

금속선재 전방공급형 3D프린터를 위한 공정계획

김호찬^{*,#}, 김재구^{**}

^{*}안동대학교 기계자동차공학과, ^{**}한국기계연구원

CAPP for 3D Printer with Metallic Wire Supplied from the Front

Ho-chan Kim^{*,#}, Jae-gu Kim^{**}

^{*}Department of Mechanical and Automotive Engineering, Andong National University, ^{**}Korea
Institute of Machinery and Materials(KIMM)

(Received 7 September 2018; received in revised form 13 September 2018; accepted 17 September 2018)

ABSTRACT

The materials used for 3D printing are mainly plastic and metal. These materials are usually used in the powdered form. In order to improve the surface roughness of a manufactured product, these powders should consist of small uniform spherical particles. However, the powdered forms are sold at a considerably higher price than bulk or wired materials. When a wire-type material is used instead of a powder, we can supply a relatively large amount of the material at one time as well as reduce the cost. Moreover, the use of this form of the material will increase the process efficiency. This paper deals with the technology required to feed a wire material in front of the tool movement and discusses the examples used for the verification.

Key Words : Wire Feeding(선재 공급), 3D Printing(3D 프린팅), Process Planning(공정계획), G-code(G 코드), Directed Energy Deposition(방향성에너지침착)

1. 서 론

개발 초기에 쾌속조형(Rapid Prototyping), 급속조형, 신속조형 등으로 알려진 적층제조(Additive Manufacturing)는 최근 대중적으로 3D 프린팅이라는 대중적인 명칭으로 알려지게 되었으며, 많은 국가의 기업, 대학, 연구소 등에서 다양한 공정과 장비를 앞다투어 개발하고 있다.^[1]

3D 프린팅에 사용될 수 있는 소재 역시 초기의

광경화성 및 열경화성 수지와 바인더가 코팅된 금속분말에서부터 세라믹, 전도성 소재, 및 바이오 소재 등 매우 다양하게 확산 적용되고 있다.^[2] 이들 소재 중에서 금속 소재의 활용도가 Fig. 1에 나타난 바와 같이 매우 크게 증가하고 있다. 이는 금속 소재를 3D 프린팅에 활용할 경우 금속 소재가 원래 가진 강성이나 내 충격성은 물론 중공이나 메쉬 형상을 적용할 경우 비중량이 크게 향상되어 경량화에 활용하는 등 높은 기능성을 부여할 수 있기 때문이다.

또한 금속이 녹는점이 높아 뜨거운 곳에서 사용할 수 있다거나 실제 금속 부품을 대체하여 사용될

Corresponding Author : hckim@anu.ac.kr
Tel: +82-54-810-5269, Fax: +82-54-820-5844

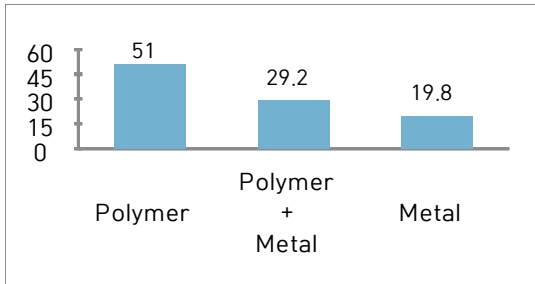


Fig. 1 Metal use in 3D Printing (Services bureaux 2016)^[3]

수 있어 실제 절삭이나 주조로 제조하는 금속 부품과 유사하기 때문이다. 물론 분말로 제조된 금속 3D 프린트 출력물은 절삭이나 주조용 소재에 비하여 밀도와 강도가 낮고 부식 및 충격에 취약하며, 표면 거칠기가 대부분의 경우 충분하지 못해서 후가공이 필요하다는 단점이 있다. 또한 분말은 입자의 균일성이 증대하거나 크기가 작아질수록 가격이 크게 상승하는 경제적인 문제점도 있다.

금속 분말을 이용하는 3D 프린팅 공정은 대표적으로 PBF(Powder Bed Fusion)와 DED(Directed Energy Deposition)이 있다. 이중 PDF는 분말로 층을 형성해 두고 레이저 등 열원을 이용하여 이를 녹여 성형하는 기술로 단순 분말이나 바인더가 코팅된 분말을 사용한다. 반면 DED는 레이저 등의 열원을 이용하여 소재를 누적하고자 하는 위치에 기존의 소재를 녹여 용융영역(Melt Pool)을 형성하고 여기에 분말 또는 선형의 소재를 추가하여 층으로써 하나의 점을 형성하고 이를 평면방향 및 수직 방향으로 이동시켜 입체를 성형을 하게 된다. DED의 경우라면 선재의 소재를 이용할 경우 분말소재의 가격적인 부분을 상당부분 해소하고 단기간에 많은 양을 공급하여 고속화 할 수 있는 장점이 있다.

선형 소재를 이용한 DED 공정에서 소재의 공급 방향은 성형되는 비드의 품질에 큰 영향을 미치게 됨이 기존의 다양한 연구들로 알려져 있다.^[4-5] 또한 이송과 경로에 따라 다양한 영향을 받는 다는 많은 실험이 진행되었다.^[6-8]

본 논문은 Fig. 2에 나타난 바와 같이 소재가 비드 생성방향의 전방에서 공급될 경우 우수한 형상의 비드를 성형함에 착안하여 레이저와 선형 소재

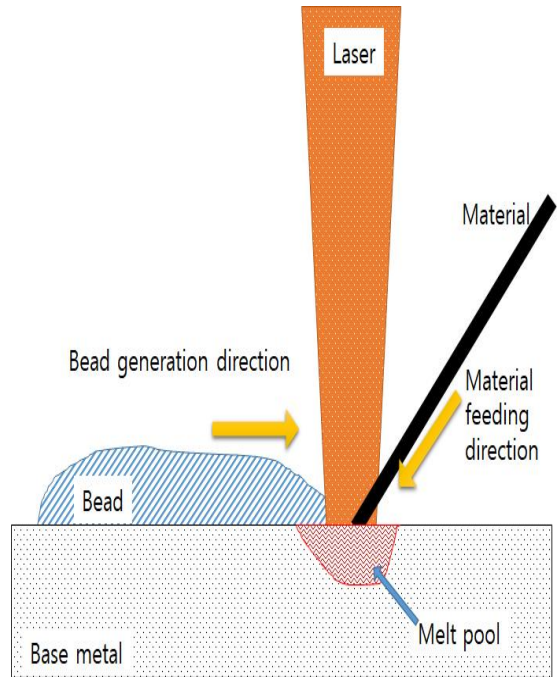


Fig. 2 Bead generation in wire feeding DED

를 이용하도록 개발된 DED 장비^[9]를 위한 소재의 전방공급을 고려한 새로운 공정계획 기술을 다루고자 한다.

2. 본론

2.1 선형 소재의 활용

선형 소재는 기존에 많이 적용되고 있는 분말형 소재에 비하여 소재 선택에서의 자유도가 높고 소재의 제조비용이 저렴하며 고속 다량 공급이 가능해 이를 활용한 제조에서 생산속도를 향상할 수 있는 장점이 있다. 하지만 소량을 이송해야하는 정밀한 제조^[10]나 소재 공급의 방향을 제어해야 하는 단점이 있다. 특히 소재의 공급 방향을 제어하기 위해서 별도의 축 제어가 필요하며, 연속된 선형 소재의 특징에 따라 소재의 꼬임이 발생하지 않도록 공급장치가 설계될 필요가 있다.

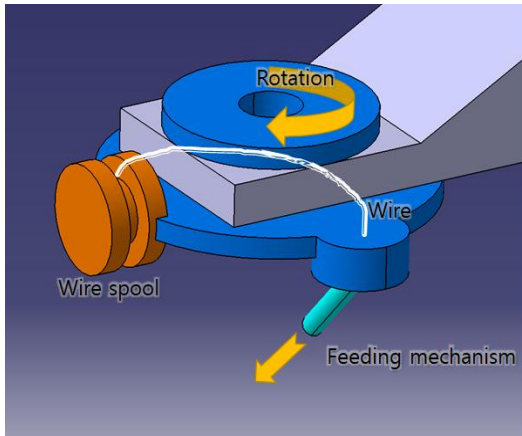


Fig. 3 Concept of the wire feeding device^[9]

Fig.3에는 본 연구의 대상이 되는 선형 금속 소재의 공급 장치의 개념을 보였다. 즉, 공급 장치는 공급 소재의 꼬임이 발생하지 않도록 회전되는 공급부에 설치되어 회전에 따른 상대 이동이 없다. 또한 어느 방향에서 공급하더라도 레이저가 조사되는 축의 동일 위치에 소재가 공급된다.

2.2 공정계획

3D 프린팅은 장치, 소재, 소프트웨어가 고도로 복합화 된 장치로 사용하는 소재와 장치의 구성에 따라 가공 소프트웨어도 공정의 특징을 잘 반영하도록 작성되어야 한다.^[11] 최근 3D 프린터가 일반화되면서 적층제조를 위한 공정계획을 일반인들은 특별히 슬라이싱(slicing)으로 칭하고 있다.^[12] 이는 적층제조 기술이 가진 단층화 된 제조(Layered manufacturing)의 특징을 반영한 것으로 볼 수 있다.

적층제조에서 공정계획은 일반적으로 단면화와 성형 경로의 생성 그리고 출력으로 이루어지고 있다. 선재 형태의 소재를 사용하는 경우 공정계획은 Fig. 4에 나타난 바와 같이 수행할 수 있다. 즉, 최초에는 STL 파일을 읽어 들이게 된다. 이때 STL 파일의 작성 방식은 이진수로 물체를 나타내는 형상 요소의 좌표 및 법선벡터를 저장하는 Binary 타입과 ASCII 코드의 형태로 이들 정보를 저장하는 Text 타입이 있다. 동일한 내용을 저장할 경우에는

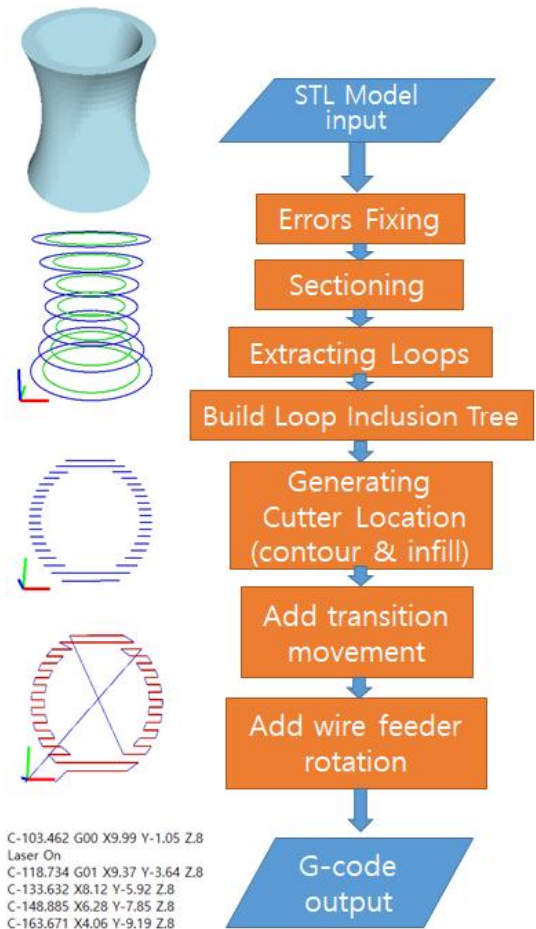


Fig. 4 Flowchart of process planning

Binary 타입이 월등히 적은 저장 공간을 요구하므로 저장과 송수신 및 해석에 효율적이거나 사람이 직접 읽을 수 없는 단점이 있다. STL 포맷은 물체를 그 표면의 삼각형으로 나타내므로 삼각형의 정보를 저장하는데, 이때 삼각형의 정의에 사용되는 꼭지점의 정보는 인접 삼각형과 중복이 되므로 STL파일을 읽어올 때 이러한 중복을 제거하면서 인접한 삼각형의 위상정보를 재구성하는 작업이 이루어진다. 이때 제작가능한 모든 물체는 솔리드(solid)로 그 표면을 이루는 삼각형은 구멍이 있거나 다른 삼각형과 교차할 수 없으므로 만일 이러한 경우가 발견되면 에러로 보아 수정할 필요가 있다.

단면화의 과정은 특정 높이의 평면과 STL 파일의 삼각형이 교차하는 선분을 찾아 추출하는 작업이다. 이때 얻어진 정보는 서로 연관 없이 흩어진 선분의 정보이다. 이들에서 끝점과 시작점이 동일한 선분들을 찾아 순서대로 이으면 루프를 형성하게 되며, 실제로 제작이 가능한 솔리드 형상이라면 반드시 닫힌 루프가 된다. 또한 이렇게 얻어진 루프는 물체의 외곽을 나타내는 루프이거나 구멍을 나타내는 루프가 되며, 독립적으로 존재하거나 다른 루프의 내부에 있을 수 있으며, 이러한 포함관계의 정보는 물체의 내부를 해칭 할 경우 필요하다. 이상의 정보로부터 물체가 추가되어야 할 위치를 결정하는 것이 공구위치의 결정이다. 일반적으로 적층 공구는 단면의 외곽선을 따라 몇 개 층의 외형을 형성한 후 내부는 해칭을 통하여 채우게 된다. 이후에는 실제 공구가 적층을 하지는 않지만 물리적으로 지나갈 수 밖에 없는 경로를 결정하여 공구경로가 작성된다. 이러한 공구 경로의 정보로부터 공구가 이동되는 방향이 정해지면, Fig. 2에 나타낸 바와 같이 비드의 방향이 결정되므로 이의 전방으로부터 선재를 공급하는 공급축의 회전 각도를 계산하여 공구경로에 추가할 수 있다. Fig.3에 나타낸 구성의 장비를 예로 든다면 z축 방향으로 레이저가 조사되므로 소재 공급부의 회전축은 z축을 기준으로 하는 회전인 C가 된다. 이때의 회전각도 C는 식(2)와 같이 계산할 수 있다.

$$\theta = \tan^{-1} \frac{P_{2,y} - P_{1,y}}{P_{2,x} - P_{1,x}} [rad] \quad (1)$$

$$C = \frac{180 \times (\theta + \pi)}{\pi} [deg] \quad (2)$$

이때, P_1, P_2 는 각각 가공경로 선분의 시작점과 끝점이며, $P_{1,x}, P_{1,y}$ 는 이 점의 x, y 방향 성분을 나타낸다. 또한, θ 는 이송방향이며, C는 소재 공급의 방향이 된다. 식(1)과 식(2)에 나타난 바와 같이 공구의 이동 선분으로부터 이동 방향 θ 를 얻을 수 있으며, 이와 반대 방향이 되도록 C가 지정된다. 이러한 C축의 회전 정보 값이 기존의 경로에 추가되어 G-code로 출력된다.

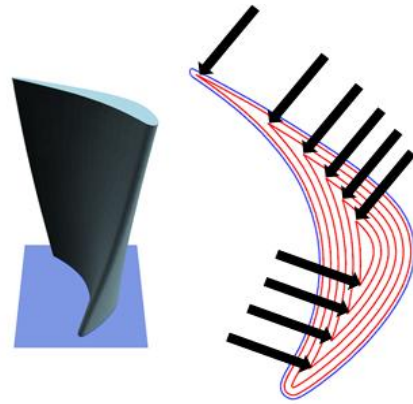


Fig. 5 Sharp turning points

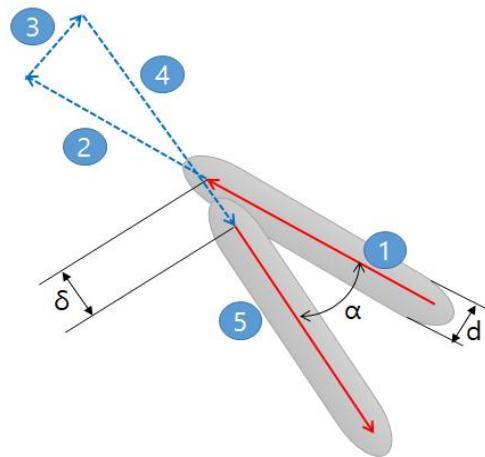


Fig. 6 Path plan for sharp turning points

2.3 예외사항 처리

재료의 공급에 관하여 그 각도를 생성한 것으로 실제 활용에 충분한 것은 아니다. Fig. 5는 날개의 적층 예이며, 우측의 단면 단면에 대해 외곽선 옵션을 통하여 생성된 가공경로를 살펴보면 이송의 방향 급격히 변화하는 화살표로 나타난 부분이 존재하게 된다. 특히 원 형상에서는 부드럽게 회전하던 부분도 점차 외곽선으로 부더의 옵션량이 증가할수록 급격히 이송방향이 변화하게 된다.

이때 소재공급부가 급속히 회전해야 하나, 사실상 각속도를 무한히 높일 수는 없으므로 연속해서 비드의 정면에서 소재를 공급하기 어려운 상황이 된다. 이때 제자리에서 회전한 후 새로운 방향으로 진행하게 되면 해당 위치에 많은 소재가 누적이 되어 버리게 되므로 Fig. 6에 점선경로로 보인 바와 같이 소재의 누적을 멈추고 목표위치를 지나 회전하여 새로운 경로에 진입하도록 하였으며, 돌아서 진행되는 경로의 총 길이는 공급부가 180도 회전하는데 충분한 시간을 갖는 거리로 설정하였다.

또한 꺾이는 부분에서 비드의 중첩량이 크거나 작아지면 각종 불연속의 문제가 발생할 수 있으며, 이때의 중첩량은 비드의 형상과 경로의 각도에 따라 달라져야 하므로 적절한 중첩량으로 제어하기 위하여 비누적구간 δ 를 두었으며 비드의 폭을 d 경로 간 각도를 α , 중첩률을 λ 라 할 때 식(3)과 같이 얻어 질 수 있다.

$$\delta = \lambda d \sin \alpha \quad (3)$$

중첩률은 0인 경우 전혀 겹치지 않으며, 1인 경우 100% 겹치게 된다. 그러나 적절한 중첩률은 비의 단면 형상의 높이나 타원도 및 경로 간 각도 등에 따라 달라진다. 또한 누적 가공 시작점에서 이전 비드에 잠열과 새로운 용융영역을 만들기 위한 가열량의 조절도 중첩률을 통하여 달성이 가능하다.

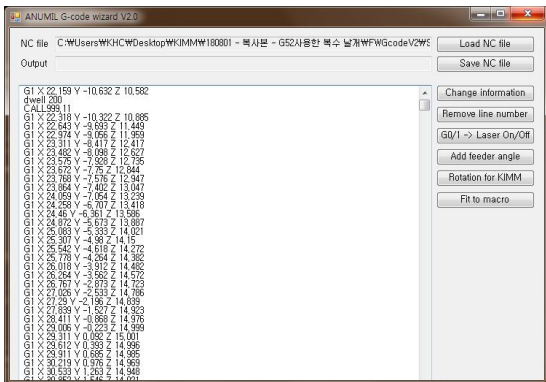


Fig. 7 FWGcode application

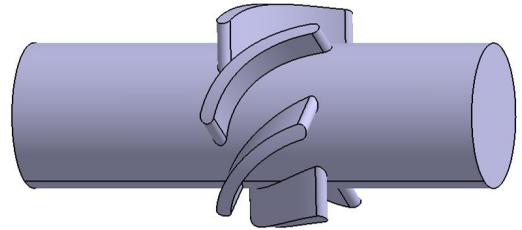
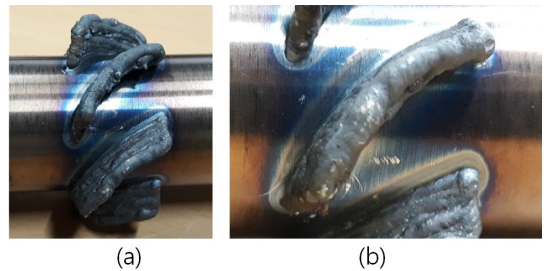


Fig. 8 Model for application



(a) built part (b) magnified view

Fig. 9 Application example

3. 적용결과 및 고찰

3.1 FWGcode

이상에 기술한 선형 소재를 위한 공급전략을 적용하기 위하여 Fig. 7에 보인 바와 같이 Visual Studio 2018의 C#을 이용하여 공정계획프로그램을 작성하였다. 이는 선행연구^[11]로부터 작성된 공정계획 전처리 모듈과 함께 활용하여 선제공급형 DED 프린터를 위한 공정계획을 생성할 수 있다.

3.2 적용 결과

Fig. 8은 본 연구의 결과를 검토하기 위해 제작한 형상의 CAD모델이다. Fig. 9는 그 제작 결과물로 향후에 후처리를 거쳐서 실제적으로 사용 가능하게 되나 본 연구에서는 생성된 경로의 효과만을 검토하기 위하여 후처리 공정 이전의 상태를 보였다. 결과적으로 본 연구에서 제한한 소재의 공급

방식과 공급 방향 및 예외 사항에 대한 처리가 실제적인 경우에도 적용 가능성을 보였다.

4. 결 론

본 논문은 기존의 분말 형태의 소재가 아닌 선재 형태의 소재를 활용하여 중대형구조물의 3D 프린팅 성형에서 경제성을 높인 DED 기반의 프린터를 위한 소재공급을 위한 공정계획 기술에 관하여 기술되었다. 이를 통하여 적절한 공급 방향을 결정하는 이론과 급격한 회전을 요하는 형상에서의 처리 방안을 제안하였다. 또한 이러한 기술을 적용한 공정계획 소프트웨어 모듈을 개발하여 실제적인 형상의 예에 적용하여 그 실제 성형결과를 보였다. 향후에는 비드의 형태에 따른 소재의 적절한 누적을 구하는 연구가 필요하다.

후 기

“이 논문은 2017년 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 국가과학기술연구회 금속3D프린팅융합연구단 사업(No. CRC-15-03-KIMM)의 지원을 받아 수행된 연구임.”

REFERENCES

1. Shim, J. H., Yun, W. S. and Ko, T. J., “Successful Examples of 3D Printing Technology-based Start-up Enterprises,” Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers, Vol. 15, No. 2, pp. 104-110, 2016.
2. Choi, J. W. and Kim, H. C., “3D Printing Technologies - A Review,” Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers, Vol. 14, No. 3, pp. 1-8, 2015.
3. Wohler, T., Wohler’s report 2017, Wohler Associates, 2017.
4. Syed, W. U. H., Pinkerton, A. J., and Li, L., “A Comparative Study of Wire Feeding and Powder Feeding in Direct Diode Laser Deposition for Rapid Prototyping,” Applied Surface Science, Vol. 247, Nos. 1-4, pp. 268-276, 2005.
5. Mok, S. H., Bi, G., Folkes, J., and Pashby, I., “Deposition of Ti-6AL-4V Using a High Power Diode Laser and Wire, Part I: Investigation on the Process Characteristics,” Surface and Coatings Technology, Vol. 202, No. 16, pp. 3933-3939, 2008.
6. Abioye, T., Folkes, J., and Clare, A., “A Parametric Study of Inconel 625 Wire Laser Deposition,” Journal of Materials Processing Technology, Vol. 213, No. 12, pp. 2145-2151, 2013.
7. Hagqvist, P., Heralić, A., Christiansson, A.-K., and Lennartson, B., “Resistance Measurements for Control of Laser Metal Wire Deposition,” Optics and Lasers in Engineering, Vol. 54, pp. 62-67, 2014.
8. Miranda, R., Lopes, G., Quintino, L., Rodrigues, J., and Williams, S., “Rapid Prototyping with High Power Fiber Lasers,” Materials & Design, Vol. 29, No. 10, pp. 2072-2075, 2008.
9. Kim, J. G. and Lee, C. W., “Laser Assisted Additive Manufacturing by Rotating Metal Wire Feeder,” J. Korean Soc. Precis. Eng., Vol. 35, No. 9, pp. 848, 2018.
10. Lee, S. Y., Lee, I. K., Lee, J. W., Lee, S. B. and Lee, S. K., “Evaluation of Wear Characteristics of AISI H13 ToolSteel Repaired by Metal 3D Printing,” Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers, Vol. 16, No. 4, p. 10, 2017.
11. Olioul, I. M. and Kim, H. C., “An Algorithm for the Removing of Offset Loop Twists during the Tool Path Generation of FDM 3D Printer,” Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers, Vol. 16, No. 3, p. 3, 2017.
12. Kang, Y. G, Lee, T. W. and Shin, G. S., “The Influence of Experiment Variables on 3D Printing using ABS Resin,” Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers, Vol. 16, No. 2, p. 96, 2017.