

철근콘크리트 구조물의 진단과 시험

철근콘크리트 구조물을 이루는 기본 재료는 철근과 콘크리트이며, 그 중 콘크리트는 레미콘공장에서 제작되지만 완성품이 아니며, 가설재로 구성된 형틀 속에 타설되어 철근과 함께 일정시간 경과 후 완성품이 된다. 따라서 철근콘크리트 구조물은 콘크리트가 레미콘공장에서 제작된 이후부터 인내심을 가지고 진단과 시험을 거쳐야 적절한 품질을 유지할 수 있게 된다.

철근콘크리트 구조물은 철골구조물과 달리 현장에서 재료가 완성되는 구조물이다. 철근콘크리트에 사용되는 기본 재료인 콘크리트는 레미콘공장에서 제작되지만 완성품이 아니며, 가설재로 구성된 형틀 속에 타설되어 철근과 함께 일정시간 경과 후에 완성품이 된다. 또한 이후 비교적 긴 시간에 걸쳐 다양한 변화(예를 들면, 균열)를 보이는 부분이 있다. 건설공사자체만 보더라도 골조가 형성되는 것은 공사의 전반기에 해당하므로 공사완료시까지 계속 이러한 변화에 대한 관리가 필요하게 된다. 건물완성 후 일정기간 A/S가 필요하며, 이 단계에서도 여러 가지 문제점에 대한 원인규명과 판단이 필요하고, 적절한 보수가 이루어지게 된다. 철근콘크리트 구조물은 콘크리트가 레미콘공장에서 제작된 이후부터 인내심을 가지고 진단과 시험을 거쳐야 적절한 품질을 유지할 수 있게 된다. 여기서는 이 중에서 가장 많이 적용하는 몇 가지를 소개하며 건설현장에서 참고가 되도록 하였다. 콘크리트가 레미콘 공장에서 제작되어 형틀속에서 완성되는 때까지는 건설현장에서 일반적으로 규정된 시험방법에 의해 시험을 준수하고 있으며 수량, 회수는 기준에 의해 정해져 있으므로 소개만 하였다.

1 콘크리트 품질관리

1) 반이들이기 품질관리

건설현장에서 가장 많이 수행하는 작업이며 주로, 슬럼프시험, 공기량시험, 온도, 염화물 이온량 등을 시험한다. 시험목적은 납품된 콘크리트가 해당 현장에 적합한지를 현장에서 확인하는 것이며 시공연도(Workability, 시공용이성), 내구성 영향도를 간단히 시험하는 과정이다.

그러나, 일반적으로 콘크리트의 제조단계, 즉 레미콘 공장에서 제조될 당시에 이 모든 품질 수치는 이미 완료된 상태이며 현장에서는 다만 운반과정에서의 변화가 있었는지 확인하는 과정에 지나지 않는다. 따라서, 가장 중요한 부분은 레미콘공장의 관리 상태이며 레미콘공장에 납품된 자재(골재, 시멘트 등)가 양호한 품질을 가지고 있는지가 더 중요한 부분이다. 건설현장은 지정된 배합표를 받는데 이 값이 적정한지 다른 자료들과 비교해 볼 필요가 있으며, 가장 많이 사용되는 콘크리트이거나 특수한 제품인 경우 레미콘공장의 상황을 직접 확인하고 관리할 필요가 있다.

■ 그림 1. 슬럼프 시험



■ 그림 2. 공기량 시험



■ 그림 3. 염화물 이온량 측정 시험



■ 그림 4. 콘크리트 압축강도 시험 (공사체)



로 관리를 잘하는 것이 더 중요하다. 따라서, 균열에 대해서는 사전에 미리 계획을 수립해야 한다. 누수가 발생할 가능성이 있는 부분을 구분해서 계획하며 일정 수준(균열폭을 의미함, 보통 0.2~0.3mm)까지는 진행성을 관리하고 이 수준을 초과하면 원인규명과 보수를 하도록 한다. 균열대장을 작성하여 균열의 형상, 진행성(시간별), 크기(길이, 폭), 위치, 누수여부 등을 기록하며 가능하면 균열 관리자는 1~2인으로 변동하지 않도록 한다. 즉, 처음부터 공사완료시까지 동일한 기준으로 관리해야 정확할 것이다.

일정관리수준을 초과한 균열현상에 대해서는 유사한 현상의 발생여부를 확인하고 동일한 현상이 많을 경우, 건물의 구조설계자 또는 구조전문가의 자문을 구하여 발생원인을 규명하도록 한다. 일반적으로 건설현장의 균열은 콘크리트 타설 후 초기(1주일 정도)에 많이 발생하며 28일 이후에는 긴 시간에 걸쳐 진행성으로 발전된다. 따라서, 최초 콘크리트 타설 전에 미리 균열관리에 대한 계획을 세워야 하며 균열대장도 만들어야 한다.

건설현장에서의 균열원인은 초기에는 침하균열(철근부위)이 많고 건조수축균열이 일정기간에 걸쳐 다수 나타나며, 공사차량이나 자재적재 등 공사하중에 따라 균열이 나타나는 경우가 대부분이다. 즉, 콘크리트 다짐을 철저히 하며, 충분한 양생관리를 하고 계획된 구역과 통로로 공사하중을 유도하여 보강계획을 수립할 경우 이러한 현상을 최소화할 수 있다.

3 비파괴 시험

콘크리트가 양생 완료되고 공시체시험이 완료된 이후에는 콘크리트 구조물의 상태를 평가할 수 있는 방안은 비파괴시험과 코어채취, 재하시험 정도이다. 코어채취는 구조물의 직접적인 손상을 주는 방식이며 재하시험은 다른 모든 시험에서 불합격일

2) 압축강도 품질관리

콘크리트의 모든 구조적 물성치는 압축강도로부터 확인되므로 가장 중요한 품질관리 대상이다. 설계기준강도의 확보 여부뿐만 아니라 거푸집 탈형시기도 콘크리트 강도시험값에 의해 결정되므로 충분한 시험이 필요하다.

2 균열 관리

콘크리트 구조물에서 균열이 발생하는 것이 일반적인 현상이며 균열은 구조적인 면에서 불균등한 응력을 분산하는 효과가 있으므로 무조건 나쁜 것만은 아니

경우에 최종적으로 수행하는 시험이며 간단한 방법이 아니다. 따라서, 각종 기술로 발전된 비파괴장비를 이용하여 완성된 철근콘크리트 구조물을 시험하게 된다. 이렇게 구조물에 전혀 파손을 주지 않는 시험을 비파괴 시험(Non-Destructive Test)이라 하며 이 중 가장 많이 적용하는 몇 가지를 소개하였다.

3-1. 콘크리트 강도시험

콘크리트 구조물의 내력 및 안전성은 콘크리트의 압축강도에 큰 영향을 받는다. 따라서, 콘크리트의 압축강도를 조사하기 위한 비파괴 검사법이 많이 연구되었으며, 일반적으로 가장 많이 사용되고 있는 방법으로는 슈미트 햄머(Schmidt Hammer)를 이용한 반발경도법이 있다. 반발경도법에 의한 비파괴 검사법은 슈미트 햄머를 이용하여 콘크리트의 표면을 타격하여 그 때의 반발경도를 측정하고, 이 측정값으로부터 콘크리트의 압축강도를 추정하는 검사방법이다. 반발경도법의 원리는 슈미트 햄머로 경화된 콘크리트 표면을 타격할 때 반발경도(R)와 콘크리트 강도(fcu)

■ 그림 5. 슈미트 햄머



제조회사 : Proceq S. A. (Switzerland)
측정범위 : 150 ~ 600 kgf/cm²
보정 : Test Anvil

■ 그림 6. 슈미트 햄머를 이용한 측정사진



와의 사이에 특정 상관관계가 있다는 실험적 경험을 기초로 한다.

슈미트 햄머를 이용하는 방법은 콘크리트의 강도에 따라 반발경도가 변화하는 사실을 이용한 방법으로 시험방법이 간편하고 국제적으로 표준화된 이점이 있으나 이 방법은 콘크리트 표면부의 품질과 타격조건에 따라 영향을 받으므로 콘크리트 구체 내부의 강도를 명확히 측정하기는 곤란한 단점이 있다. 보통 콘크리트 표면부를 매끈하게 처리하여 시험을 하고 타격면에 수직이 되도록 하며 동일 지역에 20회 정도 타격한 값의 평균치를 이용하여 콘크리트 강도를 평가한다.

3-2. 철근 배근시험과 피복두께 측정

■ 그림 7. 페로스캔



제조회사 : Hilti (Switzerland)
측정범위 : 150mm Max.

■ 그림 8. 페로스캔을 이용한 측정사진



철근콘크리트 구조물의 내구성 및 안전성은 콘크리트의 균열 및 강도와 더불어 철근의 배근상태나 피복두께에 크게 의존한다. 철근의 배근상태가 설계도면보다 적은 개수로 넓은 간격으로 배근된 경우 구조물의 내력이 감소하게 되어 구조물의 내구성 및 안전성에 치명적인 약점을 가져올 수 있으며, 설계도면보다 과도하게 많은 개수로 좁은 간격으로 배근된 경우에도 구조물의 내력은 충분히 만족하지만 예기치 못한 갑작스러운 붕괴를 초래하는 취약적인 구조가 되는 약점이 있다. 따라서 철근콘크리트 구조물에서 철근의 배근상태와 피복두께를 조사하는 것은 구조물의 내구성 및 안전성을 확인하기 위해서 중요한 부분이다.

이러한 철근 배근상태 조사는 부재의 국부파괴 또는 비파괴 장비를 이용하여 확인할 수 있는데, 국부파괴에 의한 부재손상은 경제적인 면과 구조물 손상 등 영향을 미치므로 비파괴 시험법을 통한 방법으로 구조물의 전반적인 철근 배근상태를 확인하는 것이 일반적이다. 철근 배근상태와 피복두께를 조사하기 위한 비파괴 시험 장비는 FERROSCAN, RC-RADAR, PROFOMETER 등이 있다.

3-3. 콘크리트 초음파검사

콘크리트 구조물에 대한 초음파검사는 대체로 발생된 균열의 깊이 측정과 콘크리트 전반적인 내부 품질상태 추정이라는 2가지 목적으로 사용된다.

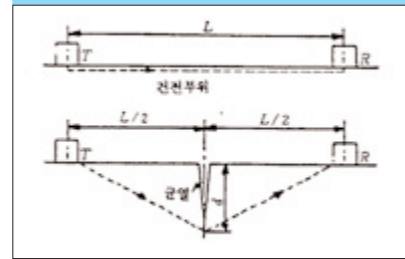
1) 균열 깊이 측정

균열의 깊이를 측정하기 위해서는 그림 3.2.2 에서처럼 발·수진자의 배치를 균열 부근 동일면에 설치하여 종파용 발·수진자를 균열부를 중심으로 등간격 L/2

로 설치하였을 때 균열 선단부를 최절한 초음파의 전파시간 Tc와 균열이 없는 부분에서의 발수진자의 거리(L)에서의 전파시간 To로부터 다음 식으로 균열의 심도를 구한다.

$$d = \frac{L}{2} \sqrt{\left(\frac{T_c}{T_o}\right)^2 - 1}$$

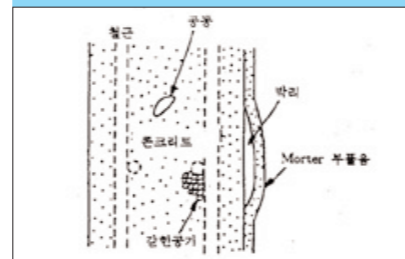
■ 그림 9. Tc-To법



2) 콘크리트 내부결함 조사

콘크리트 구조물에 있어서의 내부 결함으로는 <그림3.1>과 같이 구조물의 마감재(타일, 마감모르터 등)의 박리와 콘크리트 내부 및 표면부에 나타나는 갇힌 공기, 공동 등을 고려할 수 있다.

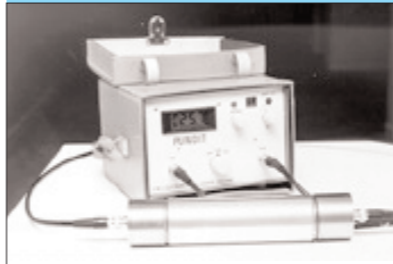
■ 그림 10. 콘크리트 내부 결함



박리에 따른 미관, 내구성의 손상 뿐만 아니라 안전사고의 위험도 있어 최근 사회문제화 되고 있으며, 열적외선법과 타격법 등이 실용화되고 있다. 갇힌 공기와 공동은 시공불량이 주된 원인이며, 철근의 부식, 수밀성과 내구성에 문제가 될 수 있다.

갇힌 공기와 공동은 일반적으로 박리에 비해 콘크리트 표면부보다 깊은 위치에 존재하므로 깊은 심도까지 검사할 수 있는 방법이 요구된다. 비파괴검사법 중 비교적 콘크리트에 대한 투과능력을 보유한 초음파의 적용이 바

■ 그림 12. 초음파측정기(PUNDIT)

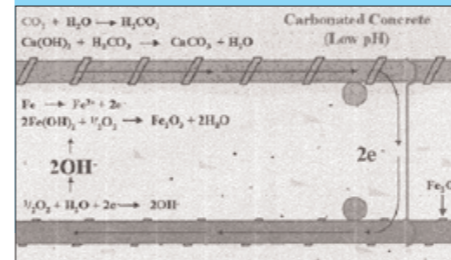


제조회사	C.N.S. Instruments, Ltd.(영국)
초음파	50 kHz
측정범위	0.1~1,000μs
정밀도	± 0.1~1.0μs
보정	25.6μs 시험막대

람직하다. 초음파를 이용한 내부 결함의 검사방법으로는 투과법과 반사법이 있으며, 현재의 기술수준으로는 투과법의 신뢰도가 높은 편이지만 발진자와 수신자를 대향으로 배치하므로 구조물의 형상 등에 의해 제한되게 된다. 투과법은 콘크리트 기중에서는 양면을 이용하여 조사가 가능하며, 대향면에 발진자와 수신자를 설치하고 투과하는 초음파의 전파속도를 측정한다. 내부에 결함이 존재하는 경우에는 전파시간(종파)이 건전한 부위에 비하여 지연된다. 일반적으로 콘크리트의 종파 전달속도는 3,500~4,000m/sec 이며, 완전히 공동인 경우에는 약 350m/sec, 갇힌 공기에서는 정도에 따라 차이는 있지만 일반적으로 건전부에 비해 20~30% 정도 감소한다.

3-4. 중성화 조사

■ 그림 13. 중성화 과정



콘크리트의 중성화 조사원리는 페놀프탈레인 1% 용액이 알칼리성에서는 붉은 색을 띠고, 중성 및 산성에서는 무색을 띠는 화학적 이론에 기초한다. 페놀프탈레인 1% 용액을 이용하여 중성화를 조사하는

방법은 다음과 같다.

- ① 코어 채취를 하여 공시체를 만든다. 만약 코어 공시체를 만들지 못할 경우에는 조사대상 부위를 철근이 노출될 때까지 파쇄한 후 파쇄면을 깨끗이 청소한다.
 - ② 분무기를 이용하여 페놀프탈레인 1% 용액으로 파쇄면을 충분히 적신다.
 - ③ 파쇄면에 나타난 색깔 변화를 관찰하여 표면에서부터 무색으로 나타난 부분까지의 거리를 측정하여 기록한다. 이 때 골재부분의 색깔 변화는 무시한다.
- 이렇게 측정된 중성화 깊이는 다음과 같은 방법으로 등급을 결정한다.

■ 표 1. 중성화 등급

등급	중성화 깊이	비고
A	표면으로부터 0.5cm 미만	초기 중성화 진행 / 중성화 속도 추정
B	피복두께의 1/3 이하 (약 1.0cm)	중성화 속도 추정 / 도장 등 보호 필요
C	피복두께의 1/2 이하 (약 1.5cm)	중성화 속도 추정 / 염화물 함량 검토, 보호 필요
D	피복두께 이하 (약 3.0cm)	중성화 속도 추정 / 염화물 함량 검토, 보수 필요
E	표면으로부터 철근위치 이상	철근부식도 검토, 보수·보강 필요

* 건설교통부, '건축구조재료 노후화 유형분류 및 평가법, 1999' 인용

■ 그림 14. CONKIT



제조회사 : - (Japan)
측정범위 : pH 8~11

■ 그림 15. 중성화 측정사진



3-5. 기타

굳은 콘크리트의 가루를 채취하여 염분함량을 측정할 수 있고, 구조부재의 면(벽체, 슬래브)에 대해 전반적인 철근부식도를 측정할 수 있다. 이러한 특수한 시험방법은 구조물 시공연도가 오래되었거나 도면이 불확실한 경우, 구조물의 환경이 열악한 경우 등에 대해서 수행하게 된다.

4 코어 테스트와 재하시험

4-1. 코어 테스트

시험실 실험과 비파괴 검사에 따라 콘크리트 강도가 현저히 부족하다고 판단되거나 계산에 의해 허용저항능력이 크게 감소되었다고 판단될 때는 문제된 부분에서 코어채취를 하여 코어의 압축강도를 시험하도록 하고 있다. 일반적으로는 표준공시체(표준양상에 의한 공시체, 이하 공시체)로 제작된 콘크리트 시편에 의해서 구조물을 형성하는 콘크리트의 수치를 평가하지만 이는 여전히 불확실한 신뢰도를 갖고 있다. 때때로 현장에서는 실제 구조물의 콘크리트 강도를 측정해야 하는 경

우가 발생한다. (예를 들면, 불량하거나 부적합한 공시체의 관리로 낮은 공시체 강도값이 나왔을 경우, 균열이나 외관상 이상징후의 발견으로 콘크리트의 강도조사가 필요한 경우, 원 설계보다 높은 응력(구조물에 작용하는 허용하중의 증가 등)을 받는 상황에 처할 경우 등) 이러한 경우엔 콘크리트 강도와 철근의 위치, 크기에 대한 조사, 평가가 필요하다.

이러한 문제를 해결하기 위한 구조물의 콘크리트 강도를 측정하는 가장 일반적인 방법이 회전 다이아몬드 드릴로 코어를 채취하여 측정하는 것이다. (ASTM C42, BS1881 Part 4) 이렇게 채취된 코어(철근이 묻혀 있기도 함)는 물에 담근 후 캐핑을 하고 실험을 하며 채취된 코어에서 측정된 높이(h)/직경(d)의 값이 2.0이하인 경우엔 보정을 하게 된다. 그러나, 코어 테스트는 압축강도수준, 높이/직경비, 매립철근, 채취시의 천공작업에 의한 영향, 콘크리트 타설방향 등 결과에 영향을 줄 수 있는 변수가 많으므로 작업전에 충분한 사전준비를 해야 한다.

4-2. 재하시험 (정적 재하시험)

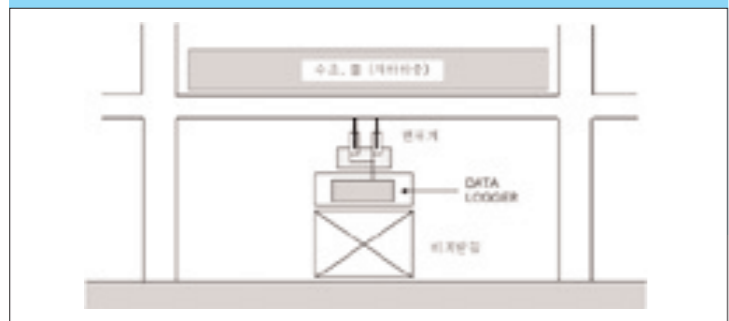
공사중에 큰 피해(예를 들면, 동해)를 받았거나, 상기한 모든 압축강도 시험으로부터 강도에 문제가 있다고 판단되는 경우, 구조물의 안전에 문제가 있다는 근거가 있는 의심이 생긴 경우에 재하시험을 하도록 규정하고 있다.

구조물이나 구조부재의 강성과 내력은 설계기준 및 시공상태에 의해 계산되는 것이 일반적이나 다음 경우와 같이 안전성에 대한 확인이 필요한 경우 책임기술자와의 사전협의를 거쳐 실제하중을 재하하는 재하시험 방법으로 구조적 안전성을 확인한다.

- ① 건물의 재료가 질적인 면에 결함이 있는 것으로 간주될 때
- ② 시공적 결함을 나타내는 근거가 있는 경우
- ③ 건물이 손상된 경우건물이 용도 변경될 경우
- ④ 건물이나 그 일부가 규준의 요구 조건을 만족하지 않을 경우
- ⑤ 구조형태에 대한 설계개념이 복잡하고, 경험부족으로 부재의 구조능능에 대한 구조해석의 결과가 불확실하다고 판단되는 경우

재하시험의 원리는 일정시간 동안 하중을 가한 후에 발생한 처짐량과 하중을 제거한 후에 회복되는 정도를 확인하는 방법을 통해 구조물의 안전성을 평가하는 것이다. 따라서, 충분한 시험시간이 요구된다.

■ 그림 16. 콘크리트 구조물의 정적 재하시험



그림은 당시의 목산빌딩(광화문플래티넘 현장) 철거시 수행했던 재하시험방법이다. 이때는 수조를 가설재로 제작하여 사용했는데 물을 하중으로 사용하는 것은 쉽지 않은 방법이었다. 이 외에도 철근, 시멘트 등을 사용하였으며 현장 여건에 맞는 방법이 필요하다.

■ 그림 17. 수조 설치 전경



■ 그림 18. 변위계 설치 전경



■ 그림 19. DATA LOGGER



재하하중으로 질량을 미리 알고 있는 소재를 사용하거나 특수한 방법(일본규준(JASS 5))으로 하중재하의 정확도를 기하기 위해 부재의 중앙에 오일잭을 이용하여 하중을 가하기도 한다. 일반적으로 사용하는 하중재하용 소재로 중량확인이 간편하고 작업량이 비교적 쉬운 시멘트 포(40kgf)를 이용하거나 수조에 물을 담아 사용한다. 토목 교량의 경우 중량을 알고 있는 덤프트럭을 사용하기도 한다. S

◎ 기술강좌

글 | 박철용 기술개발부 대리 02-3433-7731 이메일 | cypark@ssyenc.com

방음벽의 종류 및 음향설계

교통소음 저감을 위하여 방음벽을 설치하는 방법은 좁은 공간에 설치할 수 있고 시공이 용이하며, 대책효과도 크기 때문에 많이 이용되고 있으나 주변지역과의 조화 및 시각적인 측면이 함께 고려되어야 한다.

1 서론

최근 외국에서 행해진 지역소음조사에 따르면 소음레벨은 매년 1dB 정도의 비율로 증가하고 있으며, 이러한 증가의 주요 원인은 교통량 증가에 기인한 것으로 보고 있다. 따라서 물동량이 급속하게 증가하고 있는 우리의 경우도 신도시 건설이나 신설도로의 주요 환경척도로서 교통소음을 고려하여야 하며, 기존 도로변 지역에 대한 교통소음 저감대책도 적극적으로 강구하여야 할 것이다.

일반적으로 교통소음을 저감할 수 있는 방법으로는 소음원과 수음점 사이의 거리를 늘리는 방법과 도로변 지역에 방음벽, 방음독 등과 같은 차폐물을 설치하는 방법으로 나눌 수 있는데, 전자의 방법은 신설도로의 경우에 적합한 방법이지만 협소한 국토 실정과 토지이용의 극대화 등을 고려할 때 실현되기 어려우며, 특히 도시지역에는 적용하기가 거의 불가능하다. 후자의 방법은 좁은 공간에 설치할 수 있고 시공이 용이하며, 대책효과도 크기 때문에 많이 이용되고 있으나 주변지역과의 조화 및 시각적인 측면이 함께 고려되어야 한다.

2 방음벽의 계획 및 한계

방음벽의 소음감쇠목표는 <그림1>에 나타나 있는 것처럼 음향적인 조건에 의하여 결정되며, 이는 방음벽의 비음향적인 조건과 연계되어 최종적인 디자인이 선택된다. 소음에 의한 피해가 대부분 심리적이므로 감정적인 점을 감안할 때 방음벽 설계의 전과정에 지역주민의 의견이 반영되어야 방음벽의 효과가 극대화될 수 있다.

방음벽의 효과를 개략적으로 살펴보면 소음원과 수음점 사이에 시선을 차단할 정도의 높이로 설치된 방음벽의 감쇠효과는 약 5dB 정도이며, 지표면의 감쇠효과에 의해 1~2dB 정도 부가된다. 대부분의 방음벽은 10dB 정도의 감쇠효과를 얻을 수 있으며, 15dB 이상의 감쇠효과는 기대하기 어렵다. 따라서 저감 목표값이 20dB를 초과한다면 다른 방안을 강구해야 한다. 그리고 방음시설은 수음점에서 음원으로의 기시선을 직접 차단하지 않으면 감음효과가 거의 없기 때문에 도로, 철도 등에 인접한 고층건물의 경우 교통소음을 저감할 수 있는 범위는 아파트의 경우 5층 이하, 기타 건물의 경우 4층 이하로 함이 타당하다. 이 범위까지만 방음벽 등의 방음시설로 소음을 저감하고 그 이상의 고층에 대해서는 건축음향측면 및 교통정책측면에서 문제를 해결하는 것이 합리적이다.

■ 그림 1. 방음벽의 설계과정

