

ROLLER MILL 감속기 사고 원인 분석

이 정 현* · 신 광 진
 <쌍용양회 영월공장>

2) 사고 현황

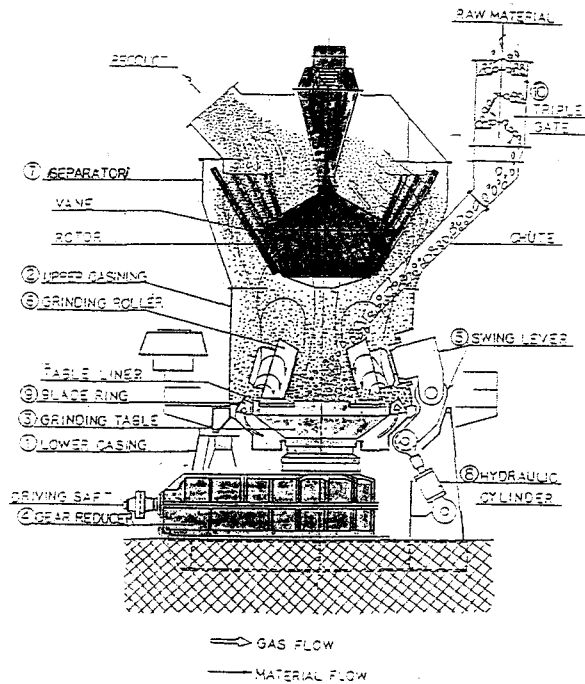
1. 현황 및 HISTORY

당사 사용중인 UBE Roller Mill (Cap' : 300 T/H)은 1988년 부터 설치 가동되고 있으며 감속기 부위에 잦은 trouble로 막대한 손실을 입은바 있고, 특히 최근 발생된 감속기 Pinion Shaft 절단사고에 대하여 근원적인 원인규명과 향후 안정적인 대책을 강구하여 안정조업에 기여코져 함.

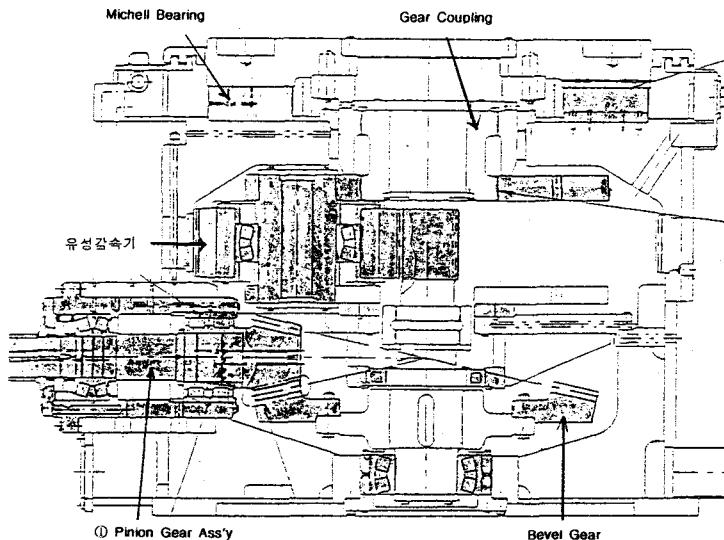
1) Spec'

항 목	SPECIFICATION	
	MILL	MAKER
CAP'		300 T/H
POWER		2300 Kw, 1180RPM
감속기	TYPE	LPS - 1000F
	RATIO	1 : 40.57


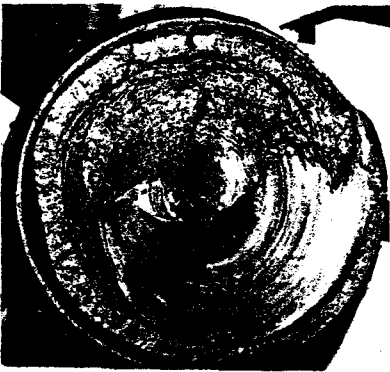
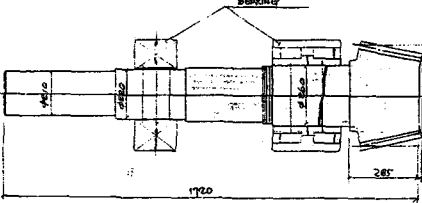
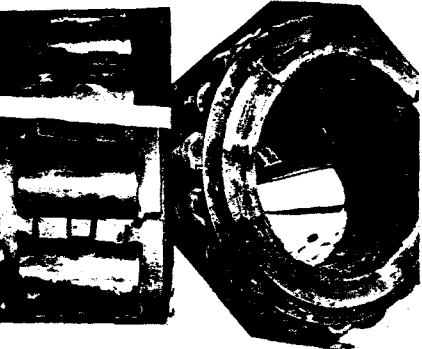
① Mill 개요도


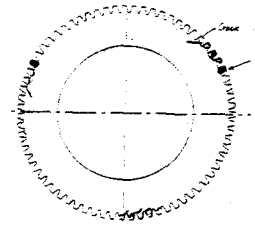



② 감속기 개요도



③ 사고 부위 및 현상

사고부위	현상
PinionShaft 비틀림 절단	<ul style="list-style-type: none"> - Bearing (2RN 5212) 부위 Shaft 흑색으로 변색  <ul style="list-style-type: none"> - Pinion Shaft 비틀림 절단 
Bearing손상	<ul style="list-style-type: none"> - 2RN 5212 C3 P5 Bearing (Gear 축) 1단 Pinion Shaft(ORIGINAL)  

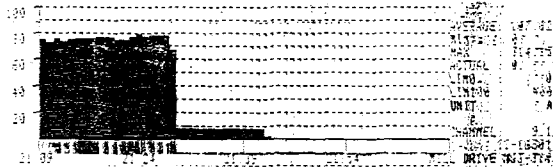
사고부위	현상
Pinion Gear 손상	<ul style="list-style-type: none"> - Pinion Gear Tooth 16EA 전량 손상 - Pinion 大齒車 끝단부위 탈락 및 Crack 
GearCoupling Tooth 절손	<ul style="list-style-type: none"> - 총 Tooth 71EA 중 17EA 탈락 및 Crack - 3개소에 집중  

④ 운전현황

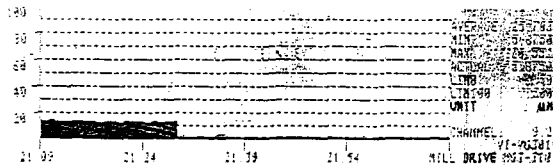
항 목		Setting 치	정상운전치	Trouble시
Mill Main Motor Ampere (A)	High-High	400	270	130
	High	349		
원료 투입량 (T/H)			285	288(시점 기준)
Mill 진동상태 (동체진동) (μm)	High-High	270	70	65
	High	180		
Main 감속기 Bearing온도(℃)	High-High	70	부하측 : 45- 47 반부하측 : 45- 47	부하측 : 47 반부하측 : 47
	High	60		
감속기 Oil Pump 압력(kg/cm ²)	저압	Inter Lock	4.5 - 6.0	5.5
	고압	Inter Lock		
냉각수 Line 상태			정상	정상

- 사고 직전 Trand 상태

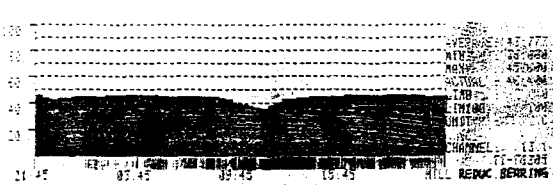
- Mill Amp'



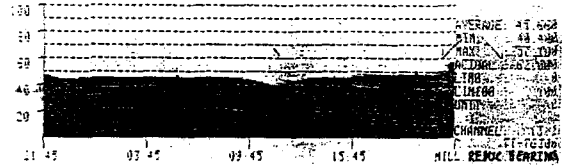
- Mill 진동



- 부하측 온도



- 반부하측 온도



3) History

① 당사 Roller Mill용 감속기 사고 History

장비명	일 자	사 고 내 용	가동시간 (Hr)	설치 년도
#3 R/M	91年 7月	- Pinion Shaft용 Bearing 파손	19,000	'88年
	96年 1月	- Pinion Shaft절단		
#7 R/M	95年 7月	- Pinion Shaft용 Bearing 손상	34,000	'90年
#7 C/M	96年 2月	- Bevel Gear용 Bearing 파손	40,000	'91年
#4 C/M (문경공장)	92年 8月	- Pinion Shaft용 Bearing 파손	5,000	'91年

② #3 R/M 감속기 사고 History

일 자	사 고 부 위	사 고 내 용	조 처 내 용	가동시간
'89年 2月	Michell Bearing Part	- Scratching 발생	- Bearing 교체	'88年 가동
'91年 7月	Pinion Shaft부	- Cylindrical Bearing 파손	- Spare Bearing으로 교체	19,000시간
'96年 1月	Pinion Shaft부	- Pinion Shaft비틀림 절단 외	- 응급 조치후 제한 가동. '96년 5월 손상부품 전량교환	30,000시간

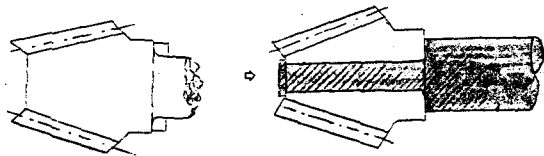
2. 응급 조치 및 정상 복구

1) 응급 조치 (1월 10일 ~ 1월 27일)

① 보수 작업 내용

Pinion Gear 재사용을 위한 가공 수리

Pinion 절단부 내경 가공하여 신규 Shaft와 조립



Counter Shaft Ass'y 온도계 Sleeve Hole 관통

Thermo couple

Hole 관통

사고시 온도 감지 둔화 → 직접 접촉으로 감지 가능함상
(사고 Stop 5분 이후 온도 상승)

Pinion Shaft 부위 진동 Sensor 추가 설치

y/B: Sensor 추가설치

Thermo couple

감속기

감속기 본체 진동만 감지 → Pinion Gear 부위 추가
진동감지

② 보수 작업 결과

- 생산량은 약 50% 수준에서 가동(130T/H - 140T/H)

- 진동 상태

구 분	정상가동시	무부하시	제한가동시
수 평(H)	2.3 mm/s	12.4 mm/s	14.1 mm/s
수 직(V)	4.1 mm/s	3.1 mm/s	5.7 mm/s
측방향(A)	2.0 mm/s	5.1 mm/s	6.3 mm/s

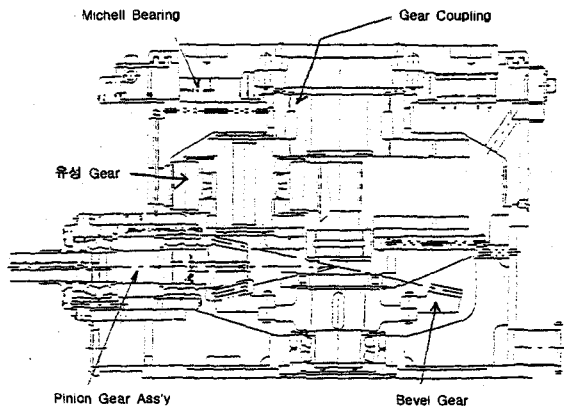
Main Motor(A)	270 ± 30	20	160
Oil 온도 (℃)	30 - 60	22	37.5

2) 정상 복구 작업 ('96년 5월 6일 - 16일)

① 보수 작업 내용

교 체 부 품

- ◆ Pinion Shaft Ass'y 교체 ◆ Output Shaft Metal 교체
- ◆ Bevel Gear 교체 ◆ 유성 Gear Bearing 교체
- ◆ Michell Bearing 교체 ◆ Gear Coupling 교체



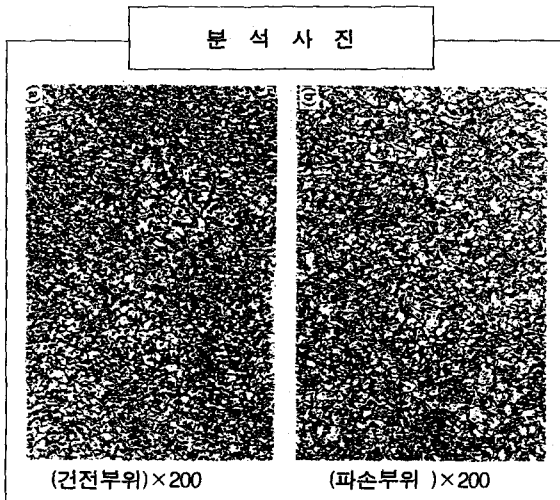
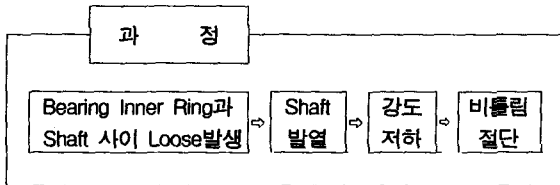
② 작업 결과

구 분	제한가동	정상가동	
생 산 량	130 - 140 T/H	290 T/H	
진동	수평(H)	14.1 mm/s	2.3 mm/s
	수직(V)	5.7 mm/s	4.1 mm/s
	측방향(A)	6.3 mm/s	2.0 mm/s

Main Motor(A)	160 ± 20	270 ± 30
Cylinder Tension 압력	25 kg/cm ²	65 kg/cm ²
Mill 진동	50 - 100 μm	50 - 100 μm

3. 원인 분석

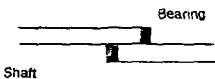
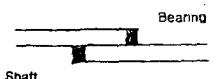
1) Pinion Shaft 비틀림 절단



원 인 추 정

- ① Shaft 재질, 열처리 문제
 - Shaft와 Gear가 일체형으로 Gear 열처리 적합도록 재질 선정 (SNC 815)
 - Gear 열처리시 Shaft에 열전달되어 경도값 저하 (기준 Hb : 285 - 388 , 분석치 : 233)
- ② Bearing의 조립공차 문제

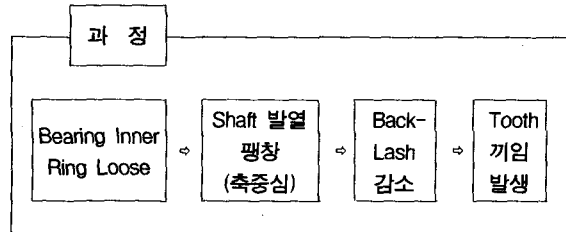
(단위 : μm)

UBE 설계치 (P6)	상용 의견 (r6)
 <p>Bearing</p> <p>Shaft</p> <p>- (15 ~ 79)</p>	 <p>Bearing</p> <p>Shaft</p> <p>- (94 ~ 126)</p>

③ Cylindrical Bearing의 사용 수명

허용 하중	381,000 kg (24,148 kg)
안 전 율	13(허용하중/ 이론하중)
수 명 시 간	70,000 Hrs
실제 사용수명	평균 30,000 Hrs

2) Bevel Gear 파손



원인 추정

① Shaft가 최고 1000℃ 까지 상승, 축이 중심으로 10 mm 가량 팽창
 $(1000^{\circ}\text{C} - 60^{\circ}\text{C}) \times 1.2 \times 10.5 \times 900 \approx 10\text{mm}$

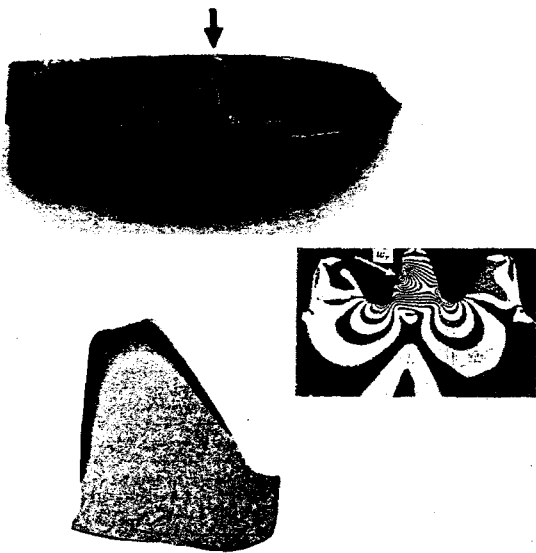
⇒ Back - Lash 감소로 대처차 부위 손상
 - (사고시 Back - Lash " 0 ")
 (Original 0.53 - 1.87 mm)

3) Gear Coupling

과정

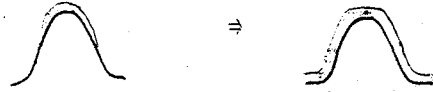
◆ Gear Coupling 반복 피로 하중 작용하여 취약부인 치저부 Crack 발생, 탈락

분석 사진



원인 추정

① Tooth 열처리 불량



(사고분)

(교체분)

(잘못된 열처리)

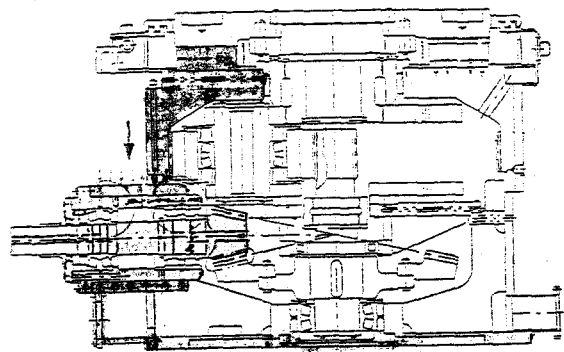
(바람직한 열처리)

◆ Normalizing후 치의 산부위면 경화

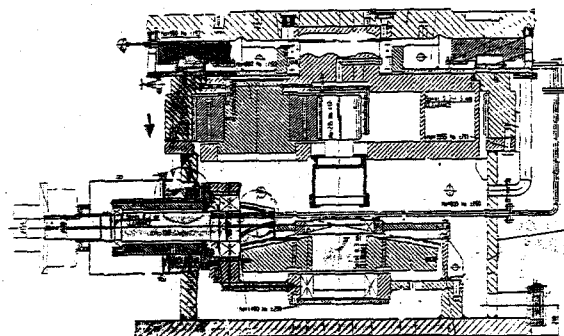
◆ QT 처리후 치의 산부위 및 치저부 균일 경화

4) 구조적 원인 추정

① 상부 Load의 분산 취약



UBE 사



MAAG 사

4. 향후 대책

- 1) Bearing 개선에 대한 각 Bearing Maker 의 가능성 타진
- 2) Bearing 의 정기적인 교체 (8년 → 3년)
- 3) Monitoring 기능 강화
- 4) 설비 관리의 기능 강화
 - ① 현재 당사의 보전 체계
 - 전문 보전 (⇒ 진단 시스템에 의한 경향 관리 - '94년 이후)
 - 감속기 진동 주파수 분석
 - Bearing 상태 분석을 위한 소음치 분석
 - 자주 보전
- 5) Counter Box 구조개선 가능성 검토 및 추진

5. 결론

- 1) Roller Mill용 감속기의 특징
 - 사용 수명이 짧다 (대형 감속기)
 - 사고 발생 부위에 고장 다발 (Bearing 부위)
 - 사고 원인규명 및 개선 대책 수립이 곤란
- 2) Roller Mill의 효율적 관리를 위하여
 - 전문화 첨담화된 진단 System을 확보
 - 관리 표준을 재정립 (보수, 교체주기 등)
 - 설비의 취약점 개선 노력
- 3) UBE Mill의 문제점 및 개선 사항

항 목	문 제 점	개 선 사 항								
1. Mill 동체	- Roller - Mechanical Seal의 수명이 짧고 고가임 <table border="1" style="margin-left: 20px;"> <tr> <td style="text-align: center;">평균수명</td> <td style="text-align: center;">소요량</td> <td style="text-align: center;">금 액</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">1년</td> <td style="text-align: center;">4 Set</td> <td style="text-align: center;">48백만원/대, 년</td> </tr> </table> - Roller Tire 및 Table Liner가 고가이므로 보수 유지비 과다 <table border="1" style="margin-left: 20px;"> <tr> <td style="text-align: center;">대당 연간 소요 비용</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">180백만원</td> </tr> </table> - 기타 마모 부위가 많다 <ul style="list-style-type: none"> . Roller Seal Box 등 . Rubber Seal . Scraper 등 - Tension Cylinder <ul style="list-style-type: none"> . 내부 점검 곤란 . Seal 고가 	평균수명	소요량	금 액	1년	4 Set	48백만원/대, 년	대당 연간 소요 비용	180백만원	- 내마모 용접 육성방법 이용 수명 연장 (8개월 ⇒ 1년) - 자체에서 보완 가동중
평균수명	소요량	금 액								
1년	4 Set	48백만원/대, 년								
대당 연간 소요 비용										
180백만원										
2. 부품 설계상 문제	- Bearing Lock-Nut 잠김 방향 잘못 - Lock - Nut 고정 Bolt 강도 부족									
3. 보수 주기에 대한 문제	- Manual상 3년 마다 정기적으로 감속기 Overhaul 권장 (1회 보수시 20 - 30일 소요로 정기보수 곤란)									
4. Maker A/S 문제	- 정기적인 Inspection 없음 - 영업 목적의 기술 지원 - Spare 확보 곤란 (타 Maker로 변경 곤란) - 사고 발생시 원인 규명 및 대책 수립에 소극적									