

금형블록에 장착된 압조센서를 활용한 다단 냉간단조 공정의 모니터링 및 분석

강성목^{1,#} · 강기주² · 염승록³ · 이광희⁴ · 김진용⁵

Monitoring and Analysis on Die Loads in Multi-stage Cold Forging Process Using Piezo-Sensors

S. M. Kang, K. J. Kang, S. R. Yeom, K. H. Lee, J. Y. Kim

(Received November 02, 2021 / Revised January 17, 2022 / Accepted January 17, 2022)

Abstract

In multi-stage cold forging process, to enhance the productivity and product quality, in-site process monitoring technique by implanting sensors such as piezo-sensor and acoustic emission sensor has been continuously studied. For accurate analysis of the process, the selection of appropriate sensors and implantation positions are very important. Until now, in a multi-state forging machine, wedge parts located at the end of punch-set are used but it is difficult to analyze minute changes in die block-set. In this study, we also implanted sensors to the die part (die spacer) and compared signals from both sensors and found that sensing signals from die part showed enhanced process monitoring results.

Keywords: Cold Forming Process, Piezo Sensors, In-Situ Monitoring, Tool Fracture, Die Block

1. 서 론

냉간 단조(Cold Forging)는 상온에서 금형 등으로 압력을 가해 소성 변형시킴으로써 원하는 형상의 제품을 만드는 기술이다. 냉간 단조로 성형된 제품은 단류선이 연속적이고 조직이 치밀해 주조 기술로 제조된 제품보다 강도가 뛰어나고, 비교적 높은 치수 정밀도와 부드러운 표면의 제품 제작이 가능하다[1~3].

그러나 밀폐된 공간 속에서 소재성형이 이루어짐에 따라 공정 진행 중에 매우 높은 성형하중이 발생하게 되고, 이로 인해 갑작스런 금형 공구의 파손 등이 발생할 수 있다. 또한 단일 공정으로 원하는

형상을 얻기 어려운 경우에는 다단 단조공정(Multi-Stage Cold Forging)을 사용하게 되는데 이 경우 각각의 단계에서의 공정표준 범위에서의 작업진행 및 후속 단계로의 소재의 정확한 이송이 매우 중요하며, 공정표준 범위를 벗어남으로써 트러블의 발생시 제품의 품질이슈 및 생산성 저하의 주요 문제점이 되고 있다.

위와 같은 이슈를 해결하고자 유한요소 해석을 통해 공정별 성형하중의 예측을 통해 특정 공정에 응력이 집중되지 않도록 분산설계를 적용하는 방법 등이 꾸준히 진행되어 왔다. 그리고 응력분포 및 응력 집중부를 계산하고, 금형 소재의 피로수명 값의 실험을 통해(소재의 S-N curve 분석) 금형의 피로 수명을 예측하는 연구들도 보고되고 있다[4~6].

한편 최근에는 압조센서(Piezo-Sensor) 등의 센서를 활용하여 공정중의 성형하중을 실시간으로 측정하고 이를 기반으로 공정을 모니터링하는 방법이 많이 연구되고 있다[7,8]. 실제 작업현장에서는 금형의

1. ㈜풍강 기술개발1팀(기술연구소), 차장
2. ㈜풍강 기술개발1팀(기술연구소), 과장
3. ㈜풍강 기술개발1팀(기술연구소), 대리
4. ㈜풍강 기술개발1팀(기술연구소), 전무이사
5. ㈜풍강 대표이사

Corresponding Author : Technical Institute, PUNGKANG Co., Ltd.
E-mail: smollkang@pungkang.co.kr ORCID : 0000-0002-1841-8160

유통상태, 소재의 Lot 별 차이, 작업 셋팅조건의 미세한 변화 등 복잡·다양한 인자들로 인해 해석과는 다소 차이를 보이는 경우가 발생하게 되는데, 작업 진행 중에 실시간 측정을 통해 공정 및 금형 공구의 이상현상을 보다 정교하게 분석할 수 있기 때문이다. 측정 데이터를 기반으로 공정현황을 분석하고 공정/금형공구의 이상징후를 모니터링하기 위해서는 각각의 설비에 적합한 최적의 센서종류의 선택 및 센서 장착 위치의 결정이 매우 중요하다. 기존의 냉간 다단단조 설비는 센서 장착의 용이성 및 현장사용의 편의성(내구성 확보를 통한 교체 최소화 등)을 고려하여 펀치부의 가장 뒤쪽에 자리하고 있는데 웨지(Wedge)부품에 주로 센서를 장착하여 사용하고 있는데 웨지부품의 경우 금형과는 상대적으로 먼 거리에 위치하고 있고, 다단 단조설비의 경우 웨지부품의 상하 이동으로 단조 스트로크 범위를 조정하는 방식이기 때문에 금형부의 정교한 하중측정은 다소 어려움이 있었다.

본 연구에서는 금형부에서 발생하는 공정변화 및 금형공구 이상현상을 보다 정확하게 분석하기 위하여 압조센서의 장착 위치를 기존 웨지부품 이외에 금형 바로 뒷편에 위치하는 금형 스페이서(Spacer)에 추가로 설치하였다. 금형 스페이서 및 펀치 웨지 각각 센서의 측정 하중을 비교 분석하였고 실시간 공정모니터링의 가능한 범위를 평가하였다.

2. 실험 방법

2.1 대상 제품

본 연구의 대상 제품은 자동차용 휠 너트로 선정하였는데, 휠너트는 자동차의 대표적인 안전부품이며 높은 치수정밀도가 요구되는 단조품이다(Fig. 1).



Fig. 1. Wheel nut for automotive

자동차용 휠너트 제품의 제조는 냉간 다단단조 공정을 통해 진행되는데, 와이어 소재의 공급을 시작으로 여러 단계의 단조공정이 하나의 설비에서 연속적으로 진행된다. Fig. 2 에 휠너트 단조공정의 성형과정을 도시하였는데, 제품의 주요 형상의 성형이 이루어지는 #3 단의 공정에서 금형 파손이 자주 발생하여, 본 연구는 #3 단의 금형부 및 펀치부에 각각 장착된 센서를 중심으로 공정 모니터링을 진행하였다.

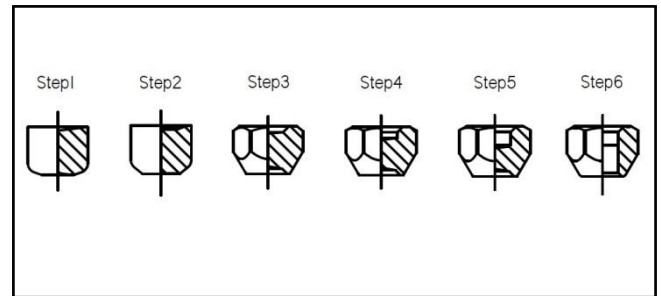
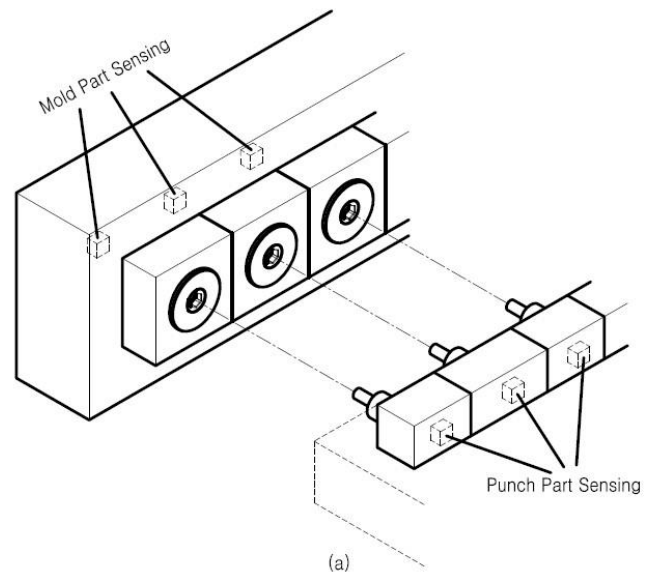


Fig. 2. Wheel nut manufacturing process

2.1.1 센싱 장치의 구성 및 데이터 분석 방법

Fig. 3 에 본 연구에서 진행한 장치의 센서 장착 위치를 도시하였다. 기존의 펀치블록은 펀치 끝단에서 스트로크 웨지 330mm 위치에 장착 되었고, 금형 스페이서는 금형과 스페이서 접촉부에서 25mm 위치에 설치되었으며 반영구적으로 사용되는 부품이기 때문에 금형부의 성형하중을 측정하는데 최적의 위치로 판단하였다.



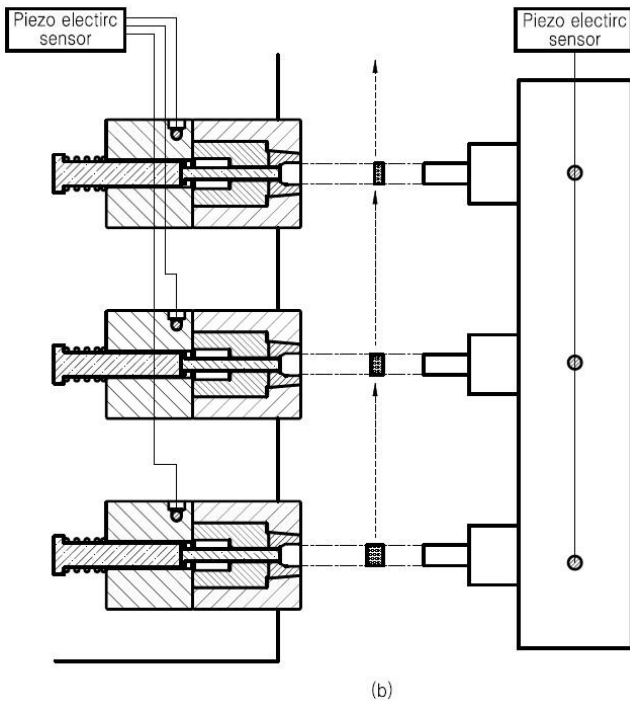


Fig. 3. The schematic diagrams of sensor positions for punch-set and die-set respectively

한편 공정모니터링은 3-view 사의 압조센서(PES-825) 및 MV880i 모니터링 시스템을 활용하여 진행하였는데(Fig. 4), 설비가 가동되어 작업이 진행되면 센서에서 공정 과정중의 성형하중이 측정되고, 감지된 하중의 전기 신호를 모니터링 화면에 전송하여 신호파형의 이상 유·무를 판단하게 된다.

Fig. 5 에 실제 공정 중에 진행되는 모니터링 과정의 예를 도시하였다. 사전에 학습 및 설정된 성형하중 곡선의 형태 및 허용오차 범위 기준을 설정하고 작업이 진행될 때 각 타수별 측정 데이터가 기준범위 내의 경우는 양품으로, 기준범위를 벗어나는 경우에는 불량으로 판단하게 된다.

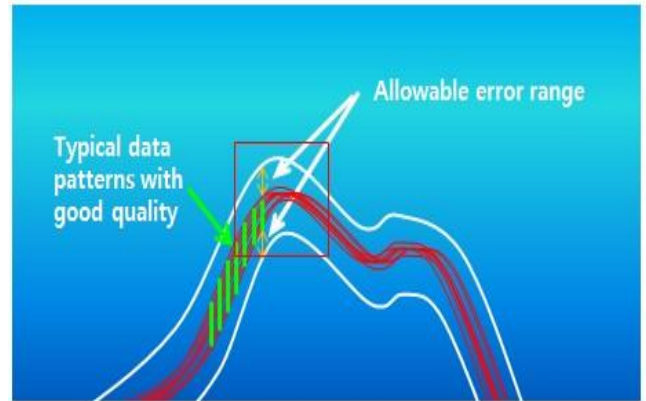


Fig. 5. A typical example of process monitoring graph

3. 결과 및 고찰

작업 진행 중 공구 등의 파손 및 공정 이상에 의한 불량 감지는 이상의 형태 및 공구파손 정도에 따라 1)펀치부에서 검출된 경우 2)금형부에서 검출된 경우 3)펀치부/금형부에서 모두 검출 되지 않는 경우로 구분할 수 있었는데, 각각의 결과에 대해 고찰하였다.

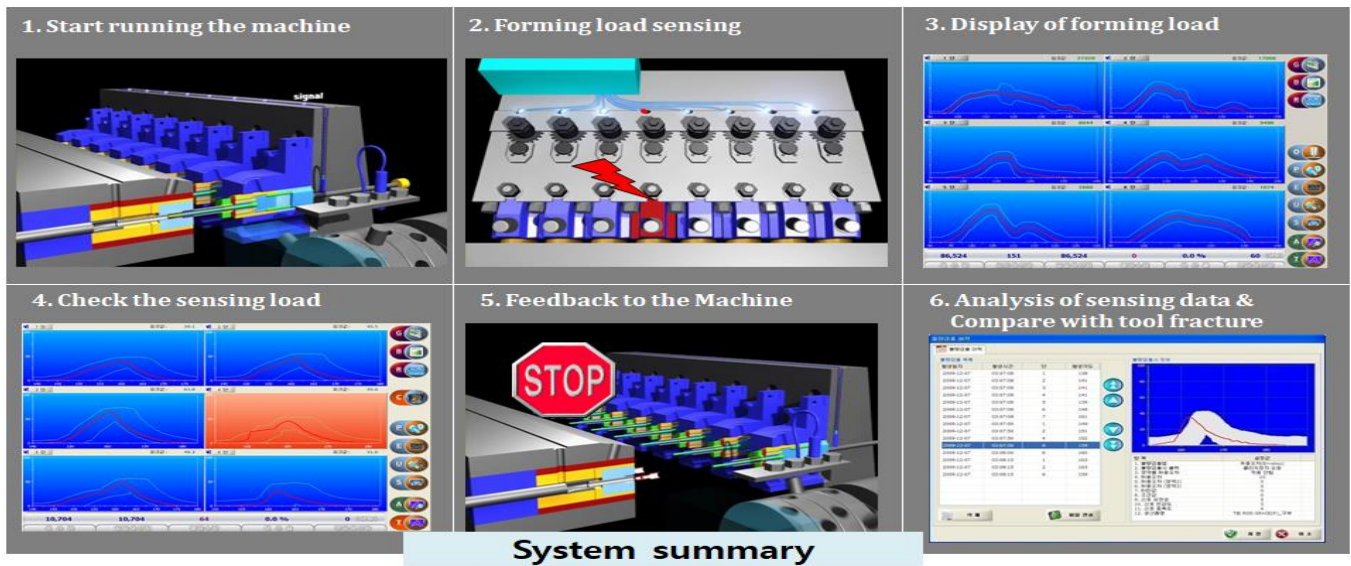


Fig. 4. The procedure of in-situ process monitoring

3.1 펀치부에서 검출된 경우

생산중 펀치 파손의 정도가 심하고, 공정 이상발생시에는 펀치부에서 1 차 검출되었고, 이러한 경우는 해당 단계에서의 소재 성형도 정상적으로 진행되지 않아 다음 단계에서도 불량으로 이어지는 경우가 대부분이었다. 다음의 두 사례는 펀치블럭에 설치된 압조 센서의 검출 사례이다.

(1) 펀치 파손에 의한 공정이상 검출사례

Fig. 6의 경우 단조 공정 중 제일 많이 발생하는 펀치 파손 사례이며, 펀치 파손으로 정상적인 성형하중이 전달되지 않은 경우로, 모니터링상에서도 기준범위 대비 훨씬 낮은 수준의 하중 값을 보이고 있다.

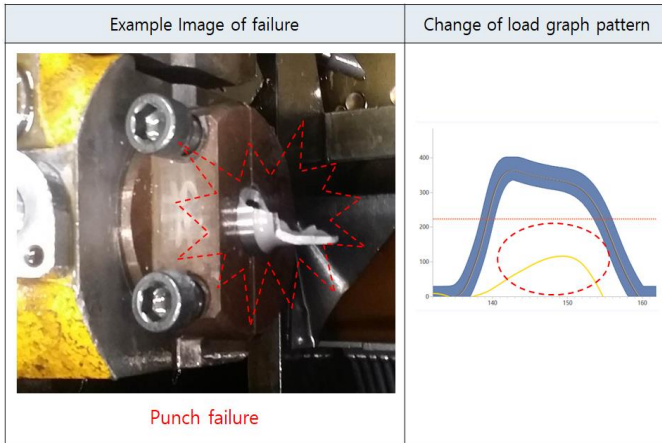


Fig. 6. Process monitoring example graph from punch-set (case-1)

(2) 소재의 비정상 안착에 의한 공정이상 검출사례

다단 냉간단조 공정은 각 단별 펀치가 공정 이송장치인 집게(Transfer Finger)에 안착된 제품을 펀치가 금형에 밀어 성형하는 공정으로 이루어진다.

Fig. 7의 경우 고속(분당 50~400)으로 생산되는 다단 냉간단조 공정 이송과정에서 소재가 집게(Transfer Finger)에 정상적으로 안착되지 않은 상태로 금형에서 성형이 진행되어 초기 하중이 상대적으로 증가하면서 상한치를 벗어난 경우이다. 이러한 경우 제품의 형상 불량과 더불어 공구파손도 동반하는 경우가 대부분이며 만약 모니터링 미검출시 큰 고장으로 이어질 수 있는 고장 형태이다.

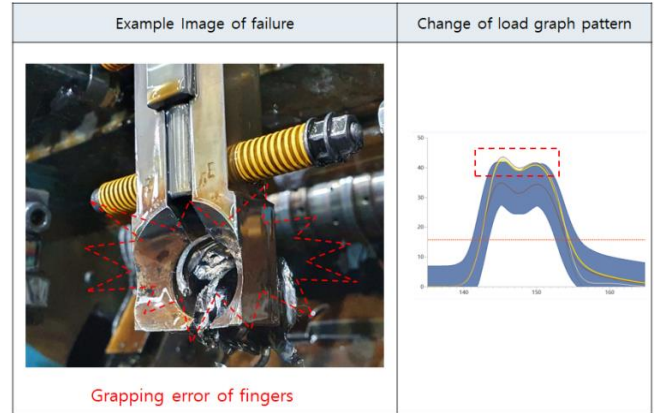


Fig. 7. Process monitoring example graph from punch-set (case-2)

3.2 금형부에서 검출된 경우

금형부 스페서에 장착한 센서를 통해서도 공정이상 및 금형 파손의 수준이 상대적으로 작은 경우에도 검출할 수 있었는데, 기존 펀치 블록에서는 검출하지 못한 경우이다. 특히 금형 내부에서 발생하는 이상현상에 대해서도 이번 실험을 통해 검출할 수 있었다.

(1) 금형 파손에 의한 공정이상 검출사례

Fig. 8의 경우 금형소재의 부분 파손이 발생한 경우로 이와 같은 경우에는 기존 펀치 블록에서는 검출되지 않았고, 금형부에 설치한 센서에서 검출되었다.

금형부 하중 모니터링 그래프에서 초반부의 수치가 기준 대비 하한치 이하로 벗어나는 형태로 검출되었다.

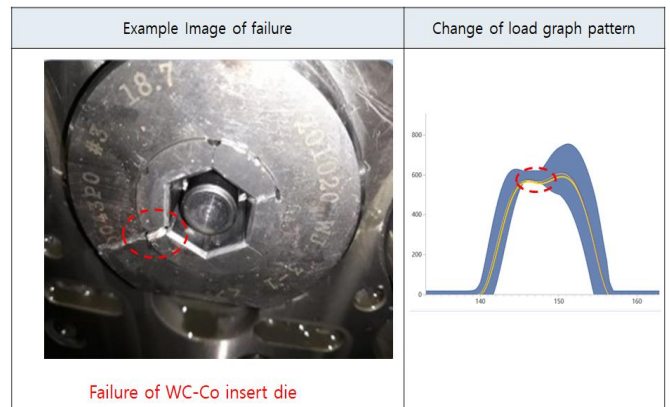


Fig. 8. Process monitoring example graph from die-set (case-3)

(2) 전 단계에서 발생한 이상성형의 검출사례

Fig. 9의 사례는 #1 공정단계에서 소재가 이상 성형된(소재 진입시 편심으로 인해 기울어진 형태로 성형이 진행)상태에서 #3단계 금형부로 진입시 센서에서 검출된 사례이다.집게(TransferFinger)에서 금형 진입시 미세한 깎임이나 기울어져 들어가는 경우는 기존 펀치블럭에서는 검출되지 않았으나 이번 실험을 통해 금형부에 검출 할수 있었다.

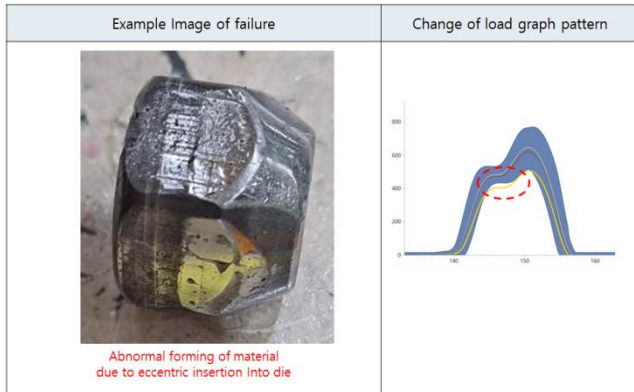


Fig. 9. Process monitoring example graph from die-set (case-4)

3.3 펀치부/금형부 모두 검출되지 않은 경우

Fig. 10은 펀치부 및 금형부에서 모두 검출되지 않은 사례이다. 이러한 경우는 휠너트 제품의 테이퍼부를 형성하는 금형 바닥부에서 미세한 크랙의 발생 및 초경소재의 칩핑이 조금씩 진행되는 경우인데, 상기와 같은 파손의 경우에는 금형부에 설치한 압조센서에서도 하중값의 변화가 상대적으로 미세하여(초기 설정한 기준범위 내에 위치)검출이 불가능한 것으로 판단된다.

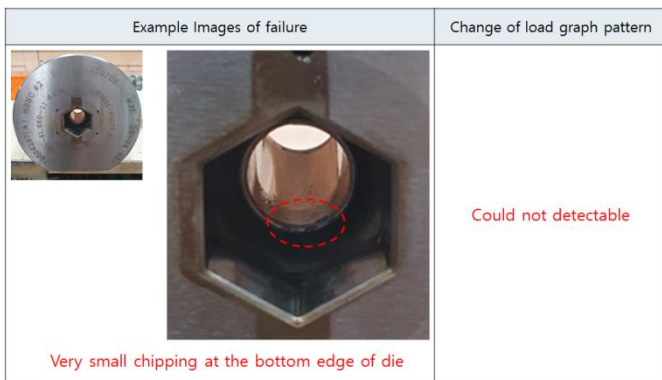


Fig. 10. Process monitoring example not detected on both(punch-set and die-set) sensors (case-5)

상기의 경우 공정 모니터링의 허용오차 범위를 설정할 때, 오차 범위의 폭을 훨씬 적게 함으로써 공정 이상을 감지할 수 있었는데, 그 경우에는 측정 민감도가 너무 높아서 작업장 내의 다양한 외부 진동에 의해서도 불량으로 감지되어 현실적으로 적용하는데 한계가 있음을 확인했다.

향후 국부적으로 발생하는 미세한 공정이상에 대해서 음향센서(Acoustic Emission sensor)등을 적용하여 평가를 진행할 계획이다.

4. 결론

본 연구에서는 다단 냉간단조 공정의 보다 정밀한 모니터링을 위하여 기존의 주로 사용하던 펀치부와 함께 금형부에도 추가로 압조센서를 장착함으로써 작업 중 발생하는 공정이상 및 금형파손 부분에 대해 보다 정교한 모니터링을 진행할 수 있었다.

금형단에 센서를 장착한 경우 금형 내부에서 발생한 소재의 이상성형 및 금형부에서 발생하는 공구 파손에 대해 보다 정교하게 감지할 수 있었다.

한편 금형단의 센서에서도 금형의 아주 미세한 파손에 의한 공정이상 부분은 감지할 수 없었는데, 이 부분은 향후 음향센서 등을 활용해서 추가로 분석할 계획이다.

후 기

본 연구는 산업통상자원부의 2019 년 산업소재핵심기술개발-첨단뿌리기술(과제 번호: 20003950) 사업의 지원을 받아 수행된 연구입니다.

REFERENCES

- [1] The Engineering Committee Division II, Small Products Industrial Fasteners Institute, 1984, Cold formed parts yield impressive cost benefits, Manufacturing Eng., pp.43~48
- [2] T. j. Drozda, 1983, Money saving innovation in automatic forming, Manufacturing Eng.,pp.32~39
- [3] N. Shojiro, 1984, Accurately forged parts by modern super-multistate parts former, Metal working Eng. Marketing, pp. 98~100
- [4] K. H. Jung, 2018, Development of WC-Die Fatigue

- life Prediction Method in Cold Forging, Forging Symposium, Kor. Soc. Tech. Plast. pp139~152
- [5] I. W. Kwon, K. H. Jung, Y. H. Seo, S. J. Lee and S. D. Choi, 2017.11, A Development of fatigue life prediction technique of cold forging die, Proc. Kor. Soc. Tech. Plast. Conf. pp75
- [6] K. H. Ann, H. Y. Cho, S. J. Heo and J. H. Kang, 2019, A Study on the Cold Forging Die Design for the Adapter of Automobile Engine Mount considering Tool Service Life, J. Korean Soc. Precis. Eng., Vol. 36, No. 12, pp1107~1115
<https://doi.org/10.7736/kspe.2019.36.12.1107>
- [7] S. Y. Kim, 2018.05, Visualization of Manufacturing Process Using Bolt Type Piezo-sensor, Proc. Kor. Soc. Tech. Plast. Conf. pp24~25
- [8] Y. H. Seo, 2021. 30(4), A Study on Improving the Precision of Quantitative Prediction of Cold Forging Die Life Cycle Through Real Time Forging Load Measurement, Trans. Mater. Process. pp172~178
<http://dx.doi.org/10.5228/KSTP.2021.30.4.172>