

고무제품제조공장의 가류공정에 설치된 유도전동기의 설치환경 및 화재위험성 분석

이종찬¹ · 김두현^{2†} · 김성철³

Analysis of Installation Environment and Fire Risk of Induction Motors Installed in the Curing Process of a Rubber Product Manufacturing Plant

Jong-Chan Lee¹ · Doo-Hyun Kim^{2†} · Sung-Chul Kim³

[†]Corresponding Author

Doo-Hyun Kim

Tel : +82-43-261-2463

E-mail : dhk@chungbuk.ac.kr

Received : January 27, 2023

Revised : April 4, 2023

Accepted : April 14, 2023

Copyright©2023 by The Korean Society of Safety All right reserved.

Abstract : This study analyzed the fire status of a rubber product manufacturing factory based on 19 years of fire data. Through the analysis of the current state of fire, electrical fires accounted for 58.19%, and among electrical fires, motor fires were the highest at 26.21%. For the motor fire occurrence process, the curing process accounted for the highest rate of 51.9%. Therefore, the installation environment was investigated for the motor in the curing process, and it was confirmed that the motor's maximum ambient temperature exceeded 40°C. In particular, in the case of the motor for curing operation, the motor was installed in a separate motor room, so the average indoor temperature was 48.10°C and the motor frame's maximum temperature was 72.80°C. In this study, the risk of motor fire was confirmed through a field survey, and a safety management plan was derived by finding a process with high fire risk and conducting an experiment on the motor's installation environment and electrical characteristics in that process.

Key Words : electrical motors, rubber product manufacturing industry, normal and abnormal of electrical signal, high temperature environment, electrical fire

1. 서론

현대사회는 전기·전자기술의 발전에 따라 우리 주변의 산업 및 생활 시설은 자동화 및 인공지능화되고 있으며 변화의 중심에 전기에너지가 자리 잡고 있다. 이런 전기에너지는 유통, 배송 및 자동화를 위하여 다양한 전기 기계·기구가 사용되고 이로 인한 예기치 못한 재해나 화재가 지속해서 발생하고 있는 것도 사실이다¹⁾. 국가화재정보센터의 화재통계에 따르면 2022년 발생한 화재 40,111건 중 전기화재는 9,982건으로 전체 화재의 24.89%를 차지하고 있다²⁾. 특히, 각종 제어장치와

전동기 등의 설비가 상호 시스템을 구성하여 운영되는 산업시설의 경우 여러 가지 원인에 의해 발열이 발생하고 전기화재로 이어지고 있으며 대형화재로 연결되어 인명 및 재산피해로 이어지고 있다. 그럼에도 불구하고 국가화재정보센터의 화재분류 및 통계에서는 전동기의 화재에 대해 별도로 관리되고 있지 않다. 산업현장에서 전동기에 의한 화재를 확인하기 위해서는 국가화재정보센터에서 “발화기기-산업장비-모터·인쇄기·집진기”로 검색해야 확인할 수 있으며 2022년 산업장비 중 “모터·인쇄기·집진기”의 화재 건수는 134건으로 확인되었다²⁾. 현재 전동기 화재를 예방하기 위한 자료는

¹(주)KT&G 안전보건관리실 실장 (Safety & Health Management Office)

²충북대학교 안전공학과 교수 (Department of Safety Engineering, Chungbuk National University)

³충북대학교 안전공학과 조빙교수 (Department of Safety Engineering, Chungbuk National University)

IEEE(Institute of Electrical and Electrics Engineers)의 “산업 및 상업용 전동기의 신뢰성 조사 보고서”³⁾와 FMD-2016(Failure Mode/ Mechanism Distributions)⁴⁾의 전동기의 종류별 고장률 자료를 통해 확인되며 연구 및 활동으로는 전동기의 구속운전에 따른 전류의 상승과 발열량의 증가에 따른 화재 위험성에 관한 연구가 꾸준히 이루어지고 있다. 연구의 대부분이 산업용 전동기보다는 가전제품에 사용되는 소형 전동기나 자동차용 전동기에 대한 실험과 연구이다⁵⁻⁷⁾. 이러한 연구결과는 가정이나 일반적인 환경에서의 전동기 화재를 예방하기 위한 자료로서의 활용 가치는 높으나 중대형 전동기를 많이 사용하고 설치환경이 열악한 산업현장에 적용하기에는 한계가 있다. 이런 문제로 제조업의 경우 크고 작은 전기화재로 이어졌고 결국에는 대형화재로 진전된 사례가 있다. 그러나 이런 대형화재에도 불구하고 전동기 화재를 예방하기 위한 구체적이고 객관적인 실태조사나 해결책은 미비한 실정이다.

이에 본 연구에서는 고무제품의 이송을 위한 중·대형 전동기를 많이 사용하고 있고 고온 공정이 있는 A 고무제품제조공장을 대상으로 실태조사를 시행하였다. 19년간 해당 제조공장에서 발생한 전동기 화재를 분석하고 화재가 빈번하게 발생하는 공정을 도출하였다. 도출된 공정의 설비 및 전기 기계·기구에서 화재가 가장 자주 발생한 전동기에 대하여 설치환경의 조사와 정상운전과 구속운전 시 전기적 특성을 파악하였다.

2. 이론적 배경

2.1 고무제품제조공장의 공정 현황

고무제품 제조공정은 8개의 주요 공정을 거쳐 완제품이 생산되고 검사를 거쳐 출고하는 과정을 거친다. Fig. 1은 고무제품제조공장의 작업공정을 나타낸 것이다⁸⁾. 정련공정(Refining)은 약품과 고무 등의 원재료를 혼합해서 완제품의 재료가 되는 고무를 생산한다.

정련공정에서 생산된 고무를 활용하여 제품의 각 부분의 특성에 맞는 반제품을 생산하는 공정이 압연공정(Calendering), 압출공정(Extrusion), 재단공정(Cutting), 비드공정(Bead)이다. 압연공정은 스틸 코드를 일정한 간격으로 배열하여 일정한 두께의 고무를 입히는 공정이며, 압출공정은 정해진 규격에 따라 일정한 폭과 두께로 압출기의 구멍을 통해 토출하는 공정이며 비드공정은 와이어를 규격에 맞게 감은 후 고무를 입히는 공정을 말한다. 이렇게 생산된 반제품을 조립하여 제품의 형태로 만들어내는 공정이 성형공정(Building)이며, 열과 압력을 가하여 제품을 완성하는 마지막 공정이

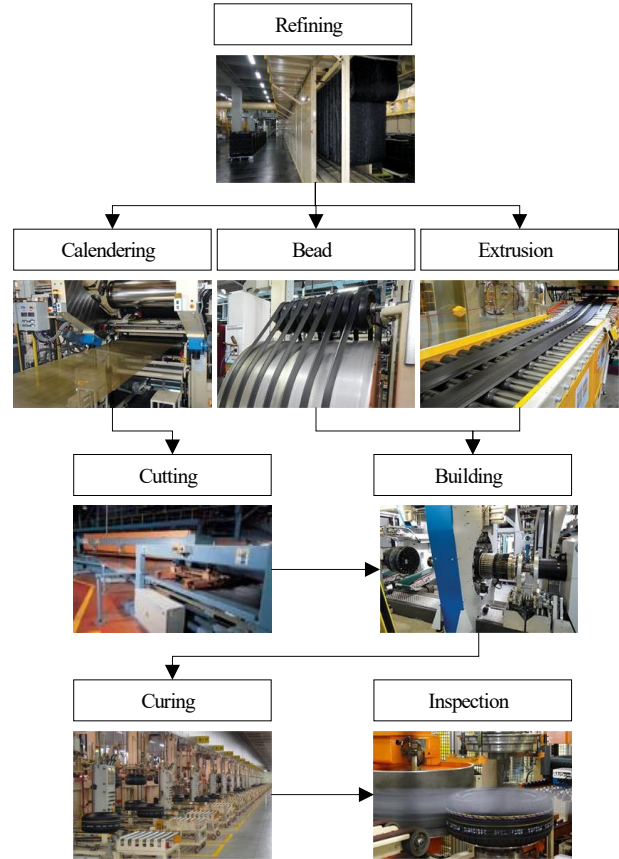


Fig. 1. Rubber product manufacturing process.

가류공정(Curing)이다. 완성된 고무제품은 검사공정(Inspection)을 거쳐 창고로 입고된다. 이 과정에서 반제품이나 완제품의 제조 및 이송과정에서 전동기는 광범위하게 사용되고 있다.

이와 같은 전동기는 설치 및 사용환경에 따라 고장률에 많은 영향을 미치는데 고무제품제조공정에서 전동기 고장에 영향 미치는 환경적 요소는 고온, 습도, 분진 등이다⁹⁾.

2.2 전동기의 고장 원인 및 온도상승 한도

2.2.1 전동기의 고장 원인

IEEE(Institute of electrical and electrics engineers)의 전동기 신뢰성 분과위원회에서 발간한 “산업 및 상업용 전동기의 신뢰성 조사 보고서”에 전동기 고장의 주요 원인이 Table 1과 같이 제시되어 있다³⁾.

IEEE의 연구에서의 고장 원인은 경년변화 등의 전기적 요인이 30.6%, 고 진동 등의 기계적 요인이 30.6%, 높은 습도 등의 환경적 요인이 38.7%로 나타났다. EPRI(Electric power research institute)의 고장의 구성품에 관한 연구에서는 고정자 접지 및 절연에서의 문제 등 전기적인 요인이 36.0%, 슬리브 베어링에서의 문제

Table 1. Summary of IEEE and EPRI motor reliability surveys

IEEE study		EPRI study	
Failure contributor	Rate (%)	Failed component	Rate (%)
Persistent overload	4.2	Stator ground insulation	23.0
Normal deterioration	26.4	Turn insulation	4.0
-	-	Bracing	3.0
-	-	Core	1.0
-	-	Cage	5.0
Electrical related total	30.6	Electrical related total	36.0
High vibration	15.5	Sleeve bearings	16.0
Poor lubrication	15.2	Antifriction bearings	8.0
-	-	Trust bearings	5.0
-	-	Rotor shaft	2.0
-	-	Rotor Core	1.0
Mechanical rated total	30.7	Mechanical rated total	32.0
High ambient temp.	3.0	Bearing seals	6.0
Abnormal moisture	5.8	Oil leakage	3.0
Abnormal voltage	1.5	Other reasons	2.0
Abrasive chemicals	4.2	-	-
Poor ventilation cooling	3.9	-	-
Other reasons	20.3	-	-
Environmental reasons & other reasons total	38.7	Maintenance related & other parts total	32.0

등 기계적인 요인이 32.0%, 베어링 씰 등 유지보수와 관련된 요인이 32.0%로 나타났다.

2.2.2 전동기의 절연등급에 따른 온도한계

도선에 전류가 흐를 때 열이 발생하는데 이때의 단위 시간당 열량은 줄의 법칙에 따라 전류의 세기 제곱과 도선의 전기저항에 비례한다. 제품 및 반제품의 끼임이나 설비의 고장 등으로 인해 전동기의 구속운전 시 전류는 정격 전류의 3~8배로 상승하게 되고 이로 인해 발열량은 급격하게 상승하게 된다¹⁰⁾.

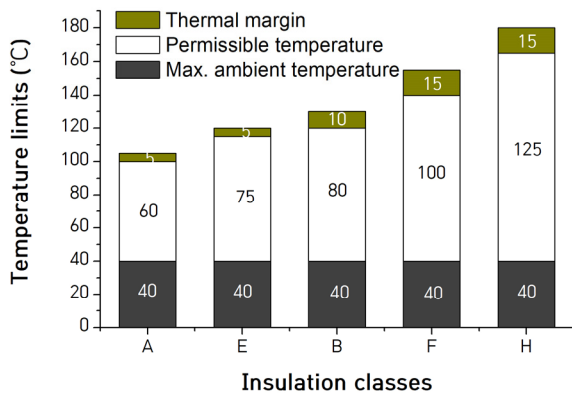


Fig. 2. Winding temperature limits of different insulation classes.

전동기는 절연등급에 따라 온도한계가 정해져 있는데 Fig. 2는 KS C IEC 60085의 전동기의 절연등급에 따른 온도한계를 나타내고 있다¹¹⁾. 산업현장에는 절연등급 E, B, F를 주로 사용하고 있으며 “절연등급 B”는 온도한계는 130°C, 주변 온도는 40°C 이하, 허용온도는 80°C, 여유율 온도는 10°C를 의미한다.

3. 실험방법

3.1 화재 현황 및 원인분석

A 고무제품제조공장을 대상으로 2002년부터 2020년까지 19년 동안의 화재통계 및 화재조사 보고서를 활용하여 화재 현황을 파악하고 화재 종류, 발생공정, 발생 설비·기기 등에 대해 세부적으로 분석하였다.

3.2 전동기 설치환경 및 전류특성 분석

실험대상의 전동기가 설치되어 있는 작업장 및 전동기 주변의 온도와 습도를 측정하고 정상 가동상태에서의 부하·무부하 시 전류와 누설전류를 측정하였다.

작업장 온도와 전동기 외부의 프레임 온도는 열화상 카메라(FLIR-T420, FLIR, Sweden)를 사용하여 측정하였고 습도는 온습도계(TH-611, BODYCOM, China)를 이용하여 측정하였다. 전동기의 전기적 특성을 분석하기 위해 누설전류계(HIOKI-3283, HIOKI, Japan)와 전류계(HIOKI-3288, HIOKI, Japan)를 이용하여 측정하였다.

작업환경의 측정과 전기적 특성에 대한 실험은 Fig. 3과 같이 진행하였고 전동기의 구속운전 시 전기적 특성을 파악하기 위하여 실험대상 중 가류공정의 컨베이어 구동용 모터 1대(Motor no. 3)를 실험대상으로 선정



Fig. 3. Electrical signal and temperature measurement.

Table 2. Specification of Induction motor for experiment

Model	KMP-03HK6-DA
Manufacturer	Higen Motor
Rating	2.2 kW (3 HP) 4P
Voltage	220/380 V
Current	8.4/4.9 A
Insulation class	F(155 °C)
Revolutions per minute	1,740 rpm

하였다. 세부 사양은 Table 2와 같다.

측정값의 신뢰성을 확보하기 위하여 온도 및 전기적 특성을 20회를 반복하여 측정하였으며 평균값과 표준편차를 적용하였다.

4. 실험결과

4.1 화재 현황 및 원인분석

A 고무제품제조공장을 대상으로 2002년부터 2020년까지 19년 동안의 화재 건수는 경미 화재를 포함하여 177건으로 확인되었다. 주요 공정의 화재 발생 원인은 Table 3과 같다¹²⁾.

정련공정과 가류공정의 화재는 각각 48건이 발생하였고 이는 전체 화재 54.2%에 이른다. 정련공정(Refining)에서 전기화재는 31건(64.58%)으로 가장 많은 비율을 차지하지만, 이 중 20건(64.52%)은 정련공정에서만 가동 중인 마이크로웨이브 설비에서의 화재로 일반적인 제조업의 전기 기계·기구에서의 화재와는 차이가 있었다. 그다음으로 기계화재 11건(22.92%), 물리적 인자에 노출 화재 3건(6.25%), 화기작업 2건(4.17%), 부주의 1건(2.08%)으로 나타났다. 가류공정(Curing)에서는 전기화재 25건(52.08%), 물리적 인자에 노출에 의한 화재 12건(25.00%), 화기 작업에 의한 화재 8건(16.67%), 기계화재 2건(4.17%), 기타 화재 1건(2.08%)으로 나타났다.

화재 원인별로 분석한 결과는 Table 4와 같다. 단락 등에 의한 전기화재가 103건으로 가장 많았고 그다음으로 정련공정에서 고무의 과믹싱에 의한 과열 및 베어링 불량에 의한 화재 등의 기계화재가 29건, 가류공

Table 3. Fire analysis of "A rubber product manufacturing plant"

Division	Electrical fire	Mechanical fire	Exposure to physical factors	Fireworks	Etc.
Refining	31	11	3	2	1
Calendering	0	0	0	0	0
Extrusion	6	1	1	2	0
Bead	2	0	0	0	0
Cutting	4	0	0	1	0
Building	7	1	0	3	0
Curing	25	2	12	8	1
Test	1	3	0	0	0
Etc.	27	11	5	1	5
Total	103	29	21	17	7

Table 4. Analysis by fire type

Fire classification	Number of fire	Share
Electrical fire	103	58.19%
Mechanical fire	29	16.38%
Exposure to physical factors	21	11.86%
fireworks	17	9.60%
Carelessness	4	2.26%
Other fire	3	1.69%

Table 5. Causes of electrical fires

Division	Number of fire	Share
Short circuit	66	64.08%
Electromagnetic waves	19	18.45%
Overheat	8	6.80%
Static electricity	6	5.83%
Equipment failure	3	2.91%
Etc.	2	1.94%

정에서 고온 스티프 배관에 접촉 등의 물리적 인자에 노출되어 발생한 화재가 21건, 용접 등 화기 작업에 의한 화재가 17건, 담배꽂초의 무단투기 등 부주의에 의한 화재가 4건, 기타 화재가 3건 순으로 화재가 발생하였다. 전기화재의 점유율은 58.19%로 2022년 국가화재정보센터의 화재통계 중 전기화재의 비중인 24.89%보다 2배 이상 높은 것으로 나타났다.

이러한 전기화재의 원인을 분석한 결과는 Table 5와 같으며 단락에 의한 화재가 66건인 64.08%로 가장 많았고 그다음으로 전자기파에 의한 화재가 18.45%, 과열에 의한 화재가 6.80%, 정전기 의한 화재가 5.83%, 설비고장에 의한 화재가 2.91%, 기타 순으로 나타났다.

전기화재 103건의 발생 설비 및 전기 기계·기구의 세부 위치는 Table 6과 같다. 세부내용을 보면 전동기에서의 화재가 27건으로 가장 높은 26.21%를 차지하고 있고 그다음으로 정련공정에만 있는 마이크로웨이브 설비에서의 화재가 20건으로 19.42%를 차지하고 있다.

A 고무제품제조공장에서는 Table 4의 분석 결과와 같이 전기화재가 58.19%로 가장 높게 나타났으며 이러한 전기화재가 발생한 전기설비 및 기계장치는 Table 6과 같이 분석되었으며 전동기에서의 화재가 27건(26.21%)으로 가장 높은 비율을 차지하고 있다.

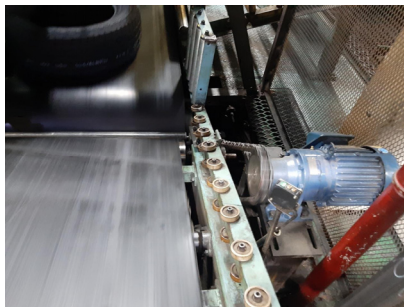
특히, 27건의 전동기 화재 중 가류공정에서 14건이 발생하여 51.85%를 차지하고 있다.

Table 6. Electrical fire for electric equipment

Division	Number of fire	Share
Motor	27	26.21%
Microwave	20	19.42%
Electric line	9	8.74%
Forklift / Battery Car	9	8.74%
Control panel	6	5.83%
Panel board / Distributing board	5	4.85%
Illumination	4	3.88%
Thermostat	4	3.88%
Transformer	3	2.91%
Stacker crane	3	2.91%
Conveyor	3	2.91%
Outdoor unit of air conditioner	2	1.94%
Socket	2	1.94%
Etc.	6	5.83%

4.2 가류공정 유도전동기 설치환경

A 고무제품제조공장에서 전동기 화재가 가장 빈번하게 발생한 가류공정을 대상으로 컨베이어 구동용 유도전동기 3대, 가류기 동작용 유도전동기 3대를 실험 대상으로 선정하였다. Fig. 4는 가류공정의 실험대상 전동기를 나타낸 것이며 Fig. 4(a)는 컨베이어에 설치된 유도전동기를 Fig. 4(b)는 가류기 구동용 유도전동기를 나타내고 있다.



(a) Conveyor operating induction motors



(b) Curing machine operating induction motors

Fig. 4. Curing process research target motors.

Table 7. Installation environment of motor for conveyor operation

Division	Measurement	State	Unit	Average	Standard deviation
Process	Outside of facilities	Temperature	°C	32.50	± 2.20
	Inside of facilities	Temperature	°C	42.40	± 1.90
	Humidity	Humidity	%	27.00	± 3.15

Table 8. Installation environment of motor for curing device operation motor

Division	Measurement	State	Unit	Average	Standard deviation
Process	Outside of facilities	Temperature	°C	32.00	± 3.00
Motor room	Inside of motor room	Temperature	°C	48.10	± 2.50
		Humidity	%	42.50	± 3.50

Table 7은 가류공정의 컨베이어 구동용 유도전동기의 설치환경을 측정된 결과를 나타낸 것이다. 컨베이어에 설치된 유도전동기는 고온의 설치환경에 놓여 있다. 가류공정 내측의 7월 평균온도는 42.40°C로 전동기의 최대 주변 온도 기준인 40°C보다 높았고 습도는 27.00%로 낮게 나타났다.

가류기 동작용 유도전동기의 설치환경을 측정된 결과는 Table 8과 같다. 가류기 동작용 유도전동기가 설치된 립은 가류공정의 설비 외측에 설치되어 있으며 7월 평균온도는 32.00°C로 나타났고 유도전동기 립 내부의 온도는 48.10°C로 전동기의 최대 주변 온도 기준인 40°C보다 높게 나타났다.

4.3 가류공정 유도전동기의 온도 및 전기적 특성

4.3.1 정상운전 시 온도 및 전기적 특성

연구대상인 가류공정의 컨베이어 구동용 유도전동기 3대의 온도 및 전기적 특성에 대해 측정된 결과는 Table 9와 같이 나타났다.

정상 가동상태에서는 정격 전류 이내에서 동작하였으며 부하와 무부하 운전 시 전류의 평균값 차이는 0.31 A 이하로 큰 변화가 없었다. 누설전류 역시 부하와 무부하 운전 시의 차이는 0.02 mA 이하로 큰 변화가 없었다. 하지만 유도전동기 프레임의 온도는 고온의 설치환경에 영향을 받아 motor no. 1은 60.25°C, motor no. 2는 50.40°C, motor no. 3은 45.28°C로 높게 나타났다.

가류기 동작용 유도전동기는 중량물인 몰드를 상하로 동작시키는 역할을 하고 있다. 전압 380 V를 사용하고 있으며 이때의 출력은 18.5 kW, 정격 전류는 39.1

Table 9. Electrical characteristics in normal operation

Division	Measurement	State	Unit	Average	Standard deviation
Motor number 1 (front)	Current	No-load	A	9.42	± 2.50
		Load	A	9.55	± 2.50
	leakage current	No-load	mA	0.32	± 0.01
		Load	mA	0.34	± 0.01
Temperature	Frame	°C	60.25	± 3.00	
Motor number 2 (middle)	Current	No-load	A	10.59	± 2.50
		Load	A	10.90	± 2.50
	leakage current	No-load	mA	0.34	± 0.01
		Load	mA	0.34	± 0.01
Temperature	Frame	°C	50.40	± 3.00	
Motor number 3 (back)	Current	No-load	A	4.44	± 2.50
		Load	A	4.52	± 2.50
	leakage current	No-load	mA	0.33	± 0.01
		Load	mA	0.33	± 0.01
Temperature	Frame	°C	45.28	± 3.00	

Table 10. Electrical Characteristics in Normal Operation

Division	Measurement	State	Unit	Average	Standard deviation
Motor number 4	Current	No-load	A	-	-
		Load	A	33.20 A	± 2.50
	Temperature	Frame	°C	72.80 °C	± 4.00
Motor number 5	Current	No-load	A	-	-
		Load	A	33.45 A	± 2.50
	Temperature	Frame	°C	69.90 °C	± 4.00
Motor number 6	Current	No-load	A	-	-
		Load	A	25.29 A	± 2.50
	Temperature	Frame	°C	59.80 °C	± 4.00
Panel	leakage current	No-load	mA	0.23 mA	± 0.01
		Load	mA	3.87 mA	± 0.01

A에 이른다. Table 10은 가류기 동작용 유도전동기의 전기적 특성을 나타내고 있다.

정상 가동상태에서의 전류는 정격 전류 이내로 확인 되었으며 무부하 시에는 설비의 특성상 전류가 흐르지 않았다. Table 8에서 확인된 유도전동기가 설치된 룸 내부의 평균온도는 48.10°C에 이르며 전동기 프레임의 온도는 Motor no. 4는 72.80°C, Motor no. 5는 69.90°C, Motor no. 6은 59.80°C로 아주 높게 나타났다.

4.3.2 구속운전 시 온도 및 전기적 특성

과전류에 의한 전동기의 고장 및 화재를 예방하기 위하여 일반적으로 과전류계전기(EOCR : Electronic Over Current Relay)를 사용한다. 이 과전류계전기의 동작

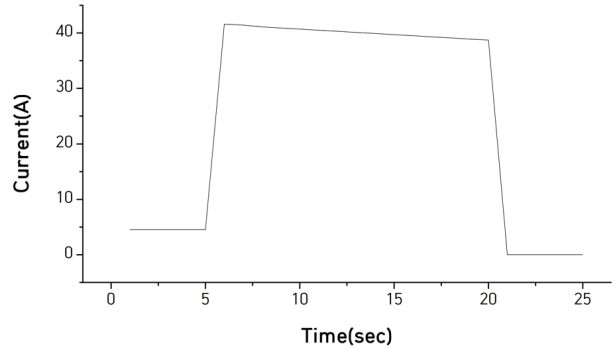


Fig. 5. Current with locked rotor state.

시간을 15초로 설정하여 구속운전 시 전류와 전동기 프레임의 온도를 측정하였다. 연구대상 유도전동기 (Motor no. 3)가 고무의 끼임에 의해 컨베이어가 구동하지 않는 구속운전 상태가 되었을 때 전류특성은 Fig. 5와 같다. 전류는 41.6~38.7 A로 정격 전류인 4.90 A보다 최대 8.49배 높게 나타났다. 구속운전 후 15초가 지난 시점에서의 전동기는 정지하였으며 이때의 유도전동기의 프레임 온도는 46.5°C로 기존 프레임의 온도보다 1.28°C 상승하였다.

5. 결론

본 연구는 A 고무제품제조공장에 대하여 19년 동안 발생한 화재의 분석을 통하여 전기화재 및 전동기 화재의 위험성을 확인하였고 화재 위험성이 높은 가류공정의 유도전동기에 대하여 설치환경 및 전기적 특성을 조사하였다. 구체적인 내용은 다음과 같다.

- 1) 고무제품제조공장에서의 전기화재는 58.19%로 국가화재통계보다 2배 높게 나타났으며 전기화재 중 전동기의 화재는 26.21%로 가장 높게 나타났다.
- 2) 전동기 화재는 가류(curing)공정에서의 51.85%로 가장 높은 비중을 차지하고 있다. 특히, 가류공정의 유도전동기 설치환경은 전동기 최대 주변 온도 기준인 40°C를 초과하고 있다.
- 3) 전동기의 정상가동 상태에서의 전류는 정격 전류 이내였으며 누설전류도 기준치 이내로 확인되었다. 다만, 구속운전 시 전류는 정격 전류보다 최대 8.49배 높게 나타났다.

고무제품제조공장에서 전기화재의 감소를 위해서는 제조공정 전반에 걸쳐 광범위하게 사용되고 있는 전동기의 관리가 필요하다. 특히, 가류공정에서는 고온환경과 구속운전에 따른 발열로 유도전동기의 권선에서 절

연열화 및 화재가 발생하지 않도록 사전 예방 활동이 이루어져야 한다.

References

- 1) 2021 Edition of NFPA 921(Guide for Fire and Explosion Investigations), Chapter 9, "Electricity and Fire", pp. 123-151, 2021<<https://www.nfpa.org/codes-and-standards/all-codes-and-standards/list-of-codes-and-standards/detail?code=921>>
- 2) National Fire Data System, "2022 Fire Statistic" <<http://www.nfds.go.kr/index.jsf>>(31. Dec. 2022)
- 3) Motor Reliability Working Group, "Report Of Large Motor Reliability Survey Of Industrial And Commercial Installations, Part I", IEEE Trans. Ind. Appl., Vol. IA-21, pp. 853-864, 1985.
- 4) Failure Mode / Mechanism Distributions (FMD) 2016. <<https://www.quanterion.com/product/tools/failure-mode-mechanism-distributions-fmd-2016>>
- 5) Y. B. Kim and K. H. Kim, "Analysis on the Voltage, Current and Temperature Signals for Free and Locked Operation of Three Speed Electric Fan", Fire Science and Engineering, Vol. 28, No. 3, pp. 87-91, 2014.
- 6) D. H. Kim and H. S. Lee, "Detection of Current Signal and Thermal Characteristics of Electric Fan Operated in Various Situations" J. Korean Soc. Saf., Vol. 29, No. 3, pp. 20-27, 2014.
- 7) H. K. Ji and J. Y. Sone, "Study on the Fire Risk in Locked Rotor Condition of Single-Phase Induction Motor", Fire Science and Engineering, Vol. 34, No. 2, pp 64-71, 2020
- 8) NEXEN TIRE Homepage, Tire Manufacturing Process <https://www.nexentire.com/kr/information/tire_information/basic_sense/process.php>
- 9) Hankooktire & Technology, "Working Environment Measurement Results", Second half of 2022.
- 10) S. B. Yu, M. S. Jeon and J. C. Kim, "Analysis of Induction Motor and Fault Protection Technology for Field Technicians", Electric Engineers Magazine, Vol. 204, Issue 8, pp. 44-47, 1999.
- 11) KS C IEC 60085 : 2007, "Thermal Evaluation and Classification of Electrical Insulation", Korean Agency for Technology and Standards, p. 4, 2021.
- 12) J. C. Lee, D. H. Kim and S. C. Kim, "A Study on the Electrical and Heat Generation Characteristics of an Induction Motor under Restrained Operation", J. Korean Soc. Saf., Vol. 38, No. 1, pp. 25-33, 2023.