

근골격계 질환 예방을 위한 재생타이어 트레드 버핑머신 개발

김재열⁺, 한재호⁺⁺, 이연신⁺⁺, 김항우⁺⁺, 오성민^{*}

Development of Tread Buffing Machine for Recapped Tire for prevention of Musculoskeletal System disorder

Jae-Yeol Kim⁺, Jae-Ho Han⁺⁺, Yeon-Sin Lee⁺⁺, Hang-Woo Kim⁺⁺, Sung-Min Oh^{*}

Abstract

As a part of environmental pollution prevention and resources recycling, the regeneration of waste tire has been largely contributed to national industry. But, the worker has been evaded this regeneration process by reason of the best mischievous process condition among 3D industries. So, the first, the process condition of regenerating waste tire was analyzed. The second, the equipment or system was developed for the improvement of working strength and environment. The last, researchers intend to solve these problems

Key Words : Recapped Tire(재생타이어), Tread buffing (트레드버핑), Recycle(재활용), Environmental pollution(환경오염), Evasion of Duty(직무기피), Musculoskeletal System disorder(근골격계질환), a chest complaint(호흡기질환)

1. 서론

제품의 생산에서부터 폐기에 이르기까지 제품의 전 과정에 걸쳐 적극적인 재활용과 폐기물을 최소화하는 새로운 환경보존 기술 개발 및 적용이 요구되고 있다.

전 세계적으로 증가일로에 있는 자동차 산업의 발달에 따라 급증하는 페타이어의 자원 재활용 향상을 위한 재생 타이어 생산업체 활성화 필요성이 대두되고 있으나, 제조 공정상의 직무기피 현상 심화로 기업경쟁력이 약화되고 있다.

재생타이어 제조과정에서 노동강도 및 작업환경이 가장 취약한 공정은 페타이어의 트레드 표면을 균일하게 깎아 내는 버핑공정이다. 이러한 버핑 공정은 현재 수작업으로 진행됨으로서 중량물인 페타이어의 이송, 취부 및 압착 등으로 인하여 높은 노동강도를 요구함에 따라 작업자의 안전사고 발생율이 높으며, 버핑작업 중에 발생하는 진동 및 부하 등에 작업자가 직접 노출되어 있어 근골격계 질환 발생율이 높다. 또한 작업 시 발생하는 미세 고분진과 유해한 가스로 인하여 심각한 호흡기질환의 발생에 따른 기피현상이 두드러진 작업으로 인식된다.

* 오성민, 조선대학교 정밀기계공학과 (dewyiris@korea.com)
주소 : 501-759 광주광역시 동구 서석동 375

+ 조선대학교 기계공학과

++ 송원대학 자동차공학과

이에 Table 1과 같이 작업장의 유해요인 조사를 통한 직 무기피환경 분석결과를 바탕으로 인간공학적 측면에서 자동화 설비인 버핑머신을 설계·개발하고, 기존의 작업과 버핑머신을 사용한 작업과의 작업자세에 따른 위험성을 검증된 평가도구를 이용하여 위험도를 정량화 한 후, 각 작업별 노동강도 및 작업자에게 노출된 작업환경을 측정하고 비교·평가하여 개선효과를 검증함으로써 작업자의 노동강도 저하 및 작업환경 개선을 통하여 최종적으로 재생타이어 버핑 공정의 직무기피 요인을 해소하고자 하였다.

Table 1 버핑공정 직무기피 요인별 분석

구분	내 용
노동 강도	1인의 작업자가 60kg 이상의 페타이어를 들어 올려 휠에 취부하여 이송 또는 버핑을 수작업으로 행하고 있으며, 평균 40개/일 정도의 페타이어 버핑 작업을 행하고 있는 실정이다. 따라서, 이로 인하여 작업자는 근골격계질환 및 진동신경염증을 호소하고 있는 실정이다. 초보자의 경우 이를 정도의 작업으로 노동강도를 견디지 못하고 빈번히 이직하고 있는 실정이어서 이의 해결이 시급하다고 보여진다.
고무 분진	페타이어의 트레드 표면 버핑시 미세한 고무입자가 공기중에 분산되어 대기오염으로 인한 작업자의 호흡기질환(진폐증) 발생율이 높은 실정이다.
유해 가스	버핑작업시 고무와 Rasp(버핑날)와의 마찰에 의하여 일산화탄소, 아황산가스, 황화수소 등의 대기오염물질 발생으로 인하여 시각장애, 폐질환, 심장질환 및 순환기질환 등에 노출되어있다.
소음 발생	페타이어 버핑시 트레드 표면과 버핑날사이의 마찰에 의한 Squeeze 소음이 발생되어 작업자는 장시간동안 소음에 노출되어있어 청각장애(소음성 난청) 등의 발생위험이 높아 작업을 꺼려하고 있는 실정이다.

2. 개발내용 및 목표

재생타이어 제조 공정은 크게 검사공정, 버핑(연마)공정, 성형공정, 가류공정을 통하여 완제품으로 생산된다.

국내의 41개 재생타이어 업체를 대상으로 한 조사에서 생산성저해(78%)와 직무기피공정(85.4%)으로 분석된 버핑공정은 현재 그 작업 방식에 따라 수동, 반자동, 자동 장치로 나뉘어 진행된다.

페타이어 재생 선두업체(2개업체)에서 사용하는 자동장치와 대부분의 중소기업에서 사용하는 반자동/수동 장치의 특징은 Table 2와 같다.

이러한 내용을 바탕으로 기초자료 조사와 현장 tour를 통하여 작업장 관찰 및 작업자세 관찰로 직무기피 요인을 분석하였고, 노동강도, 고무분진, 유해가스, 소음발생 부분에서 자동화 및 환경처리기술을 적용하였다.

Table 2 Burffing Machine for Recapped Tire of Properties

구 분	국 외		국 내
	Italy	USA	기존제품
작업환경	고무분진/유해가스 간접노출	고무분진/유해가스 간접노출	고무분진/유해가스 직접노출
노동강도	중 (타이어 장탈착/버핑자동작업)	중 (타이어 장탈착/버핑자동작업)	상 (타이어 장탈착/버핑수작업)
생산성	3분/개/인	4분/개/인	10분/개/인
장비가격	300백만원/대	200백만원/대	30백만원/대
작동방법	자동	자동	수동/반자동(장탈착)
기타	Marangoni사 개발	Central Marketing제품	자체제작

2. 1 연구개발 내용

재생타이어 트레드 버핑머신의 직무기피 요인 해소를 위한 세부적인 개발 항목 및 내용은 검출부, 기구부, 가공부, 제어부, 제어프로그램 등으로 각각의 구성은 작업강도를 최소화 하는데 역점을 두고 설계되었으며, 세부내용은 Table 3과 같다

Table 3 Detail item and content

No.	항 목	내 용
1	자동장착 장치 개발	- 페타이어의 Loader/Unloader - 자동/반자동 작동 및 비상정지 기능
2	자동 공기 주입 장치 개발	- 페타이어의 형상 유지 - 페타이어의 검사(사용가능 여부) 수행
3	자동 취출 장치 개발	- 버핑공정에서 발생하는 유해가스 제거 - 고무칩 및 고무분말의 수집
4	위치 제어 컨트롤러 개발	- 버핑작업을 위한 페타이어의 위치 조정 - 버핑공구의 위치 조정 (타이어 기종별)
5	컨트롤러용 프로그램 개발	- 타이어 기종별 별도의 가공 코드 작성 - 공구위치, 가공속도, 가공시간 등 입력
6	컨트롤러 인터페이스	- 외부기기와 연결하여 가공기기 제어 - 특수 기종의 가공시 외부입력 기능 수행
7	인터페이스 프로그램 개발	- 버핑머신은 가공코드만을 보유 - 외부기기(PC)의 지령에 따른 가공 수행
8	타이어 정보 D/B 구축	- 제조 메이커별 타이어의 특성 및 제한 - 가공을 위한 타이어 종류별 형상 정보

2. 2 세부 기술적 목표

트레드 버핑머신 개발에 있어서 기술적인 목표치는 적용되고 있는 세계 최고기술에 대응하여 선정 적용하고, 작업시 발생하는 고무분진과 유해가스로부터 작업자를 보호하기 위한 배려를 강구하여 설계하였다.

Table 4 Details Technology Target

항 목	세계최고기술	목 표
적용타이어 Rim 치수	16/22인치	16/22 인치
최대 외측직경	1,400mm	1,400mm
최대 단면폭	240mm	300mm
공기압자동주입장치	8-10 bar	8-10 bar
타이어 장탈착	자동/반자동	자동/반자동
타이어분말집진량	-	1kg/min
고무분말이송량	-	3kg/min
위치제어유닛	3축	3축
버핑처리능력	3분/개	3분/개

3. 구성 및 모델링

현장 작업자 들의 요구사항을 수렴하고 공정간의 문제점을 검토하여 레이아웃 설계를 하였고 작업 수행시 해결 방안을 모색하여 기구학적인 모델링에 최대한 반영하였다.

본 연구를 수행하기 위한 설계 툴은 CATIA V5R12를 설계 도구로 사용하였으며, 3D 설계기법을 적용하여 간섭 체크 및 강도 설계를 고려하여 설계오류를 최소화하였다.

각 Shaft의 중요부위 치수결정은 강도해석을 통하여 각 축에 걸리는 등가응력(Von-Mises Stress)을 얻어 재료의 파괴강도와 비교함으로써 Shaft의 중요변수를 결정하여 설계오류를 최소화하고 중요부위의 안전성을 확보하였다.

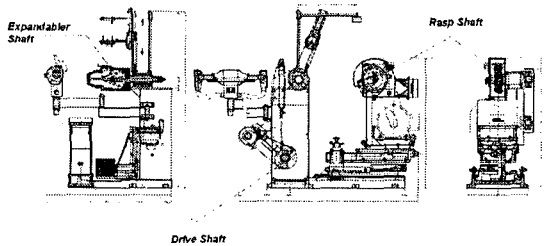


Fig 1. Developed Tread Buffing Machine for Recapped Tire.

각 공정의 흐름에 따른 구성 요소의 특성 및 개선점은 다음과 같다.

3. 1 Tire Lift Frame

타이어리프트프레임은 중량의 페타이어를 확장림에 로딩 또는 언로딩하는 작업을 용이하게 하여 작업자의 노동강도를 저감시킬 수 있도록 하였다.

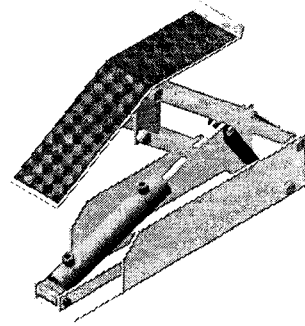


Fig 2. 3D Modeling of Tire Lift Frame for Buffing Machine.

3. 2 Tire Shaft

타이어샤프트는 원뿔형의 피스톤 구조로 이루어져 있으며 확장림을 반경방향으로 확장 및 축소하는 역할을 함과 동시에 중량의 페타이어를 지지하는 회전축으로서의 기능을 갖는다. 또한 타이어가 버핑작업이 가능하도록 에어를 공급하는 통로역할을 한다.

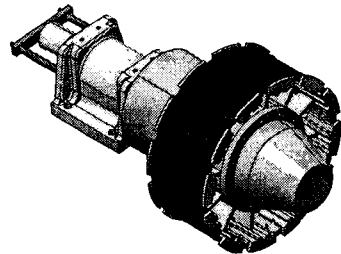


Fig 3. 3D Modeling of Tire Shaft for Buffing Machine.

3. 3 Expansion Rim

페타이어는 제조사 및 적용차종에 따라 다양한 직경 및 폭을 갖는다. 이러한 다양한 종류의 조건을 만족시킴과 동시에 페타이어를 지지하고 버핑작업시 가해지는 압력에 견딜 수 있도록 반경 방향으로 확장이 가능한 구조의 림과 공기를 주입하여 타이어를 팽창시키기 위한 공기 주입구가 구비되어 있다.

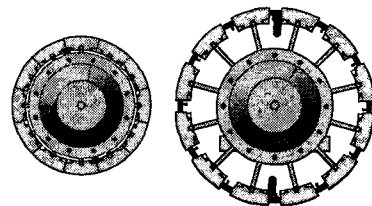


Fig 4. 3D Modeling of Expansion Rim for Buffing Machine.

확장림의 구조는 세부분으로 구성되어있다. 외부는 신축성 있는 고무로 되어있으며, 12개의 프레임과 고무 사이에 지지 역할을 하는 가이드플레이트가 있다.

타이어림의 접촉불량에 의한 에어누설을 막기 위하여 휠부 설계각도 조절에 따른 장착성을 향상시키고, 솔레노이드 및 압력제어밸브를 이용한 정량 자동 주입장치 개발하였다.

3. 4 Tire Driver

확장림에 의하여 고정되어진 타이어면에 밀착하여 구동함으로써 절삭작업이 이루어지도록 타이어를 회전시킨다. 벨트를 이용하여 구동력을 전달하며 다양한 직경의 타이어에 대응하기 위하여 에어실린더를 이용하여 높이 조절이 가능한 구조이다.

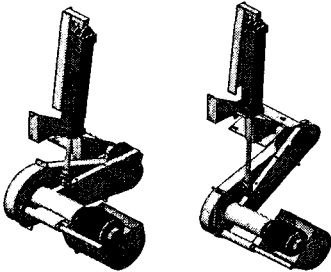


Fig 5. 3D Modeling of Tire Driver for Buffing Machine.

3. 5 Tire Belt Sensing Part

타이어는 트레드(tread)·카커스(carcass)·비드(bead)의 세부분으로 되어 있다. 그중 카커스는 타이어의 골격이며, 차체의 하중을 지지하고, 끊임없는 굴곡운동에도 충분히 견딜 수 있도록 금속선 또는 벨트(steel cord)가 겹쳐져 있다.

벨트 검출부는 버핑작업시 타이어의 금속선을 근접센서로 검출하여 작업자가 적정 버핑 깊이를 인식할 수 있도록 하는 역할을 담당한다.

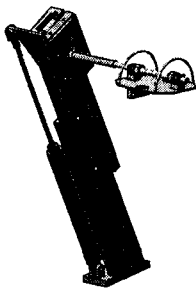


Fig 6. 3D Modeling of Tire Belt Sensing part for Buffing Machine.

3. 6 Slide Base

주 절삭 톨을 회전시키기 위한 톨 회전 구동부와 회전 구동부를 전,후진 방향운동 및 스윙운동을 할 수 있는 구조로 되어있다.

각 운동은 에어실린더를 이용하여 구동할 수 있으며, 각종 타이어의 단면 형상에 따라 가이드 역할을 하는 템플릿을 교체 함으로써 다양한 종류의 타이어 형상에 대응하여 절삭작업이 가능하다. 하부 바닥은 높이 및 수평을 조절할 수 있도록 Leveling Bolt를 취부 하였다.

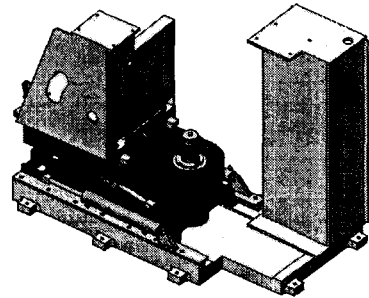


Fig 7. 3D Modeling of Slide Base for Buffing Machine.

3. 7 Rasp Housing

하우징 내부에 주 절삭 칼날을 내장하고 버핑 작업시에 자동으로 커버가 개폐되도록 안전성의 확보와 미관을 고려하였다. 또한 Rasp 측면에 후드를 설치하여 버핑 작업시 발생하는 고무 분진 및 유해가스를 흡입, 집진하여 처리가 가능하도록 설계하였다.

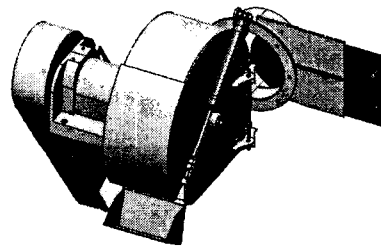


Fig 8. 3D Modeling of Rasp Hosing for Buffing Machine.

3. 8 Hand Buffing Part

주 절삭 톨을 이용하여 버핑작업을 수행한 타이어의 외부 절삭면을 필요시 간단한 연마작업을 통하여 다듬을 수 있도록 회전 숫돌을 내장하여 마무리가 가능하게 설계, 제작하였다.

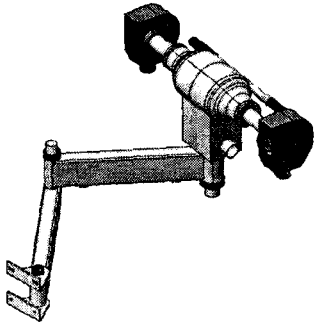


Fig 9. 3D Modeling of Hand Buffering Part for Buffering Machine.

개발된 트레드 버핑머신의 3D모델을 Fig. 10에 나타내었다.

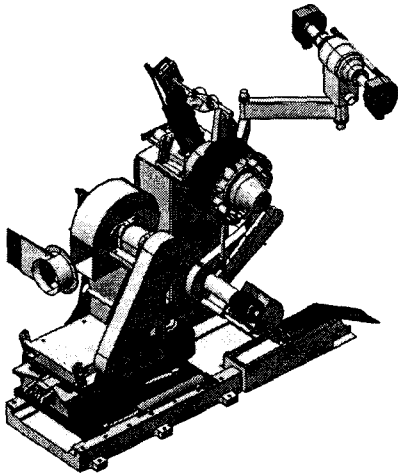


Fig 10. 3D Modeling of Tread Buffering Machine.

4. 개선효과분석

4. 1 작업환경 측정

진단은 대상작업의 작업관련성 근골격계질환 유해요인을 파악하기 위하여 작업장 및 작업자세를 정밀 분석하고 작업 자세 평가 및 위험성 평가를 하였고 자동화 설비 도입 후 작업자세를 비교하여 개선효과의 정도를 검증하였다.

사용한 Checklist는 SI(Strain Index), RULA(Rapid Upper Limb Assessment), OSHA-A(Occupational Safety And Health Administration) 이다.

4. 2 환경평가 결과 분석

4.2.1 기존의 기계에 의한 작업평가 자세

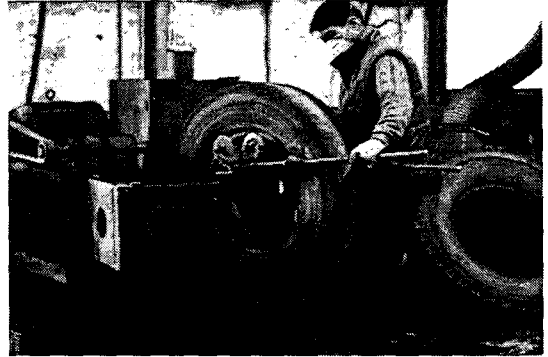


Fig 11. Process by manual processing

Table 5 Working Posture for existent Buffering Machine.

진 단	평 가	결 과
SI	cycle당%=2 분당횟수=1.5 자세(손/손목)=2 작업속도=1 작업시간=1 강도=9 $2 \times 1.5 \times 2 \times 1 \times 1 \times 9 = 54$	매우 위험한 작업이므로 즉시개선 요함
RULA	(평가그룹 A: 상완=1 전완=1, 손목=3+1, 손목 비틀림=1 TABLE A=3 근육사용=1 무게 나 힙 3: 7점) (평가그룹 B: 목=2, 몸통=1, 다리와 발=1, TABLE B=2 근육사용=1 무게나 힙=3: 6점) TABLE C=7점	정밀 조사와 즉각적인 개선이 요구됨
OSHA	반복성=3 손힘=3 작업자세=0 신체압박=2 진동=2 환경=1 작업조절=1 합계=12점	즉시 개선 요함

4.2.2 버핑머신에 의한 작업평가 자세

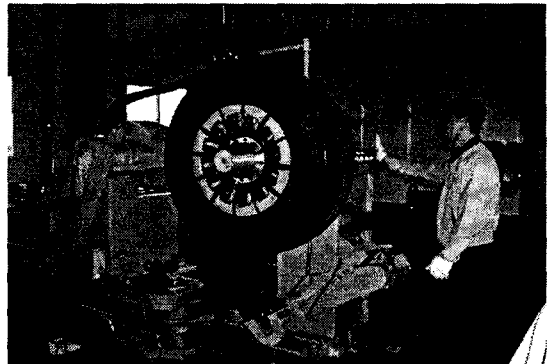


Fig 12. Process by Auto processing

Table 6 Working Posture for Buffing Machine.

진단	평가	결과
SI	cycle당%=0.5 분당횟수=0.5 자세(손/손목)=1 작업속도=1 작업시간=1 강도=1 0.5×0.5×1×1×1×1=0.25	안전한 작업
RULA	(평가그룹 A : 상완=1 전완=1, 손목=1, 손목 비틀림=1 TABLE A=1 근육사용=0 무게 나 힘 1: 2점) (평가그룹 B : 목=1, 몸통=1, 다리와 발=1, TABLE B=1 근육사용=0 무게나 힘=1: 2점) TABLE C=2 점	수용 가능한 작업
OSHA	반복성=1 손힘=0작업자세=0 신체압박=0 진동=0 환경=1 작업조절=1 합계=3점	안전한 작업

4.3 파급효과

국내 산업발전과 작업환경 개선에 따르는 파급효과를 다음의 Table 7에 나타내었다.

Table 7 Spreading Effect

국내산업발전	작업환경개선
국내 동종업계(41개 업체)에 보급 및 적용 확대 용이	버핑작업환경 개선에 따른 직무기피요인해소
패타이어 회수율향상, 재활용 증대 및 환경오염 방지에 기여	3D 업종으로 분류된 재생타이어 업계의 인력수급 불균형 해소
버핑공정의 자동화를 통한 생산성 향상 및 수출 경쟁력 확보	버핑공정 자동화를 통한 작업자 산업적재(부상) 위험요소제거
버핑공정에서 발생하는 고무분말의 안정적 공급 및 적용분야 확대	각종 직업병(호흡기질환 등)으로부터 작업자 보호

완성된 “재생타이어 제조용 트레드버핑 Machine”은 제품개발시 중점을 둔 사항에 부합하여 작업자들의 노동강도 저하 및 인력절감으로 직무기피요인이 개선되었고, 생산성과 품질을 향상하면서 유해 작업환경으로부터 작업자를 보호하여 직업병 발생 원인을 최소화 하였다.

5. 결론

1) 로터 및 언로터를 이용한 자동화로 중량물 작업에 소요되는 노동강도를 감소하고 위치제어 유닛이 자동으로 버핑작업을 수행할 수 있었다.

2) 각종 타이어의 단면 형상에 따라 가이드의 역할을 하는 템플레이트를 교체함으로써 다양한 종류의 타이어 형상

에 적용하여 자동 절삭작업이 가능하였다.

3) 1대의 버핑머신을 이용하였을 때 1일 1인당 생산량이 200% 증가하였고, 1인의 작업자가 2대 이상의 버핑머신 관리가 가능하므로 생산성을 획기적으로 향상 시킬 수 있었다. 또한 위치제어 유닛이 자동으로 버핑작업을 수행하므로 제품 품질이 향상되었다.

4) 고무분진과 유해가스가 고무분말 집진장치를 통하여 자동 처리 됨으로써 호흡기 질환 및 폐질환을 예방하고, 버핑작업시 진동이 직,간접적으로 전달되지 않아 근골격계질환 등의 직업병 발생 원인을 차단하는 효과를 가져왔다.

5) 제작된 재생 타이어 트레드 버핑 머신의 현장 적용 및 산업안전 보건법 제42조에 의한 작업시 유해인자를 측정할 결과 노동강도, 소음, 분진 및 유해가스등에서 목표치에 도달하여 만족할만한 결과를 얻을 수 있었다.

후기

본 연구는 산자부와 중기청에서 지원하는 “2003년도 직무기피요인해소 사업”의 지원으로 연구개발된 것으로 이에 감사드립니다.

참고문헌

- (1) 김항우, 김택, 조점금, 문성수, “타이어 공학”, 골든벨, pp1-45, 2000.
- (2) R. Kennedy, H. Patel, M. Mcminn, “Radial Truck Tire Inflation Analysis : Theory and Experiment”, *Rubber Chemistry and Technology*, Vol. 54, 1981.
- (3) H. Rothert, R. Gall, “On the Three-Dimensional Computation of Steel-Belted Tires”, *Tire Science and Technology*, TSTCA, Vol 14, No. 2, April-June 1986, pp. 116-124
- (4) R. Ridha, K Satyamurthy, L. Hirschfeld, R. Holle, “Contact Loading of a Rubber Disk”, *Tire Science and Technology*, TSTCA, Vol. 13, No.1, January-March 1985, pp. 3-15.