

# 실험적 방법에 의한 발파작업으로 기인하는 인접 초정밀 생산장비 FAB에 미치는 진동 영향성 평가 및 제어대책

## A evaluation and countermeasure for blast-induced vibration of micro electronic production facility based on experimental method

손성완\*, 박상곤\*, 이흥기\*, 전중균\*\*

Sung-Wan Son, Sang-Gon Park, Hong-Ki Lee, Jong-Kun Chun

Key word : blast-induced vibration, stability evaluation, FAB building

### ABSTRACT

In the case of a vibration sensitive equipment, it require a vibration free environment to provide its proper function, therefore, it is very important to predict precisely vibration environment of microelectronics production facility due to adjacent blast work. However, it is not easy to evaluate a quantitative vibration response of structure due blast because it can be determined by the characteristics of vibration sources, propagation through rock and soil and dynamic properties of building.

In this paper, vibration influence evaluation of micro-electronic production building induced from adjacent blast activity was performed by real measurement data obtained on ground and structure at same time. And blast vibration allowable limit on ground was supposed by measurement data analysis in order to avoid operation error of precision equipments

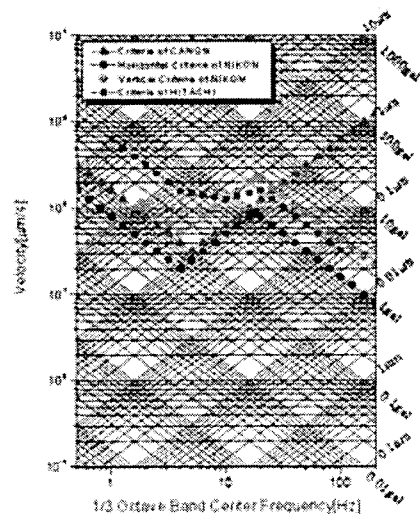
### 1. 서론

각종 건설현장에서 발파로 인해 발생하는 진동에 의한 주변 구조물의 안정성 및 거주환경에 대한 환경 문제로 발파에 대한 각종 연구가 많이 이루어졌고, 그에 관련된 자료도 많이 나와 있는 편이다. 이런 연구와 자료들이 대부분 발파진동과 관련된 민원성 문제에 대한 진동기준과 발파제어 방법에 대한 것이 대부분이다. 하지만 생산공정에 대한 마이크로 미터 수준의 미진동(微振動) 제어를 요구하는 반도체공장의 경우 인접한 부지에서의 발파로 인한 초정밀 장비의 오작동등이 문제가 되고 있으나 이와 관련된 발파진동 기준등이 마련되어 있지 않은 실정이다.

본 연구에서는 발파부지의 지반특성 및 구조물 동적강성을 고려하여 발파진동으로 인하여 정상가동중인 LCD 공장의 FAB, 구조물과 정밀 생산장비에 미치는 진동 영향성을 평가하고, 진동제어수준을 제안하고자 한다.

### 2. 정밀 생산장비의 진동허용규제치

구조물 내에 진동에 민감한 정밀 생산장비의 정상적인 운영에 영향을 미치지 않아야 함으로 각 장비에서 제시한 정밀장비의 진동 노출 한계를 초과하지 않게 발파 작업이 진행되어야 한다. 현재 FAB내 가동 중인 정밀 생산장비의 진동허용규제치는 <Fig. 1>와 같다.



<Fig.1> Vibration criteria of equipment

† 알엠에스 테크놀로지 주식회사  
E-mail : rmstech@rmstech.co.kr  
Tel : (041) 556-7600, Fax : (041) 556-7603

\* 알엠에스 테크놀로지 주식회사

\*\* 선문대학교 기계공학부

통상적으로 정밀장비의 진동 허용 기준치의 경우 아래 대부분 주파수 영역에서의 진동속도, 가속도등으로 규정되어 있기 때문에 일반적인 발파 진동과는 다른 분석 절차가 요구되어 지며 이 경우 지반의 진동 전파 특성 뿐 아니라 구조물의 진동 특성도 매우 중요한 인자가 되어 진다.

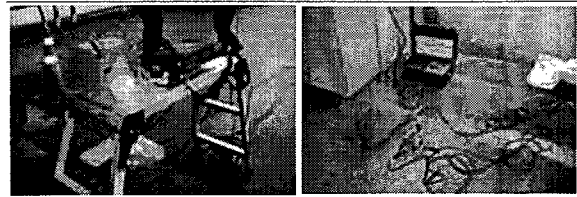
### 3. 시험발파 진동계측 및 분석

#### 3.1 시험발파 조건

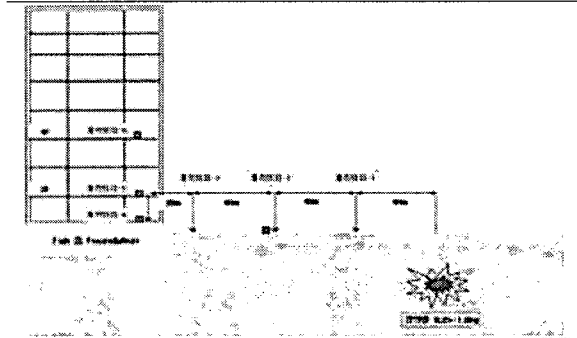
시험발파는 아래 <Table 1>과 같이 총 13회 발파를 실시하였으며, 지발당 장약량은 0.25~1.0(kg/delay) 까지 늘려가며 발파를 실시하였다.

<Table 1> Patten of Test blast

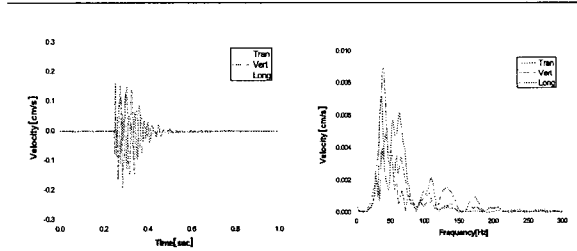
구분	횟수	공수	지발당 장약량 (kg/delay)	구분	횟수	공수	지발당 장약량 (kg/delay)
패턴-1	1	4	0.250	패턴-4	7	2	0.750
	2	6	0.250		8	5	0.750
패턴-2	3	3	0.375	패턴-5	9	2	1.000
	4	6	0.375		10	4	1.000
패턴-3	5	3	0.500	패턴-6	11	3	0.500
	6	5	0.500		12	6	0.500
					13	9	0.500



(a) 발파진동 계측 전경



(b) 시발파진동 계측 지점 및 결과



(c) 발파 진동 계측 그래프(10번째 발파)

<Fig.2> Test Blasting Vibration Measurement

#### 3.2 시험발파 측정/분석 장비

- SONY Recorder : PC208AX
- Accelerometer : Dytran 731A
- Power Unit : P31
- FFT Analyzer : B&K PULSE
- 발파전용 측정장비 : BlastMate II

#### 3.3 시험발파 계측 결과(지반계측)

시험발파시 측정된 지반진동 측정결과를 정리하면, <Table. 2>와 같다. 시험발파 중 가장 큰 진동이 발생하였던 10번째 발파의 경우 건물 기초부에서 측정하였던 지점(발파지점으로부터 140m 이격)에서의 주파수 응답 그래프를 살펴보면 탁월성분이 수직방향 (Vert.)은 38Hz부근에서 0.0014cm/s, 53Hz부근에서 0.001cm/s, 수평방향(Long.-발파방향)은 58Hz 부근에서 0.0017cm/s의 진동이 건물로 입사된 것을 알 수 있다.

<Table 2> Measured Vibration of blast Data (Soil measured)

발파순서	계측위치	PVS (mm/s)	발파순서	계측위치	PVS (mm/s)
#6(0.5)	1-(40m)	0.1980	#10(1.0)	1-(40m)	0.2710
	2-(80m)	0.0460		2-(80m)	0.1050
	3-(120m)	0.0254		3-(120m)	0.0730
	4-(140m)	0.0270		4-(140m)	0.0460
#7(0.75)	1-(40m)	0.1350	#11(0.5)	1-(40m)	0.1970
	2-(80m)	0.0365		2-(80m)	0.0460
	3-(120m)	0.0206		3-(120m)	0.254
	4-(140m)	0.0191		4-(140m)	0.0302
#8(0.75)	1-(40m)	0.3490	#12(0.5)	1-(40m)	0.1540
	2-(80m)	0.0810		2-(80m)	0.0445
	3-(120m)	0.0587		3-(120m)	0.0206
	4-(140m)	0.0445		4-(140m)	0.0238
#9(1.00)	1-(40m)	0.2810	#13(0.5)	1-(40m)	0.1870
	2-(80m)	0.0651		2-(80m)	0.0445
	3-(120m)	0.0381		3-(120m)	0.0286
	4-(140m)	0.0365		4-(140m)	0.0302

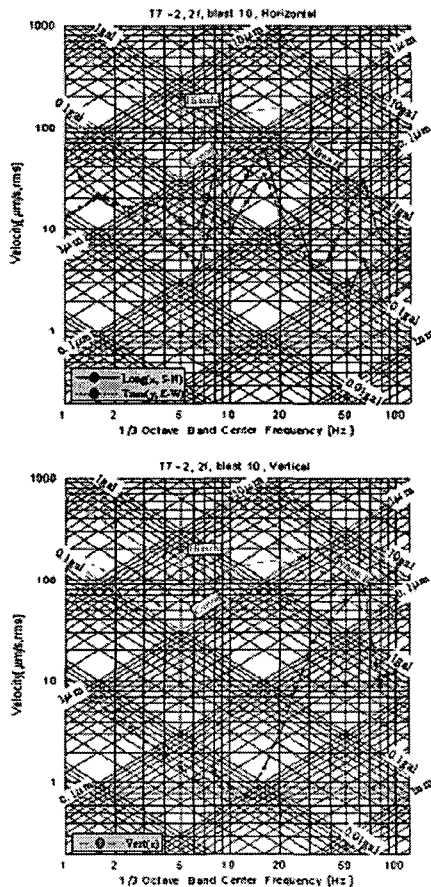
\* 1~5번째 발파진동수준이 낮아 생략

### 3.4 시험발파 계측 결과 (정밀생산장비 제진대)

시험발파시 발생하는 충격성진동이 FAB내 정밀생산장비의 진동허용규제치를 초과하는지 파악하기 위해 2층과 4층 노광기 제진대에서 직접 계측을 실시하였다. 총 13회 발생 중 8, 9, 10, 11, 13회 발파시 2층 정밀생산장비의 진동허용규제치를 초과하였으며, 4층은 진동허용규제치에 못 미치는 진동수준을 보였다.

총 13회 시험발파 중 2층 노광기 제진대에서 진동허용규제치를 초과하였던 발파는 8, 9, 10, 11, 13번째 발파였으며, 건물 기초부(계측지점-4)에서 측정한 발파진동수준은 <Table 3>에서 보듯이 0.0302~0.046 kine(cm/s) 정도였다.

2층 노광기 제진대로 입사되는 수평방향 진동의 탁월한 주파수성분은 60~64Hz 부근이고, 10회 발파시 Nikon 진동허용규제치보다 약 30%를 초과하는 수준을 보였다. 수직방향 진동의 탁월한 주파수 성분은 40~65Hz 부근이고, Hitach 진동허용규제치보다 약 20~85%, Nikon 진동허용규제치보다 4~37% 초과하는 수준을 보였다.



<Fig. 3> Spectrum data plot of 1/3 octave band at pad

<Table 3> comparison excess level of vibration criteria at equipment

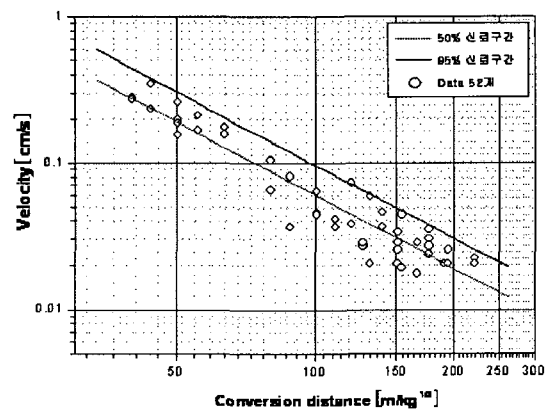
방향	발파 순서	탁월 주파수 성분	Hitach	Canon	Nikon
수직	#8	50Hz	40%	-	4%
	#9	40~50Hz	20~50%	-	11%
	#10	50~65Hz	85%	-	37%
	#11	60	25%	-	-
	#13	60	30%	-	-
수평	#8	-	-	-	-
	#9	64Hz	-	-	거의 일치
	#10	60Hz	-	-	30%
	#11	-	-	-	-
	#13	-	-	-	-

### 4. 발파진동 추정식 및 거리별 장약량 산정

본 시험발파에서 계측된 자료를 기초로 하여 향후 발파 작업시 발생하는 진동수준을 예측할 수 있는 당 현장에 적합한 발파진동추정식을 도출하기 회귀분석을 실시하였다. 환산거리 대 진동속도에 대한 상관분석은 통계해석 전용 프로그램인 SPSSWIN 10을 이용하였다.

<Table 4> Result of blast vibration estimative equation

구 분		진동속도 추정식
삼승근	50% 신뢰한계	$V = 130.41 \left( \frac{D}{W^{1/3}} \right)^{-1.67}$
	95% 신뢰한계	$V = 208.95 \left( \frac{D}{W^{1/3}} \right)^{-1.67}$



<Fig. 4> Relationship between cube root SD Regression Analysis

지발당 장약량은 <Table 5>와 같다. .

<Table 5> Relationship between distance and charge range

이격거리	지발당 장약량 (kg/delay)	이격거리	지발당 장약량 (kg/delay)
10	0.00018	80	0.090
20	0.001	90	0.128
30	0.005	100	0.175
40	0.011	110	0.233
50	0.022	120	0.303
60	0.038	130	0.385
70	0.060	140	0.481

5. 발파 진동 관리 기준 결정

이상의 발파 진동 결과를 분석/평가 한 결과 지반 진동 상태와 FAB 구조물의 진동 상태의 상관성이 가장 높으며 실제 발파시 지반 특성등으로 인한 지반 진동 전달 특성을 가장 안정적으로 관리 할 수 있는 FAB 구조물 기초 지점에서 일반적으로 발파진동 계측시 자주 사용하는 계측장비(BlastMate)로 실발파시 측정 관리할 것을 제안하였다. 그리고 이 지점에서의 발파 진동 관리 기준은 정밀장비의 종류 및 배치 상태에 따른 진동 전달 특성, FAB 건물의 구조형태 등을 고려하여 시험발파시 2층에 설치된 노광기의 진동 허용규제치를 초과하는 발파진동 중 가장 진동수준이 낮은 0.0365kine(cm/s)이하로 제안하였다.

6. 결론

LCD 공장단지 건설공사 현장내 발파작업에 기인하여 전파되는 진동에 대하여 인접한 LCD 생산 FAB. 구조물의 정밀 장비에 미치는 영향성을 평가하고 발파 진동 제어 대책을 수립하기 위하여 6가지 patten에 따른 13회의 부지 및 FAB. 구조물의 정밀 진동 측정 및 분석을 통하여 발파 진동 영향성을 평가하였다.

평가 결과, 발파작업시 FAB. 구조물의 정밀 장비 진동을 계측관리 할 수 있는 최적의 지점으로는 FAB. 구조물 기초 지점으로 판단되며, 이때 FAB. 내의 정밀 장비의 진동 허용 규제치를 만족 할 수 있는 계측 관리 기준은 건물 1층 기초에서 0.0365Kine(cm/s) 이하가 되어야 할 것으로 제안된다.

이 진동 허용규제치를 만족하는 범위내에서 최대

본 연구에서는 일반적으로 발파로 인해 발생하는 진동에 대해 제안되고 사용되는 진동관리기준(건교부 안)의 경우 주변 구조물의 안정성 및 거주환경등 환경 문제에 맞추어 동일시간대 최대치인 PVS(cm/s)값만을 일률적으로 제시하고 있다. 그러나 반도체등 가공정도가 높아지고 생산공정에 대한 마이크로 미터 수준의 미진동(微振動) 제어를 요구하는 정밀장비의 진동 노출 한계는 거의 주파수별 진동수준을 제안하고 있어 단순히 PVS값만으로 평가하기에는 부적합하다. 따라서 발파현장의 지반상태, 건물구조에 따른 발파진동 감쇠정도, 사용되는 장약량등의 발파변수에 따라 발파진동의 탁월주파수 성분이 바뀌는 점을 고려해 본다면 본 연구에서 수행하였던 방법과 같이 지반과 정밀생산장비에서 발파진동을 동시 계측하여 최적의 발파진동 관리 기준을 산정하는 것이 건설공사의 공기단축측면에서 유리할 것이며, 또한 기존 생산공정에 발파로 인한 생산차질을 초래하지 않을 수 있을 것으로 사료된다.

참 고 문 헌

(1) 손성완 등, 2005, “준경험적 방법을 이용한 터널발파 작업시 인접구조물의 동적해석 및 진동영향성 평가”, 춘계 학술발표회 논문집, 한국소음진동공학회

(2) 이흥기, 김두훈, 권형오, 반도체 공장에서 미진동 제어를 위한 격자보의 동적 설계에 관한 연구, 한국소음진동 공학회, '94 춘계학술대회논문집 pp. 52-57, 1994

(3) Hong-Ki Lee, Hae-Dong Park, Hyun Choi, Doo-Hoon Kim, Sa-soo Kim, A New Method of Determining Vibration Criteria for a Vibration Sensitive Equipment Using Frequency Response Function, INTER-NOISE 96, Proceeding Book 3 pp.1253 ~ 1262, August, 1996.

(4) Eric E. Ungar, Vibration control design of high technology facilities, sound and vibration, July, 1990.