

대형 고속프레스 플런저 구조와 동적 하시점 변위량에 대한 연구

김승수¹ · 윤재웅[†]

공주대학교 테크노융합대학원¹,
공주대학교 금형설계공학과[†]

A study on the Large High Speed Press Plunger Structure and Dynamic Bottom Dead Center Displacement

Seung-Soo Kim¹ · Chun-Kyu Lee[†]

Kongju National University Graduate School of Techno Convergence¹,
Department of Metal Mold Design Engineering, Kongju National University[†]

(Received December 01, 2022 / Revised December 27, 2022 / Accepted December 31, 2022)

Abstract: The EV electric vehicle market is growing rapidly worldwide. An electric vehicle means a vehicle that uses energy charged through an electricity source as power. The precision of the press is important to mass-produce the drive motor, which is a key component of the electric vehicle. The size of the driving motor is increasing, and The size of the mold is also growing. In this study, the precision of large high-speed presses for mass production of driving motors was measured. A study was conducted on the measurement method of press and the analysis of measurement data. A drive motor is a component that transmits power by converting electrical energy into kinetic energy. EV driven motors have key material properties to improve efficiency. The material properties are the thickness of the material. As a method for improving performance, use a 0.2mm thin steel sheet. Mold is also becoming larger. As the mold grows, the size of the high-speed press for mass production of the driving motor is also increasing. Also, the precision of the press is the most important because it uses a thin iron plate material. So the importance of large press precision is being emphasized. In this study, the effect of large high-speed press structure on precision was verified

Key Words: Drive motor, Dynamic-elastic deformation, high-speed press. high speed press machine. Material, Progressive Die, Traction motor

1. 서론

자동차 산업이 내연기관에서 친환경 전기차로 전환 되고 있다. 전 세계 자동차의 플랫폼과 제조 트렌드가 바뀌에 따라 중소기업의 제조 역량과 제조 플랫폼에 맞추어 부품 생산 기반이 친환경 전기차

의 환경으로 바뀌는 과도기이다. 전기차 제조 역량을 강화함에 따라 제조기반의 밑바탕의 될 수 있는 자동차 부품의 경우 부품 하나, 하나의 정밀한 부품을 요구하고 전기차, 수소차 등 자동차가 최신모델로 변경할 때마다 자동차 내부의 조립품들은 가공 수준의 품질을 요구하는 실정이다.¹⁾ 친환경 전기차의 경우 여러 가지 형태의 부품이 적용된다. 특성 및 성능에 따라 전기차의 부품은 고효율 및 정밀한 부품이 사용되므로 그에 부합하는 새로운 설비의 특성 및 정밀도도 한층 높아야 하는 문제점과 전기

1.Kongju National University Graduate School of Techno Convergence

[†] Corresponding Author: Department of Metal Mold Design Engineering, kongju National University
E-mail: yun.jw@kongju.ac.kr

차의 부품의 크기와 제조 능력 향상을 위한 기반 시설의 특성도 알아야 제조의 능력을 향상시킬 수 있다. 이와 관련하여 자동차에 조립되는 모터 코어를 생산 제조하는 공정의 프레스(press)의 정밀도와 금형의 정밀도를 국내 전반의 제조공정들이 최신의 설비로 제조 양산을 준비하고 있으며, 현재 전기자동차의 특성을 고려하여 와이드형 고속프레스의 설비도 대형화되고, 제조공장에서는 기능 및 정밀도에 맞는 설비를 구매하거나 정밀도 및 정도를 측정하는 데이터와 검증된 설비를 확인하는 방법을 찾고 있다. 관련하여 본 논문에서는 각 제조사의 구조적 특성을 고려한 설비의 문제점 및 정도를 측정하는 방식과 데이터를 축적하여 금형 개발을 할 수 있는 방식을 실험하였다.

Kim은 동적 탄성 변형 해석을 통한 고속 프레스 정밀도 분석¹⁾을 통하여 고속 프레스는 작동 속도 증가에 따라 슬라이드의 반복위치 정밀도가 저하되고 프레스 구조 부품의 파손 위험성이 증가한다고 하였으며, 이러한 문제점을 해결하기 위하여 동적 탄성 변형을 유한요소 해석과 실험을 통하여 분석하였다.^{1,2)}

본 연구에서는 프레스의 속도에 따른 하사점의 변위량을 분석뿐만 아니라 프레스 하중에 따른 하사점 변위량의 변화를 분석하고 변화되는 구조적 특성을 예측하였다. 또한, 대형 금형의 파워 분산을 위해 프레스와 파워능력치를 확인하여 개발 금형 적용시 프레스 능력에 대한 영향을 실험및분석을 통하여 연구하였다.

2. 실험 방법

2.1 실험측정방식

고속프레스의 일반적인 측정방식은 정적 정도 검사와 동적 정도 검사 2종류의 검사로 진행된다. 정적 정도 검사는 평행도 측정(Parallelism inspection), 직각도 측정 (Squareness inspection), 일반적인 프레스(press) 측정방식이며, 동적 정도 검사는 하사점 변위량 측정(Inspection of bottom dead center displacement) 2가지의 측정이 대표적인 측정방식이다. 동적 정도 검사의 경우 전문적 설비를 가지고 측정하는 방식이고, 프레스를 작동하여 실질적인 동적 정도를 측정하는 방식이라고 볼 수 있다.³⁾

Fig. 1은 일반적인 측정인 평행도 측정과 직각도

측정을 나타낸 것이다. 평행도 측정은 프레스 볼스터(press bolster) 위에 다이얼게이지를 이용하여 프레스 슬라이드 (press slide)의 평행도를 측정하는 방식이며 프레스 슬라이드의 하사점과 상사점에서 평행도를 측정한다. 직각도 측정은 프레스 볼스터에 직각자를 위치하여 프레스 슬라이드 위에 마그넷 자석을 부착한 다이얼게이지를 활용하여 직각자와 다이얼게이지의 Y축 길이 방향으로 접촉하여 프레스 1 행정을 진행하고 상하 직각도를 측정하는 방식이다.³⁾

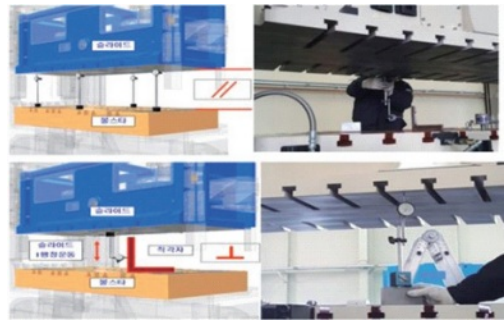


Fig. 1 Press Parallelism & Squareness inspection

본 연구에서는 위와 같이 일반적인 측정방식이 아닌 동적 정도 검사인 프레스 능력 측정(Load cell measurement), 하사점 변위량 측정을 가지고 와이드 타입 프레스 (wide type press)의 정도를 측정하였다.

프레스 능력 측정은 프레스 볼스터에 프레스 파워를 측정할 수 있는 로드셀(Load cell) 장비 3개를 분산 배치하였다.

프레스 볼스터에 분산한 목적은 프레스 크기에 따라 X축의 좌측·중심부·우측의 동일한 힘을 가하여 동일한 힘이 편차를 측정하고 적용되는지를 검증한다. 이 장비는 금형을 셋팅한 것과 같은 동일한 조건으로 프레스 힘을 적용하고 프레스의 능력을 측정하는 장비이다.

하사점 변위량 측정은 프레스의 동적으로 가동하여 프레스 슬라이드가 정위치 보다 X축, Y축으로 변동되는 현상을 측정하는 장비이다.

마그네틱 치구를 6포인트에 배치하여 지그의 상측 근접센서를 적용하여 프레스 상측 슬라이드의 간격을 1 mm 정도의 근접센서 위치를 설정하여 프레스 슬라이드 상하 반복량을 측정하여 정위치의 변화량을 측정하는 방식이다.

Fig. 2는 측정 위치를 설정한 상태를 나타내었다. 측정 위치는 프레스의 좌측, 우측과 중심의 하사점 변위량을 플랜저의 수량에 맞추어 프레스의 힘을 단계별 적용하였을 때, 하사점 변위량을 확인하기 위한 위치이다.

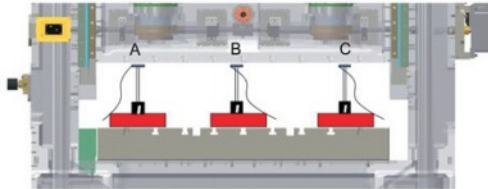


Fig. 2 Bottom dead point displacement measurement position

실험에서는 위 센서의 위치와 플랜저의 구조 및 수량에 따라 하사점 변위량의 치수 및 프레스 힘의 동일하게 적용되었을 때, 프레스의 역량과 변화량의 상관 관계를 측정을 하는 목적으로, 이 실험을 적용하였다. 이 2가지 실험을 동시에 테스트 하기 위해 하사점 변위량 센서와 프레스 능력 시험의 장비인 로드셀(Load cell)를 동시에 적용하기 위해서 2가지 장비를 동시에 배치하였다.

Fig 3은 2가지 장비의 위치와 동시에 측정할 수 있게 적용하였다.

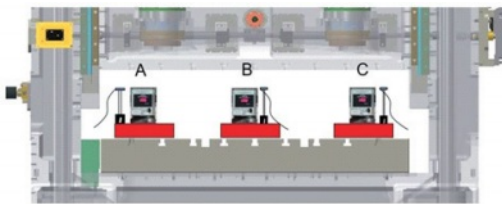


Fig. 3 Bottom dead point displacement measurement & Load cell measurement position

2.2 실험측정항목 및 조건

실험을 진행하기 위해 프레스 능력 (press power) 을 단계별로 적용하였을 때, 하사점 변위량의 변화량을 측정할 수 있고, 플랜저의 수량 및 구조에 의해 치수량을 확인하고 금형을 적용하였을 때 문제점을 예상할 수 있다,

실험측정 항목 및 조건은 Table 1과 Table 2에 조건을 정리하여 실험하였다. Table 1은 플랜저의 수량 기준으로 프레스 2가지 모델을 선정하여 사양을

비교하였고 플랜저 외 다른 조건은 동일한 사양으로 테스트 진행하였다.

Table. 1 Press Specification Comparison

Specification	Unit	Specification Comparison	
Model	mm	EV	MSP
Plunger	EA	2	4
Press Power	ton	300	300
Die Height	mm	650	630
Bolster Size	mm	3700*1000	3700*1000
Product Material	Roll	Electric Steel	Electric Steel
Material Thickness	mm	0.2	0.2

MSP : multiple suspension high speed press

Table 2는 테스트시 항목에 대한 조건이다. 측정 항목은 전체적인 프레스 공차인 토탈 클리어런스 (Total Clearance) A.B.C 위치에 단계별로 15 Ton의 프레스 하중으로 측정하고, 프레스 능력 측정은 150, 180, 270 Ton의 하중을 적용하여 측정하였다.

하사점 변위량 측정은 시간당 10,000 Cycle 동적 변위량을 측정하였다.

Table. 2 Test Items and Conditions

Measurement item	Unit	Measurement method	Test Specifications	
			Category	Condition
Total Clearance	mm	Load cell displacement	Press Power (Load cell step by step)	15Ton
Inspection of bottom dead center displacement & Load cell displacement	Per Hour	Plunger 2Type & 4Type Same conditions	bottom dead center displacement	10,000 Cycle
				1 Cycle

3 실험 및 결과

3.1 프레스 총합 틈새 측정

프레스 총합 틈새 (Total Clearance)는 여러 방식의 측정 방법이 있지만, 이번 실험 테스트의 총합 틈새는 프레스 능력 시험의 장비인 로드셀(Load cell)을 이용하여 A.B.C 위치에 단계별로 프레스 힘을 적용하여 힘을 넣은 위치와 힘을 넣지 않은 위치의 동적 하중의 틈새의 치수 차이로 판단 및 프레스

총합 틈새(Total Clearance)를 실험하였다.



Fig. 4 Installation of press test equipment

Fig 4는 총합 틈새(Total Clearance), 프레스 능력 측정(Load cell measurement), 하사점 변위량 측정을 시험하기 위해 시험 장비를 설치하였다.

Table. 3 Total clearance measurement data

NO	Press Power Plunger	A (15Ton)		B (15Ton)		C (15Ton)		Total Clearance (mm)	
		2	4	2	4	2	4	2	4
Press Center	B	0.52	0.45	0.54	0.42	0.54	0.43	0.58	0.45
	A	0.58	0.45	0.25	0.2	0.26	0.21		
	C	0.24	0.21	0.25	0.2	0.57	0.31		

Table 3은 총합 틈새(Total Clearance)를 측정한 데이터이다. Fig 4와 같이 프레스 플런저 2개, 4개 2타입 사양으로 테스트를 진행하였고, B위치(중앙), A(좌측), C(우측) 순서대로 15 Ton 씩 순차적으로 프레스 힘을 적용하였다.

시험결과 플런저 4개 총합 틈새 0.45 mm, 플런저 2개 총합 틈새 0.58 mm 결과가 고찰되었으며, 플런저 4개 타입이 총합 틈새가 더 좋은 결과가 검증되었다.

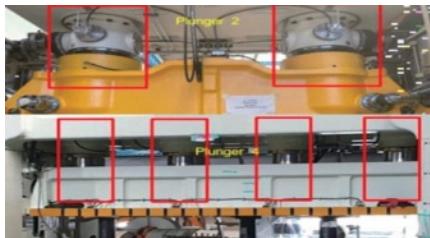


Fig. 4 Press plunger structure and type

3.2 프레스 능력 및 하사점 변위량 측정

프레스정적 정도 검사도 중요하지만 가동하는 정적 정도 검사와 하사점 변위량 측정은 대형고속프레스에서는 중요한 항목이다. Table 4는 프레스 능

력 시험과 하사점 변위량 시험을 동시에 하므로 써 금형이 설치되었다는 가정 하에 대형 고속프레스의 동적 정밀도를 해석할 수 있다.

Table. 4 Load cell & Inspection of bottom dead center displacement measurement data

NO	Load cell			300ton Plunger 2 ton	Inspection of bottom dead center displacement CENTER
	A	B	C		
517	99	56	108	263	0.48
	95	65	104	264	0.47
	91	74	100	265	0.46
517.05	83	82	93	258	0.45
517.1	79	80	88	247	0.44
517.15	76	79	85	240	0.43
517.2	69	78	78	225	0.34
517.2	73	67	82	222	0.43
517.25	70	67	79	216	0.34
517.3	72	48	80	200	0.09
517.3	93	48	100	241	0.09
517.4	70	43	45	158	0.07
517.45	66	40	42	148	0.06
517.5	62	39	37	138	0.06
517.55	58	37	36	131	0.06
517.6	53	34	34	121	0.05
517.65	50	32	31	113	0.04
517.7	46	30	28	104	0.03
517.75	42	28	26	96	0.03
517.8	39	26	24	89	0.02
517.85	32	24	22	78	0.01
517.9	32	21	19	72	0

Table 4의 결과 플런저 2개 타입의 경우 158 Ton 로드셀 시험에서 A.B.C 위치에 같은 하중으로 프레스 힘을 적용하였을 때, B.C의 프레스 힘이 정상적으로 적용되지 못하는 현상이 발생 되었고, 하사점 변위량은 0.07 mm 양호하였다. 216 Ton으로 프레스 힘을 적용하였을 때는 로드셀 시험은 A.B.C 위치에서 동일한 힘이 적용되었으나, 하사점 변위량이 0.34 mm의 변형량이 발생하였다. 최종 263 Ton 프레스 힘을 적용했을 때의 결과치로 슬라이드(slide) 중간 B 구간에서 프레스의 힘이 정상적으로 작동하지 못하고 그 구간은 플런저 없는 구간에서 변형이 발생하였다. 또한, 하사점 변위량은 0.48 mm로 나타났으며, B 구간의 변형되는 구간을 치수로 검

증되었다.

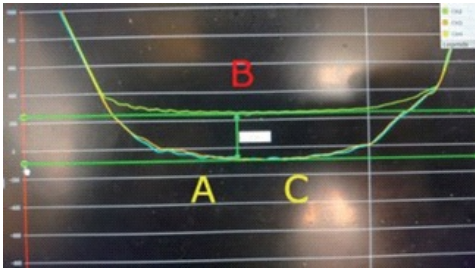


Fig. 5 "B" position Inspection of bottom dead center displacement

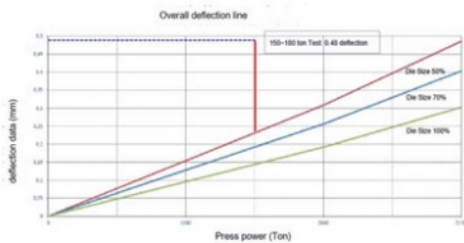


Fig. 6 Overall deflection line

실험으로 플랜저 2개 프레스의 경우 금형이 설치되었을 때 현상을 프레스 힘과 하사점 변위량으로 분석하여 보면, Fig 6과 같이 금형의 크기별로 프레스 힘과 변형량을 적용하고, 실험을 통한 Table 5 데이터를 적용하였을 때 프레스 하중이 약 150 Ton이 적용 후 프레스의 힘은 저하 되고, 약 260 Ton의 힘을 적용했을 때는 Fig 5와 같이 B 구간이 0.48 mm 정도 변형이 되었다.

결과로 보면 플랜저 2개의 프레스의 경우 300 Ton 프레스 정격 능력인데도 불구하고, 프레스의 하사점 변위량 및 변형으로 인해 금형 생산시 프레스 변형 및 트러블이 발생할 것으로 예상할 수 있다.

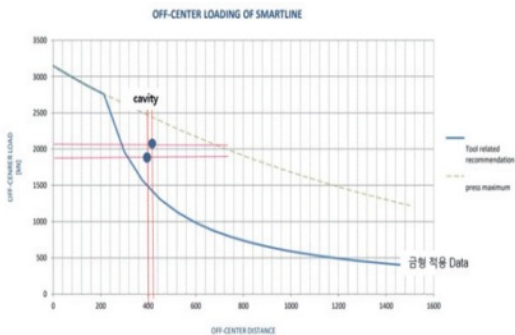


Fig. 7 Off-center loading of smart line

Fig 7은 금형의 파워 센터(power center)의 하중이 편심 되었을 때, 프레스의 힘과의 상관관계를 나타내는 그래프이다. 분석결과 대형금형 파워 센터 편심량이 증대되었을 때 프레스의 힘은 저하되는 것으로 판단 및 예상할 수 있다.



Fig. 8 Plunger 4 type test

Fig 8은 플랜저 4개 프레스 타입을 플랜저 2개 타입의 테스트와 동일한 방법으로 실험을 진행하였다. 플랜저 4개 타입의 경우 프레스 하중이 안정적으로 분산이 되어 플랜저 2개 타입의 구조적 문제점이 나타나지 않았다.

Fig 9는 플랜저 4개 구조의 하사점 변위량 측정 그래프이며, A.B.C 구간에 로드셀과 동시에 플랜저 2개 구조와 동일하게 프레스 하중을 적용하여 진행 하였으며 안정적인 그래프가 형성되었다.

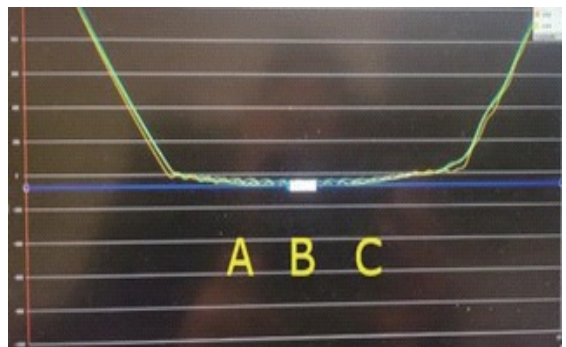


Fig. 9 plunger 4type Inspection of bottom dead center displacement

Table 5은 플랜저 2개와 4개 타입의 실험 비교 데이터를 나타내었다.

F

Table. 5 plunger 2 Type and 4 Type Data Comparison

Unit	Measurement method	Test Specifications		Experimental results (mm)	
		Category	Condition	Plunger 2ea	Plunger 4ea
mm	Load cell displacement	Press Power	15Ton	0.58	0.45
Hour	Plunger 2 Type & 4Type Same conditions	bottom dead center displacement	10,000 Cycle	0.02	0.02
1Cycle	Load cell 3ea, Proximity sensor 3ea	Press Power (Load cell total)	150Ton	0.081	0.052
			180Ton	0.407	0.057
			270Ton	0.480	0.073

4. 결론

대형 고속프레스 플런저(plunger) 2개와 4개 타입의 동적 정도 시험을 시행하였다. 프레스(press)에 단계적 부하를 적용한 상태에서 구조적 차이에 대한 변형 및 정도 검사 실험을 통하여 연구한 결과 다음과 같은 결론을 얻게 되었다.

(1) 프레스 능력 측정(Load cell measurement)과 하사점 변위량 측정(Inspection of bottom dead center displacement)을 동시 측정하여 결과 도출한 결과 프레스 총합 틈새 (Total Clearance)측정값은 플런저(plunger) 2개 타입 0.58 mm, 4개 타입 0.45 mm로 플런저 2개 타입이 정밀도가 높은 것으로 판단되었다.

(2) 프레스 능력 측정과 하사점 변위량 측정을 동시 측정하였을 경우 플런저 2개 타입은 정격하중의 300 Ton 이하 270 Ton에서 0.48 mm의 변형량이 측정되었고, 플런저 4개 타입은 0.073 mm 이하로 동적 정도 검사에서 차이점을 알 수 있었다.

본 연구에서는 대형 고속프레스의 플런저 2개 타입의 경우 슬라이드(slide)의 구조적 보강과 베드 (bed) 및 볼스터(bolster) 구조적 보강을 개선해야 정밀도의 향상이 개선될 수 있다는 것을 검증하였으며, 근본적으로 플런저 4개 타입의 구조로 제작을 하여야 정밀도의 영향 및 변형은 최소화될 것으로 판단할 수 있었다.

참고문헌

- 1) Seung-Soo Kim, Yang-Jin Kim, Bon-Bin Goo, Wan-Sub Kim, Chun-Kyu Lee. "A study on the embossing Height displacement of high speed press bottom point accordance", journal of the korea society of die&mold engineering 10th V2, pp. 29~33, 2016.
- 2) Heung kyu Kim, Chul Jae Jung, chong cho "Dynamic-elastic deformation analysis for precise design of high speed press machine",Transactions of the korean Society of mechanical engineers A, v.38 no.1, 2014, pp.79-88
- 3) Chun-Kyu Lee, Seung-Soo Kim, Min Lee, Jae-Woong Yun "A study of the influence of high speed press bottom dead center displacement and fluctuation on motor core products" Journal of the Brazilian Society of mechanical Sciences and engineering, v.42, 16, 2020.

저자소개

김 승 수 (Seung-Soo Kim)

[학생회원]



- 1998년 11월~2001년 12월
(주)한국코아 연구소 금형
- 2003년 5월~2005년 5월
(주)에이텍솔루션 press 금형
- 2005년 12월~현재: (주)BMC
R&D 금형센터 상무이사
- 2022년 11월~현재 : 공주대학교
광공학금형공학과 박사과정

< 관심분야 >

프레스 성형 및 금형

윤 재 응 (Jae-Woong Yun)

[종신회원]



- 2005년 2월: 독일 하노버대학 기계공학부 프레스성형과(공학박사)
- 2005년 8월~2013년 1월 :
LG전자 금형기술센터장
- 2013년 2월~2018년 8월 :
OPS-INGERSOLL KOREA
대표이사
- 2018년 8월~현재 : 공주대학교
금형설계공학과 교수
- 2018년 8월~현재 : 공주대학교
글로벌금형기술연구소 임원

< 관심분야 >

프레스 성형 및 금형