

우리나라 발파진동 허용기준의 문제점에 대한 고찰 두준기¹⁾, 류창하²⁾

A Review on the Problems of Korean Blast Damage Criterion Joon-Kee Doo and Chang-Ha Ryu

ABSTRACT. A damage criterion by blast vibration & noise has to be established through a engineering view point. Though a blast vibration has effects on human and structure, they have experienced a different damage. Thus, a damage criterion for structure needs to get a peculiar criterion which are different from one for human. At present, blast damage criterions authorized by government are Vibration & Noise Act made by Ministry of Environment and blast damage criterion of specifications for tunnel made by Ministry of Construction & Transportation. Vibration & Noise Act is based on the response of human, and while it has some application problems, it turns out to be partly rational. But, blast damage criterion of specifications for tunnel has unreasonable guidelines. In this article, its problems are reviewed and a alternative blast damage criterion is suggested.

Key words : Vibration & Noise Act, blast damage criterion of specifications for tunnel, alternative blast damage criterion

초 록. 국가의 발파진동과 소음에 대한 규제 기준은 공학적인 기술검증 절차에 의해 설정되어야 한다. 발파진동에 의한 공해는 인체에 미치는 영향과 구조물이나 시설물에 미치는 영향이 전혀 다르게 나타나므로 각각의 특성에 맞는 기술적인 검증을 거쳐 규제기준이 설정되어야 한다. 현재 국가에서 규정하고 있는 발파진동에 대한 규제 기준은 환경부의 소음·진동 규제법과 건설교통부의 터널시방서의 발파진동허용기준이 전부이다. 환경부의 발파진동 규제기준은 사람의 주거환경을 대상으로 설정하였으므로 인체에 대한 발파진동의 반응현상을 근거한 선진국의 연구자료와 법 규정 등을 인용하여 부분적으로는 문제점이 있으나 비교적 타당성이 있는 기준이 설정되었다고 사료된다. 그러나 건설교통부에서 발파진동 규제 기준으로 제시한 터널시방서의 발파진동허용기준은 발파공학적인 기술특성을 알지 못한 상태에서 부실하게 규제 기준을 만들어 정상적인 발파 공사를 방해할 뿐만 아니라 선진국과 국내에서 지극히 정상적으로 발파 공사를 수행하고 있는 공법까지도 발파진동허용기준에 저촉되어 공법을 폐기해야하는 문제점이 발생되었다. 본고는 건설교통부의 발파진동허용기준에 대한 문제점을 지적하고 합리적인 발파진동허용기준에 대한 방안을 제시하고자 한다.

핵심어 : 환경부 소음·진동규제법, 건설교통부의 발파진동허용기준, 합리적인 발파진동허용기준

1. 서 론

발파진동허용기준은 발파공법의 규모를 제한하여 원가에 미치는 영향이 크므로 철저한 시험과 공학적인 검증 절차를 거쳐 합리적으로 설정되어야 한다. 동일한 진동속도에서도 진동의 주파수에 따라 응답스펙트럼이 다르게 나타나고, 보호대상물의 존치상태에 따라서 진동에 적응하는 능력이 크게 차이가 있으므로 건물이나 구조물에 대한 발파

진동허용기준은 보호대상물의 환경과 조건에 맞도록 규정되어야 한다.

2. 본 론

우리나라의 발파진동 허용기준은 1999년에 제정한 터널시방서의 발파진동허용기준과 건설교통부 감사관실에서 교육교재로 작성한 암 발파설계 및 시험발파 잠정지침(안) 이 전부이다.

1) 휴먼테크발파기술사사무소 대표
2) 한국지질자원연구원, 책임연구원
접수일 : 2004년 9월 13일

표 1. 터널표준시방서진동허용기준치 (1999.건설교통부)

| 구분 | 진동예민구조물 | 조적식(벽돌, 석재등) 벽체와 목재로된 천장을 가진 구조물 | 지하구조와 콘크리트 슬래브를 갖는 조적식 건물 | 철근콘크리트 골조 및 슬래브를 갖는 중소형 건축물 | 철근콘크리트 또는 철골골조 및 슬래브를 갖는 대형건축물 |
|-----------------|---------|----------------------------------|---------------------------|-----------------------------|--------------------------------|
| | 문화재 등 | 재래가옥, 저층일반가옥 등 | 저층 양옥, 연립주택 등 | 중, 저층아파트, 중상가 및 공장 | 내진구조물 (고층아파트, 대형건축물 등) |
| 허용입자속도 (cm/sec) | 0.3 | 1.0 | 2.0 | 3.0 | 5.0 |

표 2. 구조물에 대한 발파진동 허용기준

| 구분 | 유적, 문화재, 컴퓨터시설물 | 주택, 아파트 | 상가 | 철근콘크리트 건물 및 공장 |
|--------------|-----------------|---------|-----|----------------|
| 진동치 (cm/sec) | 0.2 | 0.3~0.5 | 1.0 | 1.0~5.0 |

표 3. 건물에 대한 발파진동 허용기준 (주파수를 고려한 발파진동 기준치)

| 구분 | I | II | III | IV | 비고 |
|--------------------|-----|-----|-----|---------|----|
| 발파진동 허용속도 (cm/sec) | 0.2 | 0.5 | 1.0 | 1.0-4.0 | |
| 10-35 Hz이 상 | 0.3 | 0.8 | 1.5 | 5.0 | |

1. 터널시방서의 진동허용기준은 문화재, 저층일반가옥, 저층양옥연립, 중, 저층아파트, 내진구조물로 구분하여 허용기준을 규정하고 있다. 1999년에 제정한 터널시방서는 발파공사에 대한 진동허용기

준으로 부적합하여 실제 현장에서 적용하지 않고 있으며 2003년 건설교통부에서 암 발파설계 및 시험발파 잠정지침(안)으로 제시한 기준을 노천발파의 진동허용기준으로 이용하고 있다. 건설교통부의 암 발파설계 및 시험발파 잠정지침(안)의 발파진동허용기준의 문화재와 유적에 대한 기준은 발파진동이 문화재나 유적에 전혀 영향을 미치지 못하도록 하기 위하여 규제기준을 정하는 것은 지극히 당연한 것이나 컴퓨터 시설물에 대한 진동허용기준은 컴퓨터 시설물의 안전허용기준에 맞추어 규제기준을 설정해야한다.

터빈과 같이 크고 비싼 장비 근처에서 발파가 행해질 때 베어링에 미치는 진동이 피해를 유발한다. 발파허용진동에 대한 안정적인 평가는 기계 자체에 의해 일어나는 지속적인 축 진동의 표준허용한계로부터 구할 수 있다. API(American Petroleum Institute)에 의해 수립된 표준은 160Hz(분당 9,600 회전)에서 12mm/sec의 연속적인 축 진동이 허용된다.

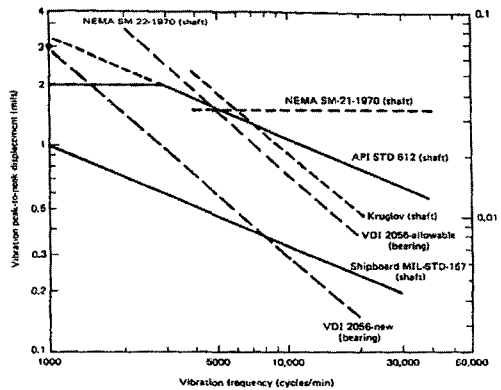


그림 1. 회전기계류의 축진동한계

전자장비의 진동허용치에 대한 상업적인 표준은 International Electrical Commission과 Institute of Electrical and Electronics Engineers.의 기관에서 정한다. 스웨덴의 논문(Holmberg 외, 1983)에서 전자장비의 진동허용치를 정하기 위하여 조사한 바에 따르면 컴퓨터 장치에서 진동에 가장 민감한 부분이 디스크 드라이브이며 디스크 드라이브는 최대

10ms 시간 동안에 2~3g의 순간진동이 허용된다. 우리나라의 허용기준이 0.2cm/sec인데 비하여 선진국에서는 6.28cm/sec(2~3g)까지 허용된다.

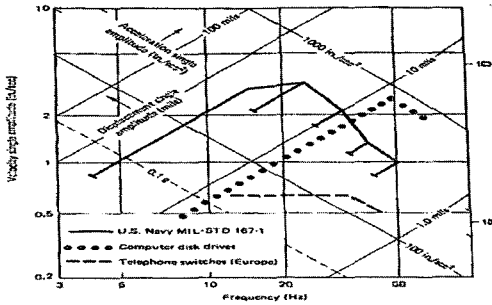


그림 2. 전기장치의 진동한계

Northwestern University의 Charles H. Dowding 박사는 Construction Vibrations(1996)에서 유럽의 전화장비 제작자들은 교환설비에 대해 10~100Hz에서 0.1g를 허용한다. Televerlet의 장비는 기계 내에서 17mm/sec(0.6 ips)의 속도와 0.6g의 가속도를 일으키는 진동을 견뎌냈다. 고하였으며 Televerlet의 장비는 인접한 벽면에서 50mm/sec의 입자속도를 허용한다. 라고 하였다.

공학적인 기준을 설정함에 있어서 기계적으로 아무런 이상이 없는데도 진동의 허용기준을 필요 이상으로 낮게 설정하여 규정을 정하면 경제적인 손실을 초래한다.

2. 건설교통부의 암 발파설계 및 시험발파 잠정

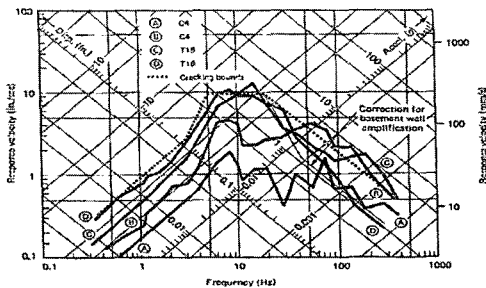


그림 3. 균열 미발생 응답 스펙트럼

지침(안)에서 주택이나 아파트에 대한 발파진동 허용기준은 0.3~0.5cm/sec 이고, 상가는 1.0cm/sec이다. Charles H. Dowding은 주택의 회벽이나 석고보드가 발파에 의해 균열이 발생할 확률적 연구에서 "지반입자속도를 12mm/sec로 52,000회까지 진동을 가하였으나 석고보드에 균열이 나타나지 않았다."는 Stagg(1984)의 연구결과를 근거하여 12mm/sec의 입자속도가 미세가시균열 즉 한계균열이 발생할 하한이 될 것이라고 하였고, 고유진동수 > 40Hz는 75mm/sec에 달할 때까지 작은 균열이 발생할 확률이 5 %도 되지 않는다고 발표하였다.

Edwards, Northwood(1960)와 Northwood 등(1963)은 오래된 석회 벽 가옥의 진동에 의한 피해를 정의 하였는데

- ①한계피해는 기존균열의 열리거나 석고에 새로운 균열이 발생되거나 느슨한 물건의 움직임이 발생되기 시작하는 76mm/sec이고,
- ②경미피해는 유리창 파손, 석고의 이완 및 이타과 같이 구조물의 안정에 영향을 미치지 않는 경미한 피해가 발생되기 시작하는 114mm/sec이고,
- ③중요피해는 큰 균열과 기초나 지지벽의 이동 및 상부구조의 약화나 뒤틀림 등으로 인하여 붕락이 발생되고, 벽의 붕괴 등 구조물의 약화를 초래하는 피해가 발생되기 시작하는 203mm/sec이다. 라고 정의 하였다.

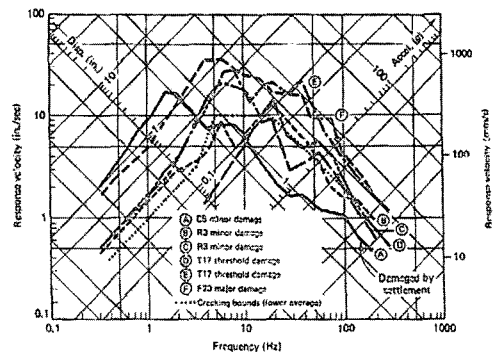


그림 4. 지하실벽의 균열과 관련한 응답 스펙트럼

표 4. 일상생활에 대한 구조물 응답 자료

| 부하 현상 | 현상으로 인한 미세균열 ($\mu\text{in./in.}$) | 해당발파수준 | | | |
|------------------|---|----------|---------------|----------|------|
| | | in./sec | mm/sec | cm/sec | |
| 일상의 환경변화 | 149 ~ 385 | 1.2 ~3.0 | 30.0 ~76.0 | 3.0 ~7.6 | |
| 일 상 활 동 | 걸기 | 9.1 | 0.03 | 0.8 | 0.08 |
| | 떨어뜨 림 | 16.0 | 0.03 | 0.8 | 0.08 |
| | 뒹뒹기 | 37.3 | 0.28 | 7.1 | 0.71 |
| | 문광 달기 | 48.8 | 0.50 | 12.7 | 1.27 |
| | 못박기 | 88.7 | 0.88 | 22.4 | 2.24 |

(Stagg,1984)

일상적인 생활에서 실내에서 걸거나 못을 박을 때 0.8mm/sec에서 22.4mm/sec의 진동이 발생되는 것을 알 수 있다.

또한 Charles H. Dowding은 지하실 벽들벽은 75~100mm/sec에서 최초의 균열이 발생되었다고 하였으며, 지하실의 콘크리트 벽은 254mm/sec, 벽 중앙에서 100 $\mu\text{m}/\text{mm}$ 의 변형률에 달할 때까지 균열이 발생하지 않는다고 하였다.

우리나라에서 건설한 주택이나 아파트에 대한 발파진동허용기준을 0.3~0.5cm/sec로 설정한 것은 정상적인 주택의 균열을 방지하기 위한 허용기준이라기 보다는 과거에 부실하게 시공하였던 노후주택들이 발파진동에 취약하므로 이런 주택들을 대상으로 하였거나 주택에서 생활하고 있는 사람을 대상으로 쾌적한 생활을 보장하기 위하여 주택에 대한 발파진동허용기준을 설정함에 있어서 생활환경기준을 고려하여 발파진동허용기준이 설정된 것으로 이해해야한다.

만약에 완전히 양생된 콘크리트의 종파의 전파 속도를 3,000m/sec라면 균열이 발생하는 최소속도와 평면파 변형률은 $\epsilon = \dot{u}/c = \frac{1,500\text{mm/s}}{3,000\text{m/s}} = 50 \mu\text{이다.}$

다른 연구에 의하면 양생중인 콘크리트의 변형 계수와 압축파의 속도는 양생이 완료된 최종 치 보다 훨씬 적어서 파속을 크게 하여 결정된 변형률은 하한치이다. 라고 하였다.

양생중인 콘크리트의 허용진동에 대한 외국과 국내의 연구사례는 표 5에서 표 8과 같다. Hulshizer는 재령 48시간이 경과한 콘크리트의 진동허용기준을 17.78cm/sec로 제안하고 있고, 미국 교통국은 재령 10일이 경과한 콘크리트의 진동허용기준을 25.4cm/sec로 규정하고 있다.

Charles H. Dowding은 콘크리트가 발파진동에 의해 균열이 발생될 확률은 인장응력이 상대적으로 적은 양생중인 콘크리트에서 진동균열이 잘 발생되는데 가장 민감한 시기인 10~20시간 사이에서도 159mm/sec의 진동을 가해도 최종강도가 적어

표 5. 미국토목학회

| 콘크리트재령 | 0~12 시간 | 12~24 시간 | 24~5일 | 5일 이후 |
|--------------------|------------|-------------|---------------|----------|
| 진동허용기준 (cm/sec) | 0.254 | 1.27 | 1.27 ~5.08 | 5.08 |

표 6. Hulshizer에 의해 제안된 재령별 허용기준

| 콘크리트재령 | 0~3 시간 | 3~11 시간 | 11~2 4시간 | 24~4 8시간 | 48시간 이후 |
|--------------------|-----------|------------|-------------|-------------|------------|
| 진동허용기준 (cm/sec) | 10.16 | 3.81 | 5.08 | 10.16 | 17.78 |

표 7. 미국 교통국의 재령별 허용기준

| 콘크리트재령 | 0~4 시간 | 4~ 24 시간 | ~3 일 | ~7 일 | ~10 일 | 10일 이후 |
|--------------------|-----------|----------------|---------|---------|----------|-----------|
| 진동허용기준 (cm/sec) | 5.08 | 0.64 | 2.54 | 5.08 | 12.7 | 25.4 |

표 8. 국내의 연구사례

| 연구자 | 콘크리트 형태 | 진동원 | 주요 결과 |
|-------------------|---------|----------|--|
| 권영웅등 (1990) | 블록 | 진동 테이블 | * 최대 4.8cm/sec * 재령 3~5시간 : 압축강도저하 |
| 오병환등 (1998) | 블록 | 진동 테이블 | * 재령 12시간이내, 30분동안 * 주파수:10Hz * 0.5~4.2cm/sec:강도 5~10%저하 * 0.25cm/sec:강도증가 |
| 임한옥등 (1994, 1995) | 블록 | 충격 진동 | * 0.5cm/sec, 30Hz미만이 80% * 30초동안:3회 또는 6회 * 재령 2~8시간 * 압축강도 및 인장강도: 5~10%저하 |
| | 블록 | 지면 발파 진동 | * 최대 10cm/sec, 1회 * 0.5cm/sec이상: 최대 5%압축강도저하 * 재령 6~8시간 |

지지 않는다고, Esteves, 1978. Howes,1979. Oriard 와 Coulson,1980의 보고서를 인용하여 발표하였다.

3. 우리나라의 철근콘크리트 건물 및 공장에 대한 발파진동허용기준은 1.0~5.0cm/sec로 규정하고 있다.

콘크리트의 균열을 방지하는 발파진동입자속도 (cm/sec)를 계산할 때에는 허용 휨 인장응력을 기준하여 산출한다.

탄성파에 의해 콘크리트 매질 내에 발생하는 전파방향응력 ($\sigma = f_{ta}$ kgf/cm²)은

$$\sigma = \rho \cdot V \cdot v \tag{1}$$

$$V = \sqrt{\frac{E \cdot g(1-\nu)}{r_i(1+\nu)(1-2\nu)}} \tag{2}$$

여기서 ρ : 매질의 밀도{ r_i : 콘크리트의 단위 중량(2.4t/m³ = 2.4g/cm³) } v : 탄성파전파에 의한 매질의 진동속도(Particle Velocity)

E : 콘크리트의 탄성계수(2.35× 10⁸g/cm²)

* 콘크리트의 허용 휨 인장응력(무근의 확대기준 판과 벽체)

$$\sigma = f_{ta} = 0.42\sqrt{f_{ck}} \tag{3}$$

여기서 f_{ta} : 허용 휨 인장응력(kgf/cm²)

f_{ck} : 콘크리트설계기준 일축압축강도(kgf/cm²)

* 콘크리트의 탄성계수(E_c) :

① 압축강도가 300kgf/cm²이하이고 단위중량 W_c 가 1.45~2.5tonf/m³

$$E_c = 4,270 W_c^{1.5} \sqrt{f_{ck}} \text{ kgf/cm}^2 \tag{4}$$

다만 보통골재를 사용한 콘크리트($W_c=2.3\text{ton/m}^3$)의 경우는 아래 식을 이용할 수 있다

$$E_c = 15,000 \sqrt{f_{ck}} \text{ kgf/cm}^2 \tag{5}$$

예 : 압축강도가 240kgf/cm², 단위중량이 2.4t/m³일 때

$$E_c = 4,270 \cdot 2.4^{1.5} \cdot \sqrt{240} = 245,952(\text{g/cm}^2)$$

② 압축강도가 300kgf/cm² 초과하는 경우에는 W_c 가 1.45~2.5tonf/m³

$$E_c = 3,000 W_c^{1.5} \sqrt{f_{ck}} + 70,000 (\text{kg/cm}^2) \tag{6}$$

다만 보통콘크리트($W_c=2.3\text{tonf/m}^3$)

$$E_c = 10,500 \sqrt{f_{ck}} + 70,000 \text{ (kg/cm}^2\text{)}$$

③ 프리스트레싱 긴장재

$$E_{ps} = 2,000,000 \text{ kgf/cm}^2$$

(7)

g : 중력가속도(980cm/ sec²)

v : 포아송 비(0.18)

f_{ck} : 설계기준강도(압축강도)

f_{ta} : 허용 휨 인장응력(0.42 $\sqrt{f_{ck}}$)

V : 매질의 탄성파전파속도(cm/sec)

σ : 전파방향 응력은 콘크리트의 허용 휨 인장응력을 적용

* 휨 부재의 허용응력(prestrest)

㉠ 휨 압축응력 : 0.42 f_{ck}

㉡ 휨 인장응력 : 0.8 $\sqrt{f_{ck}}$

* 휨 강도(파괴계수: f_r)

㉢ CEB규준 - $f_r = 2.5 \sqrt{f_{ck}}$ kg/cm²

㉣ ACI(318-83) 규준 - $f_r = 2.0 \sqrt{f_{ck}}$ kg/cm²

예 : 콘크리트의 설계조건 : 강도 : 240 kgf/cm²,

밀도(ρ) : 2.4 g/cm³, 탄성파전파속도(V):

322787cm/sec, 중력가속도(g) : 980g/sec²

※ 허용 휨 인장응력 (f_{ta})으로 적용시

식 (3)에서

$$\sigma = f_{ta} = 0.42 \sqrt{240} \times 1,000 \times 980$$

$$= 6,500 \times 980 \text{ (g/cm}^2 \cdot \text{cm/sec}^2\text{)}$$

식 (1)에서 $v = \frac{\sigma}{\rho V}$

$$= \frac{6,500 \times 980 \text{ (g/cm}^2 \cdot \text{cm/sec}^2\text{)}}{2.4 \times 322787 \text{ (g/cm}^3 \cdot \text{cm/sec)}} = 8.22 \text{ cm/sec}$$

※ 휨강도(f_r)를 ACI규준에 적용시

$$\sigma = f_r = 0.2 \sqrt{240} \cdot 1000 \cdot 980$$

$$= 30.98 \times 1,000 \times 980 \text{ (g/cm}^2 \cdot \text{cm/sec}^2\text{)}$$

$$\therefore v = \frac{\sigma}{\rho V}$$

$$= \frac{30,900 \times 980 \text{ (g/cm}^2 \cdot \text{cm/sec}^2\text{)}}{2.4 \times 322787 \text{ (g/cm}^3 \cdot \text{cm/sec)}}$$

$$\approx 39 \text{ cm/s}$$

표 9. 콘크리트의 발파진동 허용값(cm/sec : kine)

| 구분 | 압축강도 (kgf/cm ²) | 탄성파전파 속도 (cm/sec) | 허용 휨인장 응력기준 (cm/sec) | 휨강도 (ACI) 기준 (cm/sec) | 비고 |
|----|-----------------------------|-------------------|----------------------|-----------------------|----|
| 1 | 180 | 322,787 | 7.12 | 33.90 | |
| 2 | 200 | 322,787 | 7.51 | 35.42 | |
| 3 | 240 | 322,787 | 8.23 | 39.08 | |
| 4 | 300 | 322,787 | 9.20 | 43.76 | |

4. 건설교통부에서 잠정안으로 발표한 진동추정식을 이용하여 발파에서 발생하는 발파진동의 크기를 계산하면 아래 표와 같다. 건설교통부에서 잠정안으로 발표한 발파진동추정식으로 거리별 지발당 장약량을 산출하면 지발당 장약량을 0.375kg으로 발파하였을 때 2m~3m 이격거리에서 31~16.3cm/sec의 진동이 발생하고, 지발당장약량을 1.2kg 사용하면 3~4m 이격거리에서 31.9~19.1cm/sec의 발파진동이 발생하여 터널시방서의 발파진동허용기준을 최소한 3~6배를 초과하게 된다. 터널시방서의 발파진동허용기준이 적정하다면 허용기준을 3~6배 초과하는 진동이 발생될 경우 균열뿐만 아니라 붕락을 초래할 수 있는 수준이므로 터널굴착발파공법이나 우물통 굴착 발파공법을 폐기해야하는 문제가 발생된다. 그러나 실제로 터널이나 우물통 굴착 발파에서 지발당장약량을 2~3kg 이상 사용해도 2~4m 의 이격거리에 위치하는 슛크리트나 우물통 구체의 콘크리트에 균열이 발생

되지 않는다.

$$V = 160 \left(\frac{D}{Wb} \right)^{-1.6}$$

이 식에서 b를 자승근과삼승근

을 적용하여 거리별 지발당장약량을 계산하면 표 10, 10-1과 같다.

표 10. 발파진동추정식에 의한 지발당장약량과 거리별 진동값

| 지발당장약량 0.75kg | | 지발당장약량 1.2kg | |
|---------------|----------------|--------------|----------------|
| 거리 (m) | 예상진동값 (cm/sec) | 거리 (m) | 예상진동값 (cm/sec) |
| 1.0 | 127.1 / 137.2 | 1.0 | 185.1 / 176.3 |
| 2.0 | 41.9 / 45.2 | 2.0 | 61.0 / 58.1 |
| 3.0 | 21.9 / 23.6 | 3.0 | 31.9 / 30.4 |
| 4.0 | 13.8 / 14.9 | 4.0 | 20.1 / 19.1 |
| 5.0 | 9.6 / 10.4 | 5.0 | 14.0 / 13.4 |
| 6.0 | 7.2 / 7.8 | 6.0 | 10.5 / 10.0 |
| 7.0 | 5.6 / 6.0 | 7.0 | 8.2 / 7.8 |
| 8.0 | 4.5 / 4.9 | 8.0 | 6.6 / 6.3 |

5. 규모별 남북한 지진발생현황과 지진의 진도와 가속도, 평균속도 값에 의한 피해 손상 상황

○ 국내 모든 원전이 리히터 규모 6.5의 매우 강한 지진에도 견딜 수 있는 0.2g로 내진설계

○ 내진 설계기준(리히터 규모 6.5)의 절반인 0.1g 가 되면 원자로 가동중지 후, 백색비상 발령

표 11. 우리나라의 규모별 남북한 지진 발생 현황 (진도는 mm단위임)

○ 0.01g~0.02g가 감지되면 자동경보 발생, 주

| 규모별 | 6>M≥5 | | | 5>M≥4 | | | 4>M≥3 | | | 3>M | | | 총 계 | | |
|-----------|-------|---|---|-------|---|----|-------|----|-----|-----|----|-----|-----|-----|-----|
| | 남 | 북 | 계 | 남 | 북 | 계 | 남 | 북 | 계 | 남 | 북 | 계 | 남 | 북 | 계 |
| 1978~2003 | 3 | 1 | 4 | 24 | 5 | 29 | 127 | 76 | 303 | 284 | 79 | 363 | 438 | 161 | 599 |
| 2004 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 4 | 1 | 5 | 24 | 4 | 28 | 29 | 5 | 34 |

의단계로

전환전북지역에서 6일 오전 리히터 규모 3.3의 지진이 발생하였다.

표 10-1. 발파진동추정식에 의한 지발당장약량과 거리별 진동값

| 지발당장약량 0.375kg | | 지발당장약량 0.5kg | |
|----------------|----------------|--------------|----------------|
| 거리 (m) | 예상진동값 (cm/sec) | 거리 (m) | 예상진동값 (cm/sec) |
| 1.0 | 73.0 / 94.8 | 1.0 | 91.8 / 110.5 |
| 2.0 | 24.0 / 31.2 | 2.0 | 30.3 / 36.4 |
| 3.0 | 12.5 / 16.3 | 3.0 | 15.8 / 19.0 |
| 4.0 | 7.9 / 10.3 | 4.0 | 10.0 / 12.0 |
| 5.0 | 5.5 / 7.2 | 5.0 | 6.9 / 8.4 |
| 6.0 | 4.1 / 5.3 | 6.0 | 5.2 / 6.2 |
| 7.0 | 3.2 / 4.2 | 7.0 | 4.8 / 4.9 |
| 8.0 | 2.6 / 3.4 | 8.0 | 3.29 / 3.9 |

※ 예상진동값은 자승근/삼승근

1990년 이후 전북에서 발생한 30건의 지진 가운데 진도 3.0을 넘는 지진이 11회였고 내륙에서 발생한 것이 19회였다.

지역별로는 군산이 6회로 가장 많았고 부안 5회, 익산 3회, 전주 정읍 무주 고창 완주 각 2회 등 전 지역에서 발생했다.

표 12. 지반가속도-진도-규모 관계

| J.M.A(일본기상청) | | M.M (미국) | 지반 가속도 (g) | 리히터 규모 M | 비 고 |
|-------------------------------------|-------------|-------------|----------------------|----------------|---|
| 상 태 | 명칭 | | | | |
| 지진계에만 기록됨 | 0 (무감) | I | 0.0008 | 1 | |
| 서있는 사람이나 민감한 사람만 느낌 | I (미진) | II | 0.001 | 2 | |
| | | III | 0.002 | | |
| 창문, 전등이 흔들림 | II (경진) | IV | 0.0025 | 3 | |
| | | | 0.005 | | |
| 집이 흔들리고 그릇 의 물이 쏟아짐 | III (약진) | V | 0.008 0.01 | 4 | ◁영월지진('96.12.13)M:4.5 |
| | | | 0.025 | | |
| 집이 몹시 흔들리고 그릇의 물이 쏟아짐 | IV (중진) | VI | 0.03 0.05 0.08 | 5 | ◁홍성지진('78.10.7) M:5.0 쌍계사지진('36.7.4) M:5.0 |
| | | | 0.10 | | |
| 벽에 금이 가고 비석이 쏟아짐 | V (강진) | VII | 0.14 | 6 | |
| | | VIII | 0.25 0.26 | | |
| 가옥이 30% 정도 파손, 산사태 발생 | VI (열진) | IX | 0.41 | 7 | ◁국내 원전(0.2g) |
| | | X | 0.57 | | |
| 가옥이 30% 이상 파손, 땅이 갈라지고 산사태 발생 | VII (격진) | XI | 0.75 | 8 | ◁당산지진('76.7.28) M:8.0 |
| | | XII | | | |
| | | | | 9 | ◁관동지진('23.9.5) M:8.3 (日)하마오카 원전(0.6g) |

표 12. 미국 수정 메르칼리 진도계급(MM 진도계급, 2001년부터 적용)

| 진도 | 가속도(g) (gal) | 평균속도 (cm/sec) | 상 황 |
|-------|---------------------------|------------------|--|
| I. | 0.015~0.02 (14.7~19.6) | 1~2 | 특별히 좋은 상태에서 극소수의 사람을 제외하고는 전혀 느낄 수 없다. (I.Rossi-Forel 등급). |
| II. | | | 소수의 사람들, 특히 건물의 윗층에 있는 소수의 사람들에게 의해서만 느낀다. 섬세하게 매달린 물체가 흔들린다. (I에서 II.Rossi-Forel 등급). |
| III. | | | 실내에서 현저하게 느끼게 되는데 특히 건물의 윗층에 있는 사람에게 더욱 그렇다. 그러나 많은 사람들은 그것이 지진이라고 인식하지 못한다. 정지하고 있는 차는 약간 흔들린다. 트럭이 지나가는 것과 같은 진동, 지속시간이 산출된다. (III.Rossi-Forel 등급). |
| IV. | | | 지진동안 실내에 서있는 많은 사람들이 느낄 수 있으나 옥외에서는 거의 느낄 수 없다. 밤에는 잠을 깨운다. 그릇, 창문, 문등이 소란하며 벽이 갈라지는 소리를 낸다. 대형트럭 이 벽을 받는 느낌을 준다. 정지하고 있는 자동차가 뚜렷하게 움직인다. (IV에서 V.Rossi-Forel 등급). |
| V. | 0.03~0.04 (29.4~39.2) | 2~5 | 거의 모든 사람들에 의해 느낀다. 많은 사람들이 잠을 깬다. 약간의 그릇과 창문 등이 깨지고 어떤 곳에서는 플라스틱에 금이 간다. 불안정한 물체는 뒤집어 진다. 나무, 전선주, 다른 높은 물체의 교란이 심하다. 추시계가 멈춘다. (V에서 VI.Rossi-Forel 등급). |
| VI. | 0.06~0.07 (58.8~68.6) | 5~8 | 모든 사람들에 의해서 느낀다. 많은 사람들이 놀라서 밖으로 뛰어 나간다. 어떤 무거운 가구가 움직인다. 떨어진 플라스틱과 피해를 입은 굴뚝이 약간 있다. (VI에서 VII.Rossi-Forel 등급) |
| VII. | 0.10~0.15 (98~147) | 8~12 | 모든 사람들이 밖으로 뛰어 나온다. 아주 잘 설계되었거나 건축된 건물에서는 피해가 무시될 수 있고, 보통 건축물에서는 약간의 피해가 있으며, 열등한 건축물에서는 아주 크게 피해를 입는다. 굴뚝이 무너지고 운전하고 있는 사람들이 느낄 수 있다. (VIII.Rossi-Forel 등급) |
| VIII. | 0.25~0.3 (245~294) | 20~30 | 특별히 설계된 구조물에서는 약간 피해가 있고, 보통 건축물에서는 부분적인 붕괴(崩壞)와 더불어 상당한 피해를 일으키며, 열등한 건축물에서는 아주 심하게 피해를 준다. 창틀로부터 무너진 창벽, 굴뚝, 공장 재고품, 기둥, 기념비, 벽들이 무너진다. 무거운 가구가 뒤집어 진다. 모래와 진흙이 나온다. 우물수면의 변화가 있고 운전자가 방해받는다. (VIII에서 IX.Rossi-Forel 등급) |
| IX. | 0.5~0.55 (490~539) | 45~55 | 특별히 설계된 구조물에 상당한 피해를 준다. 잘 설계된 구조물은 기울어짐. 실제구조물에는 큰 피해를 주며, 부분적으로 붕괴를 한다. 건물은 기초에서 벗어난다. 땅에는 금이 명백하게 간다. 지하파이프도 부러진다. (IX이상 Rossi-Forel 등급) |
| X. | 0.6이상 (580이상) | 60이상 | 잘 지어진 목구조물이 파괴된다. 대개의 석조건물과 그 구조물이 기초와 함께 무너진다. 땅에 심한 금이 간다. 철도가 휘어진다. 산사태가 강둑이나 경사면에서 생기며 모래와 진흙이 이동된다. 물이 튀어 나오며, 독을 넘어 쏟아진다. (X. Rossi-Forel 등급). |
| XI. | | | 남아있는 석구조물은 거의 없다. 다리가 부서지고 땅이 넓은 균열이 간다. 지하 파이프가 완전히 파괴된다. 연약한 땅이 폭 꺼지고 지층이 어긋난다. 기차선로가 심하게 휘어진다. |
| XII. | | | 전면적인 피해. 지표면에 파동이 보인다. 시야와 수평면이 뒤틀린다. 물체가 하늘로 던져진다. |

표 13. 일본기상청 진도계급(진도판정표)에 진동속도를 대응시킨 것(JMA)

| 진도계 | 명칭 | 가속도 (gal) | 최대진동속도 (cm/sec) | 피해손상상황 |
|------|----|-----------|-----------------|--|
| 진도 0 | 무감 | 0.8이하 | 0.13이하 | 인체에 느끼지 않고 지진계로 기록될 정도 |
| 진도 1 | 미진 | 0.8~2.5 | 0.13~0.40 | 정지하고 있는 사람이나, 특히 지진에 주의 깊은 사람만이 느낄 정도 |
| 진도 2 | 경진 | 2.5~8 | 0.40~1.26 | 많은 사람에게 느낄 정도의 것으로 장지문이 다소 흔들리는 것을 알정도 |
| 진도 3 | 약진 | 8~25 | 1.26~4.0 | 가옥이 흔들리고, 장지문이 덜컹덜컹 흔들리며, 전등이 흔들리고, 수면의 움직임 알정도 |
| 진도 4 | 중진 | 25~80 | 4.0~12.6 | 가옥의 동요가 심하고, 꽃병 등이 쓰러지고, 기내의 물이 넘쳐흐르며, 걷고 있는 사람도 느낄 수 있어서 많은 사람들이 옥외로 뛰어 나올 정도 |
| 진도 5 | 강진 | 80~250 | 12.6~39.8 | 벽이 갈라지고, 비석·석등 등이 쓰러지고, 굴뚝과 돌담이 파손되거나 할 정도 |
| 진도 6 | 열진 | 250~400 | 39.8~63.7 | 가옥의 도피가 30%이하 산사태, 땅의 균열이 생기고, 많은 사람들은 서 있을 수 없을 정도 |
| 진도 7 | 격진 | 400이상 | 63.7이상 | 가옥도피가 30% 이상에 이르고, 사태, 땅의 균열, 단층 등이 생긴다. |

※ 진도는 리히터 기준임, $1g=980cm/sec^2 = 980gal$,

이에 대해 전주기상대는 이번 지진을 포함해 그동안 전북지역에서 발생한 지진의 규모가 2.0~3.5로 약해 우려할 만한 정도가 아니라고 말했다.

리히터 규모 3.3의 지진은 메르칼리 진도계급 IV에 해당하고 평균속도가 2cm/sec 정도이고, 원전의 운전을 중지하는 가속도 값이 0.1g인데 0.1g는 메르칼리 진도계급 VII에 해당하고 평균속도가 12cm/sec이다.

3. 결 론

터널시방서의 발파진동허용기준은 문화재와 컴퓨터 시설물을 분리하고, 컴퓨터 시설물에 대한 진동의 허용기준은 컴퓨터의 안전허용기준을 고려하여 설정되어야한다. 주택, 아파트, 상가 등은 주거환경을 고려하여 발파진동허용기준이 설정되어야 하며 철근콘크리트 건물이나 공장 등은 콘크리트의

균열을 방지할 수 있는 허용기준으로 설정되어야한다.

터널의 슛크리트나 내진설계 토목구조물은 발파진동에 대하여 강한 내성을 갖는 특성이 있으므로 발파진동과 내진력에 대한 전문기술력을 갖춘 전문가들에 의해 철저한 검증을 거쳐 합리적인 발파진동허용기준이 설정되어야 터널과 우물통굴착발파와 같은 근접발파작업이 정상적으로 이루어 질 수 있을 것으로 판단된다.

발파진동에 대한 허용기준은 터널시방서만이 문제를 안고 있는 것이 아니다. 현재 수자원공사에서 관리하는 상수도 파이프라인과, 한국송유관공사와 한국가스공사 공사 등에서 관리하는 송유관이나 가스관에 대하여도 올바른 검증 절차를 거쳐 합리적인 발파진동허용기준이 설정되어야 한다.

참 고 문 헌

1. 터널시방서, 1999, 건설교통부.
2. 건설교통부의 암 발파공법 설계 및 시험발파 잠정지침, 2003, 건설교통부.
3. 양형식역, 1992, 발파진동학, 구미서관, pp. 118~196.
4. Dowding, C. H., 1996, Construction Vibrations, Prentice Hall, pp. 104~202, pp. 384~387.
5. Oriard, L. L., 2002, Explosives Engineering, Construction Vibrations and Geotechnology, Published by International Society of Explosives Engineers, pp. 181~247.
6. 기상청 지진자료, 2004, 기상청 홈페이지.
7. 籬喉謙/著, 1994, 발파진동의 주변에의 영향과 대책, 원기술, pp. 24~29.
8. 두준기, 2000, 교량의 우물통기초 공사에 있어서 수중발파의 영향에 대한 고찰, 한국암반공학회 추계화약발파 기술세미나.