

지진대비 비구조요소 보강사례



구 청 수 >>
삼성물산(주) 건설부문
기흥 Semicon Park 현장소장

1. 서론

내진설계의 대상은 대부분 건물에 대한 것이었으나, 지진으로 인한 피해의 상당부분이 비구조요소의 파괴로 말미암아 비롯된 것이라고 보고되고 있다. 지진하중에 의하여 파손된 비구조요소는 건물과 거주자 및 내용물에 다음과 같은 2차 효과에 의한 추가적인 피해를 입힐 수 있다.

- (1) 기계 및 전기 장비의 파손으로부터 비롯되는 화재, 폭발 및 유해물질의 누출
- (2) 건축 비구조요소의 파손·낙하는 인명살상 및 부근의 장비가 사용불능이 될 정도로 손상을 입힐 수 있다.
- (3) 파이프시스템의 파손으로 인하여 보일러로부터 데워진 고온·고압의 스팀이나 고온의 물이

뿜어 나올 수 있다.

이러한 직접적인 위험요소와 더불어 건물은 무사하지만 비구조요소의 파손으로 인하여 발전소, 공장, 병원 및 관공서 등에서 정상적인 업무가 수행될 수 없는 경우를 생각하여야 한다.

반도체 생산시설에 지진의 영향으로 피해가 발생될 경우 비구조요소의 파손으로 인한 조업중단에 따른 금전적 손실은 막대할 것으로 예상되므로 지진피해를 최소화하기위해 비구조요소에 대한 보강방안이 마련하고자 하였다. 반도체내 비구조요소에 해당하는 것은 FAB장비, 전기장비, 기계장비, 유틸리티, 건물내 집기, 건물마감요소 등이다.

비구조요소 성능지표에 따른 성능수준을 정하고 인명피해, 자산손실, 기능손상 등의 위험을 바탕으로 각 요소에 대한 우선순위를 선정하여 지진위험에 취약한 비구조요소를 찾아내고 이에 대한 보강대책을 제시하였다. 비구조요소의 지진위험도를 경감하기위하여 위험도가 높은 순서대로 지지대를 설치하거나 장비를 적절히 정착시킴으로서 보강효과를 극대화 할 수 있었다.

본고에서는 2005년 현장조사 및 지진대비 보강안을 작성하여 2006년 현재 보강공사를 실시 중인 삼성전자 기흥반도체의 장비 및 설비 지지 철골 RACK

에 대한 전반을 소개하고자 한다.

2. 본 론

2.1 비구조요소 성능수준

비구조요소 항목에 해당하는 것은 기존의 건축요소를 비롯하여 FAB 생산, 기계, 전기 등의 요소, 그리고 건물시스템의 핵심이 되는 여러 시스템 등이다. 본고에서는 비구조요소중 기계, 설비, 전기관련 비구조요소만을 선정하였다. 비구조요소에 대한 국내의 설계기준이 충분하지 못하여 FEMA 356 및 IBC2003을 기준으로 하였으며, FERM 356 기준에서의 비구조요소 성능지표는 기능수행, 즉시거주, 인명안전 등이며, 각각의 성능수준은 다음과 같다.

- (1) 비구조체의 기능수행 성능수준 : 지진이 발생한 이후에도 건물 내 비구조요소들이 지진 발생 전 기능을 지탱할 수 있는 정도의 피해수준을 말한다. 경미한 손상은 발생하나 전력과 기타 유틸리티는 예비 장치 등을 통해 공급된다.
- (2) 비구조체의 즉시거주 성능수준 : 지진이 발생한 이후에 비구조요소가 손상을 입었으나 전력만 공급된다면 건물출입이 가능하고 인명안전 시스템이 작동하는 정도의 피해수준을 말한다. 일반적으로 장비와 집기는 안전하지만 기계고

장이나 유틸리티 부족으로 작동하지 않을 수도 있다. 건물의 정상적 사용이 일부 제한을 받고, 정리작업이나 점검이 필요할 수도 있지만, 인력이 건물 내에 남아 있어도 안전하다. 일반적으로 기계 및 전기 시스템요소들은 안전하나 일부 요소의 배열이 흐트러지거나 내부 손상을 일으켜 작동이 제한될 수 있다.

- (3) 비구조체의 인명안전 성능수준 : 지진이 발생한 이후에 비구조요소가 손상을 입었으나 인명 피해는 없는 정도의 피해수준을 말한다. 물체의 추락위험은 적지만, 건축, 기계, 전기 시스템 중 다수가 손상을 입는다. 건물 내 탈출로가 대대적으로 봉쇄되지는 않지만 HVAC, 배관, 소방시스템이 손상되어 일부 장소가 범람하거나 기능을 상실할 수 있다. 비구조요소의 복구에 대대적인 노력이 필요할 수도 있다.

본 평가에서는 기능수행 성능수준 목표를 비구조요소 안전목표로 산정하였다. 그러나 FEMA 356에는 기능수행 성능수준에 대한 절차나 허용기준이 명시되어 있지 않기 때문에 비구조요소들이 즉시거주 성능수준을 충족하면서 백업유틸리티 시스템을 갖춘 상태를 기능수행 성능수준과 대등한 것으로 간주하였다. 비구조요소 평가는 여러 가지 관찰이나 유사한 장비에 대한 경험을 바탕으로 여러 계산 과정을 거쳐 이루어졌다. 평가된 비구조요소는 앞 페이지의 네 가지 하위범주 아래 나열된 여러 항목들이 포함된다.

비구조요소 분류



2.2 우선순위결정

조사대상이 된 비구조요소 및 시스템의 등급을 결정하기위해 우선순위를 설정하였다. 각각의 요소에 대해 인명안전, 자산피해, 기능손상 등과 관련한 위험도를 낮춤, 보통, 높음으로 구분하여 평가하였다. 위험도에 가중치를 고려하여 중요도 순서에 따라 다음과 같은 네 범주로 우선순위 등급을 매겼다.

- A : 인명안전우려(사람이 상해를 당하거나 사망할 수 있음.)
- B : 장기 조업중단 또는 고가의 비구조체에 손상발생
- C : 단기조업중단 또는 비구조체 손상발생
- D : 비구조체 손상 가능성이 있으나 조업중단가능

성은 미미함.

설계도서 및 현장조사를 통해 평가대상에 해당하는 다양한 비구조요소의 내진성능 관련 문제점 및 현황을 파악하고, 각각의 장비에 해당하는 인명안전(Life Safety) 및 장비피해(Property Loss), 기능장애(Loss of Function)의 요소를 평가하여 최종적인 개선우선순위를 선정하였다.

2.3 비구조요소 평가기준

설계적용과 관련하여 현재 비구조요소의 보강에 대하여 FEMA 356 및 IBC 2003을 기준으로 한 즉시거

표 1. 비구조요소 내진성능 평가기준(FEMA356)

구 분	내진성능수준			
	재해방지(N-D)	인명보호(N-C)	즉시복귀(N-B)	작동기능(N-A)
Elevators	엘리베이터 작동불가 카운터웨이트 이탈	엘리베이터 작동불가 카운터웨이트 작동불가	엘리베이터 작동가능하고, 전원 공급시 작동할 수 있음	엘리베이터 작동
HVAC Equipment	대부분의 유닛 작동 불가 : 많은 수평이동, 전도, 몇몇 몇 지지유닛 낙하	유닛은 지지대 위에서만 움직임: 부착된 파이프, 덕트, 관 파괴되지만 추락 없음	유닛은 안전하고 전기와 다른 지원장비들이 작동하면 사용가능	유닛은 안전하고 비상전원과 다른 장비들이 공급되면 사용가능
Manufacturing Equipment	유닛의 수평이동, 전도 : 장비분리, 중량 유닛 재배치 와 재연결 필요, 민감한 장비는 작동 불가	유닛 수평이동, 전도되지 않음: 장비 사용불가, 작 동을 위해 재배치 요구됨	유닛안전/전기공급 및 지원 장비 작동시 사용가능	유닛 안전하고 작동 가능 : 전기, 지원장비 작동가능
Ducts	설비나 흡입구에서 풀림 : 몇몇 지지대 추락, 몇몇 덕트 추락	설비나 흡입구에서 풀림 : 몇몇 지지대 추락, 몇몇 덕트 추락	연결부에서 미미한 손상발 생 있으나 덕트 작동 가능	무시할 만한 손상
Piping	일부 라인 파쇄, 일부 지 지대 추락, 일부 파이프 추락	연결부 소량의 누출이 있는 미미한 손상, 몇몇 지지대가 손상되지만 시스템은 지지	아주 국부적인 곳의 조인트 에서 미미한 누출 발생	무시할 만한 손상
Plumbing	몇몇 고정부분 파괴, 라인 파괴, 소스부의 주요부가 파괴	몇몇 고정부분 파괴, 라인파 괴, 소스부의 주요부가 파괴	고정부분/라인은 작동가능 /지원장비 작동불가 발생 가능	시스템은 작동되나, 필요 하면 부지 내 물 공급가능
Computer Systems	유닛의 전도, 케이블 절 단, Access Floor 붕괴, 전기 공급 불가	유닛 이동, 케이블 절단, 전기 공급 불가	유닛 안전, 연결된 상태로 있음 전기는 공급되지 않음 미소한 내부 손상가능	유닛은 손상을 입지 않고 작동가능, 전기 공급 가능
Hazardous Materials	미미한 손상 : 부차적인 물 질은 이탈, 위험한 물질은 보관됨	미미한 손상 : 부차적인 물질 은 이탈, 위험한 물질은 보관 됨	무시할 만한 손상 : 물질들 이 보관됨	무시할 만한 손상 : 물질들 이 보관됨
Electrical Distribution Equipment	유닛 수평이동, 전도, 연결 관 파괴, 차단되지 않는 전 원 파괴 디젤 발전기 작동 불가	유닛은 지지되지만 작동불가, 비상발전기 작동, 유틸리티 작동불가	유닛은 안전하고 일반적으로 작동, 비상발전기는 작동하 지만 모든 장비에 전원공급 하기에는 부적당할 수 있음	유닛작동, 비상발전기가 필요한 용량을 공급

주수준(Immediate Occupancy)의 성능 수준을 목표로 하여, 비구조요소에 해당하는 부분을 발취하였다.

2.4 비구조요소의 정착방식별 분류(표 2참조)

2.5 비구조요소 보강 대책

FAB 생산장비, 보조장비 및 기타 비구조 항목들에 대한 보강은 지진위험도 경감을 위해서 필요한 전형적인 정착 방식이나 기술과 관련된 업무의 범주에 있다. 비구조 요소 보강 대책에는 각 요소의 종류에 따른 공학적 해법이 포함되어야 하며, 개별적인 최종

설계에서 고려해야 하는 점은 다음과 같다.

- 시설 가동이 중단되는가?
- 조사 대상 요소에 접근이 가능한가?
- 시설 전체의 순환 패턴에 영향을 주는가?
- 보강 요소를 설치하기 위해 섯다운이 필요한가?

비구조 항목의 보강에는 다음과 같은 방안이 포함된다.

교체 : 문제가 되는 요소를 제거하고 현행 내진 기준을 충족하는 새 요소로 교체한다.

보강 : 새로운 요소를 추가하여 지진 하중에 대한 저항력을 개선한다.

표 2. 비구조체의 정착방식별 분류

분류	비구조체 형태	정의	거동특성 및 취약부분	대표장비
A		테이블 위의 수직 원통형, 직육면체 비구조체	테이블 상부 장비 이동 및 전도, 지지부 이탈	FAB 생산장비 PFC 배기, 알카리 배기 H2O2 TANK, PCW TANK
B		Leg위의 수직 원통형, 직육면체 비구조체	탱크의 이탈 및 전도에 의한 손상	HUMIDIFIER or POLISHER TANK AIR DRYER, LN 탱크류
C		바닥기초 위의 수평 원통형, 직육면체 비구조체	탱크의 이탈로 인한 연결 파이프 손상	냉동기 GAS YARD 보일러
D		바닥기초 위의 수직 원통형, 직육면체 비구조체	상부 장비 및 탱크 이탈에 의한 파이프 손상	알카리 스크루버, 열교환기, FILTER TANK, HEX-301
E		마운트 지지 구조	스프링 마운트의 이탈 및 장비의 추락	열매기, 가연배기 산배기, 캐비닛 배기 PV PUMP, 냉각수PUMP
F		천장에 매달린 수평 원통형 및 육각형 비구조체	변위에 의한 연결부 손상	이음부 밴딩 손상 상부에 매달린 PIPE 및 DUCT, 전기 TRAY
G		다리 위의 수평 원통형 비구조체	지지부 이탈에 따른 연결부 내용물 외부 노출	RACK위에 설치된 원형 PIPE

수리 : 손상된 부품이나 부재를 수리하여 지진 하중에 대한 저항력을 개선한다.

브레이싱 : 비구조 요소 자체 내부나 건물 구조체에 부재를 추가하고 브레이싱을 부착한다.

부착 : 비구조 요소를 구조물이나 지지 요소에 물리적으로 부착한다. 권장하는 부착 지침은 다음과 같다.

- 콘크리트에 부착할 경우는 반복하중을 고려해야 한다.
- 막대형 지지 부재는 길이가 지지 구조체로부터 30cm 이하일 경우 내진 지지물로 간주한다.
- Friction clip은 내진 부착 용도로 사용할 수 없다.
- 10hp 등급 이상의 기계 장비에는 익스펜션앵커를 사용할 수 없다.
- 인장하중을 위한 앵커 중 드릴로 장착하거나 틸새에 설치하는 형태는 에폭시 타입이어야 한다.
- 진동분리 시스템에 장착된 요소는 수평 방향으로 bumper restraint나 완충기를 설치해야 한다.

2.6 장비 구조검토

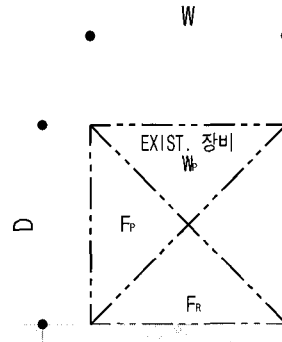
2.6.1 검토조건

장비에 대한 구조검토는 지진발생시 장비의 자중 및 등가정하중에 의한 Sliding 및 Overturning에 대한 안정성을 검토하였다. 장비본체 및 장비지지대(철골)와 지지면사이의 마찰력과 Spring Mount의 횡방향 지지력은 무시하였으며, 장비와 장비PAD는 일체로 거동하는 것으로 가정하였다. 그리고 지진력 작용시 장비자체의 파괴는 검토대상에서 제외하였다.

W_P = 장비중량

F_P = 장비에 작용하는 지진하중

F_R = 전단에 대한 저항력



RC PAC

① Sliding check : $SF = \frac{F_R}{F_P} \geq 1.5$

② Overturning check : $SF = \frac{M_R}{M_P} \geq 1.5$

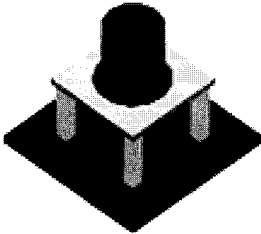

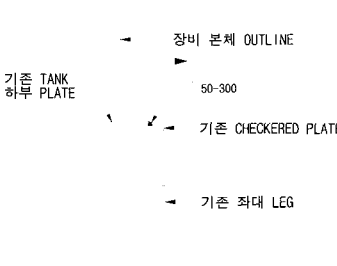
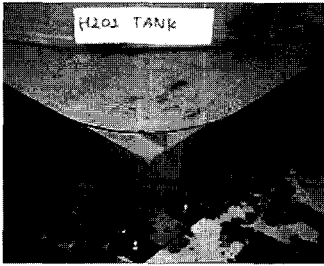
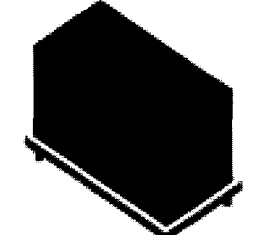
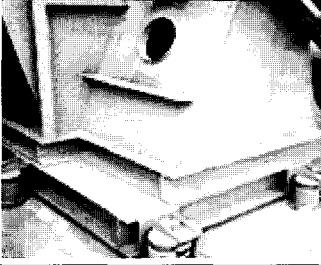
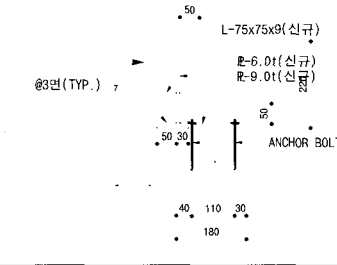
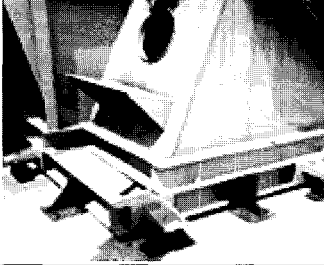
제시된 조건을 충족하지 않을 경우 앵커볼트를 설치하여 보강하였다.

2.6.2 장비검토 결과

장비는 대부분 OVERTURNING(전도)에 대해서는 안정한 것으로 나타났고 SLIDING(활동)에 대해서는 불안정한 것으로 나타나므로 이에 대한 보강이 이루어졌다. SLIDING이 불안정한 것은 SLIDING 검토 시 장비와 지지면 사이의 마찰력과 SPRING MOUNT의 횡방향 지지력을 무시하였기 때문이다.

장비와 지지면사이의 마찰력을 무시한 이유는 적절한 판단근거의 부족 및 장비내부와 그 지지면과의 관계를 현장조사 시 파악하기 불가능하였기 때문이며, SPRING MOUNT의 경우는 정확한 제원을 확보하기가 어려운 상황이기 때문이다. 하지만 지진력의 변동성을 고려한다면 상기의 마찰력과 횡방향 지지력을 무시하는 것이 좀 더 안전측의 보강이 될 것으로 판단된다.

표 3. 내진성능 평가 및 보강사례

분류	내진성능 평가 및 보강사례		
A Type		1. 예상피해 -탱크의 이탈 -지지부 이탈에 따른 파이프손상 2. 평가관련항목 -탱크의 용도, 앵커의 제원 -연결파이프 및 지지물과의 상호관계 -현장조사자료(상태확인 사진, 치수) 3. 내진성능 평가결과 - 재해방지(N-D) 수준	
	 <p style="text-align: center;">보강 전</p>	 <p style="text-align: center;">보강 안</p>	 <p style="text-align: center;">보강 후</p>
E Type		1. 예상피해 -수평이동 -전도에 의한 손상 및 작동불가 2. 평가관련항목 -장비의 용도 및 제원(제작도 등) -현장조사자료(상태확인 사진, 치수) 3. 내진성능 평가결과 - 인명보호(N-C) 수준	
	 <p style="text-align: center;">보강 전</p>	 <p style="text-align: center;">보강 안</p>	 <p style="text-align: center;">보강 후</p>

2.7 RACK 구조검토

2.7.1 검토조건

철골 FRAME(RACK)이 설비배관 및 덕트 등을 지지하는 형태로 현재 모멘트골조 또는 가새골조로 이루어진 철골 프레임에 배관, 덕트의 자중 및 등가정하중이 작용할 때, 철골 부재의 저항능력과 기둥

주각부의 SLIDING 및 OVERTRUNING에 대한 안전성을 검토하였다. 검토 대상 철골 FRAME들 중 일부는 기둥과 보의 연결부가 WEB에만 BOLTING이 되어 있음이 현장조사를 통하여 확인된 바 이러한 골조는 기둥하부가 ANCHOR BOLT로 건물에 연결된 상태에서는 수직하중에 대해서는 철골FRAME이 저항할 수 있지만 지진하중과 같은 수평방향하중에 대

해서는 구조적으로 전혀 저항할 수 없는 불안정 구조물이다. 그러므로 구조적으로 불안정한 구조물을 안정한 구조물이 될 수 있도록 보강하였으며, 이렇게 보강된 상태를 기준으로 구조검토를 수행하였다.

2.7.2. RACK 구조해석 결과

철골 FRAME(RACK)은 기둥과 보 접합부의 불안정한 상황을 안정한 구조물로 바꿔주는 보강이 기본적으로 이루어져야 한다. 그리고 지진시에 층간 변위 제어 및 과다부재응력이 발생하는 부재에 대한 보강이 필요하며 기둥의 주각부에 대해서는 인발력 및 횡력에 저항할 수 있는 보강이 필요한 것으로 나타났다.

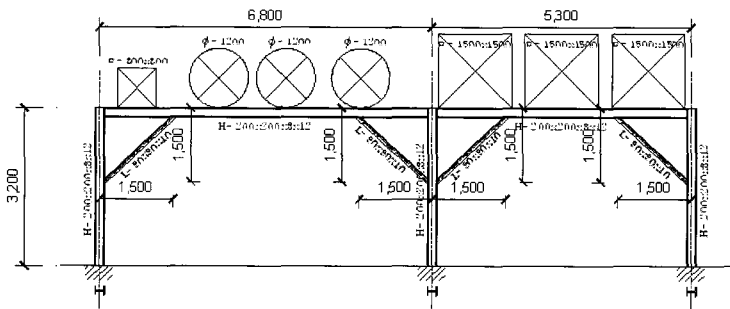


3. 결론

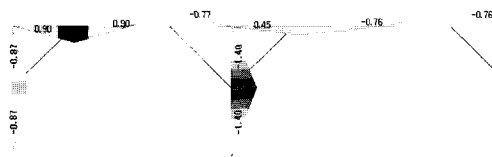
W_P = 설비 DUCT의 중량

F_P = W_P 에 근거한 비구조체에 작용하는 지진하중

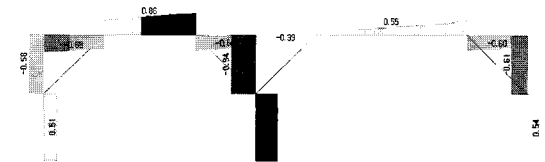
비구조요소의 내진성능확보는 기능수행에 미치는 영향, 실행타당성, 실행비용 등을 복합적으로 고려하



Model



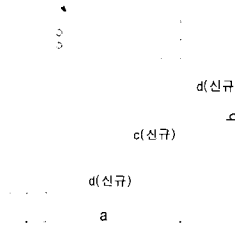
Bending Moment (My)



Shear Force (Fz)



보강 전

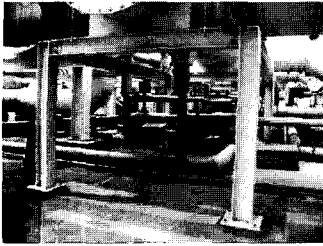


보강 안

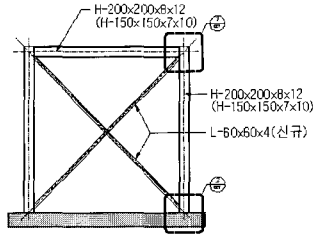
RACK 보강사례(1)



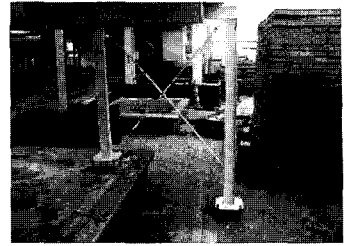
보강 후



보강 전



보강 안



보강 후

RACK 보강사례(2)

여 선정되어야 하는데, 목표 성능수준을 확정하고 각 요소의 위험도를 파악하여 보강우선순위를 선정하는 단계별 접근은 지진으로 인한 위험을 관리하기 위해 장기적으로 가장 바람직하고 비용면에서 효율적인 방법이라 생각된다. 높은 지진위험이 발견될 때 시설물을 보강함으로써 현재 존재하는 문제를 해결하는 것이 바람직하며, 비구조요소에 대한 보강은 지진피해의 실질적인 저감과 인명안전 보호의 효과를 가져올 수 있을 것이다.

참고문헌

1. Federal Emergency Management Agency, "FEMA 356, Prestandard and Commentary for the Seismic Rehabilitation of Buildings", Dated November, 2000
2. International Building Code, International Code Council 2003
3. 건축구조설계기준, 대한건축학회 2005
4. 삼성전자 기흥반도체 지진위험평가 보고서, 삼성에버랜드(주) & ABSG Consulting INC 2005
5. 기흥반도체 비구조체 안전진단보고서, (주)원우구조 2006