

다양한 링크구동 기계프레스에 대한 기구학적 분석

구형욱* · 황병복* · 임중연** · 이호용**

(1997년 9월 24일 접수)

Kinematic Analysis of Several Linkage Drives for Mechanical Presses

Hyung-Wook Koo, Beong-Bok Hwang and Joong-Yeon Lim, Ho-Yong Lee

Abstract

This paper is concerned with the kinematic analysis of several linkage drives for mechanical presses. Load and velocity characteristics of conventional presses are illustrated and a design of new drive for a mechanical press is represented. In this regard, a crank-slider mechanism with arc crank-pin guide is introduced and compared with other linkage drives. Kinematic performances are analyzed in respect of load capacity, slide velocity characteristics using a developed SS-Plot program. The new linkage drive turns out to be effective in terms of load and velocity characteristics, and productivity.

Key Words : Crank-Slider Mechanism, Arc Crank-Pin Guide, Kinematic Performances, SS-Plot, Load-velocity Characteristics, Productivity

1. 서 론

프레스는 다른 공작기계보다 매우 큰 하중이 가해지며 장기간 정밀도를 유지해야 하는 한편 구성부품에 요구되는 제반조건 역시 매우 엄격한 편이다. 이러한 프레스는 동력원에 따라서 크게 기계프레스와 유압프레스로 나뉘는데 기계프레스는 가압 능력, 공작물 접촉시의 속도, 소음/진동, 과부하(over load) 등의 측면에서 유압프레스에 비해 열등한 반면 유압프레스는 가압 능력이 전체행정을 통하여 일정하며 또한 필요에 따라 가변적으로 조절할 수 있고 소음 및 진동면에서 기계프레스 보다 우수하다. 이러한 이유로 유압프레스는 임의로 조정 가능한 행정과 슬

라이드속도의 특성을 이용하기 위하여 주로 사용되어 왔으며 기계프레스는 앞에서 언급한 단점들에도 불구하고 유지 및 보수비용의 저렴함과 높은 생산성 등의 잇점으로 인하여 금속성형산업에서 널리 사용되어 왔다.¹⁾

최근에 기계프레스는 유압프레스의 좋은 특성을 갖도록 하기 위하여 링크기구에 의한 구동모터의 토오르크 및 회전 속도, 그리고 링크의 길이를 컴퓨터에 의하여 제어함으로써 행정-하중 특성과 하사점의 위치를 임의적으로 변경할 수 있는 구동방법에 대한 연구가 진행되어 왔으나 성형산업에서의 실제 응용은 아직 검증되지 않았다.²⁾³⁾⁴⁾ 이러한 기계프레스에는 구조가 비교적 간단한 크랭크 기구(crank mechanism)를 이용한 구동방법과 슬라이드의

* 인하대학교 공과대학 자동화공학과

** 동국대학교 공과대학 기계공학과

속도 특성을 개선시키기 위한 여러 가지 편심구동방법이 이용되었는데 이에는 직선가이드를 이용한 크랭크핀구속방법(SSangyong linear guide),⁵⁾ 나이아가라링크 구동(Niagara link drive)⁶⁾, 곡선가이드를 이용한 크랭크핀구속방법(Arc guide drive)⁷⁾⁸⁾ 등이 있다.

프레스는 실제 가공압력이 가압능력 또는 호칭능력의 75~80%가 되도록 선택하여야 한다. 그 이유는 프레스 설계의 경제성(가격과 가공능력 등)에 있다. 즉, 프레스 작업은 과부하(over load)를 일으키기 쉬운 집. 가공압력의 정확한 산정이 곤란한 점, 호칭능력을 최대로 사용하면 프레임의 변형량이 상당히 커져서 급형의 수명을 단축시키고, 제품의 정도를 나쁘게 하는 점 등 때문이다. 그러므로 프레스 능력에 여유를 갖게 하는 것이 급형의 수명, 프레스의 수명, 과부하에 대한 안전성의 면에서 보아 경제적이 된다고 말할 수 있다. 여기서 호칭능력은 정상적인 프레스의 기능에는 영향을 주지않고 가공을 하기 위한 프레스의 최대압력을 의미하며 일반적으로 톤 단위로 나타낸다.”

프레스의 토오르능력이란 호칭능력이 발생하는 슬라이드의 위치와 하사점에 위치한 슬라이드 사이의 거리를 의미하며, Fig. 1과 같은 압력-행정선도로 표시된다. 프레스의 토오르능력을 선택할 경우에는 우선 행하고자 하는 가공공정에 대한 압력-행정선도를 구하고, 이 선도에서 프레스의 압력-행정 곡선이 행정의 어느 위치에 있어서도 상회하며, 또한 그 차가 적당히 유지되는 것을 선택하도록 한다. Fig. 1에 있어서, 작업 a, b, c에 적당한 프레스는 각각 I, II, I이다. c의 작업에 대해서, I 프레스는 능력에 여유가 지나치게 있어 비경제적이지만, III 프레스에서는 가공하고자 하는 c 작업이 압력-행정 곡선을 상회하기 때문에 I을 선택하고 있다. 프레스의 프레임은 보통 호칭능력에 따라 결정되기 때문에 같은 호칭능력의 프레스라도 압력-행정선도의 차이에 따라서 가공할 수 있는 부품의 크기는 달라진다. 그림에서 작업 a는 타발가공, 작업 b는 디프트로잉가공, 그리고 작업 c는 압출단조가공에서의 하중-행정곡선의 특징을 보여준다.”

그림에서 알 수 있듯이 프레스를 선택할 때에는 가공공정 중 최대가공하중이 하사점위의 어디에 위치하느냐가 중요하다. 일반적으로 디프트로잉과 압출단조의 경우 하사점상 높은 위치에서 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 Duffill¹⁰⁾ 등에 의해 논의되었

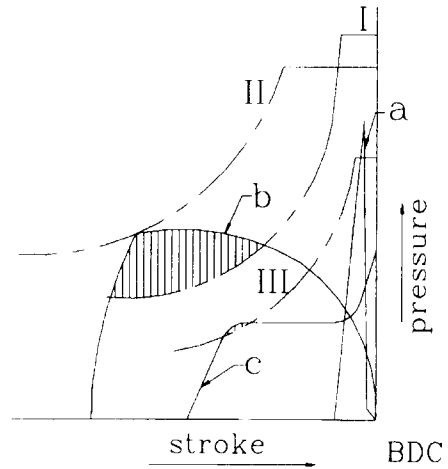


Fig. 1 Relationship between pressure and stroke for several press forming

다. 압출공정에서는 프레스가 행정 중에 높고 일정한 가압능력(load capacity)을 갖는 것이 좋지만 디프트로잉가공에서는 드로잉속도 또한 매우 중요하다. 드로잉속도는 드로잉시 슬라이드의 속도를 나타내며 보통 ft/min으로 표현한다. 이상적 조건하에서, 저탄소강의 디프트로잉에는 75ft/min 정도의 프레스속도를 이용한다. 그러나 공정에 아이어닝(ironing)이 포함된 경우에는 25ft/min 정도로 속도를 낮추어야 한다.¹¹⁾ 대개 디프트로잉 제품을 성공적으로 가공하기 위해서는 저속으로 드로잉가공을 한다.

앞에서 기술한 대로 기계적인 링크구동에는 여러 가지 유형이 있다. 이러한 다양한 기구들의 목적은 행정 중 가공구간에서 슬라이드의 속도를 줄여 제한 속도 이내로 유지하면서, 가공의 싸이클 타임을 단축하는 것이다. 또한 공정의 시작단계에서 성형하중능력(forming load capacity)을 개선하고, 이것을 전체 행정동안 일정하게 유지시키기 위한 것이다. 이러한 이유로 냉간압출과 디프트로잉성형작업에서는 유압프레스가 널리 이용되어 왔다. 직접구동에 의한 유압프레스에서는 전체 행정 중 어느 위치에서도 최대의 프레스능력이 가해질 수 있다. 또한 유압프레스의 속도제한범위 내에서는 슬라이드의 속도가 전체 행정사이클 동안 연속적으로 변화될 수 있다. 그러나 생산성의 향상을 위하여 소재로의 급속접근과 급속귀환을 하게 되면 유압에 의한 충격(hydraulic shock)이 발생하며, 이러한 점이 유압프레스를 고속으로 사용하고자 할 경우 문제가 된다.”

최근 개발된 기계프레스에서는 4절기구(four-bar linkage)^{23,24}를 이용한 구동방식이 채택되었는데, 그 특징은 네개의 링크중 하나의 길이를 임의로 조정하거나 슬라이드와 연결된 링크와 드래그링크(drag link)의 연결점을 변화시킴으로서 슬라이드의 압력-행정특성과 속도특성을 변화시키는 것이다. 따라서, 비교적 넓은 범위의 행정에서 높은 가압력을 유지할 수 있으며 압출과 디프드로잉작업에 적용할 수 있다. 그러나 이러한 복잡한 링크구동은 프레스설비의 가격 측면에서 볼 때 불리한 면이 있다.

일반적으로 프레스의 새로운 구동기구의 개념을 설계하기 위해서는 다음의 사항들을 고려할 필요가 있다. 전체 행정 동안 비교적 높고, 일정한 가압능력을 갖을 것과 작업행정 중 비교적 일정한 슬라이드속도를 갖을 것, 그리고 높은 생산성과 프레스제작시 비용이 저렴하여야 하는 것 등이다. 앞에서 언급된 사항들은 기존의 구동부와 비교되어야 하고 그것으로 새로운 기구설계에 대한 가능성도 입증되어야 한다.

본 논문에서는 앞에서 제시한 기계프레스의 구동방법 중 특히 편심구동방법의 하나로 새롭게 제시된 곡선가이드를 이용한 크랭크핀구속방법(Arc guide drive)에 대해서 기구학적해석을 하였고, 이를 기존의 기계프레스 구동방법들, 특히 슬라이드운동에서의 기구학적특성(kinematic characteristics) 등과 비교분석하였다. 또한, 새로운 구동방법이 프레스의 능력을 크게 개선시키는 이유 및 다른 링크구동방식과 같은 프레임강도로도 더 큰 공작물의 가공에 적용가능하다는 점등도 비교분석하였다.

2. 곡선 크랭크핀 구속가이드를 이용한 구동부의 원리

Fig. 2는 크랭크 프레스의 구동부에 곡선의 크랭크핀 구속가이드를 적용시킨 것이다. 이것은 현재 사용되고 있는 직선 크랭크핀 구속가이드(crank pin guide)를 곡선의 가이드로 대체한 것으로, (주)쌍용정공의 직선가이드구동(linear guide drive)^{5,12,13}을 수정한 것이다. 본 논문의 계산에 사용된 곡선가이드의 곡률반경은 1500 mm이며, 그림에서도 알 수 있듯이 주기어는 곡선의 크랭크핀가이드를 갖으며 크랭크슬라이드기구(crank-slider mechanism)의 운동은 곡선의 크랭크핀가이드에 의해서 구속된다. 주피니언(main pinion)에서 주기어(main gear)로 동력이 전달되고 주기어의 크랭크핀 가이드를 통하여 커넥팅로드에 동력이 전달되어 최종적으로 커넥팅로드에 부착되어 있는 슬라이드를 통하여 작업이 행해진다. 커넥팅로드는 높은 정밀도로 슬라이드에 연결된 플런저(plunger)와 플런저가이드(plunger guide)에 부착되어 있다.

Fig. 3은 주기어와 크랭크의 중심이 일치하는 크랭크 프레스(crank press)의 구동부와 본 논문에서 소개되는 구동부의 원리를 비교하기 위한 도식적인 그림이다. Fig. 3-(a)는 주기어와 크랭크의 중심이 일치하는 크랭크 프레스의 구동부를 나타낸 것으로서 점 O는 크랭크 및 주기어 또는 플라이휠의 중심이고, 점 B는 하사점에서의 크랭크핀의 위치, 점 T는 상사점에서의 크랭크핀의 위치를 나타

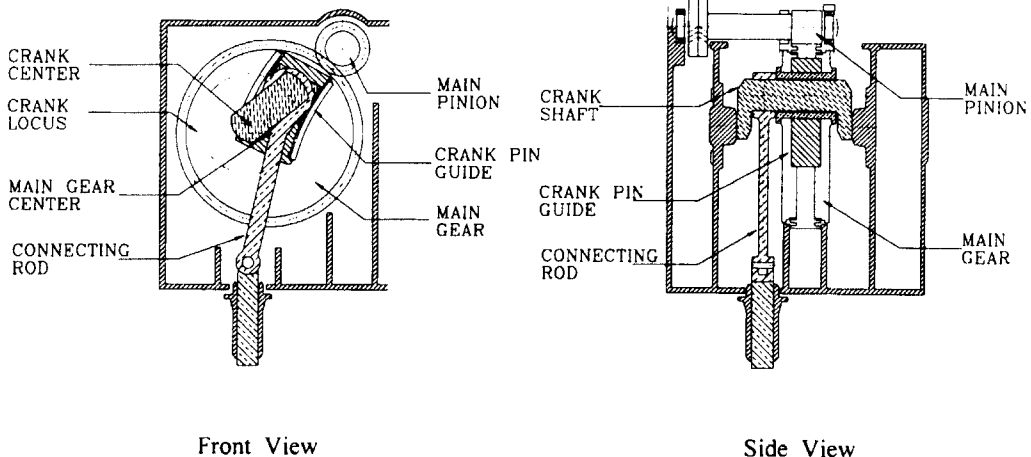


Fig. 2 Driving mechanism of newly designed press using arc crank-pin guide

낸다. 또한, Fig. 3-(a)의 BOT는 상승귀환행정구간을 나타내고, TOB는 하강행정구간을 나타내며 각각은 180°의 각을 이루고 있다. 이것으로부터 크랭크 프레스는 슬라이드의 상승시간과 하강시간이 같음을 알 수 있다.

Fig. 3의 (b)는 본 논문에서 새롭게 소개되는 구동부로서 주기어와 크랭크의 중심이 일치하지 않고 편심길이 L_{ecc} 와 편심각 D_{ecc} 만큼 편심되어있으며 주기어 속에 곡선 형태의 크랭크핀가이드를 갖고 있다. 이 그림에서도 점 O와 C는 각각 주기어중심, 크랭크중심을 나타낸다. 주기어가 O점을 중심으로 회전할 때 크랭크핀은 점 B에서 가이드에 의해 미끄러지며 크랭크는 크랭크궤적(crank locus)에 따라 회전하게 된다. 여기서 점 T는 크랭크핀의 상사점, 점 S는 작업행정의 시작점, 점 B는 하사점에서의 크랭크핀의 위치를 표시한다. 일반적으로 디프트로잉용 프레스의 작업행정구간은 전체 행정길이의 1/3이 최대이다. 그림에서 TOS는 하강접근행정이고, SOB는 작업행정을, BOT는 상승귀환행정을 나타내며 각각은 대략 120° 정도이다. 그러므로 슬라이드의 상승은 전체 회전시간의 약 1/3 동안이고, 하강은 전체의 대략 2/3 정도이므로 크랭크 프레스에 비하여 작업시간이 길어지고, 또한 작업구간에서 비교적 일정하며 낮은 슬라이드속도 및 전행정에 거쳐서 높은 가압능력을 갖는 등 개선된 성능을 얻을 수 있다. 그림에서 편심길이 L_{ecc} 와 편심각 D_{ecc} 를 적당하게 변화시킴으로서 다양한 슬라이드속도와 가압능력특성을 얻을 수 있다. 만약 크랭크중심 C가 주기어중심 O의 오른쪽 아래에 위치한다면 블리스 전단머신(Bliss Shear Machine)14)과 같이 작업구간에서 고속의 슬라이드 속도를 필요로 하는 전단작업(shearing)에 적당한 프레스 특성을 제공할 수 있다.

Fig. 4는 크랭크 프레스, 직선가이드 프레스, 곡선가이드 프레스의 구동부를 슬라이드의 하사점위 13 mm 위치에서 각각 모델링한 것이다. 이는 일반적으로 사용되는 기계프레스인 크랭크 프레스의 호칭능력이 발생되는데 필요한 토오크의 크기를 비교하여 보기 위한 것이다. 일반적으로 크랭크슬라이더기구(crank-slider mechanism)을 사용하는 프레스에서는 하사점에서 무한대의 가압능력을 갖지만, 하사점으로부터 13 mm 위의 지점에 슬라이드가 있는 경우를 모델링한 후 그때 호칭능력이 발생되는데 필요한 토오크를 기준으로 정하여 작업능력을 계산한다.¹⁵⁾ 이러한 호칭능력은 토오크능력이라 부르기도 한다. 토오크능력은 전동계의 토오크능력이 같더라도 행정길이가 변하면 달라지므로 실제 공작물의 종류에 따라서 프레스 선

택시 주의하여야 한다. 하사점위 13 mm를 택한 이유는 중간 정도의 행정거리를 갖는 프레스에서는 대개의 경우 13 mm(약 1/2 inch)에서 토오크능력을 계산하기 때문이다.” Fig. 4는 각각의 프레스에서 크랭크핀에 작용하는 힘 F_{cra} , F_{lin} , F_{arc} 를 나타낸 것이고, 이는 세 개의 각기 다른 프레스가 같은 호칭능력을 발생시키기 위하여 필요한 크랭크핀에 전달되어야 할 접선력이다. 그림에서도 알 수 있듯이 작업구간에서의 접선력 중 곡선크랭크핀 가이드 구동부의 것이 가장 크다. 또한, 각각의 힘 F_{cra} , F_{lin} , F_{arc} 의 작용점으로부터 크랭크중심 또는 주기어중심까지의 거리를 알 수 있으므로 프레스의 토오크능력을 구할 수 있다. 호칭능력이 700톤 일 때 각 프레스의 토오크능력은 Table 1과 같다. Table 1에서 알 수 있듯이 곡

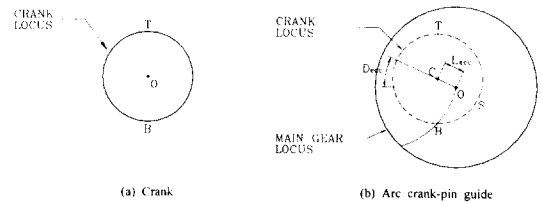


Fig. 3 Principle of the driving part

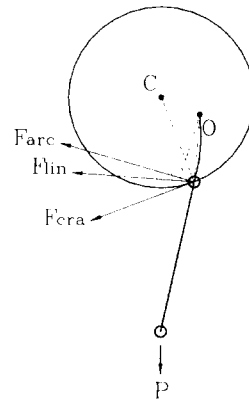


Fig. 4 Force characteristics for each drive

Table 1 Initial torque capacity for each press

	Crank	Niagara Link	SSangyong Linear Guide	Arc Guide
Torque Capacity($\text{tonf} \cdot \text{mm}$)	70093.78	63646.24	60101.86	65056.07

선가이드 프레세에서의 토오크능력은 같은 호칭능력을 갖는 크랭크 프레세보다 작으나 나이아가라링크 프레세나 직선가이드 프레세에서의 토오크능력보다는 약간 크다. 따라서, 곡선가이드 프레세의 전동계에서는 나이아가라링크 또는 직선가이드 프레세보다는 약간 큰 토오크전달 능력을 필요로 함을 알 수 있다.

슬라이드에 700톤의 가압력이 지속적으로 작용된다 가정하여 회전중심에 발생하는 토오크를 구하고, 이것에 대한 역으로 각 행정구간에서의 프레세 압력-행정선도를 구할 수 있다. 그 식은 다음과 같다.

$$P(\theta) = \frac{T_{a13}}{T_\theta} \times 700 \quad (1)$$

여기서 P 는 프레세의 가압능력이고, T_{a13} 은 슬라이드가 하사점위 13 mm에 위치할 때의 토오크능력, 그리고 T_θ 는 주기어가 θ 만큼 회전하였을 경우의 토오크이고, 700은 프레세의 최대가압능력(ton)이다.

3. 기구학적 특성 비교 프로그램

기계프레세의 기구학적 특성을 분석하기 위하여 본 논문에서는 자체적으로 개발된 SS-Plot 기구해석 프로그램을 이용하였다. 이 프로그램은 주기어와 크랭크의 중심이 일치하여 그 사이를 연결하여 주는 가이드가 없는 크랭크 프레세의 구동부에 대한 기구해석을 위하여 개발되었으나 후에 편심회전원판기구, 즉 주기어의 중심과 크랭크 중심이 일치하지 않고 일정한 편심길이와 편심각을 가지면서 가이드를 통하여 연결되어 있는 기구에 대하여도 분석할 수 있도록 확장되었다. 이 프로그램은 개인용컴퓨터의 윈도우상에서 작동되도록 되어있고, 전체는 세가지 모듈로 이루어져 있다. 먼저 입력모듈에서 주기어중심과 크랭크의 중심사이의 편심길이와 편심각, 슬라이드와 연결되어 있는 커넥팅로드의 길이 등 각각의 구성링크를 정의하고 슬라이드에 커넥팅로드가 여러개 연결된 기구에 대하여도 해석할 수 있도록 그 숫자를 입력하도록 하였다. 또한 프레세의 하중능력을 나타내는 공칭하중은 슬라이드가 하사점(BDC) 위 어느 위치에서 계산할 것인지 그 위치도 입력 모듈에서 지정 해 준다. 이 입력데이터를 이용하여 계산 모듈에서는 각각의 기구들에 대하여 주기어 회전각도에 따른 행정, 속도, 가속도 및 행정에 따른 하중용량을 계산하고 그 결과를 데이터 파일에 저장한다. 계산이 모두 끝나면 이 데이터를 후처리하는 모듈로 진행되며 이 모듈은

기구들의 운동궤적이 그려지는 루틴과 전체 행정에 대한 여러 가지 특성곡선을 그려주는 두가지 루틴으로 구성되어 있다. 먼저 운동 궤적을 그리는 루틴은 주기어의 회전각도에 따라서 링크의 위치가 그려지게 되며 실제 주기어의 회전각도 변화에 따른 링크의 운동을 그래픽 화면상에 동영상으로 보여줄 수 있다. 또한 일정한 각도 증분에 따르는 전체궤적을 함께 보여줌으로써 구동부가 차지하는 공간, 즉 기계프레세에서 필요한 링크구동부의 크기(너비와 높이)가 계산될 수 있으며 이것을 프레세 설계시 반영할 수 있다. 특성곡선을 그리는 루틴에서는 지정된 계산 결과값을 가지고 주기어 회전각에 따른 슬라이드의 행정곡선, 슬라이드속도 및 가속도 선도와 전체 행정에 대한 하중선도를 보여준다. Fig. 5는 SS-Plot의 응용 모습으로 이는 직선가이드 구동에서의 후처리 화면을 보여주고 있다.

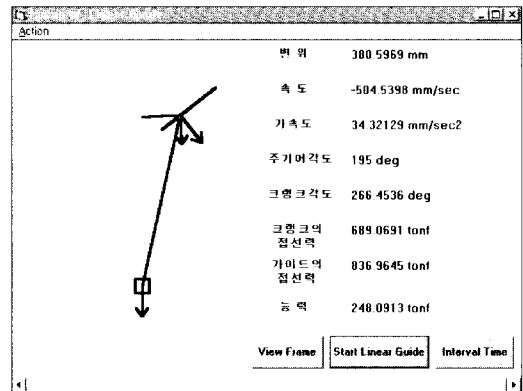


Fig. 5 Postprocessing window of SS-Plot

4. 각각의 프레세구동부에 대한 해석 및 비교

본 논문에서 비교하고자 하는 크랭크, (주)쌍용정공의 직선가이드 구동, 곡선가이드 구동 및 나이아가라링크 구동에 적용한 프레세에 대한 명세는 Table 2에 나와있고 각 링크의 길이는 Fig. 6에 나타내었다.

기계프레세의 크기는 대체로 구동부의 요동면적에 비례하며 그 크기는 프레세의 가격에 큰 영향을 주는 요소로서 본 논문에서는 각 프레세의 상대적적인 크기에 대하여 비교해 보았다. 전체 행정에 거쳐 각 프레세 구동부 링크들의 궤적을 Fig. 7에 나타내었다. 주기어 또는 크랭크의 회전각도 및 슬라이드의 위치를 입력데이터로 하여 SS-Plot에 의한 후처리를 통하여 각 링크의 위치들을 표현한 것이

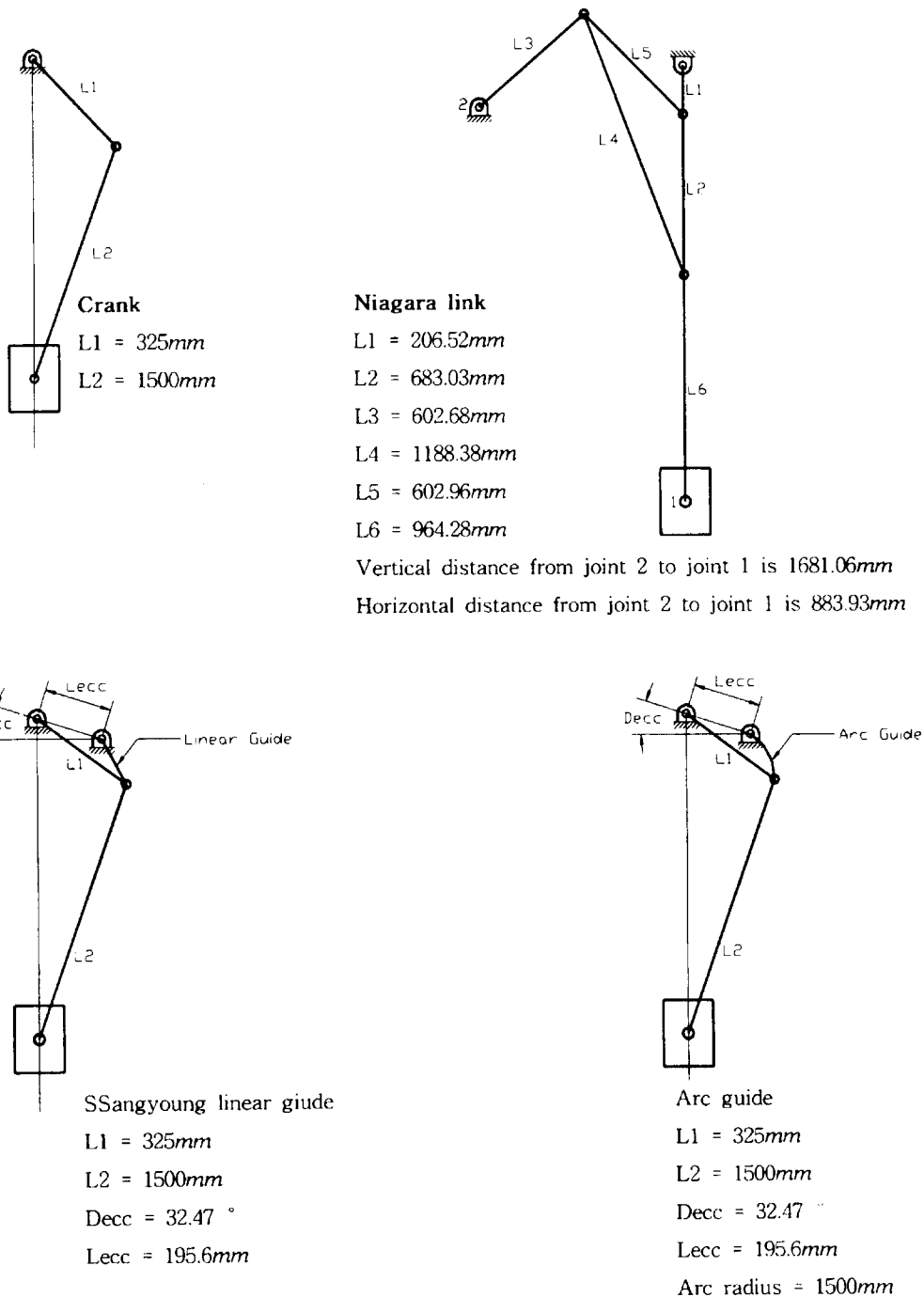


Fig. 6 Geometry of each presses

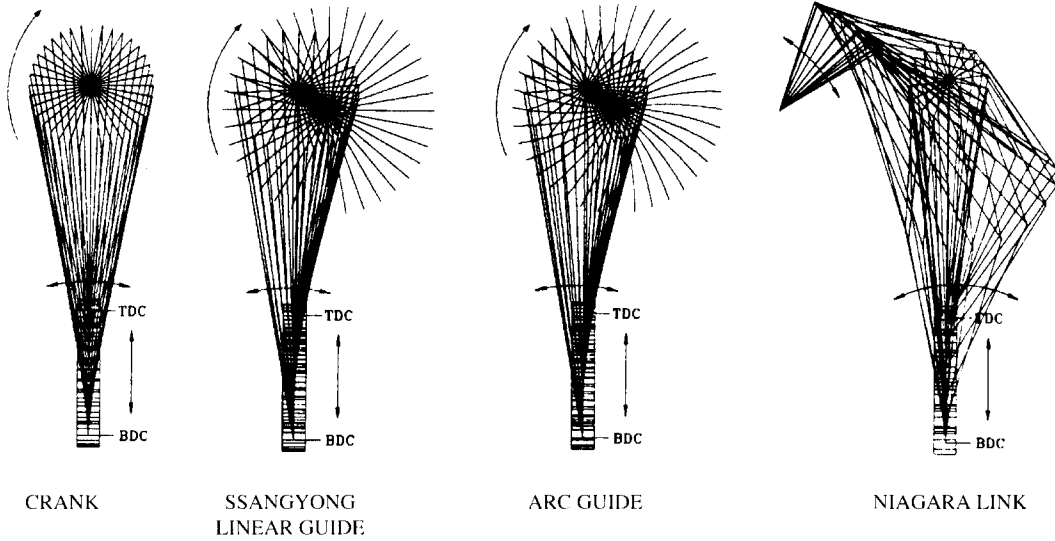


Fig. 7 Plot of the link positions with varying angles of the several presses

Table 2 Specification for each press

	Crank	Niagara Link	SSangyong Linear Guide	Arc Guide
Capacity(ton)	700	700	700	700
Stroke(mm)	650	650	650	650
Stroke per min.(spm)	20	20	20	20
Con. rod(mm)	1500	1500	1500	1500
Position of Nominal Load(mm)	13	13	13	13
Length of Eccentric(mm)	-	-	195.6	195.6
Angle of Eccentric(Degi)	-	-	32.47	32.47
Arc Radius(mm)	-	-	-	1500

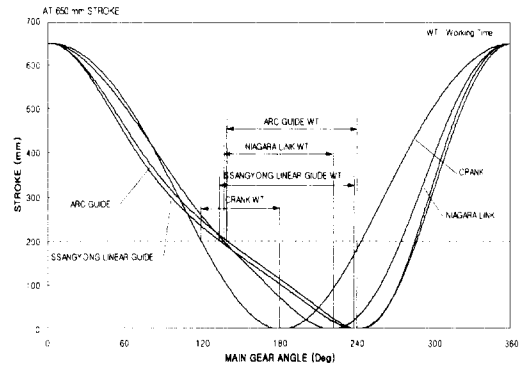


Fig. 8 Relationships between main gear angle and stroke

다. 그림을 통해서도 알 수 있듯이 직선 및 곡선가이드 구동부의 요동면적은 니아가라링크에 비하여 상대적으로 작으나, 크랭크 프레스의 구동부 보다는 큰 것을 알 수 있다. 그러나 링크기구를 구동부로 이용한 프레스는 디프드로잉가공 또는 압출가공 등 특수한 가공을 목적으로 사용되므로, 크랭크 프레스 구동부와의 가격적인 비교는 큰 의미를 갖지 못한다.

Fig. 8은 슬라이드의 행정과 주기여 회전각도 사이의 관계를 나타내며, 그림으로부터 크랭크 구동(하사점에서 주기여 각이 180°)을 제외하고는 행정거리 특성이 비대칭임을 알 수 있다. 일반적으로 디프드로잉 작업시 프레스의 최대 작업구간은 전체 행정의 1/3 정도로 본 논문에서

는 전체 행정이 650 mm이므로 작업구간의 시작은 하사점 위 약 200 mm 부터 이다. 그림에서도 알 수 있는 바와 같이 크랭크 구동을 이용한 프레스는 작업행정구간에서 전체 싸이클시간의 17% 정도를 사용하게 되며, 싸이클시간의 83% 정도는 아이들 시간(idle time)으로 소모한다. 또한 니아가라링크 구동을 이용한 프레스는 아이들시간이 전체행정에서 77%를 차지하고 있다. 이것은 직선가이드 구동과 곡선가이드 구동부의 아이들시간인 70%에 비해서 훨씬 긴 시간이 실제 작업과 관련 없이 사용된 것을 나타낸다. 이러한 점은 같은 속도의 슬라이드 속도로 가공을 하게 될 경우 직선가이드 구동과 곡선가이드

드의 구동을 이용한 프레스의 생산성이 나머지 두 가지 방법에 의한 프레스 보다 높다는 것을 의미한다.

Fig. 9는 분당행정수(SPM : stroke per minute)가 20일 때의 슬라이드 속도와 주기어 회전각도 사이의 관계를 나타낸다. 작업구간에서 각 구동방식을 이용한 프레스의 최대와 최소 속도차는 대략 크랭크 구동이 661 mm/sec, 나이가라링크 구동이 376 mm/sec 이고, 직선 및 곡선가이드 구동은 각각 268 mm/sec와 266 mm/sec 이다. 이것으로부터 곡선가이드, 직선가이드, 나이가라링크, 크랭크 구동의 차례로 작업구간에서의 속도가 상대적으로 일정함을 알 수 있다. 또한 직선 및 곡선 가이드에 의한 구동방법에서 슬라이드가 공작물에 접촉하는 순간의 속도는 각각 268.85 mm/sec 와 266.7 mm/sec 로 크랭크 구동과 나이가라링크 구동의 속도인 661.18 mm/sec 과 376.16 mm/sec 보다 낮다. 이러한 속도 성능으로 인하여 직선 및 곡선가이드를 구동부로 갖는 프레스는 작업구간에서 슬라이드 속도가 낮고 디프트로잉 작업에 특히 유리함을 알 수 있다.

Fig. 10은 각각의 프레스에서 디프트로잉의 제한속도에서의 분당행정수 및 속도선도를 나타낸다. 앞에서 언급했듯이 분당행정수가 클수록 생산속도가 빨라진다. 하지만, 디프트로잉 작업시에는 슬라이드 속도가 지나치게 빠르면 재료가 끊어져 드로잉이 되지 않기 때문에 주의가 필요하다. 디프트로잉의 제한 속도는 종래 18 m/min 로 말하여지고 있으나, 최근에 와서는 프레스 기계의 정밀도, 가공재의 재질, 윤활제 및 금형설계의 개량 진보에 의해 25~30 m/min로 옮겨가고 있다.¹⁾ 그림에서 작업행정구간인 하사점위 200mm에서 슬라이드의 속도가 30 m/min일 경우 크랭크, 나이가라링크, (주)쌍용정공의 직선가이드 및 곡선가이드프레스의 분당행정수를 나타낸 것이다. 그림에서 속도가 음의 값을 갖는 것은 슬라이드가 하강할 경우의 값이기 때문이다. 그림에서도 알 수 있듯이 크랭크와 나이가라링크인 경우 작업행정구간에서 30 m/min의 슬라이드 속도를 갖기 위해서는 분당행정수가 각각 15 spm과 26 spm이어야 하며 (주)쌍용정공의 직선가이드와 곡선가이드는 37 spm인 것을 알 수 있다. 이것으로부터 직선가이드와 곡선가이드는 나이가라링크 보다는 약 1.4배, 크랭크 보다는 약 2.5배 정도의 빠른 작업이 가능하다는 것을 알 수 있다. 그러므로 생산성 역시 크랭크와 나이가라링크 보다 높음을 알 수 있다.

Fig. 11은 슬라이드의 가속도와 주기어 회전각도 사이의 관계를 나타낸다. 나이가라링크와 크랭크구동에서는

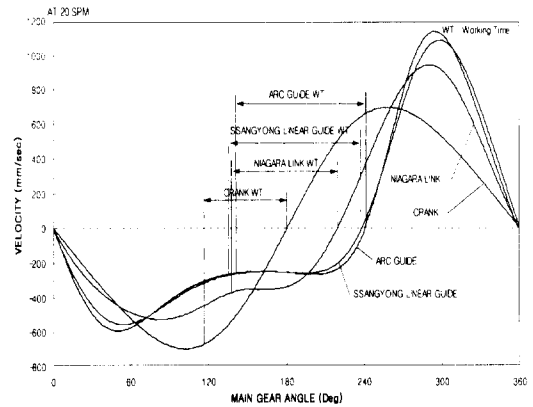


Fig. 9 Relationships between main gear angle and slide velocity

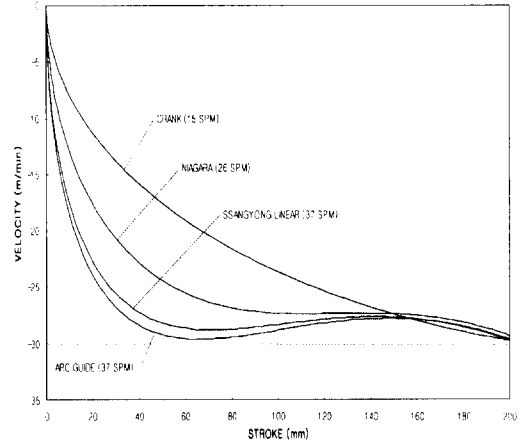


Fig. 10 Relationships between stroke and slide velocity

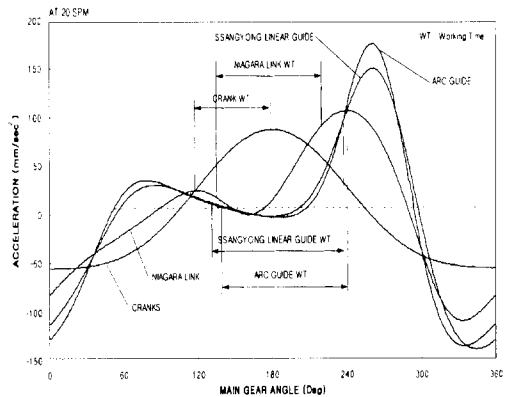


Fig. 11 Relationships between main gear angle and slide acceleration

작업행정구간 내에서 높은 슬라이드 가속도를 갖는다. 특히 크랭크구동은 다른 세가지 구동법에 비해서 작업구간에서 상당히 높은 가속도를 갖는데 이는 박판의 성형시 재료의 파손을 일으킬 가능성이 높다. 반면 (주)쌍용정공의 직선가이드와 곡선가이드는 다른 구동법에 비해 비교적 낮은 가속도 특성을 갖는 것을 알 수 있다.

Fig. 12는 각각의 구동방법에 대한 하중과 행정사이의 관계와 디프트로잉 작업시 가능한 소재의 크기를 도식적으로 나타낸다. 공칭압력(nominal load) 또는 호칭능력은 대개 하사점위 13 mm 부분에서 지정되며 이는 프레임을 강도를 위한 설계의 기준이 된다. 이것은 주로 극동(주로 한국과 일본)에서의 호칭능력 기준이며, American Joint Industry Conference¹⁵⁾가 정한 기준에 따르면 호칭능력의 발생점은 0.25 inch 또는 0.5 inch가 되기도 한다(주로 구미지역 기준). 본 논문에서 주기어의 토오크 능력은 하사점위 13 mm 부분에서 가압능력이 700톤이 되도록 계산하였다. 그림에서 보는 바와 같이 곡선가이드 구동법의 가압능력은 전체 행정 동안 다른 구동법의 경우보다 크며 일례로 작업행정구간의 시작 지점인 하사점상 200 mm 부근에서 (주)쌍용정공의 직선가이드 구동부에 의한 가압능력에 비해서 대략 10% 가량 높게 나타난다. 능력점에서의 토오크능력은 곡선가이드구동법에서 직선가이드구동법보다 약 8% 정도 크지만 가압능력에서 10% 가량 성능이 향상되었으므로 프레스의 능력면에서 직선가이드구동법 보다 더 우수한 구동법임을 알 수 있다. 이는 현재 사용중인 다른 기계프레스들 중에서도 가장 좋은 하중-행정특성으로서, 곡선가이드에 의한 구동법의 가장 큰 장점이라 할 수 있다.

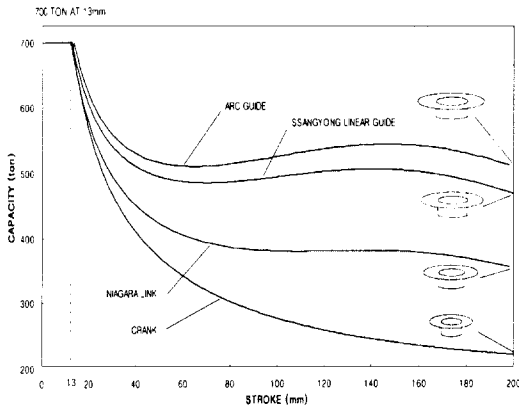


Fig. 12 Relationships between forming load capacity and stroke

디프트로잉 작업의 경우 작업의 시작 위치인 하사점상 200 mm 지점에서 하중-행정특성을 고려할 때 프레임강도가 같은 각기 다른 프레스에서 가공 가능한 공작물의 블랭크 크기는 상당한 차이가 있음을 알 수 있다. 극한인장강도(UTS : ultimate tensile strength)가 185Mpa이고, 두께가 20 mm 이며 소재와 펀치의 직경비가 2인 금속을 각 구동방법을 채택한 프레스에서 디프트로잉 작업을 할 경우 소재의 지름은 대략 크랭크 287mm, 니아가라 링크 457mm, 직선과 곡선가이드 구동은 각각 607mm 과 660 mm 이다.¹⁶⁾

각기 다른 구동방법의 차이에 따른 기계효율(Mechanical Advantage)¹⁷⁾은 에너지의 손실이 없다는 가정하에 계산될 수 있다. 즉, 에너지의 손실이 없으므로 각 구동부를 작동시키는데 소요되는 에너지와 최종적으로 공작물에 작용하는 가압 에너지와의 차이는 없다. 그러므로 다음과 같이 식 (2)가 성립된다.

$$dE_{input} = dE_{output} \quad (2)$$

여기서 dE_{input} 은 구동부를 돌리는데 소요되는 에너지의 증분이고, dE_{output} 은 가압시 에너지의 증분값이다. 식 (2)는 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$M d\alpha = F dh \quad (3a)$$

즉,

$$\frac{F}{M} = \frac{d\alpha}{dh} \quad (3b)$$

여기서 h 는 슬라이드 행정의 증분, α 는 주기어 회전각(라디안 값)의 증분, M 은 구동부의 토오크를 나타내고, 마지막으로 F 는 슬라이드의 가압력을 나타낸다. 식 (3b)의 좌우 항에 전체행정거리 H 를 곱하면 식 (4)와 같이 쓸 수 있다.

$$\frac{FH}{M} = \frac{H}{dh} d\alpha \quad (4)$$

여기서 FHM 이 기계효율(Mechanical Advantage)를 나타내며 이는 무차원화된 값이다. 각 구동부의 작업구간에서 기계효율의 평균은 크랭크 프레스가 3.411, 니아가라 링크가 3.919 이고 직선 및 곡선가이드 구동이 각각

4.464와 4.472를 나타낸다. 이것으로부터 기계효율의 관점에서 곡선가이드 구동이 그밖의 다른 구동방식에 비해서 우수함을 알 수 있다.

Fig. 13은 전체행정 거리가 650 mm인 프레스에서 디프드로잉 작업의 시작 위치인 하사점 위 200 mm에서 곡선가이드 프레스의 가압력과 같은 값을 갖도록 앞서 나온 Fig. 12에서의 직선가이드 프레스, 나이아가라링크 프레스 및 크랭크 프레스의 가압력을 수직이동 시킨 것이다. 기계프레스의 경우 슬라이드의 가압력은 프레스 상단부에 위치한 플라이휠의 회전력으로부터 나오게 된다. 그러므로 최대 가압력이 커질수록 플라이휠의 크기도 상대적으로 증가하게 된다. Fig. 13에서 하사점 위 200 mm에서 곡선가이드프레스의 가압력과 같은 값의 가압능력을 갖기 위해서는 직선가이드 프레스를 비롯한 나이아가라링크 프레스, 크랭크 프레스는 Fig. 12에서의 값보다 대략 41톤, 153톤, 288톤 씩 그 값이 증가하였음을 알 수 있다. 그러므로 그에 해당하는 토오크능력을 갖기 위해서 플라이휠의 크기가 증가하여야 한다. 프레스에서는 플라이휠의 크기가 프레스 전체 크기에 큰 영향을 주는 요소임을 감안하면 상대적으로 프레스의 크기도 증가하며 구동부의 강성도(특히, 비틀림 강성) 커져야 함을 알 수 있다. 이러한 경우 프레스의 토오크능력의 크기는 크랭크 프레스, 나이아가라링크 프레스, 직선가이드 프레스, 곡선가이드 프레스의 순서로 정하여진다. 또한 능력점의 위치도 13 mm, 15 mm, 23 mm, 41 mm로 높아짐을 알 수 있다.

Table 3은 각기 다른 구동부를 가지고 있는 프레스의 구동부에 대한 분석결과를 표로 나타낸 것이다. 첫 번째로 작업시간은 프레스의 생산성과 밀접한 관계를 가지고 있는 요소이다. 표에서 알 수 있듯이 크랭크 및 나이아가라링크 구동부의 작업시간은 직선 및 곡선가이드 구동부를 채택한 프레스에 비해 그 작업시간이 현저히 떨어짐을 알 수 있다. 이것으로 직선 및 곡선가이드 구동부를 이용한 프레스의 생산성이 더 높음을 알 수 있다. 두 번째 가압시 작위치에서의 속도 및 작업구간에서의 속도, 가속도는 프레스작업시 소재의 여러 가지 변형에 영향을 주는 요소이며 이같은 값들에서도 직선, 곡선의 가이드를 채택한 구동부가 더 유리함을 알 수 있다. 또한 이 두가지 구동법 중에서 곡선가이드구동법이 가압시작 위치에서 더 작은 토오크값에도 불구하고 가압능력에서는 오히려 10% 가량 더 큰 값을 가지는 것을 알 수 있다. 프레스의 크기는 크랭크 프레스의 크기를 기준으로 하여 상대적인 크기를 나타낸 것이다.

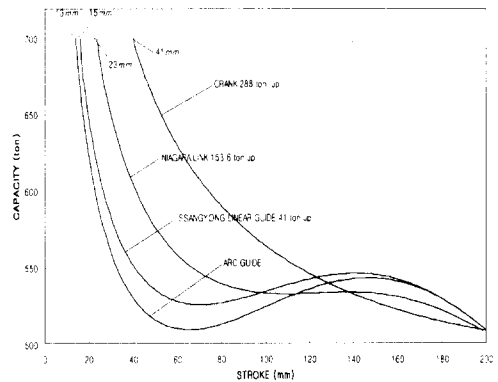


Fig. 13 Nominal position comparison for each press

Table 3 Summary of the characteristics for each press

	Crank	Niagara Link	SSangyong Linear Guide	Arc Guide
Working Time(Dex)	63	85	106	104
Velocity at 200mm (mm/sec)	(-) 661.18	(-) 376.16	(-) 268.85	(-) 266.7
Ave. Vel.(mm/Sec)	(-) 381.08	(-) 284.07	(-) 225.47	(-) 233.27
Ave. Acc (mm/sec ²)	65.03	28.15	16.48	16.14
Torque Capacity at 200mm(tonf·mm)	221372.74	126182.20	89683.10	89486.11
Size(%)	100	262	177	177

5. 결 론

곡선가이드 구동법이라는 새로운 구동방법을 다른 기계 프레스(크랭크 프레스, 나이아가라링크 프레스, 직선가이드 프레스)들의 구동방법에 대하여 기구학적 비교분석을 하였다. 그 결과 새로운 구동방법은 기존의 프레스들 보다 작업시간(또는 생산성), 슬라이드 속도 및 가압능력 등의 특성이 향상되었고 특히, 가압능력에서의 특성은 같은 프레임 강도일 경우 더 큰 공작물의 성형을 가능하게 할 것이다. 앞에서 언급하였듯 기계프레스의 크기는 대체로 구동부의 요동면적에 비례하며 그 크기는 프레스의 가격에 큰 영향을 주는 요소이다. 본 논문에서 소개된 구동법은 구동부의 요동면적이 다른 기계프레스와 비교하여 상대적으로 그 크기가 작고 또한 원리가 비교적 단순하여 앞으로 기계프레스 제작에 채택한다면 저렴한 제작비용과 기계프레스의 특징인 유지보수의 간편한 잇점을 갖게 된다. 일반적으로 특수한 용도의 기계프레스 제작에는 링크기구를 이용한 구동방법이 사용되어 왔으나 본 논문에서 소개된 새로운 구동방법은 기구가 단순하여 편심길이 및 편심각

도 만을 조절하면 간단히 그 요구를 만족시킬 수 있으며, 복잡한 링크기구를 사용할 경우 생길 수 있는 교차충격에 의한 전동계의 무리를 피할 수 있다. 앞으로 이 새로운 구동법의 편심위치 변화에 따른 기구학적 특성을 분석 및 종합하여 앞에서 언급하였던 여러 가지 프레스 가공(예를 들면 전단, 굽힘, 드로잉 등의 가공)에 적합한 편심각 및 편심위치를 선정할 수 있을 것이다.

후 기

본 논문은 인하대학교 및 (주)쌍용정공의 연구비지원에 의하여 수행되었음을 밝힙니다.

참고문헌

- (1) W. P. Lee, 1996, "Press Engineering", Korea Industrial Information Center, pp. 451 ~ 452.
- (2) S. Yossifon, and R. Shivpuri, 1993, "Optimization of a double knuckle linkagedrive with constant mechanical advantage for mechanical presses", Int. J. Mach. Tools Manufact., Vol. 33. No.2, pp.193 ~ 208, Pergamon Press.
- (3) S. Yossifon, and R. Shivpuri, 1993, "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, Pergamon Press.
- (4) S. Yossifon, and R. Shivpuri, and T. Altan, 1990, The AC Servo-Motor Drive Double Toggle Press : Mechanism Analysis and Optimization, Rept. No. ERC/NSM-B-S-90-33. Engineering Research Center for Net Shape Manufacturing, The Ohio State University, October.
- (5) J. M. Kim. and S. H. Kang, 1993, "Linkless Link Motion Press", SSSTR-TC-93-12, Technical Report, SSangyong Precision Co., LTD., Korea.
- (6) Niagara Machine and Tool Work, Link Driven

- Press Catalog, Bulletin 51, Buffalo, N.Y., U.S.A., 1988.
- (7) B. B. Hwang, Patent pending, Korea, 1995.
- (8) B. B. Hwang, H. S. Oh. and H. Y. Lee, 1996, "A driving mechanism of the press for deep drawing and forging", Advanced Manufacturing Processes, Systems, and Technologies(AMPST 96), pp. 685 ~ 694.
- (9) G. A. Na, 1989, "Press Handbook", Electro-mechanics Co., Korea, pp. 159 ~ 176.
- (10) A. W. Duffill, and P. B. Mellor. 1969, "A comparison between the conventional and hydrostatic methods of cold extrusion through conical dies," annals of C. I. R. P., Vol. 17.
- (11) Metals Handbook, Vol. 4, pp. 175, 8th edition.
- (12) B. B. Hwang, 1995, "A Study on the Development of Driving Mechanism for Deep Drawing Press," Inha University, R.I.S.T., pp. 141 ~ 147.
- (13) B. B. Hwang, S. H. Kang, and J. M. Kim, 1994, "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.
- (14) E. W. Bliss Company, 1971, Press Division, Bliss General Catalog Powerbar Press, pp. 31, Grand Rapid, Michigan.
- (15) E. Hamilton, 1960, "Power Presses, Their Design and Characteristics," Sheet Metal Industries, Vol. 37, pp. 501 ~ 513.
- (16) Serope Kalpakjian, 1984, "Manufacturing Process for Engineering Materials", 2nd Edition, Addison-Wesley Publishing Company, pp. 387 ~ 396.
- (17) S. Yossifon, and R. Shivpuri, 1993, "Analysis and comparison of selected rotary linkage drives for mechanical presses", Int. J. Mach. Tools Manufact., Vol. 33. No.2, pp.175 ~ 192, pergamon press.