

산업용 로울러기의 협착재해 감소방안

박재범[†] · 강동규* · 김두현*

한국산업안전공단 · *충북대학교 안전공학과

(2003. 2. 17. 접수 / 2003. 5. 30. 채택)

Reduction Plan for nip accidents by a Roller Machine

Jae-Beom Park[†] · Dong-Kyu Kang* · Doo-Hyun Kim*

Korea Occupational Safety & Health Agency · *Department of Safety Engineering, Chungbuk National University

(Received February 17, 2003 / Accepted May 30, 2003)

Abstract : The roller machines installed in the industrial field are operated under hazardous conditions due to no safety devices available, human error during operation, defective safety devices, and inadequate regulation even in case that safety devices are provided. Up to now, most roller machines installed in domestic field are provides with band breaking system as a safety device. In this study, the emergency stop distance is measured within the limit of domestic regulation but violates a foreign regulation(EN1417). Consequently, it is concluded that the roller machines with a band breaking system have high possibility of death or serious injury of the operator and the system should be improved with the introduction of additional safety devices. This thesis suggests the safety measures suitable for the roller machines with different drive systems based on the experiment results. The use of the newly developed safety system has been tested in many cases.

Key Words : roller machines, emergency stop distance, safety measures

1. 서 론

최근 우리나라에서는 2000년 7월1일 이후 5인 미만 사업장까지 산업재해보상보험법의 적용이 확대되어 4일 이상 요양을 요하는 재해자수(2000년 기준)¹⁻³⁾는 68,976명(사망자 2,528명, 부상 63,989명, 업무상질병 2,459명)이 발생하였다. 이는 1999년도에 비해 사업장수는 183[%], 근로자수는 27.47[%]가 증가하였으며 재해자수는 24.49[%]나 증가한 결과이다. 우리나라의 산업재해율(백분율)은 2000년도까지 0.73을 기록하고 있으며 1981년 3.41에서 1995년 0.99로 1.00 이내에 진입하기까지 15년 동안 매우 빠른 감 소추세를 보이고 있으나 선진국(일본: 0.26, 싱가포르: 0.58, 영국: 0.66)⁴⁾에 비해 아직까지 높다. 더욱 심각한 것은 강도율이 1.88로 일본, 싱가포르를 상회하고 있다.

우리나라 산업현장에서 발생하는 재해의 발생형

태는 저개발도상국에서 많이 발생하고 있는 협착, 추락, 전도, 충돌, 낙하 등 재래형 재해의 발생 빈도가 높다. 이러한 재래형 재해를 유발시키는 대표적인 기계 및 설비(기인물)는 프레스, 전단기, 사출성형기, 로울러기, 연삭기, 선반, 지게차 등으로 특히 로울러기는 프레스나 전단기 다음으로 재해가 많이 발생하는 설비이다. 로울러기는 롤과 롤 사이에 제품을 넣어 롤의 접촉압력을 이용하여 제품을 만드는 기계장치로 작업 중 작업자의 실수, 안전장치의 미비 등으로 대부분 신체의 일부가 롤 사이에 협착⁵⁾되는 재해가 발생하고 있다. 따라서 로울러기에 사용되고 있는 급정지장치의 성능에 따라 재해자의 협착강도가 결정된다. 사고가 발생하는 경우 단독으로 협착점에서의 이탈이 불가능한 구조적 특성 때문에 단시간 내에 구조하기가 어렵다. 또한 롤 표면의 높은 온도에 의한 2차 화상으로 사망사고 혹은 신체장애로 연결되는 특징을 가지고 있을 뿐만 아니라 이러한 많은 문제점을 안고 있는 로울러기의 위험성에 대해 아직까지 정확한 실태조사가 이루어지지 않았다⁶⁾.

[†]To whom correspondence should be addressed.
p92027@koshha.net

따라서 본 논문에서는 로울러기에서 발생하는 협착재해의 발생방지를 위하여 국내의 사업장에서 사용되는 로울러기의 각 구동시스템별 급정지장치의 급정지거리를 측정하고, 현재 국내에서 가장 많이 사용되고 있는 급정지장치 중 밴드브레이크와 기타 다른 종류의 급정지장치들과 급정지거리 성능을 비교한다. 또 실험에서 얻어진 결과를 토대로 국내의 안전장치 성능검정기준과 외국 기준을 비교하여 로울러기의 개선 및 안전화 방안을 제시하고자 한다.

2. 로울러기의 안전장치

로울러기에서 발생하는 협착재해의 근원적인 예방을 위해서는 물 협착부 접근방지대책, 물 협착재해 확산방지대책, 안전장치의 기능무효방지대책 및 로울러기 운용에 관련된 각종 관리규정의 제정과 적용이 요구되지만, 본 논문에서는 각각의 안전장치 적용방안으로 롤 접근방지장치, 급정지장치, 롤 역회전장치, 키 형(key type) 기동스위치 설치 등 설비적인 측면에서 개선방안을 제시하였다.

2.1. 롤 접근방지 안전장치

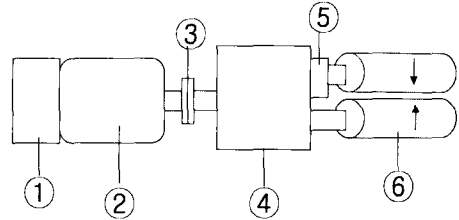
롤 접근방지 안전장치로서는 로울러기의 경우에 물과 롤 사이에 신체의 일부가 협착되는 사고를 방지하기 위하여 청소용 탈착식가드를 제작, 설치하였다. 이것은 주로 작업자가 롤 상부에서 청소 작업을 할 때 물 상부에 설치되는 안전장치로 협착점이 형성되는 물 길이보다 길게, 탈착이 가능한 구조로 제작은 프라스틱 혹은 복재로 제작·설치하였다.

2.2. 급정지장치

급정지장치^{7,10)}는 법으로 설치를 의무화한 안전장치로 작업자의 작업장소 근처에 설치되어, 작업중 비상사태가 발생하면 작업자가 급정지장치 스위치를 작동시키던지 또는 급정지장치용 로우프를 조작하면 로우프 끝단에 설치되어 있는 리미트스위치가 작동하여 물을 구동하는 주 전동기의 전원을 차단하며, 이와 동시에 브레이크가 동작하여 롤의 회전이 멈추게 된다. 로울러기에 사용되는 급정지장치에 대한 제동거리는 국외¹¹⁾기준인 EN(European Nation) 규격(EN 1417)과 국내기준인 로울러기 제작, 설치, 검사기준¹²⁾에서 정하고 있지만 국내에서 사용하는 로울러기의 경우 Table 1에서 정하는 정지거리내에

Table 1. Stop range of emergency stop device

Front roll surface speed [m/min]	Emergency stop distance
less than 30	1/3 of front roll's circumference
more than 30	1/2.5 of front roll's circumference



1. Band brake 2. Main motor 3. Coupling
4. Reducer 5. Friction gear 6. Roll

Fig. 1. The existing roller machine operating system

서 정지할 수 있어야 한다. 현재 사용중인 급정지장치의 가장 큰 문제점은 로우프의 처짐이 발생되고, 작업자가 사용중 안전장치 기능을 제거할 수 있고, 또 안전장치 사용중 잦은 오조작 발생 등 많은 문제점을 내포하고 있으므로 이러한 문제점을 개선하기 위하여 급정지장치의 조작부를 트립 바 또는 와이 어로우프로 교체 설치하고, 조작부 끝단에는 리미트, 또는 근접스위치를 설치하였다. 또 이 스위치의 전기적인 접점을 2중(a, b접점 사용)으로 사용하여 작업자가 급정지장치 작동시 주 전동기 전원차단, 클러치 동작(동력분리), 브레이크 동작 및 역회전 안전장치가 연속적으로 동작하도록 전기회로를 개선하였다.

2.3. 롤 역회전장치

롤 역회전 안전장치는 협착으로 인한 위험을 사전에 예방하고, 사고 발생시 재해강도를 최소화하기 위하여 안전장치(비상정지, 급정지장치)를 조작하면 회전하는 물을 즉시 정지시키고 물의 회전방향을 역회전시킬 수 있도록 하는 안전장치로 비상정지스위치, 급정지장치 중 어느 것을 동작시켜도 자동역회전이 이루어지도록 전기회로가 구성되어야 하며 클러치^{13,14)}의 설치 혹은 전기적으로 인터록 구성이 가능한 브레이크를 설치해야 한다.

가) 기존 로울러기 구동시스템

Fig. 1은 일반적으로 국내에서 가장 많이 보급, 사용되고 있는 로울러기의 구동시스템이다.

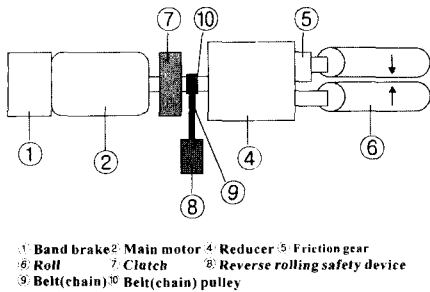


Fig. 2. Operating system of a roller machine (with a clutch)

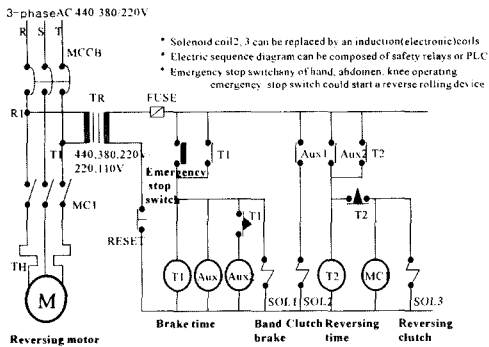


Fig. 3. Electric sequence diagram for reverse rolling safety device (with a clutch)

나) 클러치와 역회전안전장치 구동시스템

Fig. 2의 구동시스템은 밴드브레이크와 클러치가 설치되어 있는 시스템으로, 작동순서는 비상, 급정지(손, 복부, 무릎조작식) 스위치를 동작시키면 주 전동기 정지, 밴드브레이크 작동, 클러치 작동(동력 전달 분리)이 동시에 이루어지고, 일정시간 후 역회전 안전장치가 시간 설정치 만큼 물을 역회전시킨 후 정지하고 리셋을 시키면 정상상태로 복귀된다.

Fig. 3은 Fig. 2 구동시스템에 대한 역회전 안전장치 전기도면이다. 회로의 동작순서는 급정지(비상정지스위치 포함)스위치를 작동하면 주 전동기 전원 차단, SOL 1이 여자되어 밴드브레이크가 동작하여 전동기의 회전을 멈추고, Aux 1이 여자되어 클러치가 동력을 분리(SOL 2에 전원이 인가되지 않으면 클러치가 작동하지 않아 전동기축과 감속기축을 분리)한다. 이러한 동작은 거의 동시에 이루어지고, 이후 T1 시간 설정치 후 Aux 2가 작동하여 역회전 전동기가 T2 시간의 설정치 만큼 물을 역회전시킨 후 정지한다. 그리고 Reset 스위치를 누르면 정상상태로 복귀된다. 여기서 T1의 자체접점을 사용한 이유는 급정지 스위치중 손, 복부, 무릎조작식 스위치는 리미트 혹은 근접스위치로 제해자가 긴급상황 발생

시 급정지스위치를 한 번만 조작시켜도 역회전이 가능하도록 T1의 자체접점을 이용하여 자기유지 회로를 구성하기 위함 때문이다.

다) 브레이크(밴드브레이크 제외)와 역회전 안전장치 구동시스템

브레이크(밴드브레이크 제외)와 역회전 안전장치 구동시스템은 전기적인 인터록 구성이 가능한 형태의 브레이크가 설치되어 있는 구동시스템으로 브레이크 동작해제를 전기적으로 해제 가능한 브레이크이다. 작동순서는 비상, 급정지스위치를 동작시키면 주 전동기가 정지한다. 이 때 브레이크는 일정 시간만 동작하고 일정시간 후 다시 브레이크를 풀어 역회전 안전장치가 동작할 수 있도록 조건을 만들어 준다. 이후 동작순서는 Fig. 2에 대하여 설명한 내용과 동일하다.

라) 브레이크(밴드브레이크 제외), 클러치 및 역회전안전장치 구동시스템

브레이크(밴드브레이크 제외), 클러치 및 역회전 안전장치 구동시스템은 전기적인 인터록 구성이 가능한 형태의 브레이크와 클러치가 설치되어 있는 구동시스템이다. 작동순서는 비상, 급정지스위치를 동작시키면 주 전동기가 정지하고, 이와 동시에 클러치가 동작 동력전달을 분리한다. 브레이크는 전기 회로에서 설정한 일정 시간만 동작하고 설정시간 후 다시 브레이크를 풀어 역회전 안전장치가 동작할 수 있도록 조건을 만들어준다. 이후 동작순서는 Fig. 2에 대하여 설명한 내용과 동일하다.

2.4. 키이 형 기동스위치

정비, 청소, 보수작업시 제3자에 의한 스위치 오작동을 방지하기 위한 안전장치로서 메인 혹은 조작반에 사용되는 전원 투입, 차단 스위치이다.

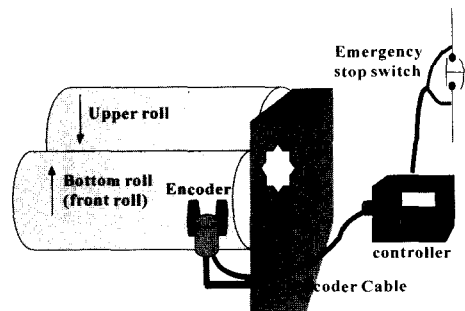


Fig. 4. Setting of the emergency stop distance measuring device

3. 실험장치 및 방법

급정지거리 측정을 위한 실험장치는 Fig. 4와 같다. 로울러기 롤을 정상속도로 회전시킨 상태에서 비상정지스위치나 급정지장치를 작동시키면 비상정지 또는 급정지장치 스위치의 접점이 끊어짐과 동시에 컨트롤러와 엔코더에 전원이 인가되고, 전면롤 표면에 부착되어 있던 엔코더 롤러가 로울러기 롤이 회전이 멈출 때까지 회전한다. 엔코더에 전원이 인가되고 롤러가 회전한 만큼 발생된 전기적인 신호는 컨트롤러에 전송되어, 이 전기신호를 수치로 변환, 환산하여 표시장치에 급정지거리를 수치[mm]로 표시한다. 측정치는 5회 측정결과 평균값을 적용하였다. 이 때 롤 사이즈는 16[inch]에서 26[inch]까지 5종을 대상으로 로울러기에서 사용중인 4가지 구동시스템 종류별로 다음과 같은 경우로 구분하여 급정지거리와 급정지시간 등을 측정하였다.

case 1. 전동기와 감속기로 구성되어 롤을 구동시키는 시스템으로 급정지장치인 브레이크가 설치되어 있지 않은 구동시스템.

case 2. 전동기, 밴드브레이크 및 감속기로 구성된 구동시스템.

case 3. 전동기, 밴드브레이크, 클러치(전자식), 감속기 및 역회전 안전장치로 구성된 구동시스템으로 여기서 클러치는 주로 마그네틱 클러치가 많이 사용되고 있는 경우.

case 4. 전동기, air브레이크, air클러치, 감속기 및 역회전 안전장치로 구성된 구동시스템으로 본 논문에서 안전화방안으로 제시한 안전장치가 설치되어 있는 구동시스템.

전면 롤의 표면 회전속도는 회전측정기(일본제품: DT-2236)를 회전하는 전면 롤 표면에 대고 측정하였다. 또한 브레이크 제동시간은 브레이크가 설치되어 있지 않은 로울러기의 경우 초시계(일본제품: CASIO, HS-20)로 측정하였으며, 브레이크가 설치되어 있는 로울러기의 경우에는 급정지거리와 전면롤 표면 회전속도를 측정하여 급정지 시간으로 환산하였다.

4. 결과 및 고찰

4.1. 급정지거리의 비교

4가지 구동시스템별로 급정지 거리를 측정한 결과, Fig. 5와 같이 case 4, case 3, case 2, case 1 순으

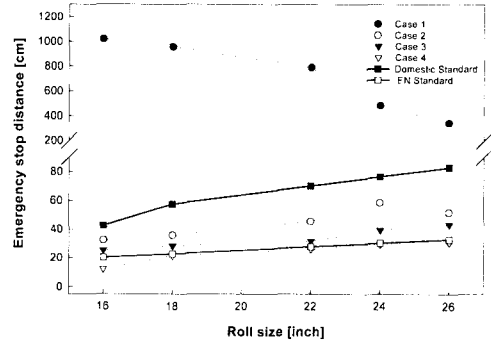


Fig. 5. Comparison of Domestic and EN standard of the emergency stop distance

로 급정지 거리가 짧아지고, case 1과 같이 브레이크가 설치되어 있지 않은 경우를 제외하고는 국내 방호장치 성능검정에서 요구하는 급정지거리 이내에서 동작하여 범에서 요구 하는 조건을 충분히 만족시키고 있다. 이러한 조건에도 불구하고 최근 4년간(1997년에서 2000년까지) 로울러기에서 발생한 재해건수 194건 중 92.8[%]인 180건이 신체장애자로 판정되었다는 것은 현재 법에서 요구하고 있는 급정지 거리가 현실에 맞지 않는다는 것을 시사한다.

Table 2는 국내 방호장치 성능검정에서 요구하고 있는 급정지 거리와 EN규격(EN1417)에서 요구하고 있는 급정지 거리를 비교한 것이다. 국내 안전장치 성능검정시 요구하고 있는 급정지거리는 실제로 너무 길어 작업자가 작업 혹은 청소, 보수작업 중 신체가 롤에 협착되면 팔 자체 뿐만 아니라 상반신 일부가 롤 사이에 협착될 수 있으며, 급정지 거리 측정결과에서 보는 바와 같이 기존 사업장에서 사용하고 있는 로울러기에서도 사고 발생시 중대재해 혹은 신체장애를 유발시킬 수 있는 요인이 충분히 내포되어 있음을 알 수 있다. 이에 비해 EN규격

Table 2. The comparison of emergency stop distance (domestic, EN standard)

Radius of roll [inch]	Circumference length [cm]	Domestic standard emergency stop distance [cm]		Abroad (EN1417)
		Front roll surface speed more than 30 [m/min]	Front roll surface speed less than 30 [m/min]	
16	127.6	51.04	42.5	20.3
18	143.5	57.4	47.8	22.8
22	175.4	70.16	58.4	27.9
24	191.4	76.56	63.8	30.46
26	207.3	82.92	69.1	32.9

(EN1417)에서 규정하고 있는 급정지 거리는 작업자가 작업중 룰에 협착되더라도 팔전체가 룰에 협착되지 않도록 급정지 거리를 아주 짧은 거리로 제한하고(최대 정지각 1rad : 57.3[°]이내로 제한) 있을 뿐 아니라, 2초 이내에 룰이 자동으로 역회전 되도록 하든지 또는 5초 후 자동으로 룰이 50[mm] 이상 벌어지도록 규정함으로써 근원적으로 사망 혹은 신체장애로 연결되지 않도록 법적으로 규정하고 있다.

이러한 조건을 감안할 때 현재 국내에서 사용중인 로울러기 구동시스템의 4가지 case 중 EN규격을 만족시키고, 실제 작업자의 안전을 확보할 수 있는 조건을 갖춘 시스템은 Fig. 5에서 보는 바와 같이 case 4뿐이다.

4.2. 협착제해 감소 및 개선방안

국내에서도 로울러기에서 발생하는 중대재해와 신체장애를 줄이기 위해서는 법적으로 제한거리가 긴 안전장치의 급정지 거리를 우선적으로 짧게 제한하고, 추가적으로 안전장치 설치조건을 강화하여 신규 제작되는 로울러기의 경우 가능한 자동 룰 역회전장치와 룰 이격장치를 설계, 제작단계부터 설치토록 의무화하여야 한다. 그러므로 현재 사업장에서 사용중인 로울러기에 대한 안전성을 확보할 수 있는 방법으로 먼저 급정지장치인 손쳐내기식, 복부조작식, 무릎조작식중 작업조건에 맞는 급정지장치를 설치하고 급정지장치의 조작부는 트립 바와 와이어 로우프를 교체하여 접촉압이 20[kgf](200[N]) 이상의 힘이 가해져 10[mm] 이내의 움직임으로 감응시간 50[ms] 이내에 전기적인 스위치의 동작이 이루어지도록 하였다.

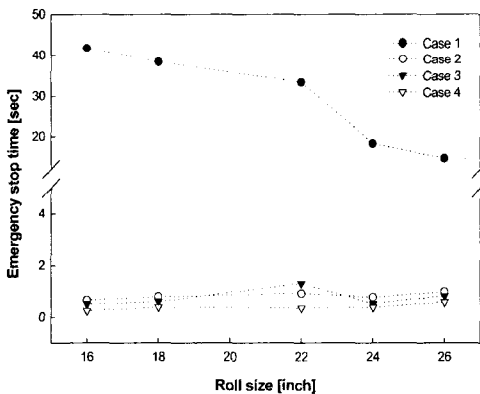


Fig. 6. Interrelation between emergency stop time and the roll size

작업 중에 발생하는 급정지장치의 기능무효화를 방지하기 위해서 전기스위치의 No(normal open), Nc(normal close)접점을 이중으로 병행 사용하고 비상정지 스위치를 필요 개소에 추가로 설치(로울러기 본체 전, 후면 4개소)하였고, 룰 역회전장치를 설치하기 위해서는 전기적인 인터록을 구성할 수 있는 브레이크로 교체하고 가능한 클러치를 설치하여 작업 효율성을 극대화하였다. 또 비상사태 발생시 급정지장치의 급정지 거리를 짧게 하고, 빠른 시간내 회전하는 룰이 정지하고 룰 회전방향을 역회전시킬 수 있는 역회전 안전장치를 설치하였다.

4.3. 로울러의 동작특성

Fig. 6은 룰을 회전시킨 후 비상정지 스위치를 작동시킬때 급정지까지의 동작시간으로 급정지장치에 사용되는 각종 브레이크는 성능검정을 필한 제품을 사용하였으며 case 2, case 3, case 4와 같은 구동시스템에서의 동작시간은 1초 이내이다.

Fig. 7은 역회전 안전장치가 설치되어 있으며, 비상정지 또는 급정지장치 동작 후 로울러기 룰이 역회전 운전으로 시작 할때까지의 소요시간을 case 3, 4의 구동시스템의 경우에 대해 나타낸 것으로 소요시간이 클 것이라는 우려와는 달리 순간적으로 역회전 동작이 이루어진다. 역회전 동작이 이루어지는 시간은 측정할 수 없어 계산한 급정지시간에 전기적 신호가 스위치를 동작시키는데 필요한 소요시간을 대략 25[ms]에서 50[ms]로 가정하여 최대값인 50[ms]를 일률적으로 더하여 환산하였다. 이 결과 EN규격에서 요구하는 역회전 개시시간 2초 이내에서 역회전동작이 이루어진다.

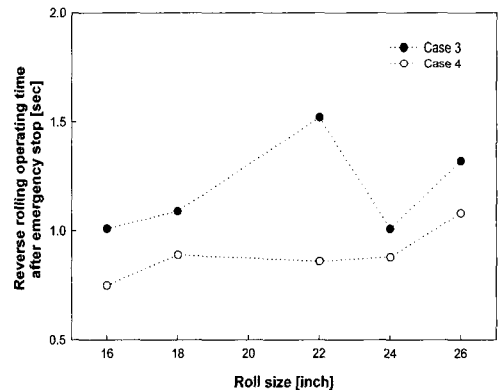


Fig. 7. Interrelation between the reverse rolling operating time after emergency stop and the roll size

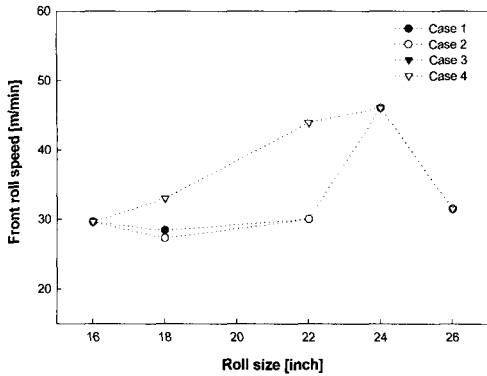


Fig. 8. Interrelation between the front roll speed and the roll size

Fig. 8은 롤 사이즈가 클수록 전면 롤의 표면회전 속도가 비례해서 대체로 커짐을 알 수 있다. 이것은 사업장에서 사이즈가 큰 로울러기를 사용하여 많은 양의 제품을 만들기 위해서이며, 롤 표면의 회전속도가 증가하면 안전 측면에서는 작업자가 작업시에 협착에 대한 위험노출이 증대되므로 더욱 더 안전장치의 완벽한 설치와 앞에서 언급된 롤 역회전 안전장치의 설치가 필요하게 된다. 이것은 본 실험에서 실험대상이 주로 롤 직경이 22[inch]~26[inch]까지가 70[%] 이상임을 감안할 때 사업장에서 주로 사용하는 로울러기의 롤이 비교적 큰 사이즈임을 알 수 있다.

5. 결론

본 논문에서는 실제 산업현장의 로울러기 급정지 장치의 성능상태와 로울러기 구동시스템 각 case별 급정지거리를 실험을 통해 확인하고, 로울러기에 의한 협착·사망재해의 발생방지를 위한 안전화방안을 제시하였다. 따라서 실험을 통해 얻은 결론은 다음과 같다.

1) 현재 국내 안전장치 성능검정규정에서 요구하고 있는 급정지거리로는 로울러기 사용중 발생하는 협착에 의한 사망사고나 신체장애로 연결되는 재해를 막을 수 없으므로, EN규격(EN1417)에서 정하고 있는 급정지거리 또는 근사치에 접근하도록 제한하여야 한다.

2) 급정지장치만 설치하면 사용 가능한 국내 로울러기와는 달리 유럽의 EN규격에서는 롤 역회전장치와 롤 이격장치 중 하나를 선택하여 설치토록

의무화하고 있다. 따라서 국내에서도 신규 제작되는 로울러기의 경우는 설계, 제작, 설치전에 롤 역회전장치나 롤 이격장치 중 한가지의 안전장치를 선택하여 설치를 의무화 하도록 법규를 개정하여야 한다.

3) 현재 제작, 판매, 설치, 사용되고 있는 로울러기의 경우 저렴한 가격과 관리의 용이함 때문에 밴드브레이크를 많이 사용하고 있다. 밴드브레이크는 사고 발생시 사고조치에 상당한 문제를 내포하고 있으므로 로울러기에 사용되는 브레이크는 반드시 전기적인 인터록을 구성할 수 있는 형태의 것을 사용토록 하여야 한다.

참고문헌

- 1) 한국산업안전공단, 산업재해 원인분석, 2000.
- 2) 한국산업안전공단, 1999년 산업재해원인조사, 산업재해 통계분석, 2001.
- 3) 한국산업안전공단, 2000년 산업재해원인조사, 산업재해 통계분석, 2001.
- 4) 조순문, "주요국의 산업재해현황 및 통계제도", 한국산업안전공단, pp.3~31, 산업재해통계분석, 2001.
- 5) 日本労働省安全衛生部安全課, 災害事業例集, 1982.
- 6) 박재범, 역회전장치를 이용한 로울러기의 안전화방안, 석사학위논문, 2002.
- 7) 이규석, 프라스틱 성형가공-카렌다가공, 사내보고서, 1999.
- 8) 한국산업안전공단, 위험기계·기구 방호장치 성능검정 현황, 2000.
- 9) 현대클러치, 에어클러치 및 브레이크 사양서, pp. 3~5, 2000.
- 10) 봉하은, 코팅기 위험성분석 및 급정지장치의 제동력선정에 관한 연구, 2002.
- 11) EN1417, "Rubber and plastic machines Two roll mills Safety requirements," 1997.
- 12) 한국산업안전공단, 검사규정집, pp.VI-1~VI-7, 2001.
- 13) 권영준, "프레스 클러치 형식에 따른 방호장치 및 안전거리에 관하여," 경북대 산업대학원, 1995.
- 14) 김성관, "동력전달장치 설계에 있어서 기어와 브레이크 및 클러치의 설계 자동화 연구," 인천대 산업대학원, 2001.