

# 광유와 합성유의 에너지 소비량, 온도변화 등의 성능시험 비교 고찰

(Study for Synthetic Oil Performance Test Comparing with Mineral Gear oil in an Agitator Gear Box: Power consumption, Temperature, Oil & parts life for the Heavy load gear box in the Phosphoric Acid Plant)



글 | 李 載 根

(Lee, Jae Keun)

기계안전기술사, 산업기계설비  
기술사, 건설기계기술사  
남해화학(주) 공무팀장(부장)

E-mail : 2jaekeun@hanmail.net

Namhae chemical is one of the largest fertilizer manufacturing company in Korea which company has operating 4 unit agitator gear boxes and producing variety kinds of fertilizer production. The gearbox operating temperature of agitator is approximated in 55℃~90℃ and required to keep operating continuous without stopping.

The system required high performance oil and longer oil drain interval as limited workforce in maintenance team. It was lubricated by mineral gear oil of ISO VG 320 and also need to change to new oil frequently. Namhae Chemical would expect to keep stable operating condition without shut down and consider, lower cost of operation and equipment protection.

## 1. 실험배경

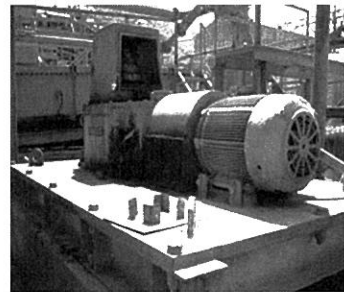
N사는 국내 최대 비료제조회사로 복합비료 등 다양한 종류의 비료를 생산하고 있다.

비료제조 공정 중 인산공장에 4대의 Agitator 를 가동 중이며 각 Agitator의 기어박스는 고 하 중의 가동조건으로 온도가 계절별 약 55℃~90℃ 로 매우 높게 유지되며, 하루 24시간 연속공정으로 매우 가혹한 조건으로 가동되는 설비이다.

이러한 가혹한 현장가동 조건과 소수의 유지보수 인력으로 인하여 오일 및 기기장치 설비수명을 안정화하고 극대화 할 수 있는 방안을 검토하였다. 본 기어박스설비에는 기존 ISO VG 320의 광유계 기어오일이 사용되어왔고, 오일의 수명이 짧아 신유로 자주 교체 하는 문제점이 있었다.

고 하중과 고온으로 가동중인 Agitator Gear box에 대해 PAO(Polyalphaolefin) 타입의 합성

기어오일로 대체하여 현장 시험을 2011년 5월부터 12 월까지 현장 실험을 실시하였다.



[사진 1] Agitator Gearbox

## 2. 실험장비 및 실험절차

### 가. 실험대상설비

인산공장 41-A-102A Agitator Gear Box

- 1 Gear box
- 기어박스 제조사 = FALK, 미국
- 감속비 = 25.7 : 1

- RPM & Power ;  
Input : 1,750 rpm.  
Output : 68 rpm @ 150 HP
- 오일 탱크 = 210 Liters

### 나. 실험장비

- 유분석기 : LNF-C(마모입자 분석기)
- 적외선온도계 : SK-8700 II
- 전력 측정기(Algodue/Italy-EMS 9-200K)

### 다. 실험 항목

- 에너지 효율 실험 : 전력 소모량
- 기어 및 베어링 온도변화 측정
- 정기적 사용유 분석에 의한 오일상태 및 유허상태 점검



[사진 2] 전력 측정기(EMS 9-200K)

### 라. 실험 절차

- 1) 실험장비 등록
- 2) 전력 소모량 실험 : A - B  
A : 2011. 5. 17 ~ 6. 15. 광유계 기어오일 (점도 320cSt) 사용 기간 중 소모되는 전력량 및 생산량 측정  
B : 2011. 6. 17 ~ 7. 11 PAO 합성 기어오일(점도 320cSt) 사용 기간 중 소모되는 전력량 및 생산량 측정
- 3) 기어박스 flushing (플러싱 오일은 본 유종과 동일한 합성유 사용)

- 기존 광유계 기어오일을 기어박스에서 빼냄
- PAO 합성 기어오일을 플러싱용으로 기어 박스에 공급
- 다른 라인과 연결된 가동조건 때문에 약 10분간만 플러싱을 위해 Agitator 가동
- 플러싱 오일을 드레인 밸브를 통해 제거하고 새 PAO 합성 기어오일 충전

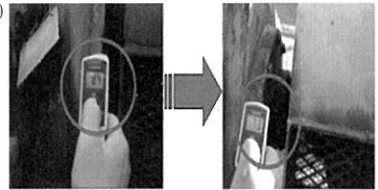
- 4) 기어박스 상태 모니터링과 Algodue/EMS9-200K 측정장비에 의한 전력 소모량 측정
- 5) 사용 중인 합성유 상태변화와 기어 유허상태 점검을 위해 매월 사용유 분석 실시

## 3. 기어박스 온도 비교

41-A-102A Agitator gear box

	17-May	15-Jun	20-Jun	22-Jun	14-Jul	28-Sep	16-Nov
Gear box(°C)	71	75	79	72	77	72	64
Motor bearing side(°C)	80	85	89	81	86	82	74
Ambient Temperature(°C)	23	27	32	25	30	29	21

Blue : Mobilgear 600XP 320  
Red : New Mobil SHC 632



41-A-102A Agitator gear box (Gap with ambient temperature)

	17-May	15-Jun	20-Jun	22-Jun	14-Jul	28-Sep	16-Nov
Gear box(°C)	48	48	47	47	47	43	43
Motor bearing side(°C)	57	58	57	56	56	53	53

- 측정 방법: 적외선 온도계를 사용하여 광유 사용시 기어 및 베어링 부분 온도 측정(파란색)하고, 합성유로 교체 후 동일한 개소에 온도 측정(빨간색).
- 외기온도에 의한 영향이 있으므로 주변 온도도 같이 측정

- 기어박스의 가동온도는 기어 및 베어링 부분 모두 합성유를 사용할 때가 광유 사용시 보다 약 5°C하락 하였고(주변온도 감안), 이는 고온에서 유막이 더 두텁게 형성되므로 기어 및 베어링 보호에 더 효과적이며 설비의 안정적 가동을 위한 오일의 수명을 연장하는 중요한 요소이다.

#### 4. 실험 결과

합성유 사용 전후의 상태를 비교하기 위해 전력 소모량, 기어박스의 온도변화 및 사용유 분석 등을 실시하여 다음과 같은 결과를 얻게 되었다.

- 기어박스 가동온도 비교
  - 약 5°C 가동 온도 하락
- 에너지 효율 테스트 결과
  - 약 2.9%의 전력비용 절감.
- (₩1,830,000/ 연간 1기당 절감비용)
- 금속 마모량 감소
  - Fe(철)마모는 258ppm에서 40 ppm으로 감소

- 향후 기대 효과 ;
- 오일 교환 주기 연장
- 기어박스 트러블로 인한 돌발적 설비 가동중단 예방
- 생산성 향상
- 인건비 및 부품비용 절감

#### 가. 에너지 소모(효율) 비교:

- 기간 별 에너지 소모량 측정
  - Algodue/EMS 9- 200K 테스트기 사용 합성유와 광유계 기어오일에 대한 가동 시간당, 생산량당 누적된 평균 소비전력 평가

#### □ 실험 기간

- Mineral EP gear oil(ISO VG 320) : May 17 ~ Jun 15, 2011(Watts)
- PAO Synthetic Oil (ISO VG 320) : Jun.17 ~ Jul. 11, 2011 (Watts)



[사진 3] 기어박스 가동온도와 모니터링

#### 나. 에너지 소모량 비교

Electric Power Consumption Data-41-A-102A Agitator Gear Box					
Mobilgear 600XP 320(Mineral Gear Oil)			Mobil SHC 632(New Synthetic Gear Oil)		
Date	Mineral Power Consumption(KW)	Tank level, % (Load)	Date	Synthetic Power Consumption(KW)	Tank level, % (Load)
5/17/2011	2,544	76.0	6/17/2011	2,253	79.7
5/18/2011	2,512	72.6	6/18/2011	2,374	79.8
5/20/2011	2,481	79.8	6/19/2011	2,328	79.0
5/21/2011	2,392	71.0	6/22/2011	2,409	79.8
5/22/2011	2,447	79.1	6/24/2011	2,326	76.8
5/24/2011	2,446	79.0	6/25/2011	2,323	76.9
5/26/2011	2,362	71.6	6/26/2011	2,363	79.3
5/27/2011	2,433	81.4	6/27/2011	2,301	79.1
5/28/2011	2,361	78.7	6/29/2011	2,412	77.9
6/1/2011	2,487	78.8	6/30/2011	2,451	77.8
6/2/2011	2,455	80.3	7/1/2011	2,443	80.4
6/3/2011	2,439	79.6	7/6/2011	2,489	79.3
6/4/2011	2,457	77.5	7/7/2011	2,441	77.3
6/5/2011	2,477	79.8	7/10/2011	2,294	77.8
6/6/2011	2,483	76.4	7/12/2011	2,471	79.5
6/7/2011	2,480	80.5	Total	35,678	78.7
6/11/2011	2,474	81.9	* Remark		
6/12/2011	2,335	76.9	• Power consumption test period :		
6/13/2011	2,344	78.4	Mineral : May 17~Jun 15,		
6/14/2011	2,325	80.9	Synthetic : Jun 17~Jul 12		
6/15/2011	2,424	84.5	• Only calculation for 24 hrs operating condition,		
Total	51,158	78.3	• Elec Cost(W/kw) : 74		

	광유계 기어오일	PAO 합성유	광유대비 합성유결과
일 평균 전력 소모량(kw)	2,436.1	2,378.6	-2.4%
Agitator 탱크내의 원료 높이	78.3	78.7	0.5%
원료탱크 레벨당 일 평균 전력 소모량	31.1	30.2	-2.9%
※ 하루 24시간 완전히 가동된 날만 전력소모량 집계			
평균 전력 비용(W74/KW)	전력비절감 /agitator		
350 가동일 / year			
₩ 63,095,000	₩ 1,829,755		
=	US\$ 1,680/year		

발생할 수 있는 에러를 최소화 하여 자료를 비교 계산하였다.

- 측정된 원본 자료에서 하루 24시간 가동된 날짜의 전력 소모량 계산

- 광유계 기어오일의 평균 전력소모량은 2,436KW/Day 이며 PAO 타입 합성유는 2,379KW/Day 가 측정되었다.

- 생산량 차이에 의한 전력소모의 편차를 없애기 위해 Agitator tank level(Load %)을 측정하였고, 탱크 레벨당 광유계 기어오일의 일 평균 전력소모량은 31.1KW · level/day이며 합성유의 탱크 레벨당 일 평균 전력소모량은 30.2KW · level/day 가 계산되었다.

- 측정된 자료를 바탕으로 합성유를 사용할 때가 광유를 사용할 때보다 약 2.9%의 에너지 절감이 있었으며, 연간 전력비 절감은 Agitator 1대당 \1,830,000/1 agitator의 비용이 절감되었다.

### 다. 사용유 경향 분석(UOA trend: Used Oil Analysis trend)

Product	Mineral oil		PAO synthetic oil (ISO VG 320)							
	6/20/2011	6/20/2011	6/20/2011	7/6/2011	7/6/2011	8/13/2011	8/13/2011	8/13/2011	8/13/2011	8/13/2011
Date Sampled	6-Jun									
Oil Metic	5	20	20	2	0	1024	1700	4	90	
Contamination	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal
Equipment Rating	3400	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal
Oil Rating	+Carbon	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal
Viscosity @ 40C cSt	340.0	316.2	316.1	323.5	316	308.7	311.4		316.1	
Oxidation (Ab/cm)	5	0	0	0	0	0	1		1	
PO Index		11	1	30	0	12	0			
TAN mg KOH/g		0.45	0.53	0.55	0.4	0.47	0.27			
Water (wt %)	0.02	0.021	0.006	0.008	0.02	0.007	0.003		0.008	
Al (Aluminum)	0	0	0	0	0	0	1		1	
Co (Cobalt)	0	0	0	0	0	0	0		0	
Ca (Calcium)	0	0	0	0	0	0	0		0	
Fe (Iron)	200	30	30	300	0	50	10		40	
Ni (Nickel)	0	0	0	0	0	0	0		0	
Pb (Lead)	0	0	0	0	0	0	0		0	
Sb (Tin)	0	0	0	0	0	0	0		0	
B (Boron)	12	2	1	10	0	0	0		0	
Mo (Molybdenum)	0	0	0	0	0	0	0		0	
Na (Sodium)	0	0	0	0	0	0	0		0	
Zn (Zinc)	6	26	26	6	20	22	16		17	
Ba (Barium)	0	0	0	0	0	0	0		0	
Cl (Chlorine)	0	0	0	0	0	1	0		2	
Mg (Magnesium)	0	0	0	0	0	0	0		0	
P (Phosphorus)	228	419	320	194	300	400	300		346	
Cu (Copper)	1	0	0	0	0	5	0		1	

실험결과 데이터에 의하면, 고온에서 6개월간 사용한 합성유의 점도, 전산가, 산화도가 매우 양호한 결과를 보이고 있으며(8개월 사용한 광유의 산화도는 5Ab/cm이었다. 경고 수치는 6Ab/cm 임), 또한 윤활상태를 나타내는 철 마모는 258ppm 에서 40 ppm으로 감소하였다.

### 라. 실험 관련 성상 비교표

	테스트 방법	PAO OIL	MINERAL OIL
ISO VG, cSt	D445	320	320
점도지수	D2270	168	97
유동점, (°C)	D97	-42	-24
산화안정도, RPVOT(min)	D92	>2500	-
FZG Scuffing, Fail stage	D51534	13+	12+

## 5. 결론

1. 합성유의 높은 점도지수(168)와 극압 성능

(FZG Fail stage 13+)으로 기어박스의 온도가 5℃ 낮아졌으며 금속마모 또한 감소하였다.

고 점도지수로 고온에서 점도가 광유 보다 높게 유지되었고, 유막 또한 충분히 형성되었다.

또한 높은 극압 성능으로 기어를 보호하여 기어박스의 온도 및 금속마모량이 감소되었다.

2. 일정 형태의 분자로만 이루어진 합성유 자체 성능인 낮은 마찰계수로 인하여 에너지 절감(2.9%)됨을 실험 결과 도출되었다.

3. 높은 산화안정도(RPVOT, >2500 min)로 고온에서 오일의 수명이 연장되었다. 8개월 사용한

광유계 오일의 산화도는 5 Ab/cm(경고수치 6Ab/cm), 합성유 적용후 1Ab/cm로 되었다.

따라서 합성유 사용시 수명연장에 따른 정비 시간 및 수선유지비용 절감 효과와 향후 설비가 더욱 안정적으로 운전될 수 있을 것으로 사료된다.

끝으로 본 실험을 위해 협조하여 주신 남해화학(주)김동현대리, 엑슨모빌(주)서정택 부장께 감사드립니다.

