한국소음진동공학회 2012년 춘계학술대회논문집, pp.99~104

승강기용 웜기어 방식 권상기의 점식 발생 사례

Case Study for pitting of elevator's worm gear type traction machine

서상윤*·양보석†·이선순*·김성협*·김재우*

Sang-Yoon Seo, Seon-Sun Lee, Sung-Hyeob Kim and Jae-Woo Kim

Key Words : Elevator(승강기), Pitting(점식), Vibration(진동), misalignment(정렬불량), Lubricating Oil(윤활유), Rail(레일)

ABSTRACT

This paper analyzes the pitting's cause of elevator's worm gear type traction machine. To find a cause of pitting problem, we analyzed vibration, a proper design allowance and lubrication. We brought a conclusion that the cause of pitting is not a simple vibration problem, such as misalignment of worm reducer and rail, but mostly related to a designed allowance. In this case, the allowance is tight. In general, the allowance of traction machine and lubrication is varied by manufacturers. When the allowance is tight, a proper lubrication can diminish the pitting problem.

1. 서 론

승강기를 구동시키기 위해 권상기가 사용되고 있으며, 이 권상기는 크게 나누어서 전동기의 회전을 감속시키기 위하여 기어를 부착한 기어드 방식과 기어를 사용하지 않고 전동기의 회전축에 권상도르래를 부착시킨 무기어 방식이 있으며, 기어드 방식의 종류로는 웜기어, 헬리컬기어 방식이 있고, 무기어 방식으로는 직류방식과 최근에 많이 적용되는 동기전동기 방식이 있다. 동기전동기 방식 권상기는 점차 사용범위가 확대되어가고 있으나, 고가이기 때문에 아직도 기어드 방식의 권상기를 많이 사용하고 있다.

이중에서도 웜기어 방식의 권상기는 가공이 어렵고, 토크 전달 효율이 낮아 에너지 손실이 큰 것이 결점이나, 헬리컬 기어에 비해 소음이나 진동이 적어 정숙하고, 역구동이 곤란하여 현재 승강기에서 가장 많이 사용되고 있는 권상기이다.[1]

속도별, 사용 용도별로 보면, 웜기어 방식 권상기는 중저속용으로 저층, 중층에 많이 사용되는 권상기이며, 헬리컬 방식 권상기는 고속용에 사용된다.

본 사례는 화력발전소의 보일러타워에서 사용되는 웜기어 방식 권상기의 점식 발생 현상에 대해 진단한 것으로써 사양은 속도 60m/min, 30인승(2,000kg), 전체 행정은 100m로 일반 아파트용 승강기(15층 일 경우 약 50m) 보다 2배 이상 긴 행정에서 운행되고 있었다. 따라서 긴 행정으로 인해 웜기어는 부하를 많이 받을 수밖에 없는 상태이었고, 진동 역시 ISO 10816-3의 Class II 기준치 C를 초과(max. 4.14mm/s rms)하여 발생하고 있었으며, 승강로의 구조 역시 철구조물로 인해 설치 상태가 의심되는 상태였다.

본 사례에서는 웜기어 방식 권상기에 발생한 점식에 대해 권상기 진동과 레일 설치 상태, 카내 승차감 상태를 측정하여 진동적인 관점에서 특성을 파악하고 기어이 부하 적절성 여부에 대한 설계 검토와 윤활유 특성을 조사하여 기어의 점식 발생 원인에 대해서 규명을 하였고, 최종적으로 설계 변경을 하지 않고 기어의 점식 영향을 제거하기 위해 오일 교체를 제안하였다.

† 교신저자; 정회원, 부경대학교 기계자동차공학부
E-mail : bsyang@pknu.ac.kr
Tel : (051)629-6152, Fax : (051)629-6150
* 한국승강기안전기술원

2. 점식 원인 분석

진단 대상인 승강기는 발전소의 총 4개 보일러타워에 있는 승강기 중 1호기이다. 제작사는 1, 2호기와 3, 4호기가 다르며, 이중 1, 2호기는 3, 4호기와는 달리 설치 후 약 5년 뒤 점식으로 인해 권상기가 교체되었으며, 교체 후 3년 뒤 다시 1호기 기어이에 점식이 반복적으로 발생되어 그 원인을 규명하기 위하여 진단을 실시하였다. 한편 2호기는 1호기 보다 1년 일찍 교체되었으나 점식이 발생되지 않았다.

따라서 점식의 원인을 분석하기 위하여 진동 측정을 수행 하였으며, 진동 측정은 권상기의 진동과 승객이 타고 다니는 카 내의 진동을 측정하여 영향을 평가하여 보았다. 다음으로 설계 검토를 실시하여 권상기의 하중에 대하여 평가를 하였으며, 마지막으로 웜기어용 오일의 특성에 대해서도 비교 분석하여 보았다.

2.1 진동 원인 분석

(1) 회전체 진동 분석

승강기용 웜기어 방식 권상기는 Fig. 1과 같은 형태를 가지고 있으며, Table 1의 측정 포인트에서 진동을 측정하였다.

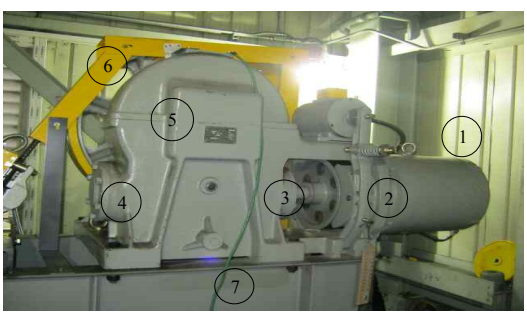


Fig. 1 The position of accelerometer

Table 1 The name of accelerometer's position

Item	Position's name	Remarks
①	Motor unload	
②	Motor load	
③	Gear load	
④	Gear unload	
⑤	Gear output unload	
⑥	Sheave	
⑦	Base	

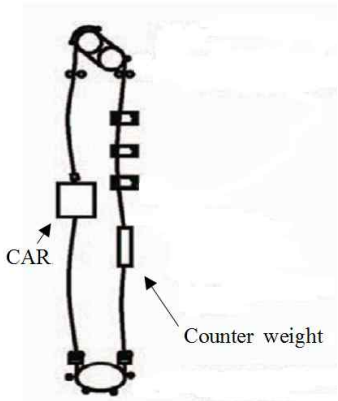
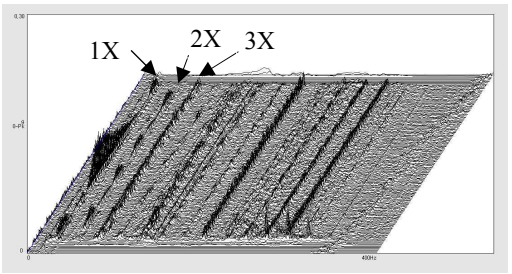


Fig. 2 Schematics of elevator system

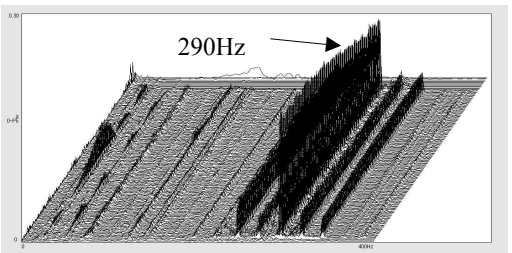
우선 승강기의 진동 분석에 앞서 승강기의 구조를 파악해야 만이 승강기의 진동에 대한 분석을 명확하게 할 수 있다. 승강기의 구조는 Fig. 2와 같이 사람을 태우고 다니는 카와 카의 무게를 보상하고 효율을 증가시키기 위해 Counter Weight라는 것을 이용하여 50%의 무게를 항상 보상하여 주는 형태로 구성되어 있다. 이러한 구조로 인하여 무부하 시 상승 때보다는 하강 때 하중에 의한 영향으로 부하를 많이 받게 된다(카 정원의 100%에 대한 50%를 적재하기 때문에 빈 카(0% 적재 시) 시에는 C.W.T가 상대적으로 무겁기 때문에 카 하강 시 C.W.T를 견인하게 되어 부하를 많이 받게 됨).

다음으로 권상기의 진동분석을 하면, Fig. 3에서 확인해 볼 수 있는 바와 같이 회전속도와 그 배수성분이 나타나는 것으로 판단할 때, 기어이의 정렬불량에 의한 진동이 발생하고 있으며, 특징적으로 하강 시 290Hz 대역에서 진동이 증가하는 양상을 보였다. 이는 부하 증가에 의해 기어의 맞물림력이 증가하면서 공진이 발생하는 것으로 판단되어 간이로 impact test를 실시하였더니 Fig. 4와 같이 290Hz 대역에서 공진이 발생되는 것을 확인할 수 있었다.

Fig. 5(a)는 하강방향 기어 치면에 점식이 발생된 형태를 보여주고 있으며, 상대적으로 부하를 적게 받는 (b)상승 방향에는 기어 점식이 발생되고 있지 않는 것을 확인할 수 있다. 따라서 기어의 점식은 부하를 많이 받는 하강방향 쪽에 생기는 것을 확인할 수 있으며, 그 영향은 정렬불량 영향에 의한 면압 증가에 추가하여 하강 시의 면압 증가에 의한 영향으로 판단되었다. 한편 동일한 사양을 가진 2호기



(a) up



(b) down

Fig. 3 Waterfall spectrum of motor unload side

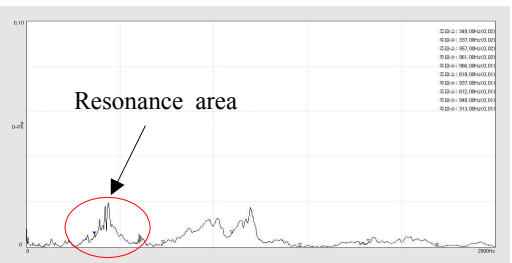


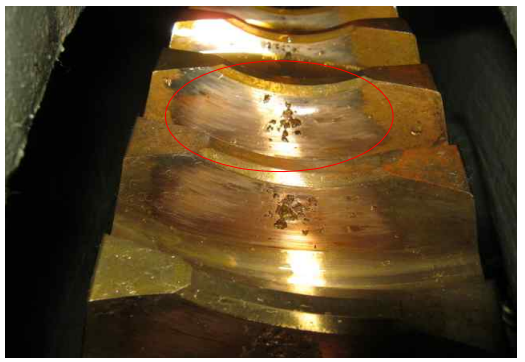
Fig. 4 Impact test of traction machine

는 총진동값이 1호기에 비해 상대적으로 작지만 (max. 2.59mm/s rms) 정렬불량이 존재하고, 290Hz 대역에서 공진이 발생하지만 그 크기는 작았고 점식은 발생하지 않았다. 따라서 정렬불량이 점식의 원인이라고 단정하기에는 무리가 있는 것으로 판단되었으며, 공진이 발생하는 원인은 기어이에 부하를 많이 받고 있는 것으로 사료되어 설계 검토를 실시하였다.

한편 아래에서는 운행 시 설치상태에 의한 부하 영향도 평가해보기 위하여 승차감 진동을 분석하여 보았다.

(2) 승차감 진동 분석

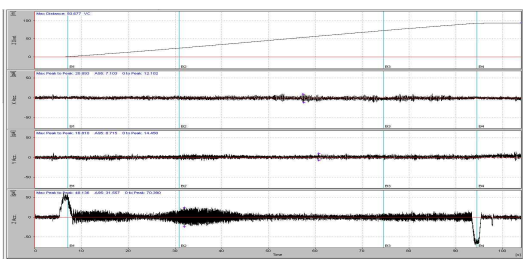
승강기가 다니는 승강로에 설치된 레일 및 기타 원인에 의한 부하증가 영향을 확인하기 위하여 카 내 진동 측정을 실시하였다.



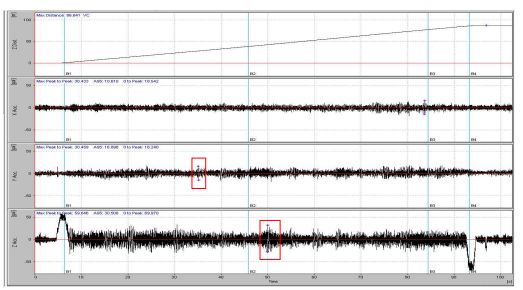
(a) Pitting on gear tooth of down direction

(b) No pitting on gear tooth of up direction

Fig. 5 Gear tooth of worm gear



(a) No. 1



(b) No. 2

Fig. 6 Ride quality of cars

카 내 승차감을 비교하여 보았을 때, 사각형으로 표시된 부분과 같이 1호기 보다는 오히려 2호기가 레일과 카의 틀어짐에 의한 부하의 영향이 많은 것으로 판단되어 설치상태에 의한 영향 차이는 의미 없는 것으로 판단되었다.

2.2 설계 검증

(1) 웜기어 하중 분석

웜기어의 하중분석을 위한 강도계산으로 웜기어의 접촉상태는 평치차 및 베벨치차 보다 단순하지 않고 기어의 치형도 복잡하므로 부하용량을 결정짓는 이론식은 어렵다. 일반적으로 각종 실험식은 Lewis 식을 변형한 Buckingham의 굽힘 강도식과 내마모 실험식을 사용한다. 웜기어의 강도계산에는 영국 규격 BS 721, ISO 14521 및 DIN 3996의 규격을 사용하고 있으며, BS규격은 강도와 피로에 대한 계산식이 유명하고 신뢰가 높으며 4가지 부하용량을 계산하여 가장 작은 값으로 부하용량을 결정한다.[1]

보일러 1호기와 같이 점식이 발생한 웜기어 설계의 적절성을 판단하기 위해서는 4가지 부하용량 중 허용 마모 강도와 허용 굽힘 강도의 계산이 필요하기 때문에 전동기 소요동력 계산식을 통하여 전동기 효율, 기어이 허용 마모 강도, 허용 굽힘 강도를 계산할 수 있다.

전동기 소요 동력을 계산하기 위하여 먼저 1호기에 사용된 C.W.T의 OB율을 확인한 결과, 45% 적재가 되어 있는 것을 확인하였다.

따라서 45% OB율을 적용하여 계산하여 보았다.

① OB율 45%(상승 시)

$$\frac{L\times V\times(1-OB)}{102\times60\times\eta}=\frac{2{,}000\times60\times(1-45\%)}{102\times60\times66.3765\%}=16.24kW$$

여기서, L = 부하, V = 속도

OB = over balance율, η = 효율이다.

· 전동기 용량 만족여부

16.24 kW로 현재 설계된 전동기 용량은 30 kW이기 때문에 전동기 용량은 만족함

· 기어이 허용 마모 강도, 허용 굽힘 강도

전동기 용량에 맞게끔 사용된 감속기의 허용 마모 강도와 허용 굽힘 강도가 위의 데이터를 만족하여야 한다. 따라서 제조사에서 제출된 강도 값에 의하면 허용마모 강도는 14.4712 kW이고, 허용 굽힘 강도는 38.5046 kW이므로 허용마모 강도는 계산된 전동기 용량에 만족하지 못한다.

하지만, 허용 마모 강도는 26,000시간 기준으로 계산된 것이기 때문에 실제 사용시간이 줄어드는 효과가 있는 것이며, 오히려 상승 방향의 웜기어 마모는 발생하고 있지 않고 하강방향에 점식이 생기고 있기 때문에 하강 방향에 대한 OB율을 적용하여 아래와 같이 계산하여 보았다.

하강방향의 OB율은 카가 최상층에 있을 때를 기준으로 계산하면 55%를 적용하여 아래와 같이 계산할 수 있다.

② OB율 55% 시(하강 시)

$$\frac{L\times V\times(1-OB)}{102\times60\times\eta}=\frac{2{,}000\times60\times(1-55\%)}{102\times60\times66.3765\%}=13.29kW$$

· 전동기 용량 만족여부

13.29 kW로 현재 설계된 전동기 용량은 30 kW이기 때문에 전동기 용량은 만족함

· 기어이 허용 마모 강도, 허용 굽힘 강도

①의 데이터와 동일하게 평가하였을 때, 오히려 허용마모강도는 만족함

이상과 같이 점식이 발생하는 하강방향 기어이에 대하여 설계의 적절성을 검토한 결과, 하강 방향 이에 대한 허용마모강도는 기준치를 만족하고 있는 것을 확인할 수 있다.

상기 2개 요소가 기어이의 강도와 관련하여 영향이 가장 크기 때문에 2가지 요소에 대해서 평가하였고, 기본 설계 상에서는 특별한 원인을 찾을 수가 없었기 때문에 타사 설계 기준과 비교 검토하여 보았다. 그리고 기타 기어 수명에 영향을 미치는 인자로는 승강기의 환경조건, 사용조건, 설계조건, 운전패턴, 오일 종류, 재료, 치면 조도, 경도, 동력 전달 능력, 조립상태, 가동 상태 등이 수명에 영향을 미칠 수 있기 때문에 다양한 관점에서 확인하였다.

2) 승강기 설계 검증

타 사에서 제공된 설계공식을 가지고 1, 2호기의 설계데이타(2,000kg, 30인승)를 대입하여 검토한 결과, 1:1 로핑의 경우 약 8,000kg의 축하중이 계산되

었으며, 전동기 용량은 18kW로 계산되었다. 하지만, 윔기어 방식의 경우에는 화물용인 경우에는 1:1을 사용하지 않도록 제한하고 2:1을 적용하도록 duty table이 구성되어 있으며, 이 경우에는 축하중 16,000kg, 22kW 전동기를 사용하는 윔기어를 사용하도록 설계 데이터에 반영되어 있다. 따라서 1:1로 설계한 전동기 용량과 축하중은 1, 2호기에 적용된 설계 데이터에 적합한 것으로 판단되지만, 설계 여유가 필요하며, 이는 제조사의 경험에 의한 문제로 판단되었다.

추가적으로 보일러 3, 4호기의 설계 데이터와 비교하여 보았다. 보일러 3, 4호기는 H사 제품을 사용하고 있으며, 전동기 용량 22kW 축하중 9,000kg의 권상기가 적용되고 있고, 실제 사용되는 카체대와 기타 사양이 1, 2호기와 대동소이하다고 판단하였을 때, 3, 4호기의 권상기 용량은 1, 2호기 용량보다 500kg 크게 반영되어 있다.

H사에 문의한 결과, 구체적인 설계 데이터는 구할 수 없었으나, 2,000kg용량일 경우에는 축하중 9,000kg이 의무설계 기준으로 정해져 있다고 한다. 따라서 권상기 용량은 설계하중 대비 적절한 것으로 판단되지만, 앞에서 언급한 바와 같이 제조사 별로 대상에 따른 설계 경험치가 존재하는 것으로 판단된다.

참고적으로 권상기 제조사에 문의한 결과, 한 단계 위의 권상기(축하중 증가 또는 속도 증가, 로핑비 증가)를 사용하게 되면, 기어이 강도가 커지기 때문에 점식이 발생할 확률이 줄어들게 된다고 한다.

다음으로는 점식이 발생하게 되는 주원인에 대해서 파악하여 보았다.

2.3 점식 발생 원인 분석

점식 발생 원인을 분석하기 위하여 참고 논문을 조사한 결과, (1)에서 윔기어 설계데이터, 오일, 열처리방법에 따라 점식의 영향에 대한 실험을 하였으며, 이 논문에서 다음과 같은 결론을 확인할 수 있었다.

① 이론적으로 계산한 기어이 안전율 또는 수명과 실제로 부하 시험한 데이터는 유사한 경향의 결과를 얻었다.

② 윤활유에 있어서 합성유를 사용한 경우가 광유를 사용한 경우보다 온도변화 및 온도 상승이 훨씬 적었으며, 치면 손상에 있어서도 훨씬 좋은 긴 수명의 결과를 얻었다.

③ Quenching & Tempering 열처리한 윔의 경우보다 침탄 열처리한 윔의 경우가 온도의 상승과 치면 손상을 일으키는 수명에 있어서 좋은 결과를 나타내었다.

④ 윔 권상기의 수명은 윔의 열처리 영향보다는 윤활유의 영향이 큰 것으로 시험결과 나타났으며, 권상기 부품 온도가 치면 손상에 영향을 주는 것으로 나타났다.

위의 시험 결과에서 나타나는 바와 같이 권상기 부품 온도가 치면 손상에 영향을 준다고 하였으며, 열처리 방법이나 사양이 같은 조건에서는 윤활유를 광유가 아닌 합성유를 사용하면 기어의 온도 변화 및 온도 상승이 적어서 기어이의 수명이 길어진다고 결론지었다.

따라서 아래에서는 호기별의 용량 및 윤활유와 타 제조사 별 현장에서 사용되고 있는 용량 및 윤활유를 비교 분석하여 보았으며, 발전소의 환경 및 부하조건을 고려하고 윤활유의 특성을 파악하여 최종적으로 결론을 도출하였다.

2.4 윤활유 특성 분석

Table 2를 보면 A사의 경우에는 인승 및 기종에 관계없이 광유(EP계열) 460을 사용하고 있고 B사는 권상기의 특성에 따라서 광유 및 합성유를 사용하며, C사는 17인승의 경우, 합성유를 사용하고 있다. B사는 3, 4호기의 제조사이며 30인승 2,000kg의 경우, 합성유를 사용하고 있는 것을 확인할 수 있고, 8인승 550kg은 하도급 업체의 납품을 받아서 사용하고 있는 것으로 15stop의 것은 12stop의 것보다 이전에 납품되어 사용되고 있는 것으로 최근에는 유종을 광유(15stop)에서 합성유(12stop)로 윤활유를 바꾸어 사용하고 있는 것을 확인할 수 있다.

하지만 보일러 1, 2호기는 광유 중에서도 EP320(EP계열, 극압유)을 사용하고 있는 것을 확인할 수 있었기 때문에 윤활유의 특성 파악이 필요한 것으로 판단되었다.

윔기어용 윤활유에 대해 자료를 찾아보면 중(重)하중 시는 1, 2호기의 EP 320계열은 -10°C ~ 5°C에서 사용하도록 추천하고 있으며, 5°C ~ 40°C에서

Table 2 Types of Oil for elevators

Manufacture	Capacity	Height	Product No.	Oil type
Boiler No. 1, 2	30 persons, 2000kg	100m	EP320	Mineral Oil
Boiler No. 3, 4	30 persons, 2000kg	100m	Shell ultra gear 220	Synthetic Oil
A	17 persons, 1150kg	15 stop	Meropa 460	Mineral Oil
	8 persons, 550kg	20 stop	Meropa 460	Mineral Oil
	8 persons, 550kg	14 stop	Meropa 460	Mineral Oil
B	8 persons, 550kg	15 stop	Omala 220	Mineral Oil
	8 persons, 550kg	12 stop	Mobile SHC XMP 460	Synthetic Oil
C	17 persons, 1150kg	13 stop	Mobile gear glygoyle 460	Synthetic Oil

는 EP 460계열, 40°C ~ 80°C에서는 EP 680계열을 추천하고 있다.[4] 사용 주변온도 관점에서 보면, 보일러 실 상단에 사용되는 웜기어는 겨울에도 따뜻하다고 느낄 정도로 높은 온도가 유지되고 있었기 때문에 실제 여름에 운전되는 조건에서는 주변온도가 상당히 고온에서 운전이 될 수 있으며, 운행 구간이 길기 때문에 주변온도 영향에 추가하여 기어유의 온도가 상당히 상승할 수 있는 것으로 판단되어 1, 2호기에 사용된 EP 320계열은 부적합한 것으로 판단되었다. 한편 보일러 3, 4호기에 사용된 오일은 합성유로서 점도지수도 높고 온도 변화 특성이 좋으며, 권상기 용량도 커서 웜기어의 치면에 생기는 부하가 크기 때문에 합성유를 사용하고 있는 것으로 판단되었고, Shell 사에서는 합성유만을 웜기어용 오일로 제안하고 있다.[5]

따라서 발전소의 보일러 호기에서 사용되는 승강기 기계실은 보일러의 열이 하부에서 전달되어 겨울에도 항상 상온을 유지하고 있으며, 권상기 용량도 크고 승강 행정이 길기 때문에 감속기에서 열이 많이 발생할 수 있는 조건이므로 고하중 및 고온에서 점도 특성이 좋은 합성유를 사용하는 것이 적절한 것으로 판단되었다.

3. 결 론

발전소 보일러 1호기에서 발생하고 있는 점식은 진동, 설계, 사용조건, 윤활유 등 여러 가지 조건을 가지고 검토한 결과, 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1) 현 시스템에서 웜기어의 점식은 정렬불량이 기어이에 부하를 증가시킬 수 있는 원인 중 하나가 될 수 있지만 주요인은 아니다.

2) 권상기의 설계치는 현재 사용부하[30인승(2,000kg), 축하중 8,500kg]에 근접하게 설계되어 있다. 하지만 타 제조사 경험치에 의한다면 현재와 같은 승강로 높이와 하중일 경우에는 일반적으로 한 단계 높은 등급의 권상기를 쓰는 것이 적절하다.

3) 보일러 1호기에 설치된 승강기는 권상기 주변 온도 조건이 다른 일반적인 아파트 현장과는 다르게 항상 온도가 높게 유지되고 있고, 운행 구간이 길어서 기어유의 사용온도가 상대적으로 높은 것으로 판단된다.

4) 현재 사용되고 있는 윤활유는 EP320으로 온도나 부하 특성으로 판단할 때, 현재의 사용조건에는 맞지 않는 것으로 사료된다.

이상과 같은 결론에 의해 현재 조건에서는 설계변경을 통한 점식 영향을 제거하기가 어렵기 때문에 윤활유를 고온 및 고하중에서도 점도 특성이 가장 좋은 합성유 460계열로 사용한다면 현재와 같은 온도 및 부하조건에서 점식이 발생될 수 있는 가능성이 줄어들 것으로 판단되어 합성유 460계열로 교체하여 사용할 것을 권고하였다.

참 고 문 헌

(1) Lee, K. J., 2011, The Experimental Study on the Analysis of Load Capability for Worm Gear Teeth of Traction Machine, Master's thesis, Inha University

(2) Yang, B. S, Condition Monitoring & Diagnostics, Intervision, 318-325

(3) Korea Elevator Society, Elevator Design

(4) Sam-Il Precision Ind. co., Ltd. home page, http://www.e-samil.co.kr

(5) shell homepage, http://www.shell.co.kr