

내부유동을 개선한 압연롤러의 열전달 특성에 관한 연구

한영진[†] · 배성우* · 이정혜** · 최현규** · 오 철**

A Study on the Heat Transfer Characteristics of a Rolled Roller with an Improved Inner Flow

Y. J. Han · S. W. Bae · J. H. Lee · H. G. Choi · C. Oh

Abstract : The separation of metal chips from a roller is a very important problem in the performance of a food pulverizer because the metal fragments contaminate the pulverized food powder. It was reported that the metal chip separation is facilitated as the temperature of a roller increases from other previous studies, which means that the surface temperature of a roller is a key factor of the metal chip separation. This study is performed to reduce the separation of metal chips from a roller in a pulverizing process. We changed the design parameters such as a surface shape of a roller, a cooling temperature, and a cooling water flowrate for the cooling of a roller. From the experiments, it was found that the changes of the design parameters greatly increased the heat transfer efficiency, which resulted eventually in the reduction of the separation of metal chips from a roller.

Key words : Cooling System, Heat Transfer Characteristic, Roller

사용기호

Alphabets

Q_b	: 브라인 유량	[m ³ /h]
q	: 열플럭스	[W/m ²]
R_m	: 가공롤러	
R_N	: 일반롤러	
t	: 시간	[min]
T_a	: 가열공기 온도	[°C]
T_b	: 브라인 온도	[°C]

지는 인간에게 없어서는 안 될 중요한 자원으로
서, 오래 전부터 아주 유용하게 사용되어져 왔다.
현대 사회에 있어서 열에너지는 항공 및 우주산
업, 원자력, 기계, 금속, 전기, 전자, 화학 및 식품
산업 등 전 산업에 걸쳐 중요하게 이용되고 있지
만, 이는 가열 및 냉각과정을 통하여 유효하게 활
용되어 왔다.

한편 산업현장에서 많이 사용하는 냉각방법으
로는, 고온부분을 직접 물이나 기름 등에 침지시
켜 냉각하는 침지냉각법(digestion cooling
method), 고압의 냉각유체를 노즐을 통하여 제트
류로 만들어 고온부분에 분사하여 냉각하는 분사
냉각법(jet impingement cooling method) 및 직경

1. 서 론

지구상에 인류가 생존하기 시작한 이후 열에너

[†] 책임저자(한국해양대학교 기관시스템공학부), E-mail :
* 한국해양대학교 대학원
** 한국해양대학교 기관시스템공학부

이 작은 노즐을 통하여 고온부분에 분무하여 냉각하는 분무냉각법(spray cooling method)등이 있다.^{[1]-[11]}

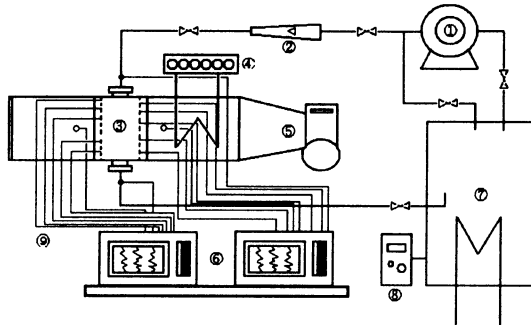
이러한 종래의 연구 중에는 외부 냉각방법을 이용하여 압연롤러를 냉각하기 위한 연구는 진행되어 왔으나, 식품 냉각을 목적으로 하여 롤러부분의 내부 냉각방법에 관한 연구는 아직도 미흡한 실정이다. 또한 근래에는 건강증진을 위한 생식위주의 식생활이 증가하는 추세여서 식품분야의 신선도 유지는 제품의 질에 많은 영향을 미치는 요소이므로 이에 대한 연구는 대단히 중요하다고 할 수 있다.

따라서 본 연구에서는 압연롤러에서 분쇄 시 발생하는 압축열을 제거하는 것을 목표로 하여, 냉각효과를 높이기 위하여 내부의 유동특성을 개선한 롤러를 이용하여 공급되는 냉각수량, 냉각수 온도 및 롤러의 표면온도 등에 대하여 실험을 통하여 정량적인 분석을 행하였다.

2. 실험장치 및 실험방법

2.1 실험장치

Fig. 1은 냉각장치를 갖춘 롤러의 냉각성능실험을 위한 장치의 전체 계통도를, Fig. 2는 실험장치의 전경사진을 나타낸다.



- ① pump
- ② flow meter
- ③ roller
- ④ electric heater
- ⑤ fan
- ⑥ temperature recorder
- ⑦ brine bath
- ⑧ temperature controller
- ⑨ thermocouple

Fig. 1 Schematic of experimental apparatus

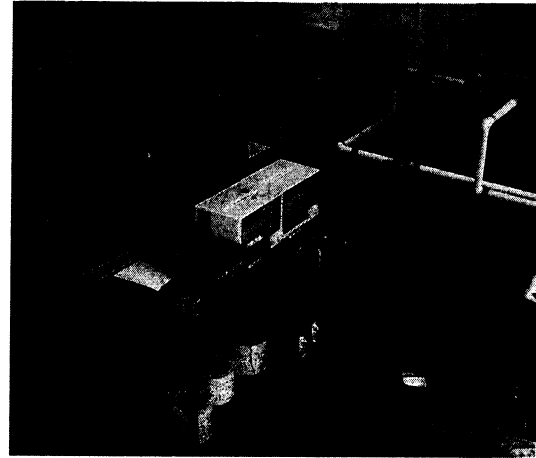


Fig. 2 Photo of experimental apparatus

실험장치는 크게 롤러의 가열을 위한 가열부, 롤러의 냉각을 위한 냉각용 브라인 순환 및 측정 장치로 구성되어 있다. 그림에서 ①은 냉각계통에 냉매를 순환시키기 위한 펌프이며, ②는 냉각브라인의 유량을 측정하기 위한 유량계이다. ③은 시험부로서 롤러 내부가 가공된 것과 가공되지 않은 두 가지 롤러를 실험에 이용했다. 가공된 롤러는 내부의 유동특성을 향상시키기 위하여 나선형으로 가공하였다. 가열부에 공급되는 공기는 닥트 내부에 설치되어 있는 ④의 히터에 의하여 일정한 도로 가열되어 ⑤의 송풍기에 의하여 가열된 공기를 시험부에 공급하였다.



(a) (b)
Fig. 3 Photo of rollers

또한 롤러의 표면온도, 공급공기온도 및 냉각용 브라인 온도를 측정하기 위하여 열전대(K type, sheathed thermocouple)를 롤러의 표면에 10개, 덕트의 입출구에 2개 및 냉각브라인 공급계통의 입출구에 2개를 각각 설치하여 ⑥의 온도기록계에 의하여 측정하였다. Fig. 3은 본 실험에 이용한 롤러의 사진이며, 일반롤러와 가공한 롤러의 사진을 각각 나타낸다.

2.2 실험방법

본 실험에서는 냉매의 온도와 유량, 롤러의 가열 온도가 롤러의 냉각효과에 미치는 영향을 고찰하기 위하여, 냉각용 브라인의 온도를 10℃, 15℃ 및 20℃로, 냉각용 브라인의 유량을 4.5m³/h, 6.8m³/h 및 9.0m³/h로, 롤러의 가열 온도를 30℃, 50℃ 및 80℃로 각각 변화시키면서 실험을 수행하였다.

또한 풍동의 풍속을 2.0m/s로 일정하게 유지하였고, 실험에 사용한 롤러는 유동특성을 고려하여 내부를 가공한 롤러와 일반 롤러를 이용하여 롤러 내부의 형상에 따른 냉각효과를 고찰 하였다.

실험은 일정한 온도로 가열된 롤러를 냉각용 브라인으로 냉각하는 시점을 실험 개시시점으로 하고, 그 후 롤러의 온도가 더 이상 변화하지 않는 상태를 정상상태로 하여 실험을 종료 하였으며, 롤러의 표면온도는 10개의 열전대에서 측정한 값의 평균값을 이용하였다. 표 1은 본 실험에서의 실험조건을 나타낸다.(단, 풍속은 2.0m/s로 모두 일정하게 유지하였다.)

Table 1 Experimental conditions

Condition	Range		
T _a (°C)	30	50	80
T _b (°C)	10	15	20
Q _b (m ³ /h)	4.5	6.8	9.0

3. 실험결과 및 고찰

3.1 유동특성에 따른 냉각특성

Fig. 4는 롤러 가열 온도를 30℃, 냉각용 브라인

온도 10℃ 및 냉각용 브라인 유량이 4.5m³/h의 조건에서 롤러 내부형상에 따른 비정상상태의 냉각 특성을 나타낸다.

그림에서 알 수 있는 바와 같이 냉각시간이 경과함에 따라 내부를 가공한 롤러가 가공하지 않은 롤러보다 냉각속도가 2배 이상 크게 나타나고 있으며, 롤러의 표면온도도 낮게 나타남을 알 수 있다. 이는 내부를 나선형으로 가공함에 따라 냉각용 브라인의 내부 유동특성이 향상되어 열전달효과가 증가되었기 때문이다.

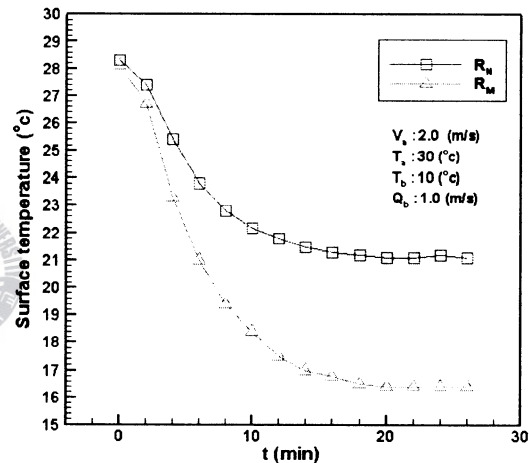


Fig. 4 Distribution of cooling rate in the roller

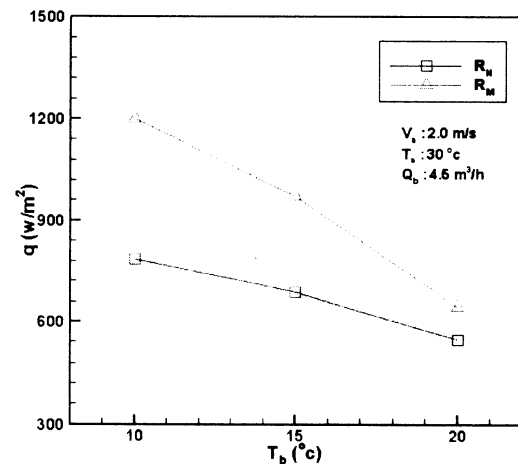


Fig. 5 Effect on cooling temperature on heat flux

3.2 냉각용 브라인온도에 따른 영향

Fig. 5는 냉각용 브라인의 유량을 4.5 m³/h, 롤러표면의 가열온도를 30℃의 조건에서, 냉각용 브라인의 온도를 10℃, 15℃ 및 20℃로 변화 시켰을 경우의 정상상태에 있어서 롤러의 열전달량에 미치는 영향을 나타낸다.

그림에서 알 수 있는바와 같이 내부를 가공한 롤러가 가공하지 않은 롤러보다 열전달효과가 크게 됨을 알 수 있으며, 냉각용 브라인의 온도가 낮을수록 열전달효과가 증가됨을 알 수 있다. 또한 냉각용 브라인의 온도가 낮을 경우에 있어서 내부를 가공한 롤러와 가공하지 않은 롤러와의 열전달량의 차가 크게 됨을 알 수 있다.

이는 내부를 나선형으로 가공함에 따라 냉각용 브라인의 내부 유동특성이 향상되어 열전달효과가 증가되었기 때문이다. 또한 냉각용 브라인의 온도가 20℃인 경우처럼 고온인 경우는 열전달량의 차가 크지 않기 때문에 냉각용 브라인의 온도를 낮게 유지하는 것이 열전달효과를 크게 할 수 있음을 알 수 있다.

3.3 냉각용 브라인의 유량 변화에 따른 영향

Fig. 6은 롤러의 가열온도 80℃, 냉각용 브라인 온도 10℃의 조건에서 냉각용 브라인의 유량을 4.5m³/h, 6.8m³/h 및 9.0m³/h로 변화시켰을 때의 롤러의 냉각특성을 나타낸다. 그림에서 알 수 있는 바와 같이 내부를 가공한 롤러가 가공하지 않은 롤러에 비하여 열전달효과가 크게 나타나며, 냉각용 브라인의 유량을 증가시키에 따라 열전달효과가 증가됨을 알 수 있다.

롤러의 형태에 따른 영향은 전절에서 설명한 바와 같으며, 냉각용 브라인의 유량을 증가시키에 따라 내부의 흐름에 있어서 유동특성에 따른 난류강도 및 강제대류효과가 증가되어서 열전달효과가 증가된 것으로 생각된다.

3.4 롤러표면의 가열 온도의 영향

Fig. 7은 냉매온도 및 냉각수 유량을 각각 10℃ 및 4.5m³/h(1.0m/s)로 일정하게 하였을 때 롤러의

가열 온도에 따른 열전달량의 변화를 나타낸다.

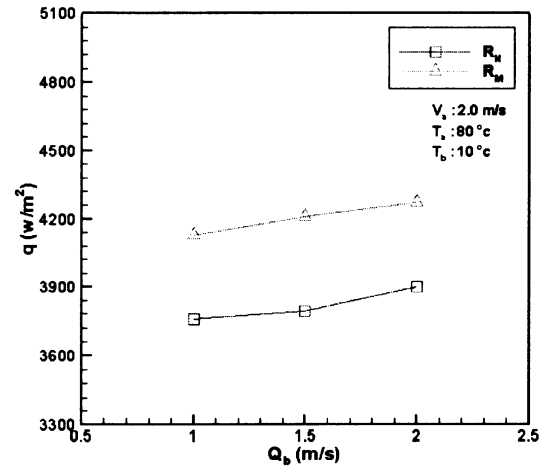


Fig. 6 Effect on cooling brine flow rate on heat flux

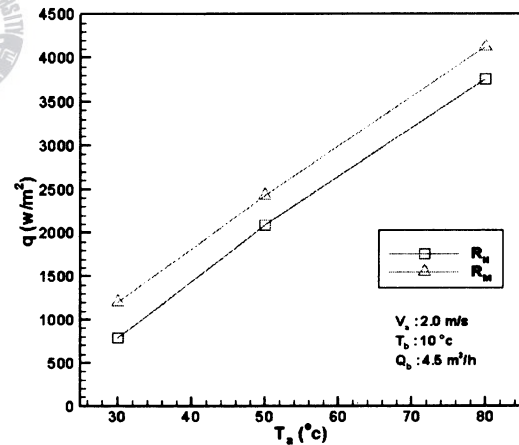


Fig. 7 Effect on heating temperature of roller on heat flux

그림에서 알 수 있는 바와 같이 내부를 가공한 롤러가 가공하지 않은 롤러에 비하여 열전달효과가 크게 나타나며, 롤러의 표면온도가 높을수록 열전달효과가 증가됨을 알 수 있다.

이는 롤러표면온도가 높을수록 냉각용 브라인의 온도와의 온도차가 증가되어 열전달량이 증가되기 때문이다. 일반적으로 식품을 분쇄 시에는 80℃정도의 열이 발생하고 있으나, 롤러의 내부

가공, 냉각용 브라인의 온도 및 유량을 조절하여 식품의 신선도를 향상시킬 수 있음을 알 수 있다.

4. 결 론

롤러내부의 형상에 따른 냉각실험을 통하여 본 실험의 범위 내에서 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 내부를 가공한 롤러가 가공하지 않은 롤러에 비하여 냉각특성이 우수하다.
2. 냉각용 브라인의 온도가 낮으면 낮을수록 열전달효과 크다.
3. 냉각용 브라인의 유량이 많을수록 열전달 효과가 크다.
4. 롤러 표면온도가 높을수록 열전달효과가 크다.

참고문헌

- [1] 林勇二郎, 瀧本昭, 安尾晃一, “高温加熱面のミスト冷却”, 第27回 日本傳熱シンポジウム講演論文集, pp. 142~144, 1990.
- [2] 大久保英敏, “水-空氣系ミスト冷却に及ぼす諸因子の影響に關する實驗的研究”, 동경대학 박사학위 논문, pp. 4~7, 1992.
- [3] K. J. Choi and C. Yao, “Mechanism of film boiling heat transfer of normally impacting spray”, Int. J. of heat and mass transfer, Vol.30, No.2, pp.311~318, 1987.
- [4] S. C. Yao and K. J. Choi, “Heat transfer experiments of mono-dispersed vertically impacting spray”, Int. J. of Multiphase Flow, Vol. 13, No.5, pp.639~648, 1987.
- [5] Sagato Deb and S. C. Yao, “Analysis on film boiling heat transfer of impacting spray”, Int. J. of heat and mass transfer, Vol.32, No.11, pp.2099~2112, 1996.
- [6] J. Filippovic, R. Viskanta, “Analysis of subcooled turbulent film boiling on a moving isothermal surface”, Int. J. of Heat and Mass Transfer. Vol. 37, No. 17, pp. 2661-2673, 1994.
- [7] S. Deb, S. C. Yao, “Analysis on film boiling heat transfer of impacting sprays”, Int. J. of Heat and Mass Transfer. Vol. 32, No. 11, pp. 2099-2112, 1989.
- [8] G. W. Liu, Y. S. Morsi, J. P. Van Der Walt, “Analysis of Spray Cooling Heat Flux”, J. of Heat Transfer, Trans. of the ASME, Vol. 121, August, pp. 742-745, 1999.
- [9] 吉岡詠進, 鈴木一誠, 阿部文明, 青山善行, 水上雄一, 二神浩三, “水スプレーによる高温金属の非正常冷却”, 제28회 일본전열심포지움 강연논문집, pp.748~750, 1991.
- [10] 일본금속학회편, “金屬データブック” 丸善株式會社, pp.105, 1974.
- [11] ASME편, “Metals Handbook” Vol.1, 9th ed., ASM, pp.145~151, 1978.

