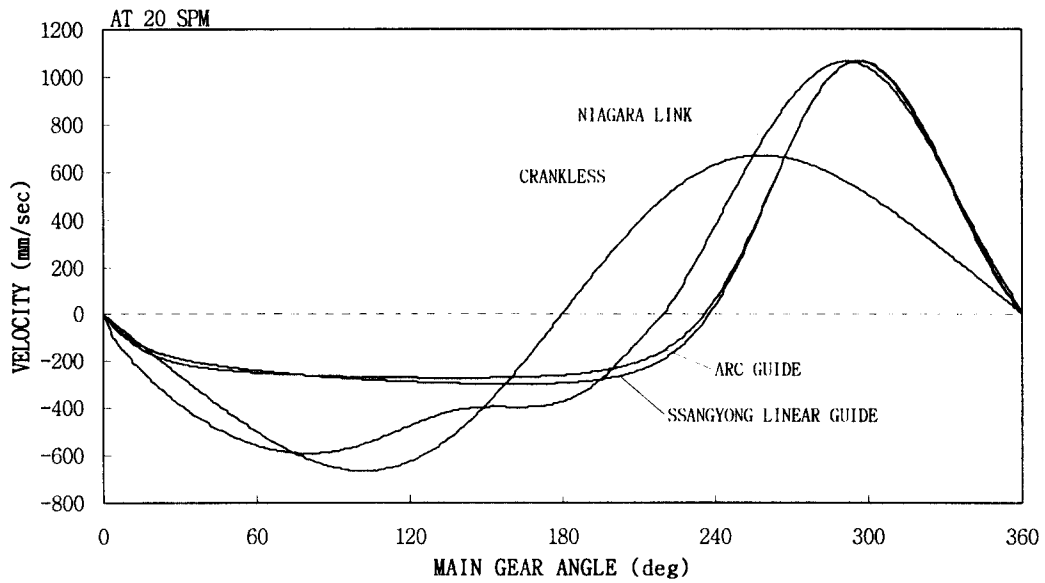


Fig. 7 Relationships between main gear angle and slide velocity.

그림 8은 슬라이드의 가속도와 주기어각도 사이의 관계를 나타낸다. 나이가라링크와 크랭크레스구동에서는 작업행정구간 내에서 높은 슬라이드 가속도를 갖는다. 특히 나이가라링크구동에서는 작업행정구간의 중간지점에서 속도가 급격히 변하는 것을 볼 수 있는데, 이는 박판성형공정에서는 바람직한 현상이 아니며 나이가라링크구동의 취약한 점이라 할 수 있다. 그러나 쌍용의 직선과 원호가이드구동에서는 가속도가 거의 0에 가까운 것을 알 수 있다. 하지만, 특히 원호가이드에 의한 구동법이 약간 더 가장 바람직한 슬라이드의 가속도 특성을 갖는다.

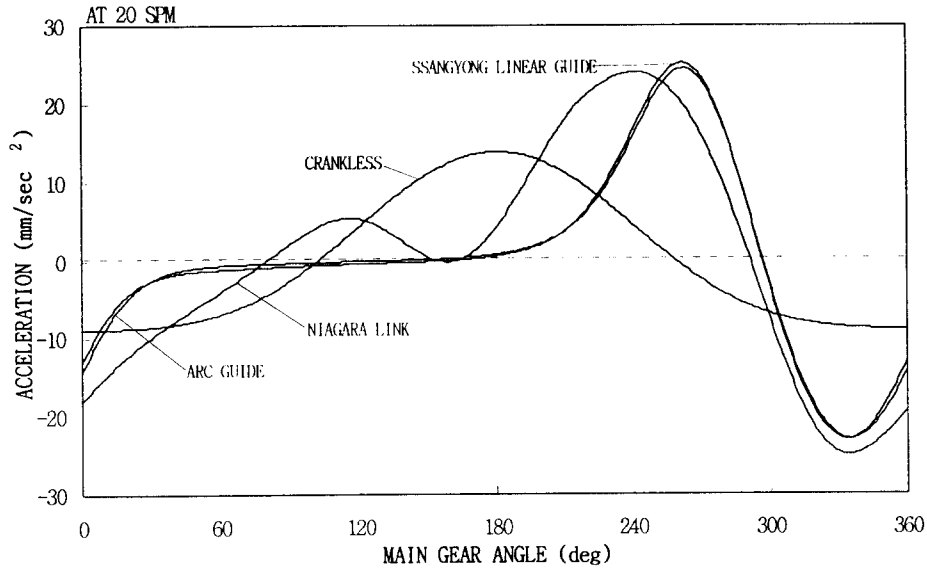


Fig. 8 Relationships between main gear angle and slide acceleration.

그림 9는 각각의 구동방법에 대한 하중-행정특성을 나타낸다. 공칭압력(nominal load) 또는 호칭압력은 대개 하사점위 13mm 부분에서 지정되며 이는 프레임강도를 위한 설

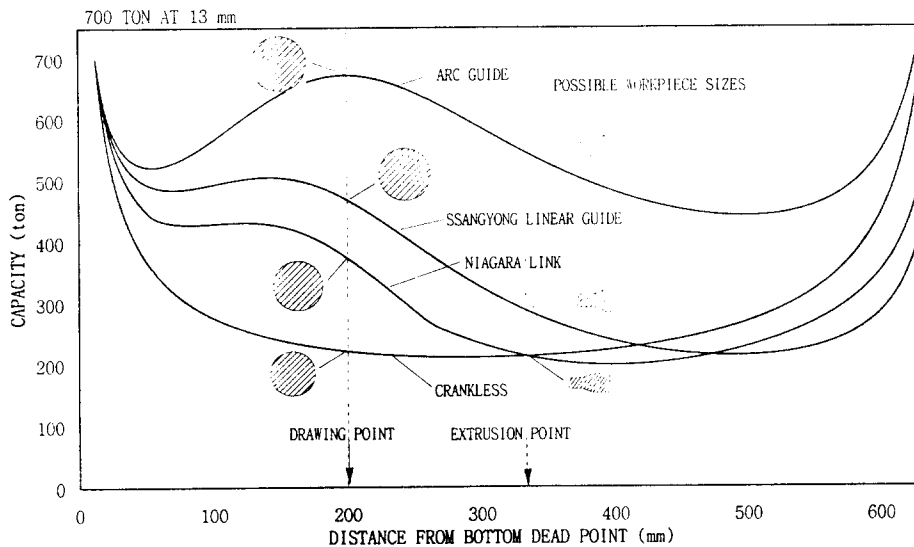


Fig. 9 Relationships between forming load capacity and stroke.

계의 기준이 된다. 이것은 주로 극동(주로 한국과 일본)에서의 호칭압력 기준이며, American Joint Industry Conference¹⁵⁾가 정한 기준에 따르면 호칭압력의 발생점은 0.25 in. 또는 0.5 in.이 되기도 한다(주로 구미지역에서의 기준). 본 논문에서는 주기어의 토크용량이 하사점위 13mm 부분에서 가압능력이 700톤이 되도록 설계되어 있다. 그림에서 보는 바와 같이 원호구동법의 가압능력은 전체 행정 동안 다른 구동법의 경우 보다

훨씬 크고, 행정 중의 최소가압력은 최대가압력의 70%에 달한다. 이는 현재 사용중인 기계프레스들 중 가장 좋은 하중-행정특성으로서, 원호가이드에 의한 구동법의 가장 큰 장점이라 할 수 있다.

그림에서 드로잉이 시작되는 슬라이드의 위치는 하사점상 약 200 mm이고, 압출작업이 가능한 위치는 하사점상 약 300 mm이다. 디프드로잉과 압출에서의 하중-행정특성을 고려하여, 프레임강도가 같은 각기 다른 프레스에서 가공 가능한 공작물의 초기빌렛(디프드로잉의 경우 블랭크의 크기)의 크기를 보면 상당한 차이가 있는 것을 알 수 있다(그림 참조).

7. 결론 및 향후과제

원호의 크랭크핀가이드를 갖는 회전원판형프레스에 대해 기구학적 분석을 하였다. 이 새로운 구동법은 기존의 프레스 보다 작업시간(또는 생산성), 슬라이드속도 및 가압능력특성을 개선하였다. 비교적 단순하고 작은 기구이므로 기존의 기계프레스보다 제작비용이 적을 것이며, 프레임강도가 같더라도 더 큰 공작물을 성형할 수 있다. 앞으로의 과제는 편심길이와 위치가 최적화된 프레스를 설계하는 것이다.

후기 : 본 논문은 인하대학교 및 (주)쌍용정공의 연구비지원에 의하여 수행되었습니다

참고문헌

1. J. M. Kim. and S. H. Kang, "Linkless Link Motion press," SSTR-TC-93-12, Technical Report, Ssangyong Precision Co, LTD., Korea, 1993.
2. Niagara Machine and Tool Work, Link Driven Press Catalog, Bulletin 51, Buffalo, N.Y., U.S.A., 1988.
3. B. B. Hwang, Patent pending, Korea, 1995.
4. B. B. Hwang, H. S. Oh. and H. Y. Lee, "A driving mechanism of the press for deep drawing and forging," Advanced Manufacturing Processes, Systems, and Technologies(AMPST 96), pp. 685~694, 1996.
5. S. Yossifon, and R. Shivpuri, "Optimization of a double knuckle linkage drive with constant mechanical advantage for mechanical presser," Int. J. Mach. Tools Manufact., Vol. 33. No.2, pp. 193~208, pergamon press, 1993.
6. S. Yossifon, and R. Shivpuri, "Design consideration for the electric servo-motor driven 30 Ton double knuckle press for precision forming," Int. J. Mach. Tools Manufact, Vol. 33. No.2, pp. 209~222, pregamon press, 1993.
7. S. Yossifon, R. Shivpuri, and T. Altan, The AC Servo-Motor Drive Double Toggle Press : Mechanisms Analysis and Optimization, Rept. No. ERC/NSM-B-S-90-33. Engineering Research Center for Net Shape Manufacturing, The Ohio State University, October, 1990.
8. A. W. Duffill, and P. B. Mellor, "A comparison between the conventional and

- hydrostatic methods of cold extrusion through conical dies," annals of C. I. R. P., Vol. 17, 1969.
9. Metals Handbook, Vol. 4, pp. 175, 8th edition.
 10. B. B. Hwang, "A Study on the Development of Driving Mechanism for Deep Drawing Press," Inha University, R.I.S.T., pp. 141~147, 1995.
 11. B. B. Hwang, S.H. Kang, and J.M. Kim, "A Study on the Development of Deep Drawing Press using a Rotating Disk," Sheet Metal Forming Symposium, K.S.T.P/K.I.M.M., 1994.
 12. E. W. Bliss Company, Press Division, *Bliss General Catalog Powerbar Press*, pp. 31, Grand Rapid, Michigan, 1971.
 13. 나경안, "프레스 핸드북", 기전연구소, pp. 175~176, 1989.
 14. Autodesk Co., "Installation & Performance Guide Tutorial", Programmer's Reference, 1985.
 15. E. Hamilton, "Power Presses, Their Design and Characteristics," Sheet Metal Industries, Vol. 37, pp. 501~513, 1960.