

프레스 딥 드로잉 가공 시 플랜지부의 마찰진동 측정에 관한 기초연구

윤재웅^{1,2,*}

국립공주대학교 디지털융합금형공학과의^{1,*}
국립공주대학교 글로벌금형기술연구소²

A study on measuring friction vibration in flange area during deep drawing process

Jae-Woong Yun^{1,2,*}

Department of Digital Convergence Metal Mold Engineering, Kongju National University^{1,*}

Global Mould Technology Research Institute, Kongju National University²

(Received December 9, 2023 / Revised December 20, 2023 / Accepted December 31, 2023)

Abstract: In this study, it was studied whether a new measurement factor “frictional vibration” that occurs due to the material flow of the die and sheet metal in the flange area during deep drawing process, could be measured using a vibration sensor. The blank holder force acting on the flange area during drawing processing acts as a friction force in the opposite direction into which the sheet material flows and causes friction vibration. As the blank holder force increases, the friction force increases, and as the blank holder force decreases, the friction force also decreases. Because of this, friction vibration also increases and decreases in proportion to the size of the blank holder force. According to this theory, whether frictional vibration occurs was measured using a flange simulator and a vibration sensor. The initial pressure was created using a torque wrench, and it was confirmed that the amplitude increased by about 4 times when torque 6 Nm was increased. When the forming velocity was rapidly changed to 300 mm/min, the amplitude increased approximately 4 times. It was confirmed that the amplitude of frictional vibration according to the measurement location was greater the further away from the specimen. It was verified that a new measurement factor “friction vibration” in the flange area can be measured and used for online monitoring.

Key Words: Sheet metal forming, Deep drawing, Process control, Sensor

1. 서론

현재 프레스 가공은 경량화와 원가절감에 대한 노력이 지속해서 이루어지고 있다. 경량화를 위해 고강도 철판 및 알루미늄 등 신소재의 사용이 증가하고 있다. 원가절감을 위한 방법 중 금형비 절감을 위해 점점 여러 개의 부품을 통합하여 1개의 금형으로 만들고 있다. 이로 인해 금형의 형상이 점점 복잡해지고 불량률을 증가시키는 원인이 된다. 특히 자동차의 측벽(Side wall) 부품같이 형상이 복잡한

대형 프레스 부품은 불량 시 손실 비용이 크기 때문에 개발단계 시 안정된 공정설계와 양산시 온라인 성형공정 모니터링을 통한 불량률 감소에 대한 노력이 필요하다.

4차 산업 시대에 프레스기술도 IT와 융합된 스마트화가 가속화되어야 한다. 센서를 활용한 온라인 프레스 성형공정 모니터링을 통한 빅데이터 구축, 이를 기반으로 한 AI 기술이 지속적으로 연구되어야 한다. 프레스 분야에서도 다양한 센서를 사용하여 다양한 인자값을 측정하는 연구가 많이 진행되었다. Bräunlich¹⁾는 레이저 삼각 측량을 사용해 플랜지부의 끝의 판재의 흐름을 측정했다. Fig. 1에서 보는 바와 같이 플랜지 끝 부위에서 반사된 레이저 광은 광 수신기에 의해 수신되는 원리를 이용해 플랜지

† 교신저자: yun.jw@kongju.ac.kr

* 본 논문에 대한 저작권은 저자들에게 있으며 CC BY-NC-SA를 만족하는 조건으로 이용할 수 있습니다.

끝의 현재 위치의 거리를 검출해 판재의 흐름을 측정했다.

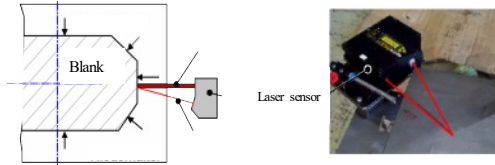


Fig. 1 Measuring with laser sensor at end of blank

Forstmann²⁾은 비접촉 유도코일 측정기를 사용해 센서 사이에 판재가 있을 시와 없을 시의 유도전압의 변화를 감지해 판재의 흐름을 측정하였다. Fig.2에서 보는 바와 같이 센서는 발진 및 수신기 코일로 구성된다. 교류 전압 U_1 과 발진 코일의 전원 공급 장치로, 수신 코일에서 발생하는 교류 펄드는 자기장 세기에 따라 전압 U_M 을 유도한다. 유도전압의 진폭이 판재 에지 부의 위치에 따라 수신기 코일의 전압량을 측정해 판재의 흐름을 측정하는 방법이다.

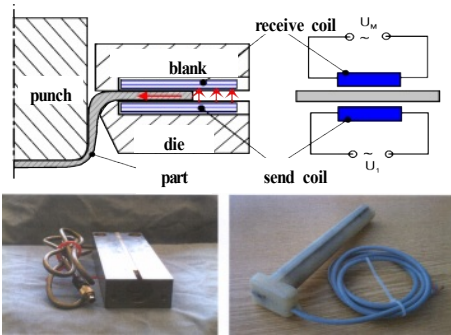


Fig. 2 Measuring with induction sensor in flange area

Yun³⁾은 단힌 금형 내의 판재의 흐름과 인장 상태를 측정하기 위해 광학 센서를 개발하여 다이의 5 mm의 구멍을 통해 판재의 흐름을 측정했다. Fig. 3에서 보는 바와 같이 플라스틱 커버는 이물질의 유입을 방지하고 중앙부에 볼록렌즈가 있어 판재의 표면을 확대해 볼 수 있다. LED는 시트 CMOS 센서에 의해 관찰 면을 조명하는 역할을 한다. Fig. 4는 광학 센서의 작용 원리를 보여준다. 볼록렌즈로 판재의 표면을 확대하여 CMOS 센서로 촬영을 하여 두 장의 사진을 비교해 이동 거리를 측정하는 방식이다. 판재의 표면으로부터 한 형상을 인식해 PX_1 과 PY_1 값을 설정하고 객체가 이동하며 CMOS 센서 화소의 다른 위치 PX_2 와 PY_2 값으로 이동한다. 이를 통해 한 점의 변위 벡터를 설정할 수 있고 방

향과 거리값이 분석된다.

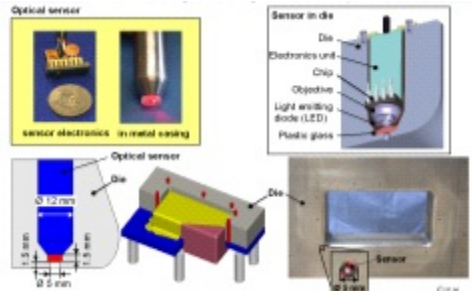


Fig. 3 Measuring of material flow with optical sensor

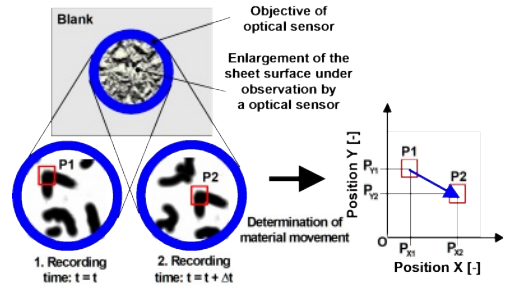


Fig. 4 Functional principle of optical sensor

Behrens⁴⁾, Hao⁵⁾와 Kim⁶⁾은 음향 방출 시스템을 사용하여 딥 드로잉 공정의 온라인 모니터링을 위한 AE(Acoustic emission) 기술 적용 가능성을 연구했다. 연구결과 재료 특성화 및 고장 분석 목적에 대한 적합성이 입증되었고 균열 및 주름과 같은 딥 드로잉 결함이나 윤활 부족이나 블랭크의 잘못된 위치 지정과 같은 공정 결함을 감지하고 분석하였다. 본 연구에선 새로운 측정 인자인 딥 드로잉 시 플랜지부의 금형과 소재의 흐름에 의해 발생하는 마찰진동이 가속도계 센서(Vibration sensor)로 측정할 수 있는지를 실험장치를 제작하여 연구하였다.

2. 실험모델과 실험방법

2.1. 플랜지부 마찰력

프레스 딥 드로잉 가공 시 형상, 소재, 프레스, 금형 및 윤활 등 다양한 인자들이 성형 결과에 영향을 미친다. 이러한 인자의 변화는 플랜지부의 금형과 소재 사이의 마찰에 영향을 미치게 된다. 또한, 형

상의 복잡성 증가로 인해 비대칭 프레스 부품의 경우 대칭 부품과 비교하여 국부적으로 플랜지부의 소재의 흐름이 다르고 인장 및 압축 응력이 다르게 작용한다. 이로 인해 플랜지 영역에서 두께 변화가 형상에 따라 다르게 발생한다⁷⁻¹⁰.

Fig. 5에서 보는 바와 같이 드로잉 가공 시 플랜지부에 작용하는 블랭크홀더력(F blank holder)은 박판 소재가 흘러 들어가는 반대 방향으로 마찰력으로 작용한다. 블랭크홀더력이 커지면 마찰력은 증가하고 블랭크홀더력이 작아지면 마찰력도 작아진다. 이로 인해 마찰진동도 블랭크홀더력의 크기에 비례해서 증가 및 감소를 한다. 이 기본적인 이론을 통해 마찰진동을 새로운 측정 인자로 설정하였고 측정이 가능하고 공정 모니터링에 사용할 수 있는지를 검증하였다.

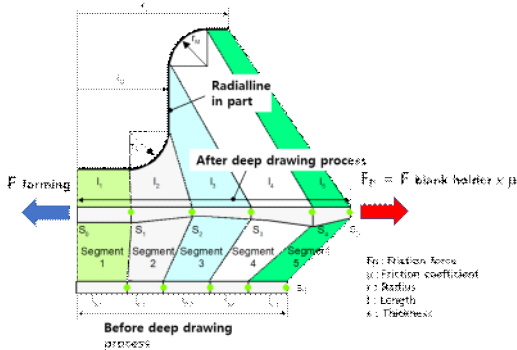


Fig. 5 Friction force in flange area

2.2. 실험 모델

Fig. 6에서 보는 바와 같이 플랜지부의 소재의 흐름을 구현하기 위해 시뮬레이터를 제작하여 인장 시험기를 사용해 실험을 진행하였다. 소재는 연질강판(mild steel) 1.0 mm를 사용하였고 시편의 크기는 30 x 250 x 1.0 mm으로 만들어 실험하였다. 플랜지 시뮬레이터에 시편을 장착하고 토크 렌치를 사용하여 시편이 시뮬레이터로부터 흘러나올 수 있는 압력 값 내에서 인장 시험기를 상부 방향으로 작동시켜 시편이 빠져나가며 발생하는 마찰진동을 측정하였다.

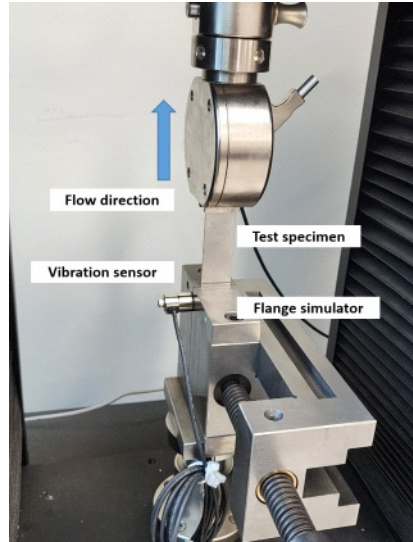


Fig. 6 Friction vibration simulator

Fig. 7은 마찰진동 측정시스템이다. 마찰진동 측정은 주파수 영역 1 ~ 10,000 [Hz], 진동측정 영역 -25 ~ 25 [G]의 정전용량형 가속도계 센서를 사용하였다. 센서에서 측정된 진동값은 진동 모듈을 통해 진동분석프로그램으로 전달되어 그래프로 측정 결과값을 나타낸다.

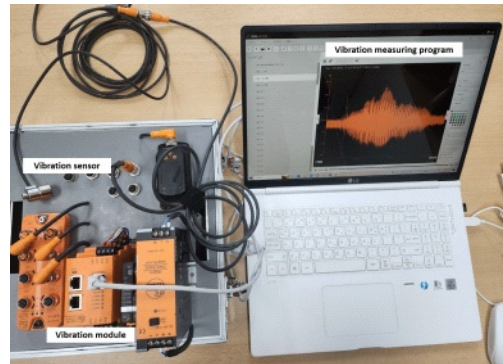


Fig. 7 Friction vibration measuring system

2.3. 실험 방법

플랜지 시뮬레이터를 사용하여 마찰진동을 측정하였고 측정값의 신뢰성과 측정 위치의 영향을 파악하기 위한 실험을 진행하였다. Table 1에 제시한 것 같이 딥 드로잉 시 소재를 눌러주는 블랭크홀더

력은 토크 렌치를 사용하여 17 Nm, 23 Nm의 모멘트로 시편을 눌러 초기 압력을 형성하였다. 초기 압력이 커지면 마찰력이 증가 되므로 마찰진동 진폭도 커져야 한다. 진동 센서 측정값의 신뢰성을 확인하기 위해 추가로 성형속도를 변화시켜 발생하는 마찰진동을 측정하였다. 성형속도가 빨라지면 운동 마찰계수가 커지므로 진동 진폭도 커져야 한다. 또한, Fig. 8은 향후 프레스 금형에 장착되는 진동 센서의 위치에 따른 측정값의 차이를 확인하기 위한 3개의 측정 위치를 보여준다.

Table 1 Test Method

1. Torque for initial pressure	17 Nm 23 Nm
2. Forming velocity	400 mm/min 700 mm/min
3. Sensor position	1, 2, 3

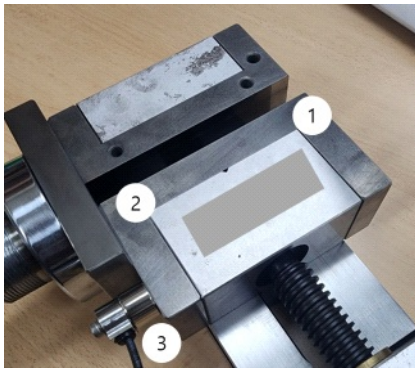


Fig. 8 Sensor position for measuring friction vibration

3. 실험 결과

3.1. 초기 압력에 따른 마찰진동 측정 결과

초기 압력 변화에 따른 마찰진동 실험은 플랜지부의 블랭크홀더력이 커지면 마찰력이 커지기 때문에 마찰진동도 이에 비례해 증가하는 것을 확인하기 위해 진행하였다. 플랜지 시뮬레이터에 시편을 장착하고 토크 렌치로 각각 17 Nm, 23 Nm의 초기 압력을 생성하여 마찰진동을 측정하였다. Fig. 9에서 보는 바와 같이 17 Nm의 토크로 초기 압력 생성

시 마찰진동이 -4490 ~ -4530 [mG]로 측정되었다. 23 Nm 시 마찰진동은 -4400 ~ -4570 [mG]로 진폭이 약 4배 커지는 것을 확인하였다.

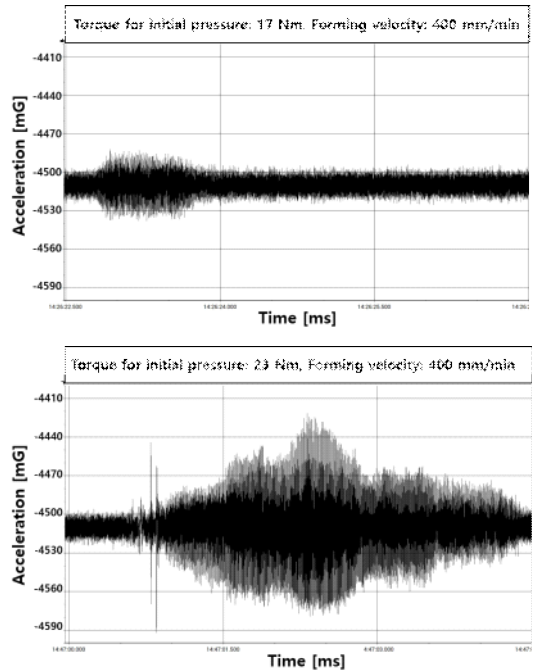


Fig. 9 Measuring of friction vibration according to initial pressure

3.2. 성형속도에 따른 마찰진동 측정 결과

시뮬레이터의 측정 결과의 신뢰도를 확인하기 위해 마찰진동이 성형속도를 변화에 따라 반응하는지를 확인하였다. 성형속도가 빨라지면 플랜지부의 마찰진동이 증가하기 때문에 큰 진폭이 발생한다. 인장 시험기의 인장 속도를 각각 400 mm/min, 700 mm/min으로 실험을 진행하였다. Fig. 10에서 보는 바와 같이 400 mm/min 시 마찰진동이 -4470 ~ -4570 [mG]로 측정되었다. 700 mm/min 시 마찰진동은 급격하게 증가하여 -4300 ~ -4700 [mG]로 진폭이 약 4배 커지는 것을 확인하였다. 초기 압력과 성형속도에 따른 마찰진동 측정 실험을 통해 플랜지 시뮬레이터와 가속도계 센서의 신뢰성을 확인할 수가 있었다.

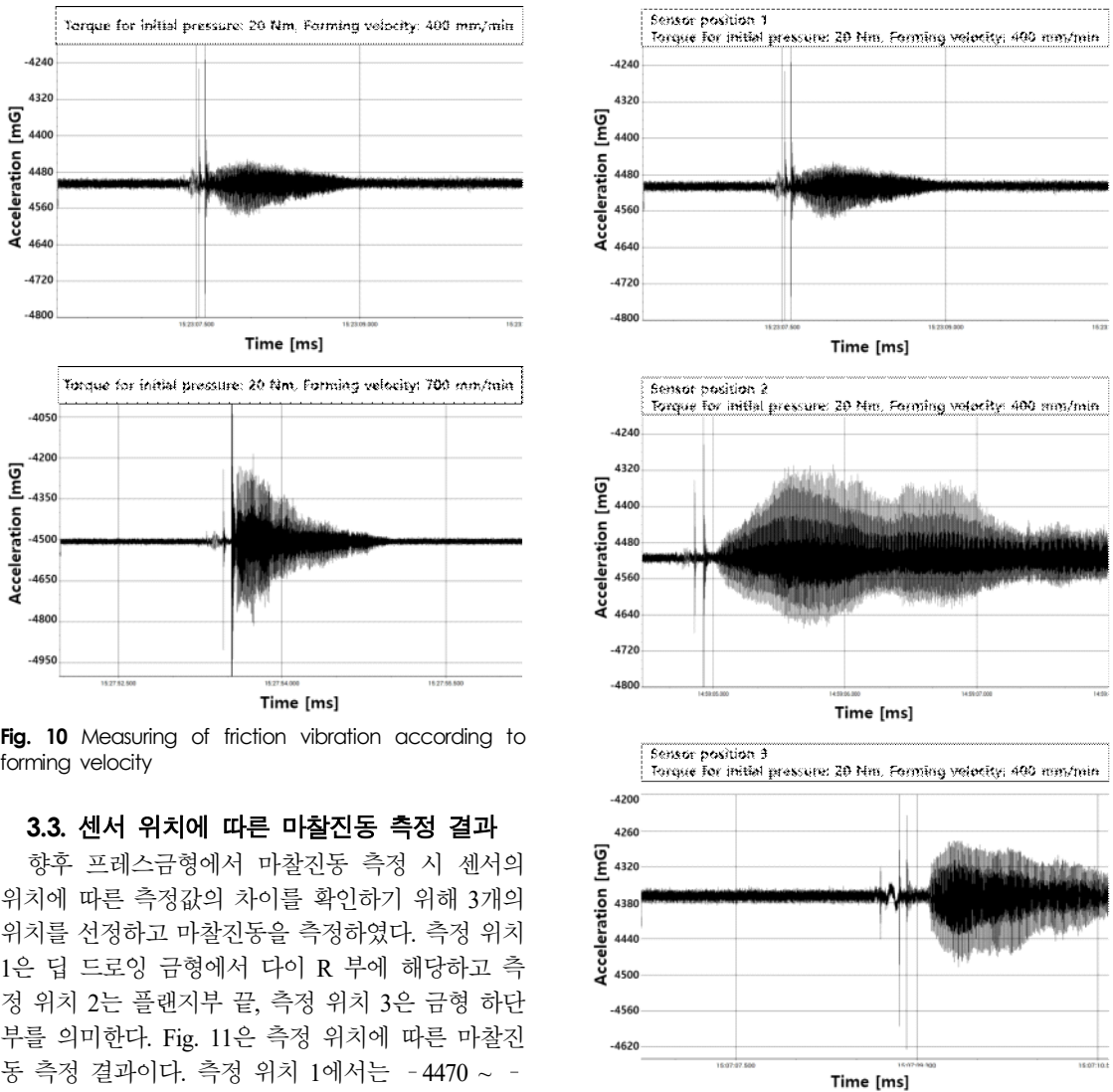


Fig. 10 Measuring of friction vibration according to forming velocity

3.3. 센서 위치에 따른 마찰진동 측정 결과

향후 프레스금형에서 마찰진동 측정 시 센서의 위치에 따른 측정값의 차이를 확인하기 위해 3개의 위치를 선정하고 마찰진동을 측정하였다. 측정 위치 1은 딥 드로잉 금형에서 다이 R 부에 해당하고 측정 위치 2는 플랜지부 끝, 측정 위치 3은 금형 하단 부를 의미한다. Fig. 11은 측정 위치에 따른 마찰진동 측정 결과이다. 측정 위치 1에서는 -4470 ~ -4570 [mG]의 마찰진동이 측정되었고 측정 위치 2에서는 -4320 ~ -4640 [mG], 측정 위치 3에서는 -4300 ~ -4460 [mG]의 마찰진동이 측정되었다. 이 실험을 통해 측정 위치 2번에서 마찰진동 측정값의 진동 폭이 가장 크므로 플랜지부의 마찰진동은 프레스 금형의 상/하 금형이 만나는 외측 부분에 센서를 장착하면 측정에 유리할 것으로 예상된다.

Fig. 11 Measuring of friction vibration according to sensor position

4. 결론 및 토의

본 연구는 프레스 딥 드로잉 가공 시 온라인 공정 모니터링을 위한 새로운 측정 인자인 플랜지부의 마찰진동 활용 가능성을 검증하였다. 프레스금형의 플랜지부를 대체하는 시뮬레이터를 개발하였고 가속도계 센서(Vibration sensor)를 사용하여 다음과 같은 마찰진동을 측정하였다.

- 1) 초기 압력이 증가하면 마찰력이 증가하므로 마찰진동의 진폭도 증가하였다. 초기 압력을 만드는 토크를 6 Nm 증가 시 진폭이 약 4배 커지는 것을 확인하였다.
- 2) 성형속도가 증가하면 마찰진동이 증가하는 것을 확인하였고 300 mm/min의 속도 변화 시 진폭이 약 4배 증가하였다.
- 3) 측정 위치에 따른 마찰진동의 차이를 확인하였고 측정 위치 2에서 가장 큰 진동 값을 측정할 수가 있었다. 이 결과 진동측정은 현장에서 프레스 금형의 상/하 금형이 만나는 부분에 측정 위치를 설정하는 것이 유리하다는 것을 시사한다.

본 기초연구를 통하여 새로운 측정 인자인 플랜지부의 압력 변화에 따른 마찰진동이 측정 가능하다는 것이 검증되었습니다. 향후 프레스 금형에 실제 적용 시 온라인 모니터링을 통한 마찰진동 측정 값을 활용하는 방법에 관한 연구가 추가로 이루어져야 할 것이다.

후기

본 논문은 2023년 공주대학교 학술연구지원사업의 연구 지원에 의하여 연구되었다.

참고문헌

- 1) Bräunlich, H., “Blecheinzugsregelung beim Tiefziehen mit Niederhalter - ein Beitrag zur Erhöhung der Prozessstabilität”, Dissertation, Technical University Chemnitz, 2001.
- 2) Forstmann, U., “Induktive Wegsensoren zur Ueberwachung und Regelung des Blecheinzugs beim Tiefziehen”, Dissertation, Technical University Berlin, 2000.
- 3) Yun, J.W., “Stoffflussregelung beim Tiefziehen mittels eines optischen Sensors und eines Fuzzy-Reglers”, Dissertation, University Hanover, 2005.
- 4) Behrens, B.A., Hübner, S., Wölki, K., “Acoustic emission – A promising and challenging technique for process monitoring in sheet metal forming”, Journal of Manufacturing Processes, Vol 29, pp. 281 - 288, 2017.

- 5) Hao, S., Ramalingam, S., Klamecki, B.E., “Acoustic Emission Monitoring of Sheet Metal Forming: Characterization of the Transducer, the Work Material and the Process”, Journal of Materials Processing Technology, Vol. 101, No. 1 - 3, pp. 124 - 136, 2000.
- 6) Kim, D.H., Lee, W.K., “A judgment algorithm of the acoustic signal for the automatic defective manufactures detection in press process”, Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers, Vol. 9, No. 3, pp. 76 - 82, 2010.
- 7) Kim, S.H., “Press Die Design Engineering, Daekwang Surim”, 2013.
- 8) Lange, K., “Lehrbuch der Umformtechnik, Volume 3 Sheet metal forming”, Berlin, Springer, 1975.
- 9) Strackerjahn, W., “Die Voraussage des Versagensfalls beim Tiefziehen rechteckiger Teile”, Dissertation, University Hanover, 1982.
- 10) Yun, J.W., “A Study on the factors influencing at corner area material thickness changes of rectangular drawing products”, Journal the Korean Society of Die & Mold Engineering, Vol. 14, No. 1, pp. 22 - 29, 2020.

저자 소개

윤재웅(Jae-Woong Yun)

[중신회원]



- 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 디지털융합금형공학과 교수
- 2018년 8월~현재 : 공주대학교 글로벌금형기술연구소 임원

< 관심분야 >
프레스 성형 및 금형