

고주파 열처리한 콤바인 예취날의 특성분석

Analysis on the characteristics of Combine Cutters heated by a High Frequency Induction Heater.

전종길* 김경원* 윤진하* 조희근* 이인복*
정희원 정희원 정희원 정희원 정희원
J. G. Jeun G. W. Kim J. H. Yun H. K. Cho I. B. Lee

1. 서 론

콤바인 예취날은 벼 수확작업시 벼포기를 절단하는 칼날로써 일정한 강도와 내마모성을 갖추고 있어야 한다. 날끝이 쉽게 마모되거나 소요 경도에 미치지 못하면 벼포기 절단시 뜯김현상으로 벼포기가 흔들려 낱알의 탈립손실이 많으며 고속작업이 곤란하다. 실제 국산 콤바인 예취날의 교환주기는 일산날에 비해 1.5~2배 정도 빨라 농민들은 일산날을 선호하는 경향이 있다.

예취날의 제조과정에 있어 국산날의 열처리방법은 국산날은 전체를 동일 조건으로 열처리 하는데 비하여 일산날은 부분 열처리 방법에 의해 날의 강도를 달리하고 있다. 벼를 예취하는 예취날의 날끝은 경도가 높아야 되고, 취성을 증가시키기 위하여 볼트 고정부의 경도는 낮아야 하는데, 현재 사용되고 있는 국산날의 경우 전체를 동일 조건으로 열처리함으로써 예취부는 경도가 낮아 마모되거나 예취날 상·하틈새가 벌어져 교체의 원인이 되고 있으며, 볼트 고정부는 경도가 높아 파손되는 문제점이 있다.

일본의 경우 예취날 형상별 절단특성, 소요동력, 재질별 마모특성 등 절단기구에 대한 광범위한 연구가 이미 1960년부터 수행되어 왔다. 미국의 John Deere社는 콤바인날을 크롬처리하는 방법 등을 통하여 내마모성을 증대시키는 연구를 하였고, 일본의 미쯔비社는 고주파열처리 방법에 의해 예취날의 부분적 경도를 달리함으로써 예취날의 내구성을 증대시키는 연구를 하였다.

국내에서 정 등(1994~5)은 고속예취작업시 발생하는 동적 불균형 현상을 감소시키기 위해 예취부의 설치각을 변화시켜 집중부하를 분산시키는 연구와 예취날의 형상별 절단특성을 시뮬레이션하여 예취날 형상과 예취칼날의 적정 절단속도에 관한 연구를 수행하였다. 그러나 농업기계 부품의 소재에 대하여 새로운 열처리방법을 통한 내구성 향상 기술 연구는 거의 수행되지 않았으며, 산업용으로 활용되고 있는 기술을 농업분야에 응용하여 농업기계 부품의 수명연장, 농작업의 효율성을 증대할 필요가 있다.

본 연구는 현재 사용되고 있는 국내외 예취날의 성분을 분석하고, 고주파열처리라는 새로운 방법으로 콤바인 예취날의 내구성을 향상시키고자 수행되었으며, 최적의 열처리 조건을 구명하는데 그 목적을 두었다.

* 농업기계화연구소 (National Agricultural Mechanization Research Institute, RDA)

2. 재료 및 방법

가. 실험장치

고주파열처리용 실험장치(High Frequency Induction Heater)는 시편을 열처리할 적정 위치로 정치시키는 이송장치부와 시편을 가열시키는 가열부 그리고 가열된 시편을 급냉시키는 냉각장치부로 구성되어 있으며, 실험에 사용된 고주파발생기의 최대 출력용량은 30kW이며, 주파수는 100kHz를 사용하였다.

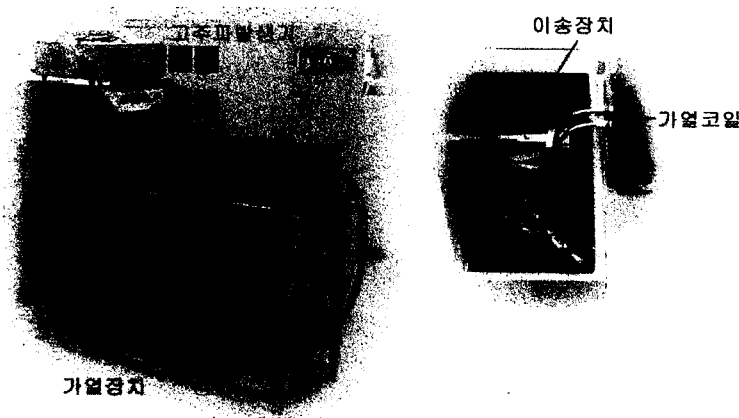


Fig. 1. High Frequency Induction Heater

로크웰 경도측정 시험장치는 Akashi社의 HR-521 모델을 사용하였으며, 금속조직을 파악하기 위한 현미경은 광학현미경(Optical Microscope) UNION MC 85631 모델을 사용하였다.

그 외 시편 절단기는 Accutom-50를 사용하였으며, 시간 측정은 초시계를 이용하였다.

나. 실험방법

고주파열처리에 의한 적정 열처리 방법을 구명하기 위하여 고주파열처리용 코일을 단면 형상별, 예취날 시편에 대한 가열시간과 냉각수 처리속도별로 시험하여 기계적 특성을 조사 분석하였다. 고주파 코일 단면 형상별로는 원형 및 사각형을, 예취날 시편에 대한 가열시간은 1sec 간격으로 증가시키면서 경도를 측정하였으며, 열처리후 냉각수 처리속도는 1~5sec 간격으로 시험하였다.

3. 결과 및 고찰

가. 예취날 성분분석

콤바인 예취날의 성분을 분석하기 위하여 국산 2종, 일산날 2종을 기술품질원에 의뢰하여 철 및 강의 스파크 광전원자 방출 분광분석방법(KSD1652-96)에 의하여 분석한 결과 아래 표 1과 같이 예취날의 성분비율은 국산 및 일산날은 매우 유사하게 나타났으며, 또한 KS 규격 범위내에 포함되었다. 다만, 일산날(J1) 1종의 Mn만이 0.7로 기준치인 0.5를 초과하고 있었다.

Table 1. Ingredient ratio of combine cutters

Ingre. Smple	Ingredient ratio (%)											Remarks
	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo	Cu	Fe		
KS (STC5)	0.8 ~0.9	less than 0.35	less than 0.50	less than 0.03	less than 0.03	less than 0.20	less than 0.25		less than 0.30			KS Standard
J1	0.85	0.25	0.73	0.010	0.009	0.13	0.03	0.001	0.10	bal.		Japan
J2	0.89	0.21	0.42	0.014	0.004	0.14	0.02	0.001	0.09	bal.		Japan
K1	0.86	0.22	0.45	0.013	0.003	0.15	0.02	0.001	0.01	bal.		Korea
K2	0.89	0.20	0.42	0.010	0.003	0.14	0.03	0.001	0.03	bal.		Korea

나. 고주파열처리 시험

(1) 고주파 코일 단면 형상별

고주파열처리용 코일 단면 형상별 시험에 있어서는 일반적으로 고주파열처리용 코일 소재로 사용되고 있는 구리(Cu)로 하여, 고주파열처리장치의 출력을 13.6kW, 가열시간 7sec, 냉각수 처리속도를 3sec로 고정한 다음, 단면 형상만 $\phi 6\text{mm}$ 인 원형과 $6 \times 6\text{mm}$ 인 사각형을 비교 시험한 결과, 그림 3과 같이 사각형 타입이 원형보다 시편의 경도가 약간 높게 나타났다. 사각형 코일이 시편에 열전달효율이 좋은 것으로 판단되어 이하 시험에서는 사각형 단면형상 코일로 시험하였다.

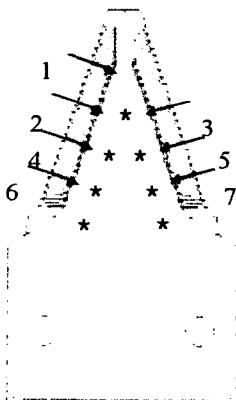


Fig. 2. Measuring point for hardness of combine cutters.

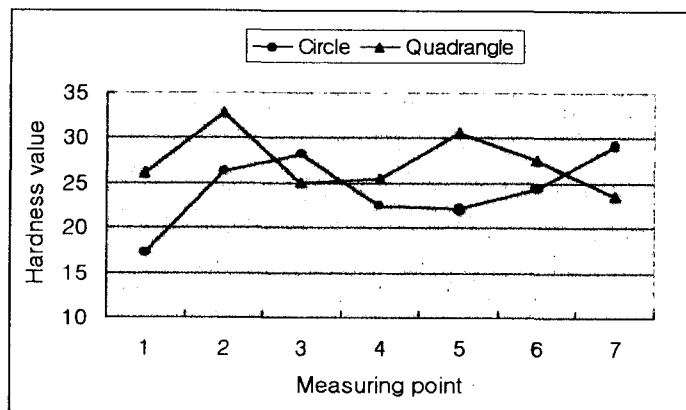


Fig. 3. Hardness of Combine Cutters according to the cross sectioned shape of high frequency heating coil.

(2) 시편 가열시간별

고주파 코일의 단면을 $4 \times 4 \text{mm}$ 로 하고 형태를 예취날에 맞게 제작한 다음 콤바인 예취날 시편에 대한 가열시간을 1sec 간격으로 시험한 결과 그림 4와 같이 14sec에서 경도분포가 가장 좋게 나타났다.

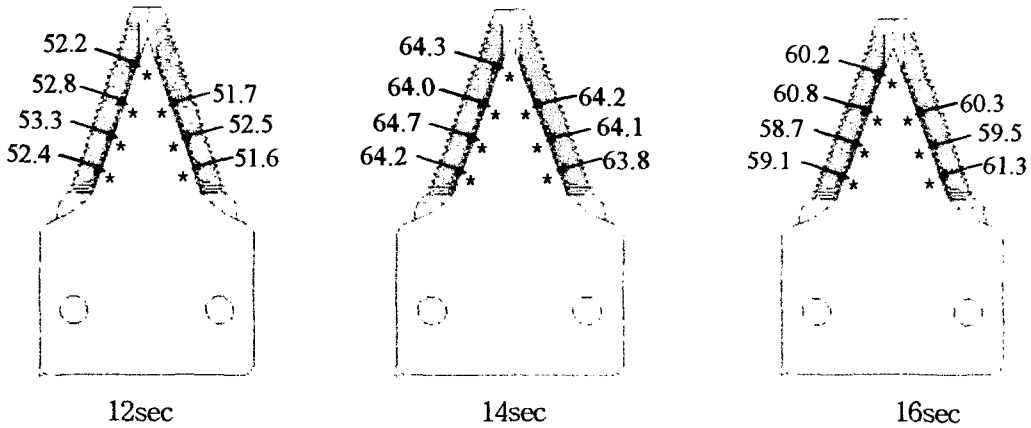


Fig. 4. Hardness of combine cutters according to heating time.

(3) 냉각수 처리속도별

냉각수 처리속도별 시험에서는 고주파 코일 단면을 $4 \times 4 \text{mm}$ 로 하고, 형태를 예취날에 맞게 제작한 다음 콤바인 예취날 시편의 가열시간을 14sec 동안 고주파열처리 하였다. 그리고 열처리후 시편의 온도가 800°C 전후상태에서 냉각시기를 열처리후 1sec부터 1sec씩 증가시키면서 5sec 동안 시험한 결과 열처리후 즉시 처리한 1sec에서 가장 높은 경도값이 나타났다.

이상 고주파열처리 시험에 대한 결과를 종합하면 고주파열처리용 코일의 단면 형상은 원형보다 사각형이 우수한 것으로 나타났으며, 고주파열처리장치에 의한 시편 가열시간은 14sec, 열처리후 냉각수 처리속도는 1sec에서 가장 좋은 것으로 나타났다.

다. 경도 및 조직검사

그림 6은 고주파열처리한 예취날과 기존 국산날 및 일산날에 대한 로크웰 경도(H_{RC})를 비교한 것으로 예취날 예취부의 평균 로크웰경도(H_{RC})는 기존 국산날 52.9, 개량날 62.0, 일산날 57.1로 나타나 개량날이 기존날에 비해 17% 경도가 높게 나타났다. 예취날 볼트 고정부의 평균 경도는 기존날이 39.3, 개량날 6.1, 일산날 9.3로 나타났으며, 고정부의 경도가 높을 때는 취성이 약하여 예취날이 파손되는 문제점이 있으므로 낮출 필요성이 있다.

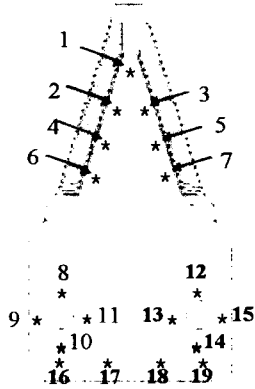


Fig. 5. Measuring point.

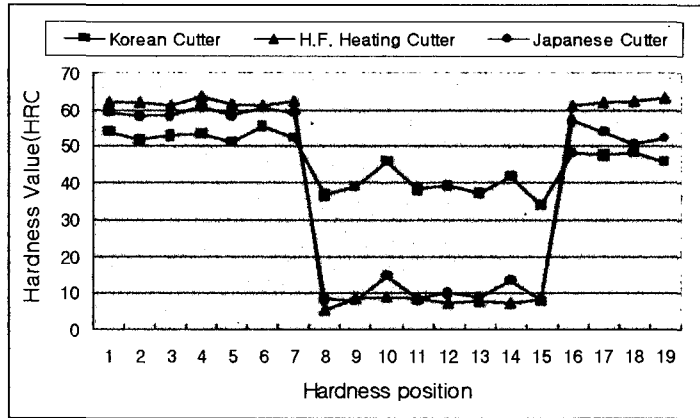
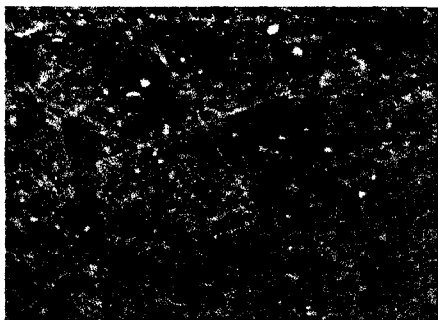
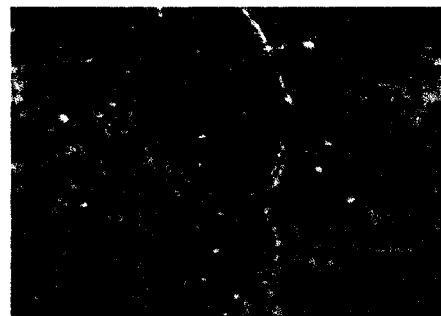


Fig. 6. Graph compared hardness of combine cutters.

예취날의 시료를 가공하여 현미경으로 미세조직을 관찰한 결과, 그림 7과 같이 국산 예취날의 경우 취성이 많으나 강도가 약한 퍼얼라이트 또는 미세퍼얼라이트 조직이 관찰되었으나, 일산날 및 고주파열처리에 의한 개량날은 열처리부위의 경우 강도가 높고 내마성이 강한 마르텐사이트조직이었으며, 비열처리 부위는 퍼얼라이트조직으로 구성되어 있었다.



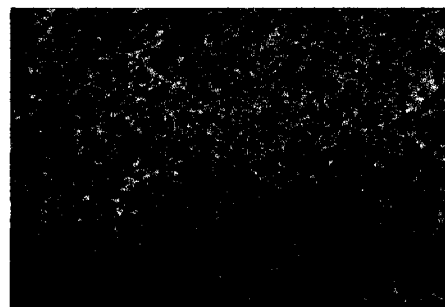
Pearlite structure, A Co.(korea)



Fine pearlite structure. B Co. (korea)



Martensite structure(Japan)



Martensite structure(H.F Heating)

Fig. 7. Structure of combine cutters by optical microscope($\times 500$).

4. 요약 및 결론

콤바인 예취날의 내구성을 향상시키고자 예취날 성분분석을 한 다음 적절한 고주파열처리 방법을 구명하고자 예취날 단면 형상별, 가열 시간별, 냉각수 처리속도별로 시험한 후 경도 및 조직특성을 분석한 결과는 다음과 같다.

- 가. 국산 2종, 수입날 2종에 대한 성분분석 결과 국산 2종의 구성성분은 원소재인 SK5의 KS규격 범위내에 있고, 다만 수입날 1종의 Mn만이 0.7로 기준치인 0.5를 초과하고 있었다.
- 나. 고주파 코일 단면 형상에 따른 열처리시험에서 사각형 코일이 원형보다 경도가 약간 높게 나타나 사각형 코일 열전달 효율이 좋은 것으로 나타났으며, 시편에 가열하는 시간은 14sec, 냉각수의 처리속도는 1sec에서 가장 좋은 경도값을 나타내었다.
- 다. 고주파 열처리한 예취날 예취부의 평균 로크웰경도(HRC)는 기존날 52.9, 개량날 62.0, 일산날 57.1로 나타나 개량날이 기존날에 비해 17% 경도가 높게 나타났다.
- 라. 예취날 볼트 고정부의 평균 경도는 기존 국산날이 39.3, 고주파열처리한 개량날 6.1, 일산날 9.3으로 고정부의 경도가 높으면 예취날이 깨어지는 경향이 있어 낮아야 하는데 국산날의 경우 상대적으로 높게 나타났다.
- 마. 예취날의 조직은 기존 국산 예취날의 경우 취성이 많고 강도가 약한 퍼얼라이트(Pearlite) 또는 미세퍼얼라이트(Fine Pearlite) 조직이었으나 일산날과 고주파열처리에 의한 개량날은 강도가 높고 내마모성이 강한 마르텐사이트(Martensite) 조직을 형성하고 있었다.

5. 참고문헌

1. 권호영 외. 2000. 신편 재료공학. 원창출판사. pp. 53~67.
2. 김정근 외. 1999. 금속현미경조직학. 도서출판 골드. pp. 238~264.
3. 정창주 외. 1994. 콤바인 예취장치의 절단현상 및 동적 특성에 관한 연구(I) - 왕복동 예취장치의 동적 특성. 한국농업기계학회지 19권 3호 pp. 163~174.
4. 정창주 외. 1995. 콤바인 예취장치의 절단 특성에 관한연구(I) - 절단 현상 및 표준형 칼날의 절단 특성. 한국농업기계학회지 20권 1호 pp. 3~12.
5. Sverker Persson. 1987. Mechanics of cutting plant material. An ASAE Monograph Number 7 in a series published by American Society of Agricultural Engineers. : 97~109.