

펌프의 이상진동 해소 사례

이 소환 소장, (주) 나다 S&V

1. 개요

광주사업소 대불취수장 펌프 2호기의 부하측 베어링이 파손되어 펌프 베어링 및 슬리브를 교체하였으나 정비작업 후 시운전시 펌프 부하측에서 고진동이 발생하여 원인 및 상태를 파악하기 위한 방안으로 최첨단 장비 중 하나인 진동분석장비를 이용하여 진단 및 조치를 실시하였다.

2. 설비 현황



1	Pump 반부하 수직, 수평, 축
2	Pump 부하 수직, 수평, 축
3	Motor 부하 수직, 수평, 축
4	Motor 반부하 수직, 수평, 축

그림 1. 설비 개략도 및 측정 포인트

표 1. 설비 사양

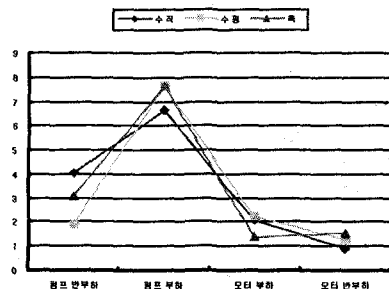
용량	570Hp	회전수	1750rpm
제작사	효성 프레임		DP5809S
전압	3300V	전류	88 A

표 2.

측정 장비	VibLow CXII, (주)나다S&V
측정 센서	가속도계 (Sensitivity:100mv), (주)나다S
측정량	Overall 진동속도 (단위: mm/s rms)

◆ 진동 측정 데이터 : 각 부위 Overall 진동(단위: mm/s rms)

측정 위치	펌프 반부하	펌프 부하	모터 부하	모터 반부하
수직	4.04	6.67	2.1	0.91
수평	1.92	7.69	2.25	1.26
축	3.09	7.68	1.41	1.57



3. 최초의 진동분석 및 조치사항

문제를 해결하기 위하여 주파수 분석한 결과는 다음과 같다.

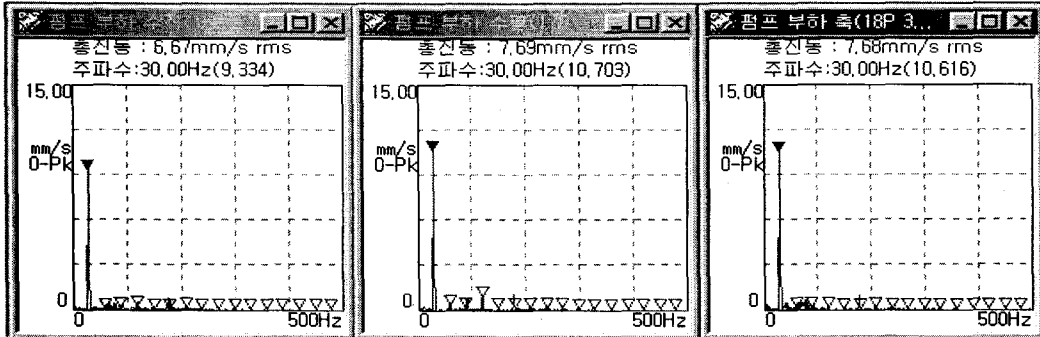


그림 1. 펌프 부하 수직, 수평 및 축 (Spectrum)

◆ 측정된 진동 성분은 그림 1과 같이 1X(회전 주파수)성분이 주를 이루고 있다.

1) 다른 부위의 진동 발생 비교를 위하여 각 부위에서의 1X 진폭 값을 비교하였다.

- 각 포인트별 1X 진폭 변화(0-pk)

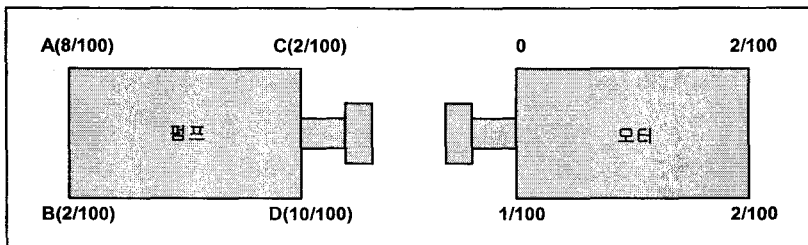
방향	포인트	펌프	펌프	모터	모터
		반부하	부하	부하	반부하
수 직		4.98	9.33	2.91	1.24
수 평		2.18	10.70	3.07	1.68
축		4.11	10.61	1.95	1.35

2) 발생하는 1X(30Hz)는 회전속도에 기인하는 주파수가 주로 불평형이 원인으로 발생한다. 진동 주파수를 검토한 결과 진동 원인은 불평형 요소가 있는 것으로 판단되어 alignment 실시 후 balancing작업을 실시하기로 하였다.

☞ Balancing 작업: Soft foot → Alignment → Balancing 순으로 작업을 한다

3) Alignment 실시 전 soft foot를 점검하여 펌프의 발 부분을 측정한 결과는 다음과 같다

- Soft foot 점검 결과



4) 따라서, A와 D 두 곳에 5/100, 7.5/100의 Shim Plate를 고였다.

5) Alignment 후 Balancing작업을 시도하였으나, 위상각의 변동이 심하여(0~150°) Balancing작업이 불가능하였다.

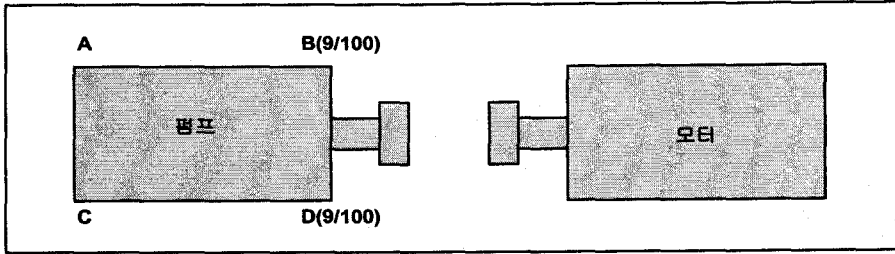
6) 위상각의 변화 원인은 다음과 같은 요인들에 의해서 발생하므로, 이들에 관한 점검을 실시하였다.

☞ 반경방향의 1X가 높은 경우

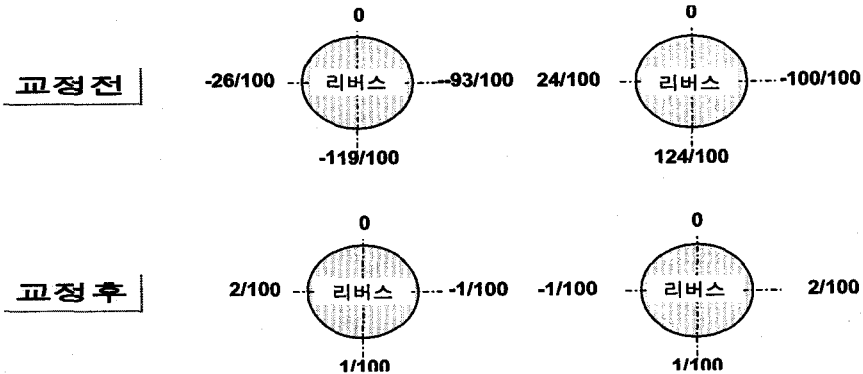
- (1) Machine feet, Base plate 또는 기초의 구조물의 이완/취약
- (2) 그라우팅의 변형 및 기초에서 지지볼트의 이완
- (3) 기초의 구조물 비틀림
- (4) 공진
- (5) Isolator가 설치된 설비 등에 의한 원인으로 발생한다.

대불취수장 펌프 2호기는 위의 경우 중 (2)항에 원인으로 설비의 체결볼트의 느슨함이 원인이 된다. 설비의 모든 체결볼트를 점검하여 풀려있는 Base 고정볼트를 조임하였다.

7) Base볼트를 조인 후 정밀 측 정렬을 실시하던 중 펌프축이 약간 침하한 것이 발견되어 펌프의 부하측 발 밑(C, D)에 0.9mm의 Shim plate를 고인 후 측정렬을 재실시하였다.



- Alignment 점검 결과



8) 측정렬 실시 후 시운전 중 부하측 베어링에서 500Hz~2000Hz 대역에서 균일한 베어링 공진주파수가 발생하여 점검하여 보니 베어링 하우징의 센터가 맞지 않아서(부하측이 낮음) 발생하였으며, 부하측 하우징 밑에 0.025mm의 Shim plate를 고임 하였다.

4. Alignment 후의 진동분석

Alignment 후의 총 진동값 및 변화량과 주파수 분석 내용은 다음과 같다.

◆초기 값과의 변화량(%)

단위:mm/s rms

측정 위치	Pump 반부하	변화량	Pump 부하	변화량	Motor 부하	변화량	Motor 반부하	변화량
수직	3.07	24% 감소	3.92	41% 감소	1.31	38% 감소	1.0	10% 증가
수평	1.20	37% 감소	4.84	37% 감소	1.53	32% 감소	0.67	47% 감소
축	2.19	29% 감소	3.94	49% 감소	1.45	3% 증가	2.30	46% 증가

◆ Alignment 후의 진동의 특징

- 1) 1X(회전 주파수)가 크게 나타나고 있다.
- 2) 수직, 수평, 축 방향의 진동값이 비슷하다.
- 3) 현재 상태에서 현장 정밀 발란싱을 실시하기로 하였다.

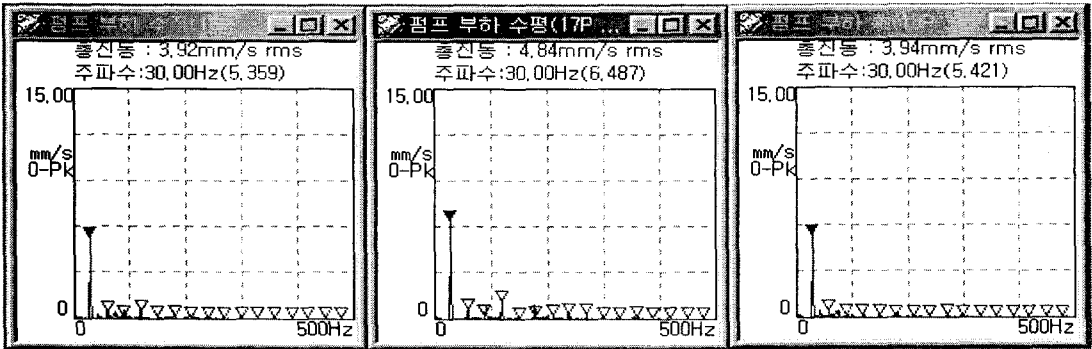


그림 2. 펌프 부하 수직, 수평, 축 (Spectrum)

5. Unbalance교정 후의 진동분석

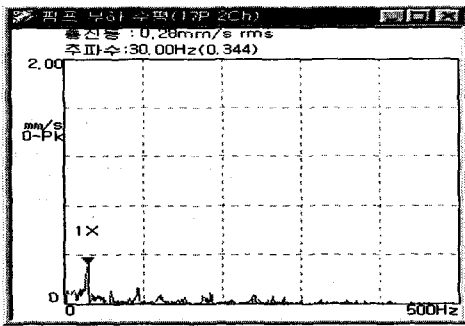
◆ 첨단 진동장비를 사용하여 발란싱을 시도하였으나, 교정중량의 값의 변화가 심하여, 다음과 같이 1X(회전주파수)의 변화 추이를 보면서 시행오차법에 의하여 발란싱 작업을 실시하기로 하였다.

- 1) 임펠러에 시험중량을 90° 간격으로 부착해 가면서 1X의 변화 추이를 관찰하여 1X 주파수가 가장 작아지는 부분, 커지는 부분을 찾아낸다.
- 2) 1X가 가장 커지는 부분에 불평형 질량이 존재하므로 반대편(180°)에 진폭이 가장 작아 질 때까지 시험 중량의 값을 변경해 가면서 제거할 중량을 찾아낸다. 그때의 중량은 100g 이었다.
- 3) 시험 중량을 모두 제거하고 제거 할 부위의 임펠러 시라우드를 1X의 변화를 관찰하면서 핸드그라인더를 사용하여 균일하게 갈아내고, 1X가 가장 작게 되었을 경우에 멈춘다.
- 4) Cover를 덮고 부하운전을 한다.

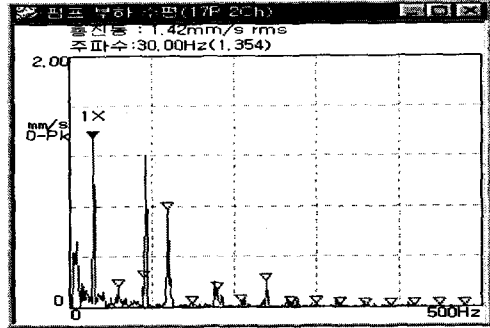
◆ 작업 전/후 진동값의 변화량(%) 단위: mm/s rms

방향	작업전	작업후	변화량
수직	3.92	3.42	13% 감소
수평	4.84	3.73	23% 감소
축	3.94	3.38	14% 감소

◆ Balancing 작업 후 교정 전/후 스펙트럼 비교



(교정 전)



(교정 후)

그림 3. 펌프 부하 수직, 수평 (무부하시)

◆ 부하운전시의 진동 특징

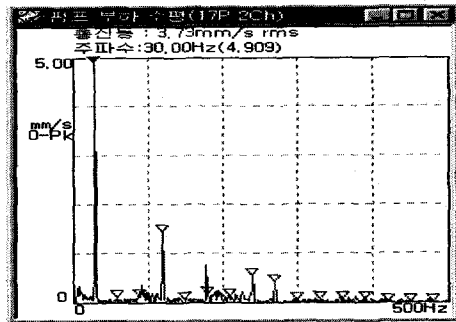
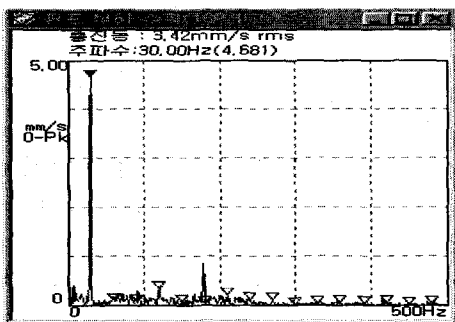


그림 4. 펌프 부하 수직, 수평(Spectrum)

- 1) 진동의 방향이 수직, 수평, 축 방향의 진동이 비슷하고, 특히 모터의 경우에는 축 방향의 진동이 탁월하다.
- 2) 1X 성분이 전체 진동의 대부분을 차지하고 있으며, 수직, 수평, 축간의 진폭의 차이가 거의 없다.
- 3) 높은 1X 및 축 방향의 진동의 발생원인으로는 커플링불량, Soft foot, Looseness, 불형, base 공진 등이 있다
- 4) 3)항과 같은 예상원인으로 보았을 때 커플링 이외에는 모두 점검 및 조치가 되었으므로 커플링을 점검하여 보기로 하였다. 주로 커플링의 이상 시는 슬립 부위에 높은 1X의 진동을 유발하는 사례가 종종 있다.

6. 그리드 커플링 분해 점검 / 분석

1) 그리드 커플링의 특징

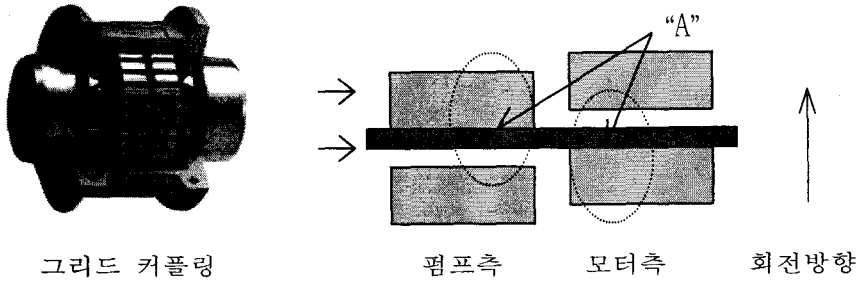
그리드 커플링은 가동 시 발생하는 충격, 진동, 과부하, 축정렬 오차 등이 그리드에 작용하게 되면 그리드의 유연성으로 인해 힘의 작용점이 이의 곡면안에서 이동되므로 진동과 충격부하를 감소시켜 줄뿐만 아니라 이로 인해 축 방향의 진동을 발생시키지 않는 특징이 있다. 이와 같은 특징 때문에 근래에 와서는 그리드 커플링을 선호하는

경향이 있다. 그러나 그리드 커플링은 Hub의 치면과 그리드면 등의 마모 발생 시 예상치 못한 결과를 초래하는 경우가 있다. 대불 취수장 펌프 2호기도 이와 같은 현상 중 하나로 평가된다.

2) 그리드 및 Hub의 점검결과

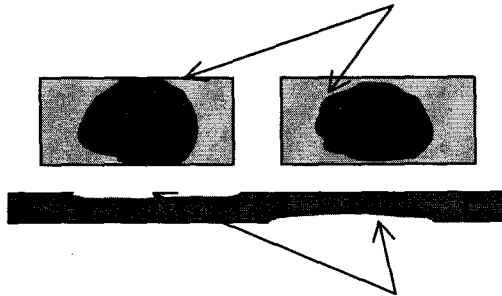
그리드 커플링을 점검한 결과 Hub의 치면 및 그리드면에 녹 및 얼룩이 발생되어 있었으며, 이의 발생원인은 그리드와 hub의 치면이 예전에는 서로 마찰되어 닳았던 부분이 재조립 후에는 닿지 않는 부위에 발생하였다.

3) 이상진동을 일으키는 그리드의 외관상의 특징은 다음과 같다.



◆ A 면에 나타나는 특징

그리드와 안 닿는 Hub의 치면 부위에 녹, 얼룩 자국이 보임



Hub의 치면과 안 닿는 그리드의 면에 녹, 얼룩 자국이 보임

◆ 진동 발생 원인

조립 시 그리드가 한쪽으로 쏠리거나 조립면이 최초의 조립상태와 약간이라도 다르게 조립될 경우에는 그리드와 hub가 서로 구속을 받으므로 반경방향 및 축 방향의 고진동이 발생한다.



(a) 그리드와 Hub가 서로 구속되는 경우 (b) 구속받지 않고 원활하게 작동하는 경우

회전 시 그리드와 hub가 일부분만 닿으면서 축 방향의 구속을 받으므로 반경방향 및 축 방향의 진동을 유발하고 있음(그림 a). 그리드가 제 위치에 조립되어 그리드와 hub의

전체가 닿으면서 축 방향으로 자유롭게 슬립하므로 반경방향 및 축 방향의 진동이 발생하지 않음(그림 b).

4) 커플링 교정후의 진동

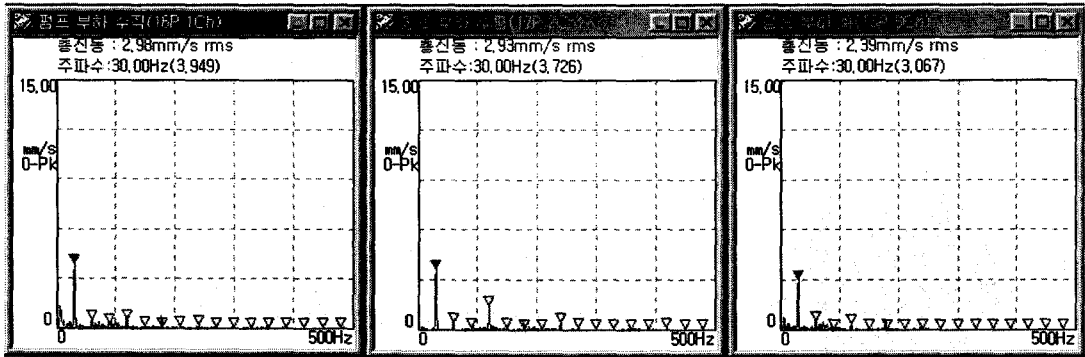


그림 5. 펌프 부하 수직, 수평, 축 (Spectrum)

5) 커플링 교정 후의 진동 변화표

펌프	작업 전	작업 후	변화량
수직	3.42	2.98	13% 감소
수평	3.73	2.93	22% 감소
축	3.40	2.39	30% 감소

6) 커플링의 그리드 조립위치 교정후의 진동은 많이 내려갔으나 아직도 1X 주파수가 여전히 높은 것은 그리드가 최초의 조립상태로 다시 재조립 되기는 어려우므로 Hub의 치면과 그리드의 간섭 부위가 점차 마모되어 없어지면 진동은 감소 될 것으로 보인다.

7. 결론

1) 작업 전/후의 진동 변화표

구분	펌프반부하			펌프부하			모터 부하			모터 반부하		
	수직	수평	축	수직	수평	축	수직	수평	축	수직	수평	축
초기	4.04	1.92	3.09	6.67	7.69	7.68	2.1	2.25	1.41	0.91	1.26	1.57
Alignment 작업 후	3.07	1.20	2.19	3.92	4.84	3.94	1.31	1.53	1.45	1.0	0.67	2.30
Balancing 작업 후	2.7	1.41	1.90	3.42	3.73	3.30	1.43	1.59	1.40	1.02	1.01	2.28
최종	1.80	1.50	1.70	2.98	2.93	2.39	0.9	1.0	1.1	0.8	0.8	1.0

2) 대불취수장 펌프 2호기의 경우 진동의 주원인은 ① 그리드 커플링의 조립불량, ② Unbalance, ③ Softfoot, ④ Base 볼트 풀림 등의 복합적인 요인에 의하여 발생되었다. 이 요인들 대부분은 빈번히 발생할 수 있는 것이지만, base볼트 풀림, 그리드 커플링의 조립불량으로 인한 진동은 매우 드문 현상이다.

3) Base볼트 풀림 현상은 정비 작업 시에 간과하기 쉬운 부위로서 펌프의 이상진동 발생 시에는 점검하여 본다면 많은 도움이 될 것이다. 실지로 대불취수장의 경우, 1, 3호기 펌프에서도 볼트 풀림 현상을 경험할 수 있었다.

4) 그리드 커플링의 진동은 전혀 예측하지 못했던 부위이며 보통 그리드 커플링은 축방향의 진동을 일으키지 않는 것으로 알려져 있는데, 오랜 기간 사용한 그리드 커플링은 기어와 같은 특성을 가지며 분해 조립 시에는 초기 상태와 똑같이 조립되지 않으면 이상 진동을 일으킬 수 있다.

◆ 복합적인 요인에 의하여 발생하는 진동에 대하여는 정확한 진단과 교정업무가 수행되지 않으면 많은 비용, 시간과 노력을 들여 야지만 해결 할 수 있다. 그래서 정확한 진동 분석이 설비 진단에서 무엇보다도 중요하다.

이번 사례로 보았을 때 다음과 같은 중요성을 인식하였다.

1. 진동의 분석 시에는 방향성에 주목하여 분석한다.
2. 펌프의 정비 후 이상 진동 발생 시 베이스 볼트의 풀림 여부를 확인한다.
3. 이상 진동의 발생 시에는 발생 가능한 모든 가능성을 검토하여 점검한다.
4. Softfoot을 반드시 점검한다.
5. 진동 교정 작업 순서 (밸런싱 작업을 위해서는 모든 외적인 진동발생 요인이 수정되어야 한다.)

☞ 장착면 교정 → 불량 교정 → 정렬 작업 밸런싱

8. 교훈

펌프의 정비 후 발생한 고진동 해소 사례는 만약 정확한 진단에 의한 교정이 이루어지지 않았다면, 물 공급에 막대한 지장을 초래하였을 뿐 아니라 공단의 정비점검 기술력에 대한 신뢰도도 많이 실추되었을 것이다. 또한 이상 진동 발생 후 외부 전문업체에 수리를 의뢰하였으나 해결치 못한 고장의 원인을 본 공단의 기술력으로 해결한 본 사례는 본 공단의 설비관리기술의 수준을 한 단계 Upgrade한 사례라고 할 수 있다.

본 사례를 통해 설비 고장의 수리는 단순한 부품의 교체가 아니라 고장의 근본적인 원인을 분석하고 그 원인을 교정하는 것이라는 사실을 다시 한번 확인 할 수 있었으며, 이러한 철저한 수리를 통해 갑작스런 기계의 고장을 방지하고, 동일한 고장의 반복적 발생을 원천적으로 봉쇄 할 수 있었다. 따라서 새로운 설비 관리 기법인 예측설비보전기법을 적극 도입하고 활용하여 궁극적으로 설비관리비용의 혁신적인 절감과 기계의 수명을 연장할 수 있는 구조로의 전환이 필요하다 하겠다.

향후 전체설비의 정밀진단을 실시하고 설비를 안정화시키는 작업을 통해 예측설비보전기법을 모든 설비에 적용시키는 노력이 수행되어야 하며, 이를 위해 사례연구회의 가동 및 정보의 공유, 정기적인 전문교육의 실시 등이 필요하다 하겠다.