

**수용성 절삭유의 부패방지를 위한 온도와 초음파 가진의 영향에 관한 연구**노태민^a, 레페부르 악셀^b, 김민욱^c, 박동혁^b, 최지섭^d, 신대건^e, 김태호^f, 유민혁^e, 고병호^g, 신주혜^h, 이창수^h, 이득귀^h, 박영창^h, 허진^h, 권형진^h, 심동하^{b*}**A Study on the Effect of Temperature and Ultrasonic Vibrations on the Sterilization of Water-soluble Cutting Fluids**Tae-Min Nho^a, Axel Lefebure^b, Min-wook Kim^c, Donghyuck Park^b, Ji-Seob Choi^d, Dae-Kyeon Shin^e, Tae-Ho Kim^f, Min-Hyeok Yoo^e, Byoung Ho Ko^g, Juhye Shin^h, Chang Soo Lee^h, Deuk Kwi Lee^h, Young Chang Park^h, Jin Hur^h, Hyung Jin Kwon^h, Dongha Shim^{b*}^a Department of IT and Media Engineering, Seoul National University of Science and Technology^b Department of MSDE, Seoul National University of Science and Technology^c Department of Automotive Engineering, Seoul National University of Science and Technology^d Department of Mechanical Engineering, Seoul National University of Science and Technology^e Department of Information Technology & Media Engineering, Seoul National University of Science and Technology^f Department of Integrated IT Engineering, Seoul National University of Science and Technology^g Research Institute of Nano Manufacturing System, Seoul National University of Science and Technology^h Hansung GT Co. Ltd.**ARTICLE INFO***Article history:*

Received	3	February	2022
Revised	28	February	2022
Accepted	22	March	2022

*Keywords:*Cutting fluid
Microorganism
Ultrasonic treatment
Temperature
Sterilization**ABSTRACT**

This study analyzes the ineffectiveness of ultrasonic treatment for used cutting fluid sterilization. The microorganism population in a water-soluble cutting fluid sample was observed while applying a 40-kHz ultrasound with a power density level of 0.27 and 0.37 W/cm², respectively. The ultrasonic treatment was accompanied by a temperature rise due to the heating effect of cavitation or ultrasonic components. It was observed that the population does not vary below ~45°C, and drops rapidly as the temperature rises. This phenomenon is further investigated using a heater to provide the heating effect. The results showed that the population drops faster at a higher temperature; and there was no significant difference in the population pattern between the ultrasonic and heat treatments at a constant temperature of ~50°C. The overall results showed that ultrasonic treatment does not reduce the microorganism population in the cutting fluid, where temperature is a dominant factor.

1. 서론

절삭유는 금속 절삭 및 가공 작업시 윤활 작용 및 냉각 작용을 하여 공구의 마찰력을 감소 시켜 가공면의 평활도를 높이고 공구의

수명을 늘이는 중요한 역할을 한다¹⁻²⁾. 절삭유는 크게 수용성과 비수용성으로 나눌 수 있으며 사용이 편리한 수용성 절삭유가 많이 사용되고 있다. 일반적으로 3-6개월 주기로 절삭유를 교환하지만, 최근 환경 문제가 대두되고 비용을 절약하기 위해 절삭유를 한번

* Corresponding author. Tel.: 82-2-970-7287

E-mail address: dongha@seoultech.ac.kr (Dongha Shim).

사용 후 바로 폐기하지 않고 적절한 공정을 거쳐 재사용하는 경우가 늘고 있으며, 이에 따른 절삭유 부패가 큰 문제가 되고 있다. 절삭유의 부패는 절삭유의 점도변화, 미생물에 의한 pH 저하, 부패 등을 유발하여 절삭유의 품질을 크게 저하 시키고 악취를 동반하며 근로자의 건강장애를 유발할 수 있다³⁻⁶. 이와 같은 문제를 해결하기 위하여 부패방지약품(Zebra), 플라즈마 장치(플라즈마홀딩스), OH 라디칼 장치(O2버블), 레독스 장치(아산텍) 등이 상용화 되어 있다. 현재 부패방지약품을 사용하는 것이 절삭유 오염을 방지하는 가장 일반적인 방식이지만 근로자의 건강에 미치는 부정적인 영향과 화학약품으로 인한 환경오염 등의 문제점이 있다. 다른 방식들도 설치 및 유지 관리 비용이 높다는 단점이 있다³⁻⁶.

식품 분야에서 가열 살균 기술을 단점을 보완하면서도 효율적인 살균 효과를 달성할 수 있는 비가열 살균 기술로 초음파 처리를 이용한 미생물 살균으로 식품의 신선도를 유지하기 위한 연구가 활발히 진행되어 왔다⁷⁻⁹. 그러나 초음파 처리가 절삭유의 부패방지에 미치는 영향에 대한 연구는 보고된 적이 없다. 만약 인체에 무해하며 친환경적이고 경제적인 초음파 방식이 절삭유 부패 방지에 효과 있다면 수용성 절삭유 관리를 위한 효과적인 솔루션이 될 수 있다. 본 논문에서는 초음파 처리에 따른 수용성 절삭유 내 미생물 수 변화 측정을 통해 초음파가 부패에 미치는 영향을 분석하였다. 또한 초음파 처리에 동반되는 가열에 의한 온도 상승이 절삭유 살균에 미치는 영향을 분리하기 위한 실험을 진행하고, 이를 통해 초음파와 가열 처리가 수용성 절삭유 부패방지에 미치는 영향을 종합적으로 분석하였다.

2. 본 론

2.1 절삭유의 부패

미생물에 의한 절삭유의 부패 문제는 금속가공산업에서 오랜 문제점 중의 하나이다. 재활용 되는 절삭유는 미생물의 오염으로 인해 부패가 진행되면서 품질이 저하되고 악취를 동반하며 산업재해의 원인으로 작용할 수 있다³⁻⁶.

부패 절삭유는 혐기성(anaerobic) 세균과 호기성(aerobic) 세균을 포함한다. 혐기성 세균은 황화수소를 발생시켜 특히 여름철이나 고온의 환경에서 악취의 원인이 된다. 호기성 세균인 *P. aeruginosa*나 *P. oleovarans*와 같은 녹농균(*pseudomonas*) 균은 대부분의 수용성 절삭유에 포함되어 있으며 빈약한 영양 상태에서도 잘 자랄 수 있고 독성을 포함하고 있어 만성적인 기관지염, 폐기능 저하, 천식 등의 호흡기 장애를 유발하며 인체에도 영향을 줄 수 있다. 이외에도 *E. Coli*, *K. pneumoniae*, *Paracolobactrum* sp, *Proteus vulgaris* 등의 호기성 균이 많이 포함되어 있는 것으로 보고되고 있다³⁻⁶.

2.2 초음파 살균의 원리

초음파는 가청 주파수인 20 kHz 이상의 주파수를 가지는 기계적 파동으로 매질의 압축과 소원을 통해 에너지를 전달한다. 초음파 살균은 크게 공동(cavitation) 현상과 자유 라디칼(free radical)의 두가지 원리로 설명될 수 있다⁷⁻⁹. 공동 현상에 의해 한지점에 에너지가 집중되면 순간적으로 고온(5000 K) 고압(1000 기압)이 발생하고 기포가 발생하게 된다. 기포가 붕괴되는 과정에서 액체 내부에서 빠르고 강한 흐름이 나타나며, 이 충격파에 의해서 미생물의 세포막을 붕괴될 수 있다. 또한 물 분자가 분해되어($H_2O \rightarrow H^+ + OH^-$) 자유 라디칼(OH⁻)이 발생하며 세포막에 작용하여 미생물을 붕괴시키는 역할을 한다⁷⁻⁹.

특히 식품 분야에서 초음파를 이용한 미생물 살균 처리에 관한 연구가 활발히 진행되고 있다. 초음파 처리 단독으로는 상대적으로 살균 효과가 낮아서, 가열, 압력, 살균소독제, UV (ultraviolet), PEF (pulsed electric field) 등 다른 식품 살균법과 초음파 처리를 병행하는 방식이 연구되고 있다⁷⁻⁹.

2.3 실험 과정

Fig. 1(a)는 실험에 사용된 비커에 담긴 폐절삭유를 보여준다. 절삭유의 표면은 짙은 갈색을 띠며 아래쪽은 우유빛을 띠고 있다. 해당 폐절삭유는 실제 산업체에서 사용후 채취된 수용성 절삭유이다.

초음파에 처리에 의한 영향을 평가하기 위해 절삭유단위 부피당 미생물의 개체수를 측정해야 한다. 이를 위해 멸균된 증류수를 사용해 시료를 적절한 농도로 희석한 후 배지에 배양 후 미생물이 증식하여 형성된 군락(colony)의 수를 세는 생균수법인 평판계수법(plate count)을 사용하였다¹⁰. 3M사의 일반세균용(호기성) Petrifilm AC (aerobic count plate)를 이용해 실험을 진행하였다. 해당 제품은 미생물 실험을 간소화하여 생산성을 향상시키며, 일관되고 신뢰성 있는 결과를 제공하는 검증된 미생물 시험법에 널리 사용되고 있다. Petrifilm의 적정 측정 집락 계수(colony count)의

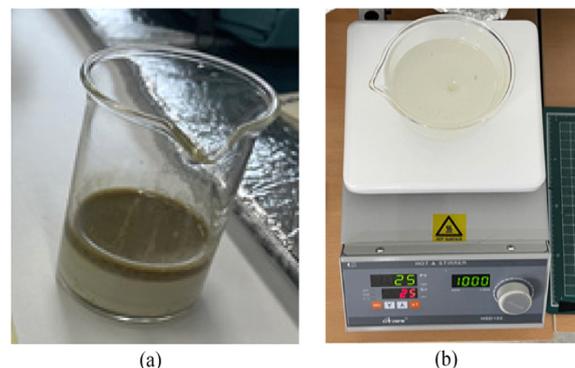


Fig. 1 Sample preparation (a) Used cutting fluid sample for the experiment (b) Diluted cutting fluid on the stirrer

범위인 30-300 CFU (colony forming unit)를 맞추기 위해 경우에 따라 시료의 반복적 희석을 통한 농도 조절이 요구된다. 절삭유 시료는 탈이온수(de-ionized water: DIW)를 희석액으로 사용해 두번의 희석과정을 거치며, 사전에 희석액을 60°C로 가열 살균해 희석액으로 인한 추가적인 미생물의 유입을 차단하였다. 먼저 1차 희석을 위해 1 mL 폐절삭유와 199 mL의 DIW를 혼합하였으며 (희석비율 200:1), 2차 희석으로 1차 희석액 1 mL와 199 mL의 DIW를 다시 혼합하였다(희석비율 40000:1). 균일한 혼합을 위해 희석 후 교반기(Stirrer, HSD 150)를 이용하여 비이커에 들어있는 마그네틱바(magnetic bar)를 1000 rpm의 속도로 회전시키며 교반을 실시 하였다. 희석된 용액에서 측정된 집락 계수는 200-300 CFU/mL 범위이며, 250 CFU/mL의 경우 실제 원액에는 1 mL 당 10,000,000 개체(250 CFU/mL × 200 × 200)의 일반세균(호기성)이 포함되어 있는 것으로 추정할 수 있다. 희석 과정에서 정확한 희석 비율을 달성하기 위해 기계식 정밀 피펫(Eppendorf Research plus)을 이용해 분주(dispensing)를 진행하였다.

초음파 처리의 영향을 분석하기 위하여 Fig. 2(a)와 (b)의 두가지 다른 용량의 초음파 장치로 실험을 진행하였다. Fig. 2(a)는 실험(UT#1)에 사용된 1.8-L 용량의 초음파 세척기(성동 SD-120H)를 보여주며, 주파수, 출력, 용기 크기는 각각 40 kHz, 50 W, 15 × 13.5 × 10 cm³ 이다 (전력 밀도: 0.37 W/cm²). Fig. 2(b) 실험(UT#2)은 22-L 용량의 초음파 세척기(성동 SD-350H)를 보여주며, 주파수, 출력, 용기 크기는 각각 40 kHz, 400 W, 50 × 30 × 15 cm³ 이다(전력 밀도: 0.27 W/cm²).

일반적으로 액체에 초음파를 가할 경우 공동현상과 초음파 소자 자체의 발열로 액체의 자연 온도상승을 동반된다. 자연 온도상승에 의해서도 미생물의 사멸이 발생할 수 있으며, 이를 초음파 영향과 분리된 순수한 가열 효과의 영향을 평가하기 위해 설정된 온도를 유지할 수 있는 히팅 멘틀(heating mantle; MS-DBSB)을 이용한 가열 처리 실험(HT)을 진행하였다(Fig. 2(c)).

초음파 처리의 경우 절삭유를 약 200 mL의 희석된 절삭유를 투명한 비닐봉지에 넣어서 초음파 세척기에 담긴 물을 통해 초음파를 인가하였다(Fig. 2(a)와 (b)). 가열 처리 실험은 비이커에 약 200 mL의 시료를 담아 히팅 멘틀을 이용해 가열하였다(Fig. 2(c)). 모든 경우에 대해 디지털 온도계(MASTECH MS6501)를 이용하여 시료의 온도를 측정하였다.

초음파 처리 혹은 가열 처리를 진행하며 일정 시간 간격으로 시료를 채취하여 3M Petrifilm에 1 mL를 접종하고 스프레더(spreader)를 이용하여 원형의 시료 영역을 형성한다(Fig. 3(a))^[10]. 이후 교반기(HSD 150)의 히터 기능을 이용하여 샘플을 35°C에서 48시간 동안 배양한다(Fig. 3(b)).

Fig. 4는 배양 후 Petrifilm을 보여준다. 붉은 점으로 집락이 형

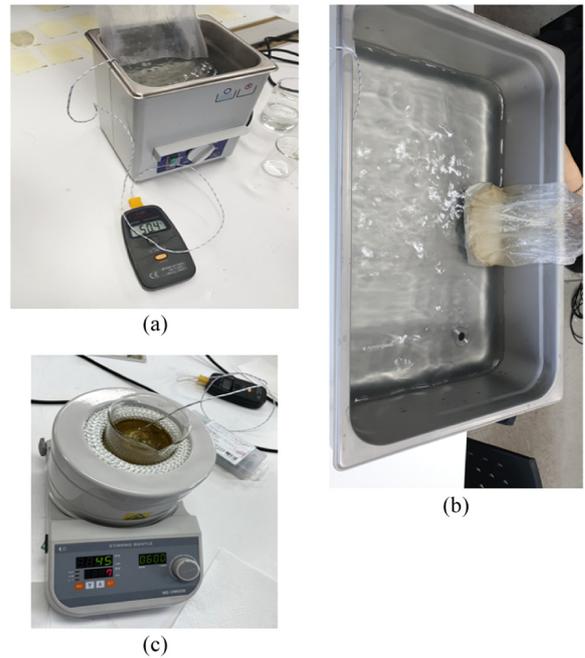


Fig. 2 Treatment setup (a) Ultrasonic treatment using the 1.8-L ultrasonic cleaner (UT#1) (b) Ultrasonic treatment #2 using the 22-L ultrasonic cleaner (UT#2) (c) Heat treatment using the heating mantle (HT)

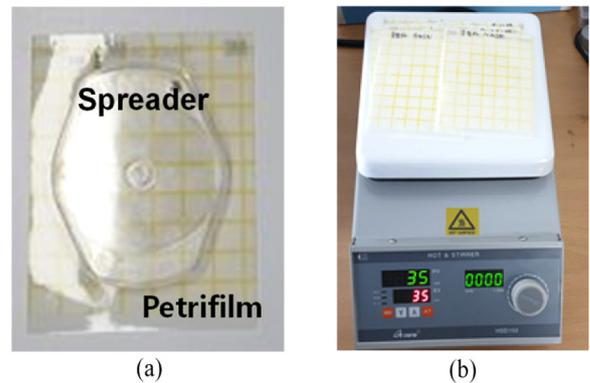


Fig. 3 Measurement setup (a) Petrifilm with a spreader (b) Incubation of the Petrifilm after the injection of the diluted sample

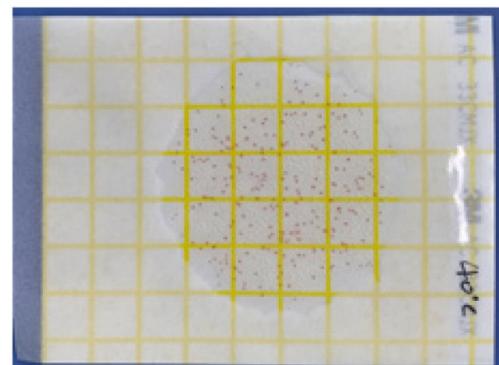


Fig. 4 Colonies on the Petrifilm after the incubation

성된 것을 잘 보여준다. Petrifilm 위에 표시된 노란색 격자의 크기는 $1 \times 1 \text{ cm}^2$ 이다. 이후 자바 기반의 이미지 프로세싱 프로그램인 ImageJ 프로그램을 이용하여 총 집락수를 측정하였다.

2.4 실험 결과

Fig. 5는 1.8 L 용량의 초음파 세척기를 이용한 실험(UT#1)에서 시간에 따른 집락 계수(colony count)와 온도의 변화를 보여준다. 초음파 인가로 발생한 시료의 자연 온도상승으로 온도가 24°C 에서 60°C 로 증가하며, 30 분을 전후해 45°C 부근에서 집락 계수가 급격히 감소하기 시작하였다.

Fig. 6은 22-L 용량의 초음파 장치를 이용한 실험(UT#2)에서 시간에 따른 집락 계수와 온도의 변화를 보여준다. 온도가 $\sim 24^\circ\text{C}$ 에서 $\sim 44^\circ\text{C}$ 로 UT#1에 비해 느리게 증가할 때, UT#1과 달리 집락 계수가 일정하게 유지되는 경향을 보였다. 1.8-L 초음파 세척기에 비해 크기가 큰 22-L 초음파 세척기의 열용량이 더 크고 비닐봉지를 둘러 싸고 있는 물의 양이 많기 때문에 온도상승이 적은 것으로 분석된다. Fig. 5의 결과와 조합하면 $\sim 45^\circ\text{C}$ 이상의 온도에서 절삭유 내 미생물의 사멸이 일어나기 시작하며, 초음파 처리 단독으로는 미생물 사멸에 큰 영향을 주지 못한다는 추론을 할 수 있다.

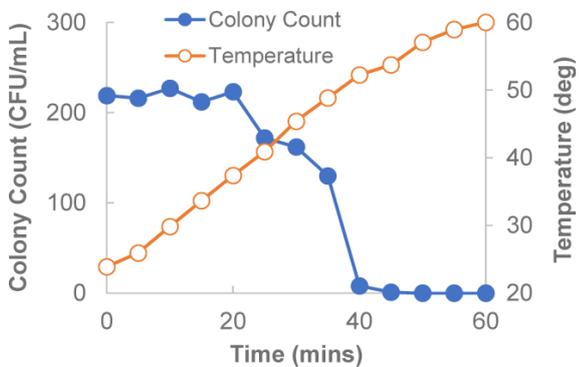


Fig. 5 Colony count and temperature vs time in UT #1 experiment

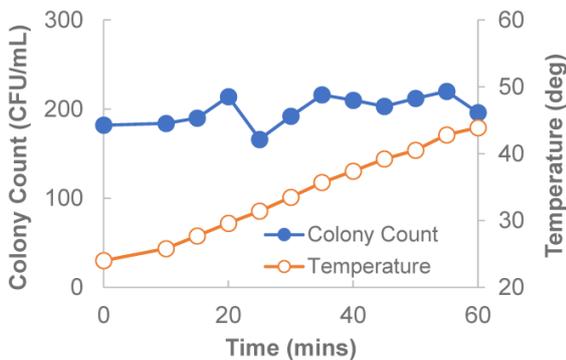


Fig. 6 Colony count and temperature vs time in UT#2 experiment

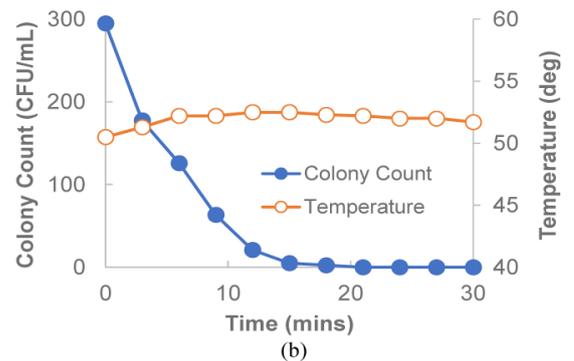
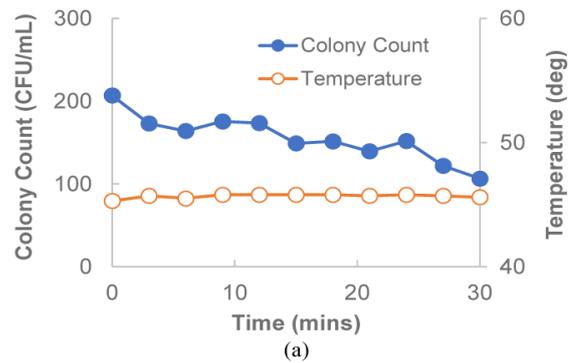


Fig. 7 Colony count and temperature vs time in HT experiment at (a) $\sim 46^\circ\text{C}$ and (b) $\sim 52^\circ\text{C}$

온도가 절삭유 내 미생물의 살균에 미치는 영향을 좀 더 정확히 이해하기 위해, 초음파를 인가하지 않고 히팅 멘틀을 이용해 가열만으로 온도를 일정하게 유지하며 집락 계수의 변화를 관찰하였다. Fig. 7(a)와 (b)는 각각 $\sim 46^\circ\text{C}$ 와 $\sim 52^\circ\text{C}$ 에서 측정된 결과이다. $\sim 46^\circ\text{C}$ 에서 느린 속도(반감시간 ~ 30 분)로 사멸이 진행되는 것을 관찰할 수 있었다. 또한 $\sim 52^\circ\text{C}$ 에서 집락 계수의 반감시간은 ~ 5 분이며, ~ 15 분 후 미생물이 대부분 사멸 되어, 높은 온도에서 더 빠른 속도로 미생물의 사멸이 진행되는 것을 확인할 수 있었다.

Fig. 8은 온도를 $\sim 50^\circ\text{C}$ 로 유지하며 측정된 초음파 처리(US#2)와 가열 처리(HT#1)의 (시작 시점의 집락 계수를 기준으로) 정규화된 집락 계수(normalized colony count)를 비교하고 있다. 초음파 처리의 경우 시료 주변의 물의 온도를 일정하게 조절하며 온도 오차를 $\pm 2^\circ\text{C}$ 이내로 유지 시켰고, 히팅 멘틀을 이용한 가열 처리의 경우 온도 오차는 $\pm 0.5^\circ\text{C}$ 이내로 유지 되었다. 전체적으로 초음파가 처리가 약간 높은 경향을 보였지만 유의미한 수준의 차이는 아닌 것으로 해석되며, 다시 한번 온도가 절삭유 내 미생물의 사멸에 중요한 역할을 하는 것을 확인할 수 있었다. 미생물이 완전히 사멸하는데 약 30 분이 소요되어 Fig. 7과 비교할 때 온도가 높을수록 미생물의 사멸 속도가 빨라지는 일관성 있는 경향을 다시 한번 확인할 수 있다. 반감시간은 $\sim 10\text{-}13$ 분으로 측정되었다. Rinkus et al.는 온도가 절삭유 내 미생물에 미치는 영향에 대한

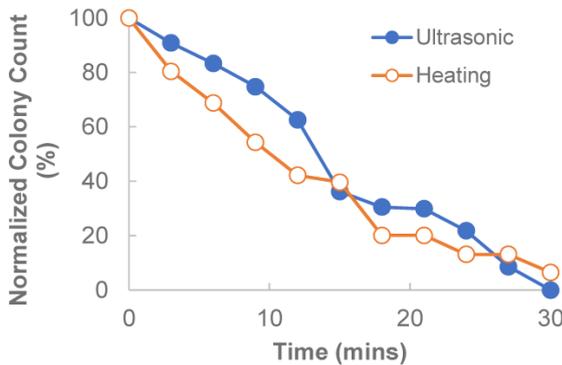


Fig. 8 Comparison of the normalized colony count and temperature of US#2 experiment and HT experiment at ~50 deg

유사한 연구결과를 보고하였다^[11]. 추가적인 검증을 위해 희석하지 않은 절삭유 원액에 대해 55°C에서 가열 실험을 진행하였고, 1 분 이내로 모든 미생물이 사멸하는 것을 확인할 수 있었다.

증식이 가능한 온도에 따라 미생물을 분류할 수 있으며 많은 미생물은 10-45°C에서 증식이 가능한 중온균(mesophilic bacteria)에 속한다. 중온균의 증식 최적온도는 20-40°C 이고 최고 온도를 넘기면 사멸하기 시작한다. 이를 이용해 100°C 이하의 비교적 낮은 온도로 가열해 살균하는 방식을 저온 살균(pasteurization)이라고 한다. 절삭유 부패방지를 위한 가열 처리에 필요한 온도가 충분히 낮기 때문에 (가령, 45-5°C) 절삭유의 품질에 영향을 주지 않으며, 수용성 절삭유 부패방지에 저온 살균 처리를 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

3. 결론

초음파 처리가 수용성 절삭유 부패 방지에 미치는 영향을 분석하기 위해 초음파 처리(40 Hz, 0.27 & 0.37 W/cm²)와 가열 처리에 따른 절삭유 내 미세물의 변화를 측정하였다. 초음파 단독으로는 유의미한 수준의 영향을 관찰할 수 없었으며, 가열에 의해 ~45°C 이상의 온도에서 절삭유 내 미생물이 사멸되는 것을 관찰할 수 있었다. 또한 온도가 높을수록 미생물의 사멸 속도가 빨라 지며, 동일한 온도에서 초음파 처리의 유무에 따라 유의미한 수준의 살균 속도의 차이를 관찰할 수 없었다. 초음파 처리가 폐절삭유 내 미생물들이 사멸에 영향을 주지 못하는 현상의 일반화를 위해 향후 다양한 주파수와 전력의 초음파에 대한 실험이 요구되며, 해당 현상을 더 정확히 이해하기 위한 추가적인 연구가 필요하다. 본 논문의 결과는 절삭유 특성을 변화시키지 않는 온도범위에서 가열 처리로 절삭유의 부패를 막을 수 있는 지속가능성(sustainability)이 높은 저온살균 방식의 적용 가능성을 보여 주었다.

후 기

이 논문은 2022년도 정부(산업통상자원부)의 재원으로 한국산업기술진흥원의 지원을 받아 수행된 연구임(P0002092, 2022년 산업혁신인재성장지원사업).

References

- [1] Bang, H., Jang, M., Kim, H., Kim, J., 2020, Internal-oil-feed-type High-Speed Spindle Mechanism to Prevent Cutting Oil Flow, J. Korean Soc. Manuf. Technol. Eng., 29:5 400-405, <https://doi.org/10.7735/ksmte.2020.29.5.400>.
- [2] Lefebure, A., Kim, S., Kang, Y., Park, H., Lee, J., Jang, S., Lee, I., Shin, J., Lee, C. S., Lee, D. K., Park, Y. C., Hur, J., Kwon, H. J., Shim, D., 2021, Ultrasonic MQL System for Generating Size-controlled Droplets, J. Korean Soc. Manuf. Technol. Eng., 30:5 352-358, <https://doi.org/10.7735/ksmte.2021.30.5.352>.
- [3] Uridongne Co. Ltd, n.d., viewed 1 February 2022, Microorganisms and Metal Working Fluid, <<http://www.eduk.co.kr/cutting/d.htm>>.
- [4] Hong, K. M., Chung, K., Kim, Y., Yoon, Y. J., 2000, The Study on Decomposition against Microbes of Metal-working Fluids, Proc. Korean Soc. Tribol. Lubr. Eng. Annual Conf. 2000, 162-167.
- [5] Shin, C., Jang, J., 2004, Effect of Chemical Treatment and Variations of the Physical Properties of Waste Water-soluble Cutting Oil, J. Environ. Sci. Int., 403-412, <https://doi.org/10.5322/JES.2004.13.4.403>.
- [6] Lee, S., Kim, J., Song, J., 2009, A Study on the Antimicrobial Activity of Copper Alloy Metal Fiber on Water Soluble Metal Working Fluids, J. Korean Oil Chemists' Soc., 26:1 69-73, <https://doi.org/10.12925/jkocs.2009.26.1.10>.
- [7] Song, K., 2020, Current Status of Research on Microbial Disinfection of Food using Ultrasound, Food Science and Industry, 513:3 277-283, <https://doi.org/10.23093/FSL.2020.53.3.277>.
- [8] Kim, Y., 2010, Ultrasound Application on Food Technology, Bulletin of Food Technology, 23:3 392-399.
- [9] Heo, P. W., Lee, Y. L., Lim, E. S., 2000, The Experimental Research for Ultrasonic Sterilization, Proc. Acoustical Soc. Korea Autumn Conf. 2010, 315-318.
- [10] 3M Petrifilm, n.d., viewed 1 March 2022, Interpretation Guide, <<https://multimedia.3m.com/mws/media/2361940/petrefilm->

aerobic-interpretation-guide.pdf>.

- [11] Rinkus, K. M., Lin, W., Jha, A., Reed, B. E., 1998, Investigation of Microbial Temperature Sensitivity and Effect of Microorganisms on the Integrity of a Commercial Metalworking Fluid, Proc. the 52nd Industrial Waste Conf., 214-222.

	<p>Tae-Min Nho Graduate student in the Department of IT and Media Engineering, Seoul National University of Science and Technology. His research interest is Analog Electronic Engineering. E-mail: see_0109@naver.com</p>		<p>Dae-Kyeon Shin Graduate student in the Department of Information Technology & Media Engineering, Seoul National University of Science and Technology. His research interest is Analog Electronic Engineering. E-mail: then0925@gmail.com</p>
	<p>Axel Lefebure Student in the Department of MSDE, Seoul National University of Science and Technology. His research interest is Manufacturing Systems and Design Engineering. E-mail: lefebure.axel@gmail.com</p>		<p>Tae-Ho Kim Graduate student in the Department of Integrated IT Engineering, Seoul National University of Science and Technology. His research interest is Analog Electronic Engineering. E-mail: dbalsgur94@gmail.com</p>
	<p>Min-wook Kim Graduate student in the Department of Automotive Engineering, Seoul National University of Science and Technology. His research interests are Micro/Nano Fabrication and Mechatronics. E-mail: fortune_leaf@naver.com</p>		<p>Min-Hyeok Yoo Graduate student in the Department of Information Technology & Media Engineering, Seoul National University of Science and Technology. His research interest is Analog Electronic Engineering. E-mail: dbalsgur94@gmail.com</p>
	<p>Donghyuck Park Graduate student in the Department of MSDE, Seoul National University of Science and Technology. His research interest is Manufacturing Systems and Design Engineering. E-mail: dhpark2876@gmail.com</p>		<p>Byoung Ho Ko Researcher in Research Institute of Nano Manufacturing System, Seoul National University of Science and Technology. His research interest is Mechanical Engineering. E-mail: masikko@naver.com</p>
	<p>Ji-Seob Choi Graduate student in the Department of Mechanical Engineering, Seoul National University of Science and Technology. His research interests are Micro Electro Mechanical Systems. E-mail: giesoub93@naver.com</p>		<p>Juhye Shin Staff at Hansung GT Co. Ltd. Her research interest is Machine tool and computer-aided engineering. E-mail: jhshin@hansungs.co.kr</p>
			<p>Chang Soo Lee Deputy general manager at Hansung GT Co. Ltd. His research interest is Machine tool and computer-aided engineering. E-mail: cslee@hansungs.co.kr</p>

	<p>Deuk Kwi Lee General manager at Hansung GT Co. Ltd. His research interest is Machine tool. E-mail: dk5533@hansungs.co.kr</p>
	<p>Young Chang Park Deputy general manager at Hansung GT Co. Ltd. His research interest is Machine tool. E-mail: plan@hansungs.co.kr</p>
	<p>Jin Hur Director at Hansung GT Co. Ltd. His research interest is Machine tool. E-mail: hur0513@hansungs.co.kr</p>
	<p>Hyung Jin Kwon CEO of Hansung GT Co. Ltd. His research interest is Machine tool. E-mail: hjkn6848@hansungs.co.kr</p>
	<p>Dongha Shim Professor in the Department of MSDE, Seoul National University of Science and Technology. His research interest is the Modeling, Simulation and Design Engineering for multi-disciplinary systems (Digital Twin). E-mail: dongha@seoultech.ac.kr</p>