

호이스트 크레인의 권상로프 자동수직 조정장치 개발에 관한 연구

A Study on the Development of Hoisting Rope Automatic Vertical Controller for the Hoist Crane

구건호*·이충렬*·이근오**

Gun-Ho Koo·Choong-Lyeal Lee·Keun-Oh Lee

ABSTRACT

We got operational safety limit angle being able to affect operators or materials surrounding the center of vertical line of the hoist on working from the theoretical review and experimental result.

Then we inferred the distance to about 1.2m-1.4m from the center which materials hanged on the hook were able to effect to the surround.

Therefore, we got about 7° to the inclined or crossed operational safety limit angle of the crane with 6m lift.

Also, we developed hoisting rope automatic vertical controller which could control this kind of dangerous operation. And we did experiments again after establishing the inclined or crossed operational safety limit to 7°. The result is satisfied.

1. 서론

현재 국내에는 광업, 제조업, 건설업 등 대부분의 업종에서 동력에 의한 호이스트 또는 크레인을 사용하고 있다.

유해·위험기계기구 등에 의해 발생된 재해로 인해 치료예상 기간이 2개월 이상인 재해자수 4,227명을 대상으로 분석한 결과 동력크레인에 의한 재

해자수는 199명으로 전체 재해자의 4.71%를 차지하고 있다¹⁾.

그러나 근로자 및 사업주의 인식이 점차 개혁되고 산업사회의 발전과 더불어 근로자의 의식수준 향상과 올바른 작업방법의 정착으로 많은 오류를 바로잡아 왔다. 이러한 배경에도 불구하고 유해·위험기계인 호이스트, 크레인에 의한 재해는 계속 발생하고 있어 시급한 대책이 있어야 할 것으로 생각된다. 따라서 본 연구는 호이스트 또는 크레인

* 한국산업안전공단

** 서울산업대학교 안전공학과

작업시 발생할 수 있는 경사 또는 횡인 작업에 의한 재해발생 위험성을 이론 및 실험을 통하여 분석하고 권상로프를 항상 수직으로 조정하여 줄 수 있는 장치를 개발하여 호이스트, 크레인작업에 의한 충돌, 협착의 위험성을 방지하고자 다음과 같은 내용을 목적으로 연구하였다.

- 1) 크레인 또는 호이스트에 의한 중량물 운반작업시 발생할 수 있는 경사 또는 횡인 작동에 의해 대상 작업물체가 수직권상위치에서 벗어날 때 물체의 무게, 와이어로프의 길이 및 각도의 크기에 따라 변하는 반동거리를 산출하고
- 2) 정상적인 수직권상 위치에서 벗어난 권상각도 발생에 따른 구조물에 미치는 편하중을 추정하여
- 3) 이로부터 안전각도를 산출하여 기준을 정하고 그 기준 이상으로 벗어날 경우 권상부의 작동을 제어하여 항상 수직위치에서 물체를 인양할 수 있는 권상로프 자동수직 조정장치를 개발하여 크레인 또는 호이스트의 경사, 횡인작업으로 인하여 발생할 수 있는 산업재해를 예방하기 위한 토대를 마련하는 것을 목적으로 하였다.

2. 안전한계각도 설정

본 연구에서는 작업장의 조건, 작업원의 성격에 기인하는 작업상황이나 정상적인 작업시 발생할 수 있는 위험성은 안전한계각도 설정 고려요소에서 제외시켰다.

실험과 이론적 해석을 통하여 최소 위험한계거리를 추정하고 그에 상응하는 안전한계 각도를 산출하여 초기설정치를 정하기 위해서는 여러가지 상황에 대한 고려가 필요하다.

2.1 이론적 고찰

2.1.1 마찰력에 의한 권상부의 미끄러짐한계각도 산출²⁾

최대정지 마찰력은 물체를 움직이게 하는데 필요한 최소한의 힘이다.

실험에 의하면 최대 정지마찰력 F_s 의 크기는 물체에 작용하는 법선력 N 에 비례하고 움직이는 반대방향으로 작용한다.

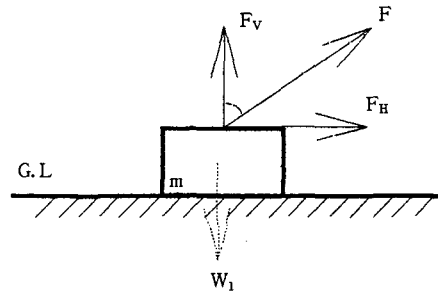


Fig. 1 Frictional force effected on weight

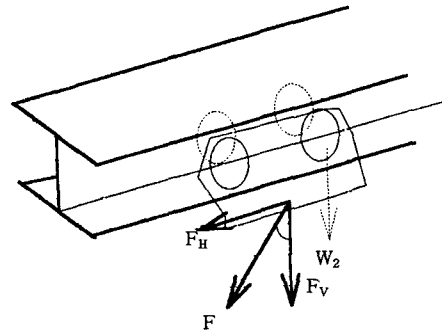


Fig. 2 Frictional force effected on the rail

따라서 호이스트의 권상부와 레일, 물체와 바닥면과의 상관관계에 대한 고려가 있어야 한다. 즉, 일정한 물체의 무게와 권상각도에서 호이스트가 뒤로 밀려나게 되거나 물체가 권상되는 현상을 마찰력으로 풀이하면 다음과 같다.

물체에 작용하는 최대정지 마찰력 F_{s1} 은 $F_{s1} = \mu_{s1} \cdot (W_1 - F \cdot \cos \theta)$ 이고, 호이스트 권상부 레일상에 작용하는 최대 정지 마찰력 F_{s2} 는

$$F_{s2} = \mu_{s2} (F \cdot \cos \theta + W_2) \text{이다.}$$

최대정지 마찰력에 관한 이론을 기초로 하여 작업물의 권상과 호이스트 권상부의 수직보상작용의 한계각도 θ 를 산출하기 위하여 다음의 두식을 같다고 가정하면 즉, $F_{s1} = F_{s2}$ 로 놓으면

$$\theta = \cos^{-1} \frac{(\mu_{s1} \cdot W_1 - \mu_{s2} \cdot W_2)}{F(\mu_{s2} + \mu_{s1})} \text{가 된다.}$$

따라서 권상하기 위한 작업물체의 중량에 따라 호이스트 모터에서 발생하는 출력은 각각 변하고 그에 따라 $F_{s1} = F_{s2}$ 가 되는 각도(θ) 또한 변하게

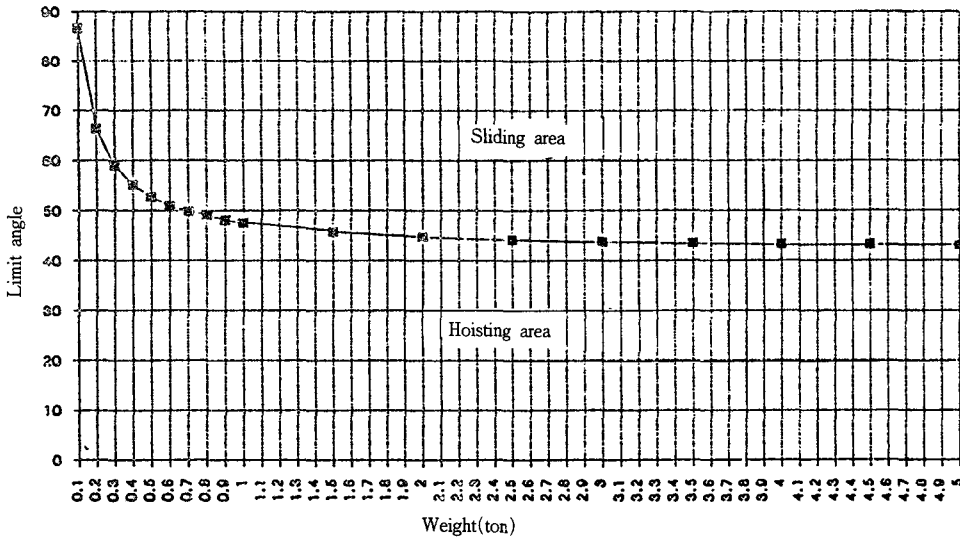


Fig. 3 Sliding limit angle of Hoist upon weight

된다.

따라서 같은 중량의 물체라도 경사각도에 따라 호이스트 권상부가 물체의 방향으로 밀리거나 물체가 권상되는 한계각도가 있음을 알 수 있다.

2.1.2 편하중 추정에 의한 안전한계각도 산출^{3~7)}

호이스트의 경사작동으로 인한 편하중은 호이스트 권상부 자체가 일정각도 이상이면 좌우로 미끄러져 자체보상을 하여 구조물에 크게 영향을 미치지 않지만 횡하중이 작용할 때는 구조물은 편하중의 직접적인 영향을 받게 된다.

따라서 과도한 횡인작동은 구조물이나 장치부 파손의 중요한 요인이 된다.

다음은 횡인작동시의 구조물이 받는 영향의 해석이다.

본 호이스트 레일은 SS41 일반구조용 압연강재로 제작되었으며 그 항복점은 2,500kg/cm²이다.

① 허용인장응력(σ_{ta})

$$\sigma_{ta} = \frac{\sigma_a}{1.5} = \frac{2,500}{1.5} = 1,666\text{kgf/cm}^2$$

여기서 σ_e: 항복점

② 압축축의 허용굽힘응력(σ_{bac})

$$\sigma_{bac} = \frac{\sigma_{ta}}{1.15} = \frac{1,666}{1.15} = 1,449\text{kgf/cm}^2$$

③ 인장축의 허용굽힘응력(σ_{bat})

$$\sigma_{bat} = \sigma_{ta} = 1,666\text{kgf/cm}^2$$

압축축의 허용굽힘응력과 인장축의 허용굽힘응력중에서 낮은 수치를 채택하여 사용한다.

④ 구조물의 단면 수치

사용구조물: I 형강-400×150×10

(1) 수직방향으로 작용하는 힘의 영향

① 수직하중에 의한 수직굽힘모멘트(M_V)

$$M_V = \frac{F_V \cdot L}{4} \text{ (kgf}\cdot\text{cm)}$$

여기서

F_V: 구조물에 작용하는 수직하중(kgf)

L: 구조물의 지지점간의 길이(cm)

② 수직굽힘응력(σ_V)

수직굽힘응력은 구조물의 규격이 400×150×10 일때 1,400kgf/cm² 이하여야 안정하다.

$$\sigma_V = \frac{M_V}{Z_x} \text{ (kgf}\cdot\text{cm}^2)$$

여기서

M_V: 수직굽힘모멘트(kgf·cm)

③ 수직방향 처짐량(δ_V)

$$\delta_V = \frac{F_V \cdot L^3}{48 \cdot E \cdot I_x} \text{ (cm)}$$

처짐도 δ_V/L=1/800 이하여야 구조물이 안정하

다.

(2) 수평방향으로 작용하는 하중해석

① 수평하중에 의한 수평굽힘 모멘트(M_H)

$$M_H = \frac{F_H \cdot L}{4} \text{ (kgf} \cdot \text{cm)}$$

② 수평굽힘응력(σ_H)

수평굽힘응력은 구조물의 규격이 400×150×10 일때 1,400kgf/cm² 이하여야 안정하다.

$$\sigma_H = \frac{M_H}{Z_y} \text{ (kgf} \cdot \text{cm}^2)$$

③ 수직방향 처짐량(δ_H)

$$\delta_H = \frac{F_H \cdot L^3}{48 \cdot E \cdot I_y} \text{ (cm)}$$

처짐도 $\delta_H/L=1/800$ 이하여야 구조물이 안정하다.

위 식에서 I: 단면 2차 모멘트(cm⁴), 단면계수(cm³)이다.

위 식에 따라 횡인작동시 권상부에 영향을 미치는 편하중에 의한 안전한계각도를 계산한 결과, 수직방향으로 작용하는 힘은 중량물의 무게가 5ton일 때에도 구조물에 크게 영향을 미치지 않는 것으로 나타났으나 수평방향으로 작용하는 힘은 구조물에 심각한 영향을 미치는 것으로 나타났다.

약 5ton의 중량물을 15° 이상의 각도로 횡인작동을 하게 되면 구조물에 작용하는 수평하중(F_H)은 약 1,294kgf가 작용하게 되고 이때 수평굽힘응력(σ_H)은 1,680kgf/cm²가 작용하여 허용응력인 1,400kgf/cm²를 넘게 된다.

또한 4ton의 중량물에서는 20° 이상, 3ton의 중량물에서는 25° 이상일때의 횡인작동도 각각 1,784kgf/cm², 1,654kgf/cm²로써 허용응력인 1,400kgf/cm²를 넘어 매우 위험하게 된다.

거더의 수평방향 처짐도 δ/L 를 살펴보면 대부분의 경우에 허용기준 이상으로 되어 횡인작동은 매우 위험한 작업임을 알 수 있다. 그러나 이러한 이론적인 산출 결과는 본 실험대상 호이스트에 한정된 결과임을 밝혀둔다.

따라서 호이스트 크레인인 구조물 건설시 여유 있는 안전율을 주어 본의 아닌 경사, 횡인작동시에도 구조물 자체의 손상이나 파단 등에 대비하여야 하며 제한각도 이상의 횡인작동을 금지하여야 한다.

Table 1 Effect of eccentric weight upon horizontal directions

division weight	θ	F_H (kgf)	M_H (kgf/cm)	σ_H (kgf/cm ²)	δ_H (cm)	δ/L
5ton	5	436	65400	569	1.08	1/ 555.5
	10	870	130500	1135	2.16	1/ 277.8
	15	1294	194100	1688	3.21	1/ 186.9
	20	1710	256500	2230	4.24	1/ 141
	25	2113	316950	2756	6.83	1/ 87.8
	30	2500	375000	3261	8.07	1/ 74.2
4ton	5	348	52350	455	0.866	1/ 692.8
	10	694	104100	905	1.72	1/ 348.8
	15	1035	155250	1350	2.567	1/ 233.7
	20	1368	205200	1784	3.393	1/ 176.8
	25	1690	253500	2204	4.191	1/ 143.2
	30	2000	300000	2609	4.960	1/ 121
3ton	5	263	39520	344	0.652	1/ 919
	10	521	78150	679	1.292	1/ 464.4
	15	776	116400	1012	1.925	1/ 311.7
	20	1026	153900	1338	2.545	1/ 237.7
	25	1268	190200	1654	3.144	1/ 190.8
	30	1500	225000	1957	3.720	1/ 161.3
2ton	5	174	26100	227	0.432	1/1388.9
	10	347	52050	453	0.861	1/ 696.9
	15	517	77550	674	1.282	1/ 468
	20	684	102600	892	1.696	1/ 353.7
	25	845	126750	1102	2.096	1/ 286.3
	30	1000	150000	1304	2.480	1/ 241.9
1ton	5	87		113	0.216	1/2777.8
	10	174	13050	227	0.432	1/1388.9
	15	259	26100	338	0.642	1/ 934.6
	20	348	38850	453	0.863	1/ 695.2
	25	422	52200	550	1.047	1/ 573
	30	500	63300	652	1.240	1/ 483.9

2.2 실험적 해석

2.2.1 실험장치

작업물체의 권상시 발생하는 반동거리를 산출하기 위하여 다음 Fig. 4와 같은 5ton Monorail wire type hoist(SN형, 삼표 제작소)를 사용하였으며 작업물체로서는 크기 80cm×60cm×20cm, 무게 500kg의 분동과 크기 25cm×15cm×13cm, 25kg의 홑과인 분동을 사용하였다.

2.2.2 실험방법

본 실험에서는 호이스트의 비정상적인 작업시 발생하는 각도, 즉 경사 또는 횡인작동각도에 따

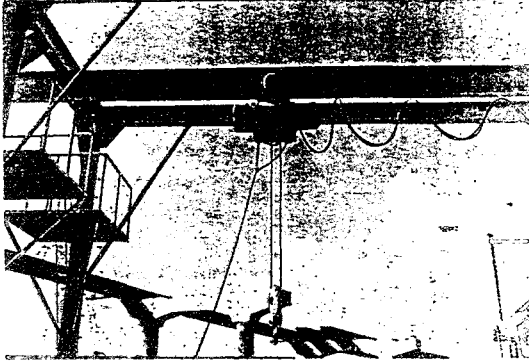


Fig. 4 5ton monorail wire type hoist

라 변하는 물체의 반동거리를 산출하였다.

본 장치에는 자동데이터 출력 장치가 마련되어 있지 않아 수동에 의한 방법으로 실험을 실시하였다.

권상부를 Hoist hanger의 중앙부에 위치시키고 후크를 움직임이 없도록 하여 수직을 향하도록 하고 바닥면에 중심을 표시하였다.

중심부에서 방사형으로 바닥에 20cm 간격으로 치수를 표시하고 작업물체인 분동의 측면부분에 추를 달아 반동시 지면을 향하게 한다.

각 경우에 따라, 즉 경사 또는 횡인작동 방법에 의해 각도를 변화시켜 반동거리를 측정하였다.

경사 또는 횡인작동 시간은 호이스트의 권상속도가 9.6m/min이므로 펜던트 스위치의 상승버튼을 2초간 누르면서 약 32cm 권상되는 시점에서 모든 변화를 관찰하였다.

각도의 산출은 양정이 6m인 실험용 호이스트 구조물의 측면 부분에 수리 및 실습용 상승 사다리와 담단이 설치되어 있어 그 상부에서 호이스트를 정지시키고 후크를 최하부 위치에 둔 다음 로프 고정부에 수직으로 추를 매달고 후크를 이동시켜 일정 각도에 해당하는 거리를 측정하였다.

실험시에는 각 각도에 해당하는 부분 만큼의 거리를 주어 경사 또는 횡인작동 실험을 실시하였다.

중량물의 반동거리는 분동의 중심을 기준점으로 잡고 분동의 제일 외측까지의 거리를 채택하였다.

이러한 방법으로 같은 각도에서 3회이상 측정하여 평균값을 취하여 그 수치를 반동 거리로 하였다.

2.2.3 실험결과 및 고찰

Fig. 5는 물체의 무게에 따른 경사작동시 반동거리로서 바닥면 물체의 경사작동시에는 물체의 무게가 무거우면 권상부 자체가 권상로프와 수직을 이루도록 밀려나므로 반동거리의 대소에 크게 영향을 미치지 않음을 알 수 있으며 또한 가벼운 물체는 각도가 클수록 바닥에 끌리게 되므로 반동거리는 1.6~1.7m가 최고로 된다는 것을 알 수 있다.

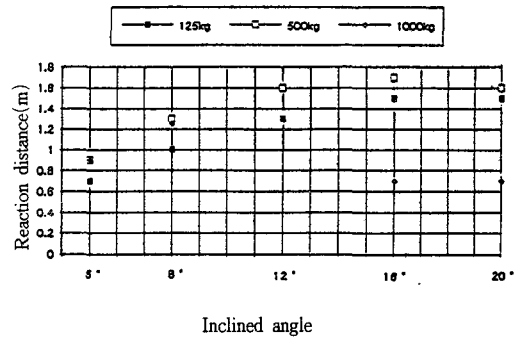


Fig. 5 Reaction distance of inclined operations on plate surface(lift 6m)

Fig. 6은 물체의 무게에 따른 횡인작동시 반동거리로서 횡인 작동시에는 호이스트 권상부가 좌우로 밀려 권상로프와 수직을 보상해주는 현상은 없지만 물체의 무게에 따라 구조물 및 장치부에 무리를 주게 된다.

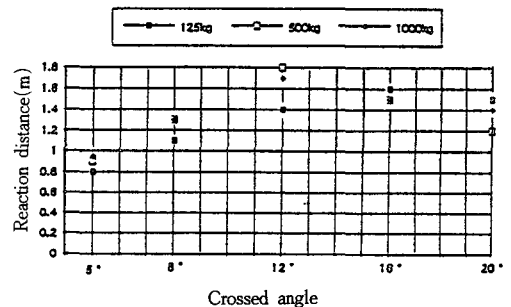


Fig. 6 Reaction distance of crossed operations on plate surface(lift 6m)

작업장 바닥에서 일정높이에 있는 작업물의 경

사인양 작업시에도 Fig. 7과 같이 바닥면에서의 물체 권상작업과 마찬가지로 어느 한계점까지는 미끄럼 현상이 발생하게 되지만 그 거리는 아주 작다. 따라서 앞의 실험에서와 같이 미끄럼현상을 고려하지 않아도 된다.

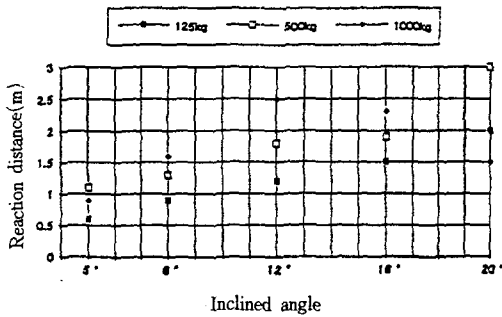


Fig. 7 Reaction distance of inclined operations on 1m high

그러나 일정높이에서의 경사작업은 바닥면에서의 작업과는 달리 물체의 무게가 무겁고 경사각도가 클수록 실제 반동거리는 커지고 또한 수직으로 보상하기 위한 호이스트 권상부의 이동폭과 물체의 반동현상을 정확히 예견할 수 없어 더욱 위험하다.

바닥에서의 횡인작동은 $\theta = 16^\circ$ 를 고비로 바닥면에서 미끄러지기 때문에 반동거리가 작아지는데 비해 일정높이를 가진 물체의 횡인작동은 수직보상을 위한 권상부의 미끄러짐이 없이 작용하는 모든 힘이 반동거리로 나타나 계속 커지며 횡인각도

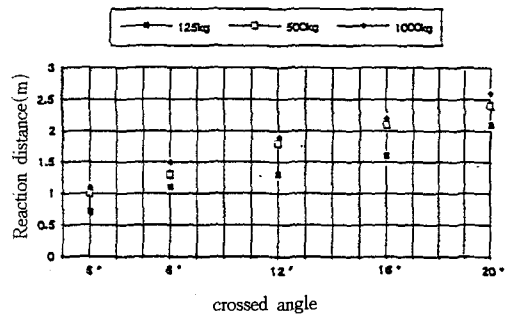


Fig. 8 Reaction distance of crossed operations on 1m high

와 물체의 중량에 따라 구조물에 큰 영향을 미치게 된다.

경사, 횡인 작동시 중량별 반동거리를 비교해보면 다음과 같다.

Fig. 9, 10, 11은 횡인 및 경사작동에 의해 발생하는 중량별 반동거리에 대한 비교이다. Fig. 에서 알 수 있듯이 중량 125kg의 작업에서는 횡인이 경사작동보다 반동거리가 대체적으로 큰 것을 알 수 있다. 그 이유는 경사작동시에는 권과 방지장치와 연동된 와이어 로프 가이드가 그 반동을 완화시켜 주기 때문인 것으로 생각된다.

그러나 바닥에 있는 중량 500kg의 작업물체를 16° 이상에서 횡인작업시에는 경사작동시보다 반동거리가 작아지는데 이는 경사작동 각도가 커지면 호이스트 권상부가 물체에 작용하는 마찰력보다 레일과 호이스트 바퀴의 마찰력이 작아서 뒤로 밀려나기 때문이다.

inclined operation(Ground)	crossed operation(Ground)	inclined operation(1m)	crossed operation(1m)
----------------------------	---------------------------	------------------------	-----------------------

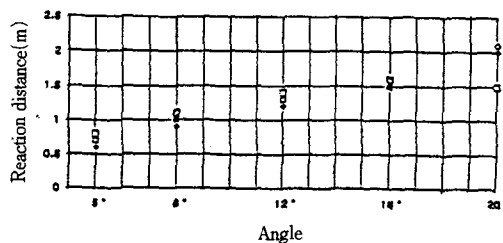


Fig. 9 Comparison of reaction distance on 125kg weight

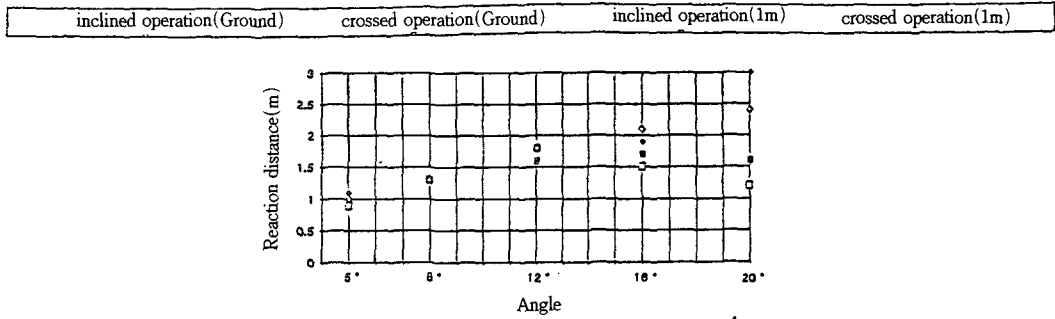


Fig. 10 Comparison of reaction distance on 500kg weight

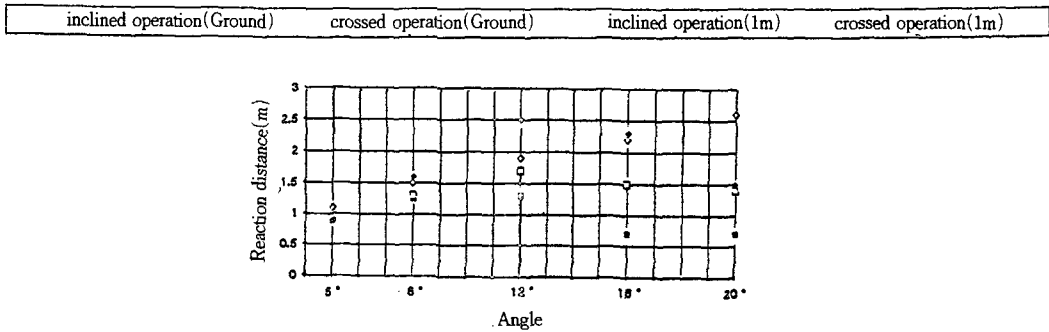


Fig. 11 Comparison of reaction distance on 1000kg weight

이상의 고찰 결과 권상로프의 수직상태를 중심으로 주변적재물이나 작업자에게 충돌, 협착을 유발할 수 있는 한계거리를 약 1.2~1.4m 정도라고 가정하면 평평한 바닥면에서의 경사작동 및 횡인 작동일 경우에는 그 허용한계각도를 약 8°, 1m 높이의 위치에 있는 작업물의 경사작동 및 횡인 작동일 경우에는 약 7°로 산출할 수 있다. 따라서 작업 현장의 여러가지 변수를 고려하면 최소허용각도인 7°를 채택하여야 할 것으로 생각된다.

3. 장치개발

현장에서 흔히 볼 수 있는 작업시간의 단축을 위한 권상과 횡행 동시작동, 작업영역을 벗어난 물체의 인양을 위해 후크를 정위치에 위치시키지 않고 하는 횡인, 경사작업 등 현재까지 개발 부착된

방호장치만으로는 안전을 확보할 수 없는 비정상적 작업의 경우에 대해 적절히 근로자의 안전을 확보할 장치의 필요성이 대두되고 있다. 따라서, 지금까지 이론적, 실험적 연구를 통해 횡인, 경사 안전한계각도를 설정하였고 이 안전한계각도 이내에서 호이스트 크레인의 작동을 제어할 수 있는 장치를 개발하였다.

장치의 작동 원리는 Hoist 작업시 후크의 중심 위치에서 벗어난 물체의 권상시 또는 정상위치의 물체라도 작업자가 펜던트스위치의 상승과 전진 방향으로 동시에 작동시킬 경우에는 권상부의 중심과 권상로프가 일정각도를 발생시키며 경사지게 된다.

이때 본 장치에 내장되어 있는 리미트 스위치와 릴레이가 설정된 한계치를 벗어나는 각도를 감지하여 경사작동일 경우에는 권상부를 와이어로프와

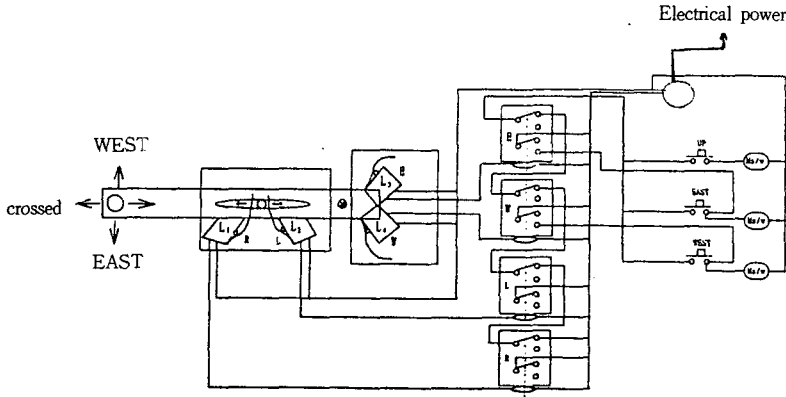


Fig. 12 Structural mechanism of hoisting rope automatic vertical controller

권상부의 수직보상이동으로 인해 그 각이 설정 각도 이하가 되면 리미트스위치는 차단되고 계속해서 누르고 있던 UP S/W가 작동하여 권상부는 물체를 설정각도 이내의 상태에서 권상하게 된다. EAST방향의 경사작업일 경우에도 이와 같은 방식으로 작동하게 되어 권상부가 물체의 방향으로 수직보상 이동을 한 후 일정각도 이내에서 권상된다.

또한 천정크레인과 같이 x, y, z 축 3차원 공간을 운전가능한 크레인⁸⁾에서는 R, L 릴레이 배선을 크레인의 R, L Magnet S/W에 접속하면 전후좌우 전방향 수직보상이동이 가능하다.

구조도에서와 같이 Monorail hoist의 횡인작동에 대해서는 권상부가 수직보상 이동을 하지 못하므로 횡인 설정각도 이상으로 벗어날 경우에는 R, L 리미트스위치가 작동하고 다음으로 R, L 릴레이 수직의 위치로 이동하게 하며, 횡인작동일 경우에는 호이스트의 작동을 멈추어 설정각도 이상의 상태에서 호이스트의 작동을 제어한다.

또한 천정크레인일 경우에는 경사, 횡인작동 모두에 이러한 작동으로 대응할 수 있다.

Fig. 12에서 보는 바와 같이 펜던트 스위치의 UP 버튼을 눌러 권상로프가 WEST방향으로 움직일 경우, 즉 설정각도 이상의 각이 발생하면 W 리미트스위치가 작동하고 W 릴레이가 작동하여 펜던트 스위치의 WEST버튼을 누르는 것과 같은 작용을 하게 되어 권상부는 WEST방향으로 수직보

상이동을 하게 된다. 가 작동하여 펜던트 스위치의 UP버튼작동시 형성되는 권상회로를 차단한다. 다만, Down S/W에는 어떠한 구속도 없으므로 DOWN작동은 가능하다. 따라서 안전한 작업을 하기 위해서는 운반기구를 이용하여 작업물체를 수직의 위치로 이동한 후 작업을 하여야 한다.

권상로프와 물체의 위치가 설정각도 이하가 되면 정상적인 작동이 가능하게 된다.

4. 결 론

호이스트 또는 크레인작업의 안전성 향상을 위해 수행된 안전한계각도의 설정과 권상 로프 자동 수직 조정장치 개발에 따른 이론적 고찰 및 실험 결과는 다음과 같다.

- 1) 호이스트 또는 크레인작업시 주변적재물이나 작업자에게 영향을 미칠 수 있는 반경을 권상부의 수직선을 중심으로 1.2~1.4m 정도로 추정하였고, 양정이 6m 정도의 호이스트, 크레인의 경사작동 및 횡인작동 안전한계각도를 약 7°로 산출하였다.
- 2) 이렇게 산출된 경사, 횡인 안전한계각도를 개발한 권상로프 자동수직 조정장치에 설정하고 모의 실험한 결과 크레인, 호이스트 재해예방 대책의 일환인 안전장치로써 크게 기여할 것으로 생각된다.

참 고 문 헌

- 1) 勞動部, 93産業災害分析, 1994.
 - 2) 尹大炳 外 5人, 大學物理, 世紀文化社, Feb. 1987.
 - 3) 大光書林 編輯部, 實用 크레인 便覽, 1992.
 - 4) 大光書林 編輯部, 標準機械設計圖表 便覽, Feb. 1987.
 - 5) 大光書林 編輯部, Metal Weight Data, Aug. 1978.
 - 6) 韓東철, 정선모, 標準機械 設計學, 東明社, Feb. 1987.
 - 7) 노동부고시 93-29호, 크레인 제작기준, 안전 기준, 검사기준 제5조 제2관 허용용력. 1993.
 - 8) 반도 크레인(주), 3Ton×SPAN8M250 HOIST식 천정CRANE 설계검사서, 1993.
-