



# 콘크리트 強度推定을 위한 非破壞 試驗方法 MANUAL(Ⅱ)

金 孟 起 譯

(雙龍洋灰工業(株)仁川事業所 品質管理室長)

目	次
1. 序 論	
1. 1 概 說	
1. 2 本書의 目的과 適用범위	
2. 強度推定을 위한 非破壞試驗法	
2. 1 關連하는 研究의 概要	
2. 2 強度推定上의 留意事項	
3. 各種 試驗方法	
3. 1 反發度法(슈미트 함-마法)	
3. 1. 1 總則	3. 2. 4 強度의 推定
3. 1. 2 測定方法	3. 2. 5 結果정리
3. 1. 3 영향因子	3. 3 反發度法과 超音波傳搬速度法의 複合法
3. 1. 4 強度의 推定	3. 3. 1 總 則
3. 1. 5 結果정리	3. 3. 2 測定方法
3. 2 超音波傳搬速度法(音速法)	3. 3. 3 強度推定式의 作成
3. 2. 1 總 則	3. 3. 4 영향因子
3. 2. 2 測定方法	3. 3. 5 強度의 推定
3. 2. 3 영향因子	3. 3. 6 結果정리
	4. 結 論
	付錄 1 DATA SHEET의 一例
	付錄 2 콘크리트 비파괴 시험에 관한 共同 實驗結果

## 3. 2 超音度傳搬速度法(音速法)

### 3. 2. 1 總 則

#### a. 目 的

本方法은 硬化콘크리트中을 전달되는 超音  
度의 縱波傳搬速度(以下 音속이라고 略記한  
다)로부터 콘크리트品質, 특히 압축강도를  
推定하기 위한 것이다.

#### b. 測定原理

콘크리트의 一端에 접촉시킨 測定端子로부터 發振한 초음파 pulse가 콘크리트中을 투  
과해서 對向하는 他端에 접촉시킨 測定端子  
에 도달할 때까지의 소요시간 및 兩端子間의  
거리를 측정해서 音速을 구하고 그 音速値에  
의해 콘크리트의 압축강도를 推定한다.

#### c. 적용범위

(1) 本方法은 콘크리트 공사에서 콘크리트강  
도관리 및 既設구조물중의 콘크리트 강도  
추정을 위한 보조수단으로써 사용한다.

(2) 本方法은 압축강도가 100kgf/cm<sup>2</sup> 이상 600kgf/cm<sup>2</sup> 이하의 건축구조용 콘크리트에 적용하는 것이 目的이다.

[해 설]

a. 目的

콘크리트비파괴 시험법으로서의 超音波傳搬速度法(이하 音速法이라고 한다)은 콘크리트 均質性, 耐久性 등의 판정 및 강도의 推定등에 利用된다.

그러나 콘크리트中の 음속은 뒤에 설명하는 것같이 測定조건, 사용骨材의 種類, 量, 콘크리트 含水상태, 內部철근의 量과 配置 등 많은 요인의 영향을 받기 때문에 음속에 의한 콘크리트 압축강도 精度의 양호한 推定은 곤란한 것이 많다. 다만 주요한 조건이 類似해 있는 경우는 음속과 강도사이에서 거의 일정한 상관이 있으며 어느정도의 강도추정은 가능하다. 그 때문에 음속법에 의한 콘크리트 강도추정에 있어서는 가능한만큼 많은 정보를 입수해서 강도추정에 반영시키는 것이 바람직하다.

b. 測定原理

콘크리트에 밀착시킨 端子에서 發振한 超音波 pulse(20~200KHz의 斷續音波)가 콘크리트中을 지나서 他端의 端子에 가장 빨리 도달한 시간을 구해서 傳搬時間으로 하고 兩端子間의 距離를 구해서 速度를 얻는다.

音速法도 콘크리트中の 音速과 압축강도와의 사이에 一應의 相關이 있다고 하는 경험적 事實에 근거한 것으로서 音速과 압축강도와의 사이에 物理的 法則으로 관계가 맺어진 것과 같은 관계가 있다는 것은 아니다.

c. 適用범위

本方法에는 콘크리트종류, 被測定物의 形狀, 크기 등에 대해서의 적용상 제약은 비교적 적다. 용도로서는 구조체 콘크리트의 品質관리, 거푸집의 제거시기의 決定, pre cast 콘크리트제품 제조공장에서 제조관리, 既設콘크리트 구조물의 콘크리트 강도判定 등을 위

한 보조수단으로서의 活用등이 고려된다.

音速法의 적용강도 범위는 在來의 조사研究 및 위원회에서 공동실험 등의 결과를 정리해서 反發度法에 합치시켜서 100~600kgf/cm<sup>2</sup>을 보는 것으로 하였다.

3. 2. 2 測定方法

a. 測定器

측정기는 本體 및 端子(발진자 및 수신자)로 되고 필요에 따라 외부 유닛으로서 오지 로스코프 혹은 앰프를 추가구성해도 좋다.

(1) 本體 : 電源同調回路 및 時間측정장치를 주구성 요소로 한다.

(2) 端子 : 端子는 水晶, 티탄산바륨, 그이의 것을 사용한 振動子(發振子 및 受振子)로 하고 주파수는 20~200KHz로 한다. 通常은 50~100KHz의 주파수를 표준단자로 한다.

b. 測定器의 校正

측정에 앞서 計器의 교정을 한다. 교정의 方法은 각 기종의 취급설명서에 따른다.

c. 測定對象

측정대상 콘크리트는 下記의 조건을 만족하여야 한다.

(1) 측정거리(端子간 거리)는 원칙으로써 10cm이상으로 한다.

(2) 端子가 접촉하는 콘크리트면은 平滑하게 한다.

(3) 對向하는 면에서의 측정(倂接法)이 가능한 위치로 한다.

(4) 鐵筋콘크리트에 있어서는 원칙으로써 철근 음속으로의 영향을 받지 않는 위치로 한다.

d. 測定개소

(1) 측정대상 部材는 柱, 보, 壁, 床, 기초의 어느 것도 좋지만 計測이 가능하고 한편으로 對象으로 하는 콘크리트 품질을 잘 대표하는 部位를 선정한다.

(2) 콘크리트 표면에 마무리材가 있는 경우 가능한 이것을 제거해서 측정을 한다.

(3) 코아 공시체를 채취하는 경우 채취에 앞서서 반드시 채취개소의 음속을 측정하며 채취후에도 코아공시체의 음속을 측정해서 比較검토한다.

e. 測定數

측정점은 가능한한 많이 선정하고 한편으로는 동일개소마다 2개이상 측정을 해서 그 평균치를 그 개소의 측정치로한다.

f. 測定要領

(1) 측정에 앞서 대상으로 하는 콘크리트에 관한 자료(재료, 調合, 재령, 양생履歷, 내부철근, 함수율 등)을 가능한한 收取해서 측정목적 및 결과검토시 판단자료로 한다.

(2) 특정의 수준은 이하와 같다.

(i) 측정 10~30분전에 측정기의 전원을 넣고 충분히 안정한 상태로 해둔다.

(ii) 0점 조정을 한다. 동시에 표준시험편을 사용해서 교정을 하는 편이 바람직하다.

(iii) 측정대상면에 구리스, 고행파라핀 등의 密着材를 바르고 端子를 대고 약간 힘을 가한다.

(iv) 端子를 댄 상태에서 계기의 受振信號가 安定하는 데까지 기다려 有效數字 3 자리를 읽어서 傳搬시간으로 한다.

(v) 傳搬거리를 有效數字 3자리로 구한다.

(vi) 測定後 필요에 의해서 콘크리트면에 남은 구리스, 파라핀 등은 형검으로 닦아 깨끗이 청소한다.

間軸의 發, 受振時의 시간차를 다이알에 의해서 읽기 위한 主構成部인데 디지털 타입에서는 단지受振波의 波形을 보기 위한 용도로 사용되며 측정에 있어서의 보조構成部로 현재시판의 機種은 거의 後者의 type이다.

(2) 端子는 水晶 등의 結晶物質을 鋼片으로 끼운 형식이 거의이고, 電子변형에 의해 起振한다.

端子의 고유주파수는 結晶의 크기에 의존하기 때문에 고주파 端子만큼 小型이다. 市販 측정기는 機種에 따라 약간 다른데 대략 50KHz의 주파수 端子를 표준으로 하는 것이 많다.

b. 測定器의 교정

현재시판의 측정기는 100V전원의 주파수에 대한 교정(Calibration) 조작은 不要하지만 機種間 또는 測定器, 端子의 온도에 따라 무시할 수 없는 오차를 발생시키는 것이 있다. 이 경우 0점 조정만으로는 반드시 충분한 교정을 할 수 없기 때문에 온도 등의 영향을 받기 어려운 물질을 사용한 試驗片에 의한 교정을 할 필요가 있다. 측정기에 따라서는 표준 試驗片을 부속품으로서 붙여 있는 것도 있는데 적극 이것에 의한 Check를 하는 것이 바람직하다.

c. 測定대상

(1) 50KHz의 周波數 端子에서 측정하는 경우 콘크리트중의 縱波전반속도를 대략 4km/s로 하면 波長은 8cm정도로 된다. 측정거리가 이것보다 적어지면 정확한 음속의 측정은 곤란하게 된다. 그 때문에 여기서는 被測定 콘크리트의 最小 크기를 원칙적으로 10cm로 하였다. 다만 10KHz의 주파수 端子를 사용하는 경우는 파장은 약 4cm로 되고 被測定部의 最小 크기는 약 5cm로 된다. 測定길이 길어지면 音波의 減衰에 따라 受信波形的 不明確하게 되며 측정오차가 크게 된다.

(2) 測定대상은 端子의 振動面(대략 직경 5~8cm의 平面)이 흡착하는 것에 충분한

[해 설]

a. 測定器

(1) 현재 日本에서 시판되고 있는 측정기의 概要를 表 3. 2. 1에 제시한다. 機種의 개발목적에 따라 輕量, 小型의 Portable의 것, 약간大型으로 精密測定을 目的으로 한 것의 그 종류로 분류되며 일반적으로 前者는 直流, 交流전원의 쌍방이 가능하며 本體에 오지로스스코프를 갖고 있지 않는 Type이 많다.

오지로스스코프는 수동식의 것에서는 時

表 3. 2. 1 主要超音波 측정기

各 種	ультратетсонископ MIN 3335型 (마루이)	ультратетсонископ MIN 1105型 (마루이)	KLD-780 (神奈川電氣)	ソナー KH-751型 (協榮社)	PUNDIT C.N.S (Instrument LTD)
時 間 表 示	3けたデジタル	3けたデジタル	4けたデジタル	5けたデジタル	3けたデジタル
最小讀取り時間	1 $\mu$ s	0.1 $\mu$ s	0.1 $\mu$ s	0.1 $\mu$ s	0.1 $\mu$ s
時間測定範圍	1~10000 $\mu$ s	0.1~1000 $\mu$ s	0.1~999 $\mu$ s	0.1~10000 $\mu$ s	0.1~10000 $\mu$ s
時間測定基準	10MHz水晶	10MHz水晶			10MHz水晶
브 라 운 管	5 in 線	5 in 線	別注	5 in 線	なし
標準振動子	50KHz	50KHz	50KHz	50KHz チルコン酸チタン酸鉛	50KHz チルコン酸チタン酸鉛
横波測定	可能	可能	可能	可能	可能
透過測定能力	0~8m	0~8m	0~8m	0~8m	0~15m
기 타	手動計測	自動・手動切換 스위치 부착	測定間距離를 入力하 면 高速이 表示된다.	自動・手動切換 스위치 부착	小型輕量化된 電源도 充電方式
寸 法 (cm)	40×40×20	40×40×20	25×19×40	42×43×18	18×11×16
重 量 (kg)	約10	約10	約10	約10	3.2

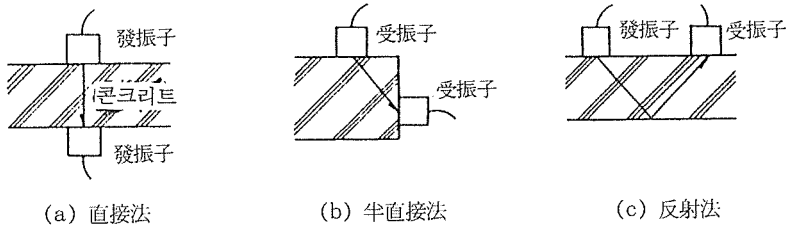


그림 3. 2. 1 音速 測定法

평탄面으로 한다. 평탄面이 아닌 경우 혹은 접촉면에 砂粒 등을 끼운 경우는 그부분에서 음파의 감쇠가 현저하고 측정곤란하게 된다. 이 경우 구리스, 固形, 피라핀 등을 공극에 충전해서 減衰를 억제해서 측정하는 것도 가능하지만 그 密着材에 의한 音速의 低減效果에 의해 반드시 精確한 측정치는 얻을 수 없다.

(3) 測定法으로서는 그림 3. 2. 1과 같이 (a) 直接法, (b) 半直接法, (c) 反射法

이 있다. 이러한 경우 半직접법은 초음파의 指向性때문에 일반적으로 受振이 곤란하고 또한 發, 受振子의 크기와의 관계에서 被測定 거리를 特定하기 어려워서 精確한 特性치를 얻기가 어렵다. 또한 反射法은 音波의 減衰가 크기때문에 音波의 入力레벨을 높이고 또한 受振側에 증폭기를 접속하는 등에 의해 측정을 하게 되지만 일반적으로는 직접법 보다는 측정이 곤란하기 때문에 표준방법으로서는 권장하기 어렵다.

직접법은 콘크리트中の 超音波의 透過를 對向하는 面에서 測定하는 方法으로서 측정의 明確함 및 測定精度의 점에서 가장 우수하며 여기에서는 일단 直接的을 대상으로 하는 것으로 하였다.

d. 측정개소

(1) 측정부위는 조사목적에 따라 적절히 선택하게 된다. 통상의 측정개소의 선정에 있어서는 以下와 같다.

- ① 柱는 단면의 중앙부에서 한편으로 는 타설의 上部, 中央部의 3개로 한다.
- ② 보는 단면의 중앙부에서 端部, 中央部 2개소로 한다.
- ③ 壁, 床은 平面的인 중앙부와 端部 2개소로 한다.
- ④ 기초의 경우는 上記에 준해서 形狀에 따라 적절히 선정한다.

(2) 마무리 材는 부재크기에 대해서 충분히 적은 경우(예를들면 철두께가 測定長에 대해서 1/20以下)는 그 영향을 무시 할 수 있지만 音速測定精度를 향상시키기 위해서는 極력 이것을 제거하는 것이 바람직하다.

(3) 콘크리트 코어를 채취하는 경우 반드시 同一箇所의 音波測定을 한다. 코어의 압축강도와 音速值를 對比해서 音速-강도 관계식 또는 상관도표의 작성을 할 수 있다.

(4) 鐵筋콘크리트의 경우, 예를들면 그림 3. 2. 2에 제시한 것과 같이 柱의 측정시에 帶筋 등과 같이 측정방향에 동일 방향의 철근은 音速에 현저한 영향을 미친다. 그러나 軸方向筋과 같이 측정 방향에 대해서 직각인 철근을 통상철근 콘크리트 정도의 철근비라면 철근 콘크리트 음속치에 미치는 영향은 무시할 수 있다.

實施구조물의 측정에 있어서 철근 위치가 명확하지 않은 경우는 鐵筋探知器

등을 사용하던가 또는 측정위치를 예를 들면 2~3cm 씩 비켜 옮겨 수개소의 측정을 한다. 일반적으로는 철근 위치에서 음속치가 크게 되는것을 이용해서 철근 위치의 확인 및 정확한 콘크리트 음속치를 얻도록 유념하여야 한다.

e. 測定數

(1) 測定點數는 측정의 목적에 따라 다르지만 가능한 많은 쪽이 좋다. 試案을 表 3. 2. 2에 제시한다.

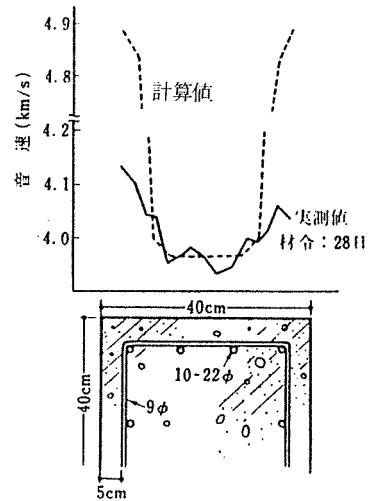


그림 3. 2. 2 鐵筋 콘크리트 柱의 音速測定 結果

表 3. 2. 2 音速測定의 一例

目的	測定箇所, 測定數
既存 構造物의 耐力診斷	各 階(각 타설 구간)마다 대표적인 3~7部材를 선정해서 각각 2개소를 측정한다. 코어 보정을 하는 경우 同一箇所를 측정한다.
공사관리 및 PC 제품 제조관리	Lot를 想定하고(예를들면 1타설 구간, 또는 오전, 오후의 타설부분) 각 Lot로부터 적어도 3部材를 선정해서 1部材에 마다 2개소 측정한다.

### 3. 2. 3 영향인자

콘크리트中の 音速과 압축강도와와의 관계는 다음에 제시한 各種의 영향인자에 의해 相違하다. 강도 추정精度를 향상시키기 위해서는 극력 이러한 因子에 관한 정보를 입수시켜 강도의 추정에 반영시키는 것이 바람직하다.

- (1) 콘크리트 재료, 調合, 재령 등에 기인하는 것 : 골재의 종류, Cement량, 골재량, 재령 등
- (2) 측정部位의 상태에 기인한 것 : 콘크리트 표면의 狀況, 콘크리트의 함유율, 크랙, 공극 등
- (3) 내부철근의 狀況에 기인하는 것 : 철근량, 철근方向 등
- (4) 측정기기 및 측정요령에 기인하는 것 : 周波數, 사용시 溫度, 端子접촉 요령 등

#### [해설]

(1) 콘크리트의 材料, 材齡 등에 기인하는 것  
콘크리트의 음속과 압축강도와와의 관계는 그림 3. 2. 3에 제시한 것과 같이 콘크리트의 調合에 따라 달라지는 것 외에 사용재료, 특히 골재품종에 따라서도 相違하다. 그때문에 콘크리트 강도추정에 있어서는 극력 이러한 정보를 입수해서 검토하고 강도추정精度의 향상을 도모하여야 한다.

① 골재 특히 粗골재의 石質은 音速과 강도와와의 관계에 영향을 준다. 예를들면 石灰岩質의 골재를 사용한 콘크리트는 安山岩質의 골재를 사용한 것보다도 동일강도의 경우 音速은 크다.

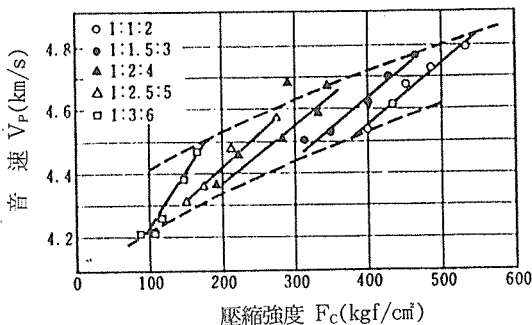


그림 3. 2. 3 압축강도  $F_c$ 와 音速  $V_p$ 의 관계

② 콘크리트의 調合이 다르면 그림 3. 2.

3에 볼 수 있듯이 동일 콘크리트강도에서도 음속은 다르다. 또한 粗骨材량이 증가하면 일반적으로 콘크리트강도는 저하하는데 音速은 증대한다.

③ 3개월이상 장기재령이 되면 콘크리트 강도의 증대에 비해서 音速의 증가는 그것만큼 아니며 또한 강도의 증대가 거의 없는 경우에는 음속은 저하경향을 나타내는 것이 있다. 이것은 콘크리트 내부의 함유 水分의 變化, 미세크랙의 발생 등의 영향이라고 생각된다.

(2) 測定部位의 상태에 기인하는 것

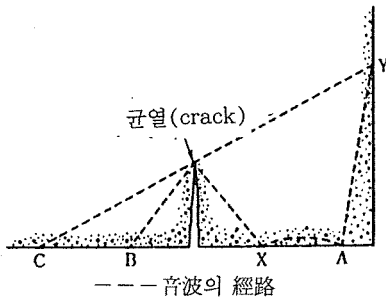
① 콘크리트 표면에 砂粒과 먼지 등이 있는 경우 音波의 減衰가 현저해서 受振 Pulse의 誤讀 또는 測定不能의 원인으로 된다. 측정면은 가능하면 거푸집 面으로 하는 것이 바람직하며 표면이 거친 경우에는 研磨하던가 充填劑(類以 調合의 Motar 등)을 얇게 바르고 平滑하게 할 필요가 있다.

② 콘크리트중의 함유 水分은 음속에 큰 영향을 미치며 습윤상태에 있는 것 만큼 음속은 크게 된다. 渡邊은 공시체 표면 건습에 의한 음속의 변화는 볼 수 없지만 함유율의 大小에 따라 音速은 변화하며 함유율 1%의 증감에서 음속은 50~60m/s 증감한다고 보고하고 있다. 또한 野崎는 함유율 1%의 증감에 따라 음속은 약 90m/s 정도 증감한다고 하고 있다.

③ 콘크리트중에 큰 균열(crack)과 공극이 있을 때 그림 3. 2. 4에 제시한 것과 같이 초음파는 이러한 것을 우회해서 傳搬하기 때문에 결보기의 음속은 적게 된다. 미소 공극이 있는 경우도 이러한 것의 수가 증가하는 만큼 음속은 적게 되는 傾向이 있다.

(3) 内部鐵筋의 狀況에 기인하는 것

鋼材中の 음속은 약 5.1km/s이며 콘크리트 음속보다 크다. 이때문에 鐵骨鐵筋 콘크리트 構造部材와 같이 음파의 傳搬經路中에 多量의 鋼材가 함유되었을 때의 음속은 그



<그림 3. 2. 4> 表面 크랙의 測定

림 3. 2. 2와 그림 3. 2. 5에 제시한것과 같이 크게 된다. 다만 통상의 철근 콘크리트 部材와 같이 음파의 傳搬經路中에 함유된 鋼材量이 적은경우에는 철근의 영향은 무시할 수 있다.

(4) 측정機器 및 測定要領에 기인하는 것

- ① 적용주파수가 큰만큼 음파의 指向性 (확산하지 않고 특정 방향에 직진하는 성질)은 向上하지만 減衰가 크게 된다. 건축용 콘크리트의 경우 200KHz이상이 되면 측정이 곤란하게 되고 20KHz이하에서는 指向性이 저하해서 어느것도 음속측정 정도의 저하로 이어진다.
- ② 측정기 本體 및 端子의 溫度는 측정치에 영향을 미치기 때문에 측정중 이러한 온도가 輕時的으로 變化하는 염려가 있을 때는 기기의 조정을 빈번히 할 필요가 있다. 또한 측정기를 추운곳에서 외부에 방치하거나 또는 하절기에 직사광선과 함께 방치하면 고장의 원인으로 되기 쉽기 때문에 주의할 필요가 있다.
- ③ 端子(發·受振子)와 콘크리트면의 접촉이 적당하지 않은 경우는 受振이 곤란하기도 하고 측정오차를 동반하는것이 있다. 이때문에 측정면에 구리스 등을 발라서 端子를 壓着시키는데 그때의 구리스 등의 두께는 적은쪽이 좋으며 1mm이하의 두께라면 음속측정치에 미치는 영향은 거의 무시할 수 있다. 또한 端子를 콘크리트에 壓着시킬때의 누르는 압력(사람

의 손에 의한 경우)에 의해  $\pm 0.25\mu\text{s}$  정도의 差異가 생긴다.

### 3. 2. 4 強度의 推定

#### a. 音波의 算定

實測한 超音波 Pulse의 傳搬시간  $t$  및 被측정길이  $L$ 을 사용해서 다음식에 따라 음속  $V_p$ 를 구한다.

$$V_p = L/t \text{ km/s 또는 m/s}$$

#### b. 強度의 推定

(1) 품질관리를 목적으로 한 구조체 콘크리트의 압축강도 推定

① 구조체 콘크리트의 해당개소에서 음속을 측정하고 미리 구해둔 음속과 압축강도와의 관계도표, 또는 관계식을 사용해서 압축강도를 推定한다.

② 이 경우의 음속과 압축강도와의 상관도표 또는 관계식은 강도를 추정하고자 하는 콘크리트와 동일한 調査를 포함하는 3종류의 강도調査의 콘크리트 공시체를 작성하고 이러한 음속과 압축강도를 측정해서 구하는 것을 원칙으로 한다.

③ 강도를 추정하고자 하는 콘크리트와 동일한 材料가 얻어지지 않는경우 가능한한 그것에 가까운 材料를 사용한 콘크리트를 사용해도 좋다.

④ 上記 ①에 따라서 콘크리트 강도를 추정할 때에는 구조체 콘크리트의 材齡, 含水狀態, 鐵筋의 有無 및 내부결합을 고려해서 判定하는 것을 원칙으로 한다.

(2) 耐力診斷을 목적으로 한 既設 콘크리트의 압축강도 推定

① 구조체 콘크리트의 해당개소에서 測定해서 미리 구하여둔 음속과 압축강도와의 상관도표, 또는 關係式을 사용해서 압축강도를 추정한다.

② 이 경우 음속과 압축강도와의 상관도표, 또는 관계식은 미리 해당구조물에서 채취한 콘크리트 코아에 대한 實驗結果에 근거해서 작성한다. 채취가능한 코아의 個數가 적고, 한편 被測定 구조물의 콘크리트 材料, 調査, 材齡 등의 主要조건이 既和의 경우에는 그 조건에 비슷한 신뢰가능한 자

료를 코아시험 결과에 근거해서 수정한 것을 사용해서 강도를 推定해도 좋다.

- ③ 上記 ①, ②에 의한 구조체 콘크리트의 강도를 추정할 때에는 구조체콘크리트의 材畧, 含水狀態, 鐵筋의 有無 및 내부결합을 배려해서 判定하는 것을 원칙으로 한다.

[해설]

a. 音速의 算定

콘크리트中の 音速은 本文의 式(3. 2. 1)과 같이 傳搬시간과 計測거리로부터 구하는데 그 有効數値는 3자리까지로 한다. 또한 음속은 超音波가 半無限體中을 傳搬한다고 하면 動彈性계수와 밀접한 관계에 있는 것이므로 需要가 있다고 動彈性계수를 다음식에 의해서 구하는것도 가능하다.

$$E_d = \frac{V_p^2 \cdot \rho(1+V_d) \cdot (1-2r_d)}{g(1-\mu d)}$$

단,  $V_p$  : 音速(cm/s)

$E_d$  : 動彈性係數(kg/cm<sup>2</sup>)

$r_d$  : 重포아손비

$\rho$  : 比重(밀도)(kg/cm<sup>3</sup>)

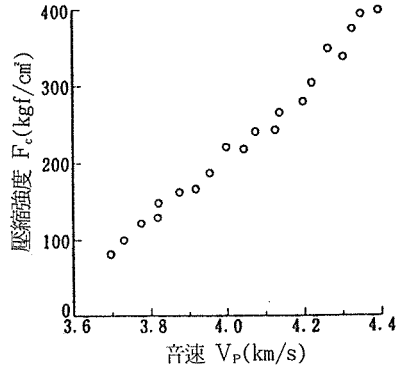
$g$  : 중력 加速度(980cm/s<sup>2</sup>)

b. 강도의 推定

超音波法에 의해서 콘크리트 강도를 추정하는 경우 앞의 3. 2. 3「영향인자」에서 설명한 것 같이 測定機器, 測定方法, 콘크리트의 材料, 調合, 材畧 및 측정대상에 따라서 音速이 變化하기 때문에 음속과 강도와의 사이에는 반드시 직접적인 상관이 있다는 것이 아니고 오히려 편차가 큰것으로 된다. 그러나 사용기기, 주파수, 측정방법 등이 類似하고 콘크리트의 사용재료(특히 石質과 量), 調合, 材畧, 含水상태 등 주요조건이 비슷해 있다면 兩者 간에는 대략 比例관계를 볼 수 있다.

(1) 품질관리를 목적으로 한 구조체 콘크리트의 압축강도의 推定

- ① 예비실험 또는 혼합시험에 의한 音波와 강도와의 相關係數구하는 방법
- ② 실제로 사용한 調合과 동일 재료



<그림 3. 2. 6> 音速  $V_p$ 와 압축강도  $F_c$ 의 相關그림의 例

를 사용하고 특히 단위 粗骨材量은 JASS 5의 표준범위를 크게 변화시키지 않은 것으로 한다.

- ㉠ 콘크리트의 물-시멘트比는 계획 調合의 前後(W/C±5~10% 정도)의 3種 이상으로 변화시킨다.
- ㉡ 供試體의 크기는  $\Phi 10 \times 20$ cm 또는  $\Phi 15 \times 30$ cm의 圓柱體로 한다.
- ㉢ 供試體의 個數는 동일 調合, 동일 材畧마다 3개 이상으로 한다.
- ㉣ 양생방법 및 재령은 필요로하는 所定의 콘크리트에 대해서 정한다. 다만 측정 때에는 콘크리트 含水상태를 함께 측정한다.
- ㉤ 측정된 공시체의 음속과 압축강도에서 그림 3. 2. 6과 같은 相關그림 또는 下記와 같은 강도 추정식을 작성한다.

$$F_c = k_1 V_p + C$$

$$F_c = k_1 V_p + k_2 V_p^2 + C$$

$$F_c = k_1 V_p k_2$$

단,  $F_c$  : 압축강도(kgf/cm<sup>2</sup>)

$V_p$  : 音速(km/s)

$k_1, k_2, C$  : 實驗定數

- ② 예비실험 또는 혼합시험을 하지 않은 경우의 相關係數 구하는 방법  
利用하는 공시체는 實施예정의 계획 調合에 가까운 재료로, 同種의 콘크리트를 대상으로 한다. 더욱이 해당



현장에서 作成한 품질관리용 공시체의 結果도 추가해서 相關性을 향상시킨다.

③ 上記 ①과 ②의 方法에 의한 구조체 콘크리트의 강도추정

㉠ JASS 5T-603(구조체 콘크리트의 강도추정을 위한 압축강도 시험方法)에 따른 공시체에서 音速을 구해서 앞의 상관도에 연결해서 강도를 추정한다. 다만 추정에 있어서는 콘크리트의 함수율을 고려한다.

㉡ 콘크리트 面에 超音波의 端子를 붙여서 音速을 구하고 앞의 상관도에 연결해서 강도를 추정한다. 다만 콘크리트의 함수율, 철근의 有無 및 내부결함(균열, 공극 등)이 변하는 경우는 3. 2. 3의 영향인자를 참조해서 추정강도를 보정한다.

㉢ 이러한 결과는 거푸집의 해체시기의 決定, 寒中콘크리트의 養生중단 時期의 결정 및 구조체 콘크리트의 28日강도 추정 등의 보조수단으로 해서 사용한다.

㉣ 이러한 方法은 PC板의 脫型時 강도 또는 所要강도 추정에 적용 가능하다.

(2) 耐力진단을 目的으로한 既設콘크리트의 압축강도 推定

① 既設구조물은 통상 그 調査(특히 粗骨材의 石質, 물시멘트比, 양생 등), 施工조건, 경과년수 등 건물의 履歷이 불명확한 경우가 많기때문에 最小限도의 코아를 채취해서 그 음속과 강도와의 관계를 구해서 기존의 자료와 類似한 相關 그림에 연결해서 적합성을 확인한다.

② 코아채취가 곤란한 경우는 추정하고자 하는 구조체 콘크리트의 調査分析

(물, 시멘트비, 粗骨材의 石質 등)을 하고 기존의 자료와 유사한 상관도에 연결해서 適合性을 확인한다.

③ 耐力진단의 강도추정은 (2)의 ①에서 설명한 것과 같이 불명확 점이 많고 研究資料도 적기때문에 추정강도 레벨을 50kgf/cm<sup>2</sup> 정도의 대략치로 하고 이 値로부터 설계기준 강도의 合不판정 또는 강도추정을 하는 편이 좋다.

3. 2. 5 結果의 정리

<p>報告書에는 下記の 事項中  필요한 것을 기재한다.</p> <p>(1) 測定對象物의 명칭</p> <p>(2) 측정 년 월 일</p> <p>(3) 測定者</p> <p>(4) 콘크리트의 타설 년 월 일 및 材令(양생조건)</p> <p>(5) 콘크리트 調査</p> <p>(6) 사용 재료</p> <p>(7) 거푸집의 종류와 콘크리트의 표면상태</p> <p>(8) 측정기의 종류와 검정결과</p> <p>(9) 측정위치와 측정방향</p> <p>(10) 傳搬시간, 거리 및 음속</p> <p>(11) 함수상태와 철근의 유무</p> <p>(12) 콘크리트강도와 코아강도</p> <p>(13) 강도추정식과 추정강도</p> <p>(14) 結果의 判定</p>
--

[해설]

보고서에는 일반事項, 측정조건, 추정강도등 필요하다고 생각되는 項目을 기재하는 것으로 하였다. 다만 상황에 따라서 적당히 생략해도 좋다. 附錄 1에 Tata Sheet의 例를 제시한다.

3. 3 反發度法과 超音波傳搬速度法의 複合法

3. 3. 1 總則

a. 目的

本方法은 反發度法(슈미트 합-方法)에 의한 反發度和 超音波傳搬속도법(이하 음속법으로 略記)에 의한 縱波傳搬속도(이하 음속이라고 略記)의 측정치를 併用해서 콘크리트의 압축강도를 추정하는 것을 목적으로 한다.

b. 적용범위

- (1) 本方法은 콘크리트 공사에서 콘크리트 강도의 관리 및 既設구조물중의 콘크리트 강도추정의 보조수단으로 해서 사용한다.
- (2) 本方法은 압축강도가 100kgf/cm<sup>2</sup> 이상 600kgf/cm<sup>2</sup> 이하의 건축구조물용 콘크리트에 적용한다.

[해설]

a. 目的

콘크리트의 압축강도를 推定하기 위하여 2종류 이상의 非破壞시험법을 조합시켜 사용하는 소위 複合非破壞 시험법(Combined Non-Destructive Testing Methods)은 最近 유럽을 中心으로 하는 2~3개국에서 規準化되고 있다. RILEM(국제재료 구조시험 연구기관 연합)에서도 1976년 이 방법에 관한 국제지침을 작성하기 위한 위원회(CNDT위원회)를 설치해서 1980년에는 제 1차 指針案이 제시되었다.

RILEM지침안에서는 複합비파괴시험법의 종류로서 下記의 것을 권하고 있다.

(1) 2種類 시험치의 複합방법

- ① 縱波속도+反發度
- ② 縱波속도+表面凹凸量
- ③ 縱波속도+뽑기력
- ④ 縱波속도+共振周波數
- ⑤ 縱波속도+음파減衰
- ⑥ 縱波속도+構波속도
- ⑦ 反發度+표면凹凸量
- ⑧ 反發度+뽑기력

(2) 3種類的 시험치 複합방법

- ① 縱波속도+反發度+뽑기력

- ② 縱波속도+反發度+音波의 減衰
- ③ 縱波속도+反發度+V선의 減衰
- ④ 縱波속도+初動波의 기울기+縱波의 반사시간

上記의 경우 현재 가장 많이 사용되고 있는 方法은 (1)의 ①에 제시한 縱波속도와 反發度의 複합법이며 RILEM의 CNDT위원회에서도 이 調合法에 대해서 指針案을 작성하고 있다. 本 위원회에서도 實用性和 강도推定 精度를 고려해서 이 方法으로 限定해서 Manual을 작성하는 것으로 하였다.

또한 前述의 反發度法과 음속법이 강도 추정이외에 콘크리트의 均質性의 判定과 조기재령에서 콘크리트의 품질관리 등에도 적용되는 것에 대해서 本方法은 오로지 콘크리트 압축강도 추정에 적용된다. 複合 비파괴시험법에 의한 강도추정은 콘크리트 압축강도와 일정한 상관을 갖는 各非破壞시험치를 강도추정식중에 順次變數로서 추가해 가는 것에 의해 강도의 推定精度는 向上한다라고 하는 前提에 근거하고 있다. 後述의 루마니아 지침에 의하면 이 방법에 의한 강도추정 精度는 以下에 제시한 정도이다.

- ① 콘크리트 타설시에 동시 作成한 공시체 또는 코아가 있는 경우 : ±10~15%
- ② 調合이 既知의 경우 : ±15~20%
- ③ 供試體가 없고 調合도 불명확한 경우 : ±20~30%

또한 Fâcâoarua는 여러 種의 구조체 콘크리트에 이 方法을 적용한 결과 강도의 推定 오차는 -13~+15%이었다고 報告하고 있다.

3. 3. 2 測定方法

a. 反發度 및 음속의 測定은 각각 3. 1 및 3. 2에 기재 方法에 따른다.

- b. 동일개소에서 反發度와 음속을 측정하는 경우는 원칙적으로 반발도의 측정을 먼저한다.
- c. 재형이 1년이상의 장기재령하에 있는 콘크리트의 압축강도를 추정하는 경우는 반드시 코아 시험을 병행시켜서 한다.

[해 설]

- a. 反發度 및 音速은 3. 1 및 3. 2에 기재된 方法에 따라 측정하고 강도추정에는 각 측정개소마다의 평균치를 사용한다.
- b. 동일개소에서 측정되어 있는 음속 측정시에 구리스 등을 사용하는 것을 고려해서 원칙적으로 反發度의 측정을 우선으로 한다. 또한 경량 콘크리트의 경우 함-마의 타격에 의해 콘크리트 표면에 균열이 생길 우려가 있을 때는 음속의 측정위치를 조금 이동한다.
- c. 장기재령하의 콘크리트에서는 복합 비파괴시험법을 사용해도 그것만큼 양호한 강도추정精度를 기대할 수 없기때문에 반드시 뽑은 코아의 압축시험을 해서 재령에 따른 강도보정을 한다 (3. 3. 5 참조).

또한 코아시험은 JIS A 1107의 규정에 따른다.

3. 3. 3 강도 추정식의 작성

- a. 總則
 

反發度와 음속을 併用해서 콘크리트 압축강도를 추정하기 위한 式은 實驗者 스스로가 미리 一連의 실험을 해서 작성하는 것을 原則으로 한다.
- b. 實驗要領
  - (1) 실험에는 사용재료, 調合 등이 조사대상으로하는 콘크리트의 그러한 것에 가까운 범위의 콘크리트를 사용한다.
  - (2) 反發度 및 音速의 측정은 원칙으로 斷面 크기가 15cm 이상의 立方體를 사용하고 압축강도 측정에는  $\phi 10 \times 20\text{cm}$  또는  $\phi 15 \times 30\text{cm}$ 의 圓柱體를 사용한다.
  - (3) 供試體의 個數는 反發度, 音速측정용,

압축강도용 모두 동일 調合比 및 동일재령마다 3개 이상으로 한다.

- (4) 콘크리트의 물시멘트比는 3種 이상으로 變化시킨다.
- (5) 양생방법 및 재령은 조사 대상으로 하는 콘크리트의 양생상태 및 재령을 참고해서 정한다.

c. 強度推定公式

강도 추정 공식으로서의 다음과 같은 아래의 어느쪽을 사용해도 좋다.

$$F_c = k_1 R + k_2 V_p + C$$

$$\text{Log} F_c = k_1 R + k_2 V_p + C$$

단,  $F_c$ : 압축강도  $V_p$ : 音速

$R$ : 反發度  $k_1, k_2, C$ : 실험정수

물시멘트比, 粗骨材의 최대치수 등이 既知인 콘크리트에 있어서는 上式에 이러한 요인을 變數로서 추가한 式을 사용할 수 있다.

d. 實驗 정수의 決定

실험에 의해서 얻어진 實測 Data를 式

(3. 3. 2)에 대입해서 정리하여 式中の 실험정수를 정한다.

[해 설]

a. 總則

複合非破壞試驗法에 의한 콘크리트의 강도推定式으로서의 各種의 것이 提案되고 있는데 本 Manual에서는 實驗者 스스로가 調査 대상으로 하는 콘크리트와 類似한 콘크리트 供試體를 사용해서 一連의 실험을 하고 개개의 狀況에 맞춘 강도추정식을 作成하는 것을 原則으로 하였다. 그 理由는 3. 3. 4에서 설명한 것과 같이 강도추정식중의 各實驗定數의 值가 Cement 種類, 사용骨材의 岩質, 骨材 최대치수, 콘크리트 調合比 등에 따라서 微妙하게 變化하고 모든 콘크리트에 적용 가능한 일반적인 式을 提示하는 것이 어렵기 때문이다.

b. 實驗要領

비교적 조기재령하에 있는 콘크리트에서는 使用材料, 調合, 양생상태, 材齡 등이 既知의 경우가 많기 때문에 實驗者 스스로가 미리 조사대상의 콘크리트와 類似의 콘크리트를 사용해서 強度推定式을 作成해 두는 것은 比較的

표 3. 3. 1 式(3. 3. 1)~式(3. 3. 5)에 의한 콘크리트 강도의 추정精度

式番號	$k_1$	$k_2$	$k_3$	C	CR	$\Delta CR^2$
(3. 3. 1)	15.46	—	—	-192.7	0.784	0.615
	—	172.5	—	-499.6	0.545	0.297
	15.01	161.8	—	-844.1	0.936	—
(3. 3. 2)	0.0345	—	—	1.3910	0.788	0.620
	0.335	0.3579	—	-0.493	0.938	0.259
(3. 3. 3)	—	—	0.0019	15.61	0.849	0.721
	0.2537	—	0.0017	11.36	0.849	0.001
	0.2537	0.0000	0.0017	11.36	0.849	0.000
(3. 3. 4)	—	0.0076	—	0.0798	0.874	0.800
	—	0.0041	0.0001	0.8149	0.895	0.001
	0.0000	0.0041	0.0001	0.8149	0.895	0.000
(3. 3. 5)	-0.0019	—	—	0.0707	0.818	0.670
	-0.0066	0.0001	—	0.1296	0.835	0.028
	-0.0066	0.0001	0.0000	0.1296	0.835	0.000

[記 號]  $k_1$ : 反發度の 계수,  $k_2$ : 音速의 계수,  $k_3$ : 물·시멘트비의 계수

C: 定數項, CR: 重相關係數,  $\Delta CR^2$ : 기여율

容易하다. 다시말해서 거푸집의 脫型時期의 判定과 Precast 콘크리트工場에 대한 콘크리트 강도의 管理등에는 이 방법은 有效하게 利用되는 것이라고 생각된다. 또한 이 方法의 큰 利點의 하나는 재령 3개월 以下와 같은 비교적 조기재령에서 콘크리트 강도추정에 있어서 양생방법과 재령의 영향이 무시될 수 있다는 점이다. 한편 長期材令下의 콘크리트에 있어서는 使用재료의 품질과 調合比가 불명확한 경우가 많다. 이와같은 콘크리트에서는 複合비 파괴 시험법을 사용해도 그다지 양호한 강도 추정精度를 기대할 수 없다. 그러므로 이 경우는 반드시 코아의 압축시험을 해서 推定強度를 補正한다. 또한 압축시험후의 콘크리트 시료를 사용해서 化學分析을 해서 물시멘트比, 기타의 調合比, 粗骨材의 최대치수 등을 파악 가능하다면 강도推定精度는 더욱 향상시킬 수 있다.

c. 強度推定公式

反發度 R과 音速  $V_p$ 를 併用한 압축강도  $F_c$ 의 推定式으로서는 式(3. 3. 1)과 式(3. 3. 2)이외에도 다음과 같은 各式이 提案되고 있다.

$$F_c = V_p(k_1R + k_2R^2 + k_3R^3 + C) \dots (3. 3. 3)$$

$$F_c = \rho V_p^2(k_1R + k_2R^2 + k_3R^3 + C) \dots (3. 3. 4)$$

$$F_c = \frac{V_p}{k_1R + k_2R^2 + k_3R^3 + C} \dots (3. 3. 5)$$

단,  $\rho$ : 콘크리트比量

$k_1, k_2, k_3, C$ : 실험定數

물시멘트比 W/C, 粗骨材의 최대치수  $\phi_a$ , 粗骨材體積混入率  $V_a/V_c$ 등이 既知의 경우에는 式(3. 3. 1)~式(3. 3. 5)등에 이러한 要因을 變數로서 추가한 式을 사용할 수 있다.

예를들면 式(3. 3. 1)은 다음과 같이 된다.

$$F_c = k_1R + k_2V_p + k_3(W/C) + k_4\phi_a + k_5(V_a/V_c) + C \dots (3. 3. 6)$$

이와같이 變數를 증가시켜가면 강도추정 精度는 반드시 향상한다. 式(3. 3. 1)~式

(3. 3. 5)에 의한 콘크리트의 강도추정  
 精度에 대해서 검토한 結果의 一例를 表  
 3. 3. 1에 제시한다. 이 표에 의하면 式  
 (3. 3. 1)과 式(3. 3. 2)를 사용한 경우  
 의 重相關係數 CR(일반적으로 이 值가  
 큰만큼 強度推定精度가 향상한다)이 가  
 장 크다는 것을 알았다.

d. 實驗定數의 決定

통상의 수치계산법에 따라 실험에 의해  
 서 구한 反發度, 音速 및 압축강도의 실  
 측치를 사용해서 式(3. 3. 1) 또는 式(3.  
 3. 2)中의 실험정수  $k_1$ ,  $k_2$ , C를 決定한  
 다. 또한 참고로 지금까지 제안되어 있는  
 복합법에 의한 강도추정법 또는 강도추정  
 식을 以下에 제시해 둔다.

(1) 루마니아 指針

루마니아에서는 反發度和 音速의 併用  
 에 의한 강도추정법을 간단히 소개한다.

① 標準콘크리트의 경우 루마니아 指  
 針에서는 Portlandcement와 石英岩  
 質粗骨材(최대치수 30mm)을 사용  
 하고 단위시멘트량을  $300\text{kg}/\text{m}^3$ , 0  
 ~1mm의 微細물질의 全骨材중에  
 접하는 비율을 12%로 한 콘크리트  
 를 표준콘크리트로 지정하고 이 콘  
 크리트의 강도추정에 그림 3. 3. 1  
 을 사용하고 있다.

② 標準콘크리트와 다른경우 표준 콘  
 크리트와 사용재료의 品種, 品質, 調  
 습 등이 다른 경우는 다음에 제시한  
 補定係數  $C_t$ 를 그림 3. 3. 1에 의해  
 서 구한 추정강도에 대입시켜 보정  
 을 한다.

$$C_t = C_c \cdot C_d \cdot C_a \cdot C_\phi \cdot C_g \dots \dots \dots (3. 3. 7)$$

단,  $C_t$ : 全補定 係數

$C_c$ : Cement 종류에 의한 補正係數  
 [表 3. 3. 2(a) 참조]

$C_d$ : 단위시멘트량에 의한 補正係數  
 [表 3. 3. 2(b) 참조]

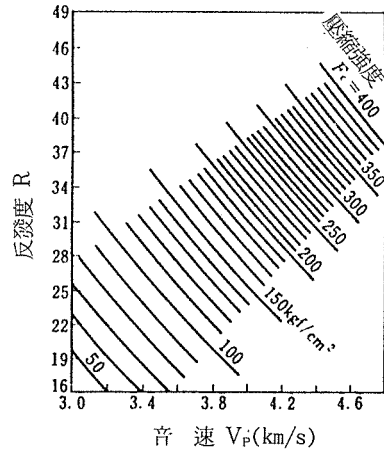


그림 3. 1. 1 反發度 R과 音速  $V_p$ 에 의한 콘크리트의 壓縮強度  $F_c$ 의 計算 그림 表(루마니아 指針)

$C_a$ : 골재 종류에 따른 보정계수 [④  
 項 참조]

$C_\phi$ : 골재 최대치수에 의한 보정계  
 수 [表 3. 3. 2(c) 참조]

$C_g$ : 0~1mm의 微細物質의 전골재  
 중에 점유하는 비율에 의한 보  
 정계수 [表 3. 3. 2(d) 참조]

③ 同一調合공시체 또는 코아가 있는  
 경우

이 경우의 보정계수  $C_t$ 는 다음과 같  
 이 해서 구한다.

㉠ 供試體 1面마다에 다음 式에서  
 표시된 계수  $C_{ti}$ 를 구한다.

$$C_{ti} = F_{ci} / F_{si}$$

단,  $F_{ci}$ : 破壞실험에 의한 강도

$F_{si}$ : 그림 3. 3. 1을 사용해서  
 推定한 강도

㉡  $C_{ti}$ 의 平均值를 구한다.

$$C_{t(ext)} = \sum_{i=1}^n C_{ti} / n$$

㉢  $C_{t(ext)}$ 와 表 3. 3. 2중의 계수를  
 사용해서 計算한  $C_{t(ext)}$ 와를 比較  
 한다.

①  $\frac{|C_{t(cal)} - C_{t(ext)}|}{C_{t(ext)}} \leq 10\%$ 의 경우

우 :  $C_{t(ext)}$ 를 채용

②  $10\% < \frac{|C_{t(cal)} - C_{t(exp)}|}{C_{t(ext)}} \leq 30\%$

의 경우 : 平均值  $\frac{C_{t(cal)} + C_{t(exp)}}{2}$

를 채용

③  $\frac{|C_{t(cal)} - C_{t(exp)}|}{C_{t(exp)}} > 30\%$ 의

경우 :

- 구조체 콘크리트의 調合이 調合表와 相違할 경우는  $C_{t(exp)}$ 를 채용
- 공시체의 形狀, 크기와 재하속도가 규정과 다르거나 편심이 있을 경우는  $C_{t(cal)}$ 을 채용

④ 골재종류에 따른 보정계수 구하는법

3~9個의 供試體 破壞實驗을 해서 다음식에 표시된 係數  $C_{ai}$ 를 구한다.

$$C_{ai} = F_{ci} / F_{si} \dots\dots\dots (3. 3. 10)$$

$$C_n = \sum_{i=1}^n C_{ai} / n$$

또한 Cianfrone · Fâcâoar은 이탈리아에서 통상사용되고 있는 콘크리트로서의 루마니아 指針의 적용성에 대해서 검토하고 그림 3. 3. 2와 같은 결과를 얻고 있다. 다만 이탈리아에서는 石灰岩質骨材(최대치수 30mm)을 사용하고 단위시멘트량 400 kg/m<sup>3</sup>, 0~1mm의 微細物質의 全骨材中에 점유하는 비율을 26%로 한 콘크리트를 표준 콘크리트로 정하고 이것과는 다른 콘크리트로 적용하는 경우는 表 3. 3. 3에 따라서 추정강도의 보정을 한다.

(2) RILEM CNDT위원회 제1次案

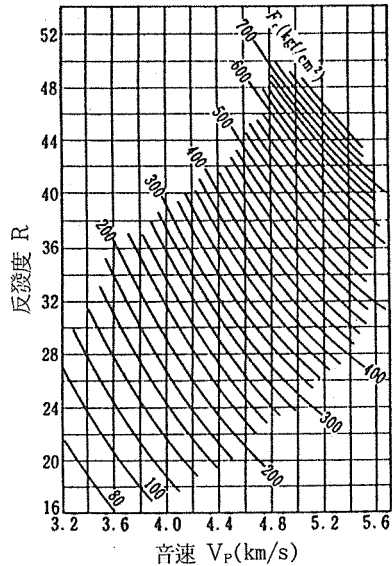


그림 3. 3. 2 反發度 R과 音速  $V_p$ 에 의한 콘크리트 압축강도  $F_c$ 의 계산도표(이탈리아)

RILEM CNDT위원회가 제시한 제1次案은 앞의 루마니아 指針을 답습한 形式로 되어있다. 이 위원회에서는 그림 3. 3. 1과 같은 계산도표는 제시하고 있지않고 本 Manual과 같은 모양으로 各 實驗者가 미리 표준 콘크리트에 관한 실험을 하여 계산도표를 작성하는 것을 원칙으로 하고 있다. 표준콘크리트 이외의 콘크리트에 관한 강도 보정법은 루마니아 지침과 거의 같은 모양이다.

(3) 本소위원회 공동 실험결과

本소위원회에서 실시한 共同실험결과는 일괄해서 卷末에 제시되고 있다. 本 실험에 의하면 複合非破壞 시험법에 의한 강도추정식으로 다음 式이 얻어졌다.

① 보통 콘크리트

$$F_c = 8.2R + 269V_p - 1094 \quad (3. 3. 12)$$

② 경량 콘크리트

$$F_c = 4.1R + 344V_p - 1022 \quad (3. 3. 13)$$

단,  $F_c$  : 압축강도(kgf/cm<sup>2</sup>),  $R$  : 反發度,  $V_p$  : 音速(km/s)

表 3. 3. 3 推定強度의 보정계수(이탈리아)

(a) 시멘트의 種類에 따른 補正係數  $C_c$

시멘트의 種類	$C_c$
425P <sub>i</sub>	1.00
325P <sub>z</sub>	0.94
325P <sub>i</sub>	0.94

(c) 骨材最大寸法에 따른 補正係數  $C_\phi$

骨材最大寸法(mm)	$C_\phi$
7	1.09
15	1.03
30	1.00
70~80	0.96

(b) 單位시멘트量에 따른 補正係數  $C_d$

單位시멘트量 (kg/m <sup>3</sup> )	$C_d$
200	0.76
250	0.82
300	0.88
350	0.94
400	1.00
450	1.06
500	1.12
600	1.24

(d) 0~1 mm의 細骨材率에 따른 補正係數  $C_g$

0~1mm의 細骨材率 (%)	$C_g$
8	0.91
14	0.94
20	0.97
26	1.00
32	1.03
38	1.05
44	1.07

이러한 式에 의한 콘크리트 추정 압축 강도와 실측강도와의 比較를 附錄 2의 付 그림 2. 5에 제시한다. 重相關係數는 보통콘크리트의 경우가 0.909, 경량 콘크리트의 경우가 0.942로 되었다.

(4) 기타의 研究

尼崎, 明石, 谷川, 山田, 小阪, 野崎, 中山, Bellander는 보통 콘크리트의 강도 추정식으로서 각각 다음과 같은 推定式을 提案하고 있다.

① 尼崎, 明石式

• 乾燥콘크리트 :  $V_p/F_c = 195 - 13.2R + 0.316R^2 - 0.00257R^3$   
 ..... (3. 3. 14)

• 濕潤콘크리트 :  $V_p/F_c = 155 - 11.3R + 0.299R^2 - 0.000268R^3$   
 ..... (3. 3. 15)

단,  $V_p$ 의 단위는 m/s이다.

② 谷川, 山田, 小阪式

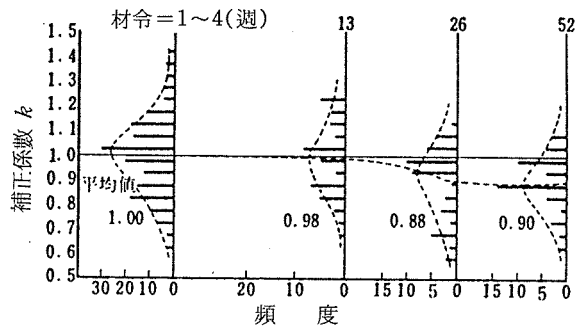


그림 3. 3. 3 式(3. 3. 16)中的 反發度 材令에 따른 補正係數  $k$ 의 分布

$F_c = 10.2(kR) + 223V_p - 960$   
 ..... (3. 3. 16)

단,  $k$ : 재령에 따른 보정계수(그림 3. 3. 3 참조)

③ 野崎, 中山式

$F_c = 9.9R + 79.2V_p - 273$   
 ..... (3. 3. 17)

④ Bellander式

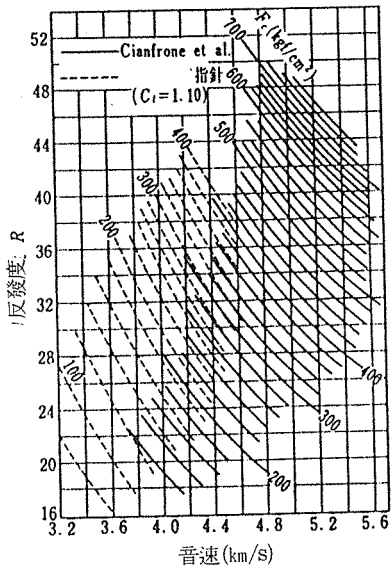


그림 3. 3. 4 루마니아 指針과 Cianfrone의 실험결과와의 比較

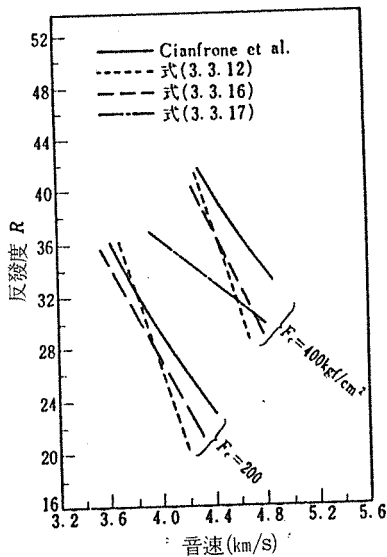


그림 3. 3. 5 Cianfrone의 실험결과와 式(3. 3. 12), 式(3. 3. 16) 및 式(3. 3. 17)에 의한 추정결과와의 比較

$$F_c = 1.11(0.00082R^3 + 11.03V_p - 32.7)^{0.942} \dots\dots\dots (3. 3. 18)$$

단,  $F_c$ 의 단위는  $MP_a$ 이다.

(5) 各 推定方法의 比較

前記의 各 推定方法을 比較해 본다. 그림 3. 3. 4는 루마니아 指針에 의한 강도 추정도표와 Cianfrone에 의한 計算 圖表와를 比較한 것인데 標準콘크리트의 相違를 고려하면 兩者는 거의 같은 결과를 보인다. 또한 그림 3. 3. 5는 Cianfrone의 실험결과와 式(3. 3. 12), 式(3. 3. 16), 式(3. 3. 17)에 의한 音速, 反發度相關 圖表를 比較한 것이다. 이 그림에 의하면 日本의 各 연구자에 의한 강도 추정식은 Cianfrone의 실험에 의한 경우보다는 同一反發度, 同一音速時에 약간 큰 추정강도를 보인다. 그러나 강도측정용의 공식체 형상의 相違(圓柱體와 立方體)를 고려하면 이러한 강도추정식은 거의 같은 강도 추정치를 보인다.

3. 3. 4

3. 3. 3에 제시한 방법에 따라서 작성한 강도추정식을 각종 콘크리트에 적용하는 경우에는 以下の 諸點에 留意할 需要가 있다.

- a. 使用 재료의 품종, 품질의 영향
  - (1) 조강포틀랜드시멘트를 사용한 콘크리트는 보통포틀랜드시멘트를 사용한 콘크리트보다도 추정강도가 약간 적게된다.
  - (2) 粗骨材의 최대치수가 큰만큼 추정강도는 크게된다.
  - (3) 粗骨材의 岩質은 추정강도에 약간의 영향을 미친다.
  - (4) 細骨材中の 微粒分이 많은만큼 추정강도는 적게된다.
- b. 콘크리트 調合比의 영향
  - (1) 단위시멘트량이 많은 만큼 추정강도는 적게 된다.
  - (2) 단위 粗骨材량이 많은 만큼 추정강도는 크게 된다.
- c. 양생방법의 영향
  - 재령이 3개월이하의 콘크리트에서는 양생



방법은 추정강도에 거의 영향을 미치지 않지만 재령3개월을 초과하는 콘크리트에서는 水中 양생한 콘크리트 보다도 空中 양생을 한 콘크리트 쪽이 측정강도는 크게된다.

d. 재령의 영향

재령 3개월 이하의 콘크리트에서는 재령은 추정강도에 거의 영향을 미치지 않지만 재령이 3개월 넘는 콘크리트에서는 재령이 경과하는 만큼 추정강도는 크게 된다.

$$C = C_c \cdot C_\phi \cdot C_v \cdot C_a \dots\dots\dots (3. 3. 19)$$

단, C : 全補正係數

C<sub>c</sub> : 단위시멘트량에 의한 補正係數

[表 3. 3. 4(a)참조]

C<sub>φ</sub> : 粗骨材 최대치수에 의한 補正係數

[表 3. 3. 4(b)참조]

C<sub>v</sub> : 粗骨材體積混入率에 의한 補正係數

[表 3. 3. 4(c)참조]

C<sub>a</sub> : 粗骨材種類에 의한 補正係數

[表 3. 3. 4(d)참조]

[해 설]

表 3. 3. 2에 제시한 루마니아 指針의 보정계수에서 볼 수 있듯이 어떤 특정의 콘크리트를 사용해서 작성한 강도추정식을 그것과는 사용재료, 調合比, 양생 방법, 재령 등이 相違하는 콘크리트에 적용하는 경우에는 추정강도를 적절히 보정할 필요가 있다. 本 Manual에서는 일단 조사대상으로 하는 콘크리트와 類似한 콘크리트를 사용해서 강도추정식을 작성하는 것을 原則으로 하기때문에 各種 要因에 따른 보정은 특별하게 할 필요가 없는 것이라고 생각되지만 실험을 계획하는 경우에는 表 3. 3. 2(루마니아 指針)와 表 3. 3. 3(이탈리아, Cianfrone)에 제시한 각종 요인에 의한 보정계수가 참고로 된다.

表 3. 3. 4는 루마니아 지침과 같은 모양의 방법으로 근거해서 구한 각종 요인에 따른 보정계수를 제시한 것이다. 단 이 表에서는 川砂, 강자갈과 보통포트랜드를 사용하고 粗骨材의 최대치수를 20mm, 粗骨材의 體積混入率을 0.39, 단위시멘트량을 300 kg/m<sup>3</sup>로 한 표준 水中 양생 콘크리트를 표준콘크리트로 設定하고 있다. 표준 콘크리트의 강도추정에는 前述의 式(3. 3. 16)을 사용하고 그것 이외의 콘크리트에 대해서는 다음식에서 나타낸 보정계수 C를 式(3. 3. 16)에 의한 계산 강도에 곱해서 강도보정을 한다.

3. 3. 5 強度추정

a. 材齡이 1년 以下の 콘크리트에서는 3. 3. 3

에서 작성한 강도추정식 중에 反發度와 音速의 測定値를 대입시켜 압축강도를 추정한다. 단, 재령 28일 이하의 콘크리트를 사용해서 작성한 강도추정식을 재령 3개월을 넘는 콘크리트에 적용하는 경우에는 反發度로는 실측치의 0.9배로 한 値를 사용한다.

b. 재령 1년을 넘는 콘크리트에서는 코아시험을 해서 강도추정식중의 定數項 C의 値를 修正한다. 또한 反發度는 實測値의 0.9배로 한 値로 한다.

[해 설]

a. 재령이 1년 이상의 콘크리트에서는 反發度와 音速의 실측치를 그대로 강도추정식 중에 대입해서 압축강도를 추정해서 좋다. 단, 材齡 3개월을 넘는 콘크리트에서는 강도와 반발도의 재령에 동반하는 증가율이 相違하기 때문에 補合法을 사용해도 반드시 강도추정 精度를 향상시킬 수 없다. 그 때문에 재령이 28일 이하의 콘크리트를 사용해서 강도추정식을 作成한 경우는 反發度の 재령에 따른 補正을 하기로 했다. 材齡에 따른 반발도의 修正係數 k에 관한 실험결과的一例은 그림 3. 3. 3에 제시한 것과 같다. 그림에 의하면 材齡이 6개월 이상의 경우는 k 値

表 3. 3. 4 式(3. 3. 19)에 의한推定강도의 보정계수(谷川, 小阪)

(a) 단위시멘트량에 의한 보정계수  $C_c$

單位시멘트量 (kg/m <sup>3</sup> )	$C_c$
200	1.04
300	1.06
400	0.99
500	0.93

(b) 粗骨材 최대치수에 의한 보정계수  $C_\phi$

粗骨材最大寸法 (mm)	$C_\phi$
15	1.10
20	1.00
25	0.93
30	0.88

(c) 粗骨材 體積混入率에 의한 보정계수  $C_v$

粗骨材體積混入率	$C_v$
0.30	1.14
0.35	1.06
0.40	0.99
0.45	0.93

(d) 粗骨材 종류에 의한 보정계수  $C_a$

粗骨材種類	$C_a$
川자갈	1.00
砂石	0.85

는 0.9배와 거의 일정하게 된다. 여기에서는 안전측면의 値로서 재령 3개월 이상의 콘크리트에 대해서는 0.9를 採用하기로 하였다. 이러한 値는 日本재료학회(案)의 슈미트 함-마에 의한 反發度의 經年補正係數와 다르다는 것에 留意할 필요가 있다.

- b. 재령이 1년을 넘는 콘크리트에 관해서는 실험 Data가 매우 부족해 있기 때문에 本Manual에서는 코아 시험을 併行해서 실시하기로 하였다. 다만 코아시험에 의한 경우보다는 코아의 채취個數를 적게해도 좋다. 이 때의 강도 추정식의 수정은 定數項 C의 値를 변화 시키는 것으로 하였다. 예를들면 強度推定式중에 코아강도  $F_c$ , 反發度 R, 音速  $V_p$ 의 실측치를 대입해서 定數項 C의 値를 결정한다.

### 3. 3. 6 結果의 정리

報告書에는 下記의 事項인 경우 필요한 것을 기재한다.

- (1) 測定對象物의 명칭
- (2) 測定 年 월 일
- (3) 測定者
- (4) 콘크리트의 타설 年 월 일 및 재령
- (5) 사용 재료
- (6) 콘크리트의 調査
- (7) 거푸집의 종류와 콘크리트의 表面狀態
- (8) 測定器의 種類와 檢定結果
- (9) 測定위치와 측정방향
- (10) 反發度 및 音速의 각 측정치와 平均値
- (11) 코아 강도
- (12) 강도추정식과 추정강도
- (13) 結果의 判定

#### [해 설]

複合法의 Data Sheet의 一例를 附錄 1에 제시한다. 또한 반발도와 음속측정 방법 및 各 測定値는 각각 反發도와 음속의 Data에 기입하는 것으로 하고 複合法의 Data Sheet에는 이러한 平均치를 기입한다.

## 4. 結 論

몇번이나 반복하지만 콘크리트 強度推定을 위한 非破壞시험법으로서 萬全의 것은 現時点에서는 아직 없다고 말해도 좋다. 그러나 이런 種類의 시험법에 대한 요망은 대단히 강하다. 그때문에 各種各樣의 적용이 이루어지고 있는 것이 現狀이다. 이 MANUAL은 그러한 試驗法의 誤用이 중대한 구조물事故로 연결되는 것을 우려해서 적용에 있어서 文字와 같은 사전으로서 도움이 될수 있도록 집대성한 것이다.

이 MANUAL의 本文에는 強度추정을 위한 實用圖表와 計算式은 일절 제시되어 있지 않

다. 다시말해서 強度추정을 위한 圖表는 그 都度實測結果에 기초를 두어 이것을 정하고 그러한 것을 근거로 해서 구조물 콘크리트의 強度를 추정하는 것을 原則으로 하였다. 이것은 汎用性있는 強度추정의 圖表와 計算式이 아직 존재하지 않기 때문이라고 하지만 이런 종류의 시험법에 대해서는 이미 방대한 實驗資料가 있고 強度추정을 위한 公式과 圖表가 提案되고 있다.

本書의 해설에는 그러한 것의 일부를 제시하였다. 그러나 어느것도 特定の 재료, 特定の 실험조건하에서 얻어진 것으로서 汎用性의 点에서는 더욱 많은 문제가 남아있다. 이러한 諸公式, 諸圖表의 完전한 적용은 거듭 고려할 문제인 것 같다.

## 附 錄

附錄 1 DATA SHEET의 一例

附錄 2 콘크리트의 非破壞試驗法에 관한 共同實驗結果

附錄 1 DATA SHEET의 一例

反發度法 Data Sheet(例)											
測定對象物名稱											
測定年月日		年月日曜日			測定者名						
天候・氣溫等		天候：		氣溫：℃		相對濕度：%					
測定對象物の種類		構造體 供試體코아			寸法(cm)						
測定器의種類					檢定の有無						
콘 크리트의材料		시멘트：		細骨材：		粗骨材：		混和劑：			
콘 크리트의 調合 (既和・不明)		$G_{max}$	$S_l$	$W/C$	$s/a$	$C$	$W$	$S$	$G$	混和劑	
		(mm)	(cm)	(%)	(%)	(kg/m <sup>3</sup> )	(kg/m <sup>3</sup> )	(kg/m <sup>3</sup> )	(kg/m <sup>3</sup> )	(g/m <sup>3</sup> )	
測定材令(打設日)					養生條件						
콘 크리트乾濕狀態					거푸짐의 종류						
測定位置, 配筋, 測定 方向 등의 스캐치											
測定位置		打築		反發度			打築方		材令	推定強度	實測強度
階	部材	部位	方向	測定值	補充值	平均値	向補正	補正	(kgf/cm <sup>3</sup> )	(kgf/cm <sup>3</sup> )	
強度推定에 사용한式											
備考											

超音波傳搬速度法 Data Sheet(例)										
測定對象物名稱										
測定年月日		年月日曜日			測定者名					
天候・氣溫 등		天候： 氣溫			℃		相對濕度： %			
測定對象物の種類		構造體 供試體코아			寸法(cm)					
測定器의種類					檢定の有無					
콘 크리트의材料		시멘트： 細骨材： 粗骨材： 混和劑：								
콘 크리트의 調合 (既和・不明)		$G_{max}$	$S \ell$	$W/C$	$s/a$	$C$	$W$	$S$	$G$	混和劑
		(mm)	(cm)	(%)	(%)	(kg/m <sup>3</sup> )	(kg/m <sup>3</sup> )	(kg/m <sup>3</sup> )	(kg/m <sup>3</sup> )	(g/m <sup>3</sup> )
測定材令(打設日)					養生條件					
콘 크리트乾濕狀態					거푸집의 종류					
測定位置, 配筋, 測定 方向 등의 스켓치										
測定位置		傳搬時間(×10 <sup>-6</sup> s)				傳搬 距離 (m)	音速 (km/s)	推定 強度 (kgf/cm <sup>2</sup> )	實測 強度 (kgf/cm <sup>2</sup> )	備考
階	部材	部位	$t_1$	$t_2$	$t_3$					
強度推定에 사용한式										
備考										

複合法 Data Sheet(例)

複合法 Data Sheet(例)											
測定對象物名稱											
測定年月日		年月日曜日			測定者名						
天候・氣溫等		天候： 氣溫			℃		相對濕度： %				
測定對象物の種類		構造體 供試體코아			寸法(cm)						
測定器の種類		反發度用： 音速用：			檢定の有無						
콘 크 리 트 의 材 料		시멘트： 細骨材：			粗骨材：		混知劑：				
콘 크 리 트 의 調 合 (既 和 · 不 明)		$G_{max}$	$S\ell$	$W/C$	$s/a$	$C$	$W$	$S$	$G$	混和劑	
		(mm)	(cm)	(%)	(%)	(kg/m <sup>3</sup> )	(kg/m <sup>3</sup> )	(kg/m <sup>3</sup> )	(kg/m <sup>3</sup> )	(g/m <sup>3</sup> )	
測定材令(打設日)					養生條件						
콘 크 리 트 乾 濕 狀 態					거푸짐의 종류						
測 定 位 置			反發度 平均值		音速의 平均値 (km/s)		推定強度 (kgf/cm <sup>3</sup> )		實測強度 (kgf/cm <sup>3</sup> )		備考
階	部材	部位									
強度推定에 사용한 式											
備 考											

附錄 2 콘크리트의 非破壞試驗法에 관한 共同 實驗結果

1. 實驗方法

(1) 實驗 目的

本 實驗의 目的은 普通콘크리트 및 輕量 콘크리트의 非破壞의 強度 추정법으로서의 反發度法(슈미트 합-마 法), 超音波傳搬速度法(音速法) 및 兩者의 복합성의 적용성을 광범위한 實驗에 의해서 조사하는 것에 있다.

(2) 實驗의 概要

共同실험의 개요를 附表 2. 1에 제시한다.

附表 2.1 共同실험의 概要

콘크리트 種類	slump (cm)	물,시멘트比 (%)	材齡
普通 콘크리트	12	50, 60, 70	7日
	18	50, 60, 70	28日
(2種)輕量콘크리트	12	50, 57, 65	3개월
	18	50, 57, 65	6개월
			1年

또한 附表 2.1에 제시한 實驗 以外에도 증기양생을 한 普通콘크리트에 관한 非破壞시험, 高強度 普通콘크리트에 관한 슈미트 합-마 시험, 슈미트 합-마의 타격 回數, 타격 방

향, 공시체의 形狀, 치수, 表面의 凹凸, 乾濕의 상태 등이 反發度에 미치는 영향에 관한 實驗, 공시체의 測定斷面積, 測定長, 振動子の 周波數 등이 음속에 미치는 영향에 관한 實驗 등도 同時에 하였지만 本 報告에서는 물,시멘트비, 材齡 등의 實驗 要因이 各 研究기관마다에 공통적으로 취급된 것만을 Data해석의 對象으로 하였다.

(i) 實驗 要因

本 實驗에서는 附表 2.1에 제시한 것과 같이 實驗요인으로서 콘크리트의 종류, slump, 물시멘트 및 材齡을 채택하였다.

(ii) 供試體의 形狀, 치수

공시체는 모두 直徑 15cm, 높이 30cm의 표준 圓柱體로 하였다.

(iii) 使用材料

시멘트에는 普通포트랜드 시멘트를 사용하고 골재로서는 普通콘크리트用에 川砂, 碎石 또는 川砂, 강자갈, 2種 輕량콘크리트用에 輕量細·粗骨材(非造粒型, 一部 造粒型도 사용)를 사용했다. 골재의 비중, 흡수율, 조립율 등의 値는 實驗을 담당한 各 研究기관마다 약간 相違하기 때문에 여기에서는 그러한 値의 附表 2.2에 제시 해둔다. 또한 혼화제로서는 AE감수제를 사용하였다.

附表 2.2 使用骨材의 性質

콘크리트 種類	骨材의 種類	最大寸 法(mm)	表乾比重	吸水率 (%)	粗粒率	單位容積重量 (kg/ℓ)
普通 콘크리트	細骨材	5	2.58~2.61	1.42~1.84	2.77~2.84	1.840
	粗骨材	20	2.61~2.66	1.84~1.21	6.57~7.06	1.602~1.730
輕量 콘크리트	細骨材	5	1.84~1.87	15.5~16.0	2.63~2.70	1.015~1.069
	粗骨材	15	1.56	23.5~25.0	6.41~7.29	0.943~0.950

(iv) 콘크리트 調査

普通콘크리트의 물,시멘트비는 50, 60 및 70%, 輕량 콘크리트의 물, 시멘트비는

50, 57 및 65%의 各 3種類로 하였다. slump는 兩콘크리트 모두 12cm와 18cm의 2種類로 하고 공기량은 普通콘크리트

附表 2.3 測定結果

(a) 普通 콘크리트

研究 group	W/C (%)	slump (cm)	材令 (日)	音速 (km/s)	反撥度	實測強度 (kgf/cm <sup>2</sup> )	推定強度*/實測強度
A	50	17.0	7	4.26	23.3	263	0.93
	60	18.7		4.18	20.6	190	1.04
	70	17.3		4.08	16.6	144	0.96
	50	17.0	28	4.43	29.1	369	0.91
	60	18.7		4.36	24.3	276	1.01
	70	17.3		4.23	21.2	214	1.02
	50	17.0	91	4.40	35.7	435	0.90
	60	18.7		4.22	30.8	342	0.86
	70	17.3		4.10	27.5	293	0.80
	50	17.0	182	4.33	36.3	414	0.89
	60	18.7		4.17	34.5	325	0.95
	70	17.3		4.00	34.2	261	1.00
	50	17.0	364	4.20	42.4	409	0.94
	60	18.7		4.06	39.7	312	1.04
	70	17.3		3.92	38.2	250	1.09
B	50	18.0	7	4.50	23.0	271	1.11
	60	18.0		4.43	20.0	235	1.11
	70	17.5		4.35	17.0	197	1.09
	50	18.0	28	4.62	23.0	352	1.05
	60	18.0		4.59	21.0	290	1.09
	70	17.5		4.51	19.0	228	1.21
	50	18.0	91	4.59	31.7	425	0.94
	60	18.0		4.56	32.0	348	1.13
	70	17.5		4.41	30.3	306	1.11
	50	18.0	182	4.56	35.0	396	1.06
	60	18.0		4.40	33.3	362	1.00
	70	17.5		4.31	31.7	312	1.04
	50	18.0	364	4.41	40.3	372	1.13
	60	18.0		4.30	35.7	328	1.08
	70	17.5		4.20	32.7	281	1.08
	50	12	7	4.45	21.2	295	0.94
	60			4.33	16.4	228	0.90
	70			4.26	13.1	147	1.07
	50	12	28	4.59	23.1	392	0.84
	60			4.50	19.2	322	0.85
	70			4.43	15.6	233	0.97



C	50	12	91	4.65	36.7	479	0.96
	60			4.47	33.8	394	0.98
	70			4.35	31.1	280	1.18
	50	12	182	4.51	39.4	455	0.97
	60			4.37	36.4	365	1.04
	70			4.23	34.4	265	1.23
	50	12	364	4.41	39.6	464	0.90
	60			4.26	37.8	359	1.00
	70			4.12	35.0	274	1.10

\*強度推定式： $F_c=8.2R+269V_p-1094$

(b) 輕量 콘크리트

研究 group	W/C (%)	slump (cm)	材令 (日)	音速 (km/s)	反發度	實測強度 (kgf/cm <sup>3</sup> )	推定強度*/實測強度	
D	50	17.0	7	3.39	22.2	267	0.86	
	57	18.0		3.30	18.8	200	0.96	
	65	17.1		3.19	16.1	163	0.97	
	50	17.0	28	3.53	28.2	371	0.80	
	57	18.0		3.47	26.6	321	0.86	
	65	17.1		3.47	21.4	262	0.88	
	50	17.0	91	—	39.9	466	—	
	57	18.0		—	36.7	382	—	
	65	17.1		—	34.6	343	—	
	50	17.0	182	—	42.3	428	—	
	57	18.0		—	38.6	427	—	
	65	17.1		—	37.3	339	—	
	50	17.0	364	3.76	44.3	453	1.01	
	57	18.0		3.71	41.3	431	0.99	
	65	17.1		3.65	38.7	368	1.09	
	E	50	12.0	7	3.34	18.8	190	1.03
		57	12.5		3.17	13.4	113	1.17
		65	12.5		3.16	11.5	407	1.08
50		12.0	28	3.49	23.2	315	0.78	
57		12.5		3.36	16.6	249	0.71	
65		12.5		3.30	13.9	211	0.71	
50		12.0	91	3.57	35.5	371	0.91	
57		12.5		3.49	32.2	323	0.93	
65		12.5		3.47	30.1	277	1.02	
50		12.0	182	3.60	35.5	408	0.90	
57		12.5		3.52	32.2	342	0.97	
65		12.5		3.47	30.1	283	1.09	
50		12.0	364	3.72	43.1	427	1.04	
57		12.5		3.62	40.1	358	1.15	
65		12.5		3.56	38.0	300	1.29	

\*強度推定式： $F_c=4.1R+344V_p-1022$

研究 group	W/C (%)	slump (cm)	材令 (日)	音速 (km/s)	反発度	實測強度 (kgf/cm <sup>3</sup> )	推定強度*/實測強度
F (メサタイト 콘크리트)	50			3.26	20.0	184	1.09
	57	12	3	3.17	17.5	147	1.16
	65			3.12	13.5	79	1.64
	50			3.38	28.5	266	1.08
	57	12	7	3.39	22.6	216	1.08
	65			3.31	16.8	140	1.24
	50			3.69	35.8	365	1.03
	57	12	28	3.59	29.2	336	0.92
	65			3.45	24.7	231	1.12
	50			3.80	42.7	431	1.04
	57	12	91	3.73	36.8	399	0.98
	65			3.40	36.3	287	1.25
	50			3.81	47.1	406	1.21
	57	12	182	3.67	42.1	423	1.02
	65			3.65	36.9	337	1.14
	50			3.69	42.8	467	0.94
	57	12	364	3.64	41.7	442	0.96
	65			3.51	35.9	326	1.11
	50			3.27	18.0	182	1.01
	57	18	3	3.16	16.3	143	1.11
	65			3.18	16.9	126	1.32
	50			3.39	21.5	250	0.90
	57	18	7	3.32	17.8	196	0.94
	65			3.24	20.1	174	1.15
	50			3.41	30.4	335	0.91
	57	18	28	3.33	24.6	294	0.84
	65			3.34	24.8	249	1.01
50			3.65	40.6	401	1.04	
57	18	91	3.58	35.1	352	1.03	
65			3.47	35.5	285	1.26	
50			3.68	45.5	459	1.01	
57	18	182	3.65	39.4	378	1.08	
65			3.59	38.9	308	1.29	
50			3.59	47.1	444	1.07	
57	18	364	3.63	40.8	375	1.12	
65			3.55	36.2	302	1.22	

研究 group	W/C (%)	slump (cm)	材令 (日)	音速 (km/s)	反發度	實測強度 (kgf/cm <sup>3</sup> )	推定強度*/實測強度
F (ピルトン 콘크리트)	50	12	3	3.24	16.2	139	1.18
	57			3.20	15.0	105	1.43
	65			3.11	12.6	70	1.73
	50	12	7	3.43	26.6	244	1.12
	57			3.39	20.4	191	1.12
	65			3.33	18.5	146	1.31
	50	12	28	3.57	31.5	379	0.87
	57			3.54	28.8	287	1.05
	65			3.54	25.8	229	1.20
	50	12	91	3.58	37.0	413	0.92
	57			3.52	34.7	360	0.98
	65			3.50	33.9	285	1.21
	50	12	182	3.78	39.5	471	0.89
	57			3.76	35.2	412	0.92
	65			3.57	34.9	349	1.06
	50	12	364	3.75	39.7	496	0.84
	57			3.66	36.6	425	0.90
	65			3.57	33.9	352	0.99
	50	18	3	3.32	19.1	180	1.09
	57			3.19	14.3	121	1.19
	65			3.07	10.5	82	1.20
	50	18	7	3.44	23.5	265	0.93
	57			3.30	20.5	212	0.99
	65			3.17	15.7	151	1.02
	50	18	28	3.53	28.7	316	0.97
	57			3.52	24.7	338	0.78
	65			3.43	21.8	257	0.89
50	18	91	3.68	36.1	383	0.99	
57			3.60	33.5	355	0.99	
65			3.60	33.4	299	1.16	
50	18	182	3.66	37.8	401	0.99	
57			3.65	36.9	387	1.00	
65			3.58	34.5	344	1.04	
50	18	364	3.64	37.1	410	0.95	
57			3.59	34.4	394	0.92	
65			3.57	30.8	356	0.91	

에서는 4%, 경량 콘크리트에서는 5%를 표준으로 한 調合表를 작성하였다.

콘크리트 調合表도 각 연구기관마다 다르지만 어느 것도 現在 통상의 콘크리트 공사에 사용되고 있는 범위에 들어 있다.

(v) 콘크리트 제작 및 양생방법

콘크리트의 혼합 및 다짐에는 각각 可傾式 Mixer 및 棒型 바이브레이터를 사용하였다. 공시체는 재령 2일만에 탈형 후 재령 28일까지 표준 水中양생을 하고 以後 所定の 재령에 이르기까지 大氣中에서 양생하였다. 또한 一部の 供試體는 養生方法의 영향에 대해서도 조사하기 위하여 脫型後 즉시 大氣中에서 양생하였다.

(vii) 測定方法

① 反發度 : 反發度 측정에는 보통 콘크리트에 대해서는 N형, L형 슈미트 함-마를 각각 사용하였다. 供試體의 加壓力은 25kg/cm<sup>2</sup>으로 일정하게 하고 공시체는 側面 20점에 대해서 水平 방향으로 타격해서 反發度を 측정하였다. 단 平均值와 ±20% 이상의 誤差가 있는 측정치는 제외하고 반발도의 평균치를 구했다.

② 超音波傳搬속도(音速) : 콘크리트 用 음속측정장치(사용주파수 50KHz을 표준으로 한다)를 사용해서 표준 圓柱體의 타설 높이 방향 30cm 사이의 음속을 측정하였다. 音速은 受振子와 發振子を 左右 교환하는 것에 의하고 1개의 공시체에 대해서 2회 측정했다.

2. 실험결과와 그 고찰

本實驗에 의해서 얻어진 콘크리트의 反發度, 音速 및 압축강도의 測定결과를 附表 2.3에 제시한다.

本 報告에서는 기존의 研究 결과를 참고로 해서 다음 식을 사용해서 실험치의 重回歸分析을 하였다.

$$F_c = k_1 R + k_2 V_p + k_3 (W/C) + k_4 CRC +$$

$$k_5 AGE + C \quad (2.1)$$

단,  $F_c$  : 壓縮強度(kgf/cm<sup>2</sup>)

W/C : 물시멘트比(%)

R : 反發度

CRC : 양생조건(1 : 수중양생, 2 : 空中양생)

AGE : 材令(日)

$V_p$  : 音速(km/s)

$k_1 \sim k_5, c$  : 실험 定數

회귀분석은 우선 최초로 압축강도  $F_c$ 와 反發度 R 및 음속  $V_p$ 와의 상관계수 CR을 구하고 다음에 式(2.1)에 제시한 순서로 變數를 順次追加한 경우의 重相關계수를 구하는 方法에 따라서 하였다. 重回歸分析 結果를 附表 2.4에 제시한다.

以下 슈미트 함-마法, 音速 및 複合法에 의한 강도추정식, 推定式에 미치는 各種 要因의 영향 등에 대해서 考察한다.

(1) 슈미트 함-마法에 대해서

附圖 2.1 및 附圖 2.2는 각각 보통콘크리트 및 輕量콘크리트의 슈미트 함-마에 의한 反發度 R과 압축강도  $F_c$ 와의 관계를 제시한 것이다. 圖中에는 日本재료학회 및 東京都 建築재료 檢査소에 의한 강도추정식 및 前述의 回歸分析에 의해서 얻어진 다음과 같은 回歸式도 함께 제시하고 있다.

$$\text{普通콘크리트 } F_c = 7.3R + 100 \quad (2.2)$$

$$\text{輕量콘크리트 } F_c = 10.1R + 2 \quad (2.3)$$

이러한 圖에 의하면 普通 콘크리트의 경우에는 實驗値에 상당한 편차가(상관계수 = 0.71)있었지만 輕量콘크리트인 경우는 상관계수가 0.91로 슈미트 함-마법을 단독으로 사용한 때에도 상당히 높은 강도추정精度가 얻어졌다. 兩콘크리트 反發도가 같은때에 압축강도 실측치는 日本재료학회와 東京都建築재료 檢査소式(이러한 것은 보통콘크리트에 대해서 구하여진 式이다)에 의한 추정치보다도 크게 된다.

附表 2. 4 重回歸分析 結果

강도추정식,  $F_c = k_1R + k_2V_p + k_3(W/C) + k_4CRC + k_5AGE + C$

단,  $F_c$  : 壓縮強度(kgf/cm<sup>2</sup>),  $R$  : 反發度,  $V_p$  : 音速(km/s),  $W/C$  : 물시멘트比(%)

$CRC$  : 養生조건(1=水中양생, 2=空中양생),  $AGE$  : 材令(日),  $k_1 \sim k_5$ ,  $C$  : 實驗定數

a) 普通콘크리트

$k_1$	$k_2$	$k_3$	$k_4$	$k_5$	C	重相關係數	奇與率
7.32	—	—	—	—	100.1	0.710	0.504
—	214.5	—	—	—	-619.6	0.457	0.209
7.32	—	—	—	—	100.1	0.710	0.504
8.19	268.8	—	—	—	-1093.9	0.909	0.321
7.03	184.8	-2.94	—	—	-518.7	0.936	0.050
4.83	171.3	-3.71	35.83	—	-408.3	0.940	0.008
5.60	166.2	-3.55	31.65	-0.04	-405.8	0.940	0.001

b) 輕量콘크리트

$k_1$	$k_2$	$k_3$	$k_4$	$k_5$	C	重相關係數	奇與率
10.11	—	—	—	—	1.9	0.911	0.830
—	543.6	—	—	—	-1596.5	0.929	0.864
—	543.6	—	—	—	-1596.5	0.929	0.864
4.15	343.9	—	—	—	-1021.9	0.942	0.023
4.29	313.4	—	-2.36	—	-784.7	0.950	0.016
3.11	315.7	0.11	-2.82	—	-744.2	0.954	0.007
3.65	296.4	0.12	-2.78	-18.34	-675.7	0.955	0.002

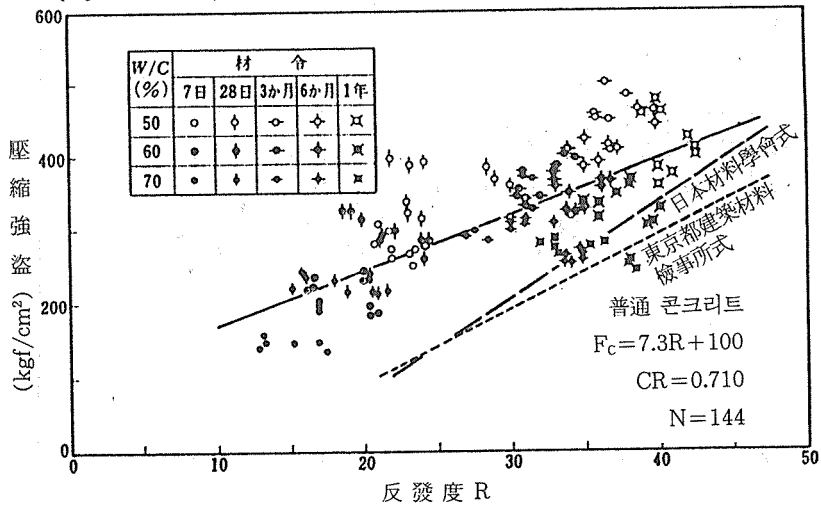
다음으로 실험결과를 물시멘트比別로 보면 兩콘크리트 모두 反發度가 같은 경우의 압축강도는 물시멘트比가 적은 콘크리트만큼 크게 되어 있다. 역으로 말하면 압축강도가 같은 경우의 反發度는 물시멘트比가 작은만큼 적어진다. 이것은 물시멘트比가 적은 콘크리트만큼 일반적으로 단위 骨材量이 적어지고 또한 保水性이 높기 때문이라고 생각된다. 그러므로 슈미트함-마법에 의해서 콘크리트 압축강도를 추정하는 경우에는 물시멘트比와 단위 골재량등의 調和요인이 추정강도에 큰 영향을 미친다는 것에 유의할 필요가 있다. 한편 slump치는 兩者의 관계에 거의 영향을 미치지 않는다.

또한 보통콘크리트에서는 材令 6개월을 넘으면 압축강도가 재령과 함께 서서히 감소하는 경향을 나타내는 것에 대해서 反發度는 재령의 경과와 함께 증대하기 때문에 反發度에 대해서는 日本재료학회(案)에서 볼 수 있듯이 經年보정을 할 필요가 있다. 단, 輕量 콘크리트인 경우는 골재 흡수량이 크기 때문에 재령 1년이내에서는 上記의 경향은 그것만큼 현저하지 않다.

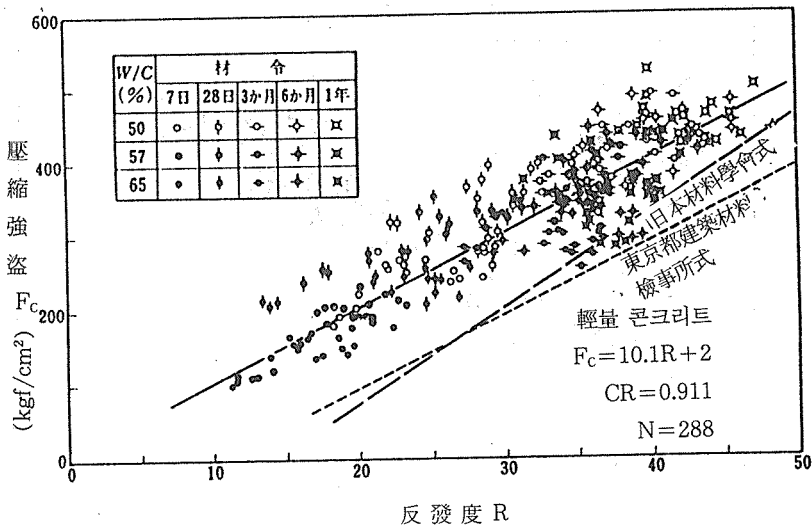
(2) 超音波傳搬速度法에 대해서

普通콘크리트 및 輕量콘크리트의 音速  $V_p$  와 압축강도  $F_c$ 와의 관계를 각각 圖 2.3 및 2.4에 제시한다. 圖中에는 回歸分析에 의해서 구한 다음식을 나타내고 있다.

附圖 2. 1 壓縮強度와 反發度와의 관계 (普通 콘크리트)



附圖 2. 2 壓縮強度와 反發度와의 관계 (輕量 콘크리트)



普通 콘크리트  $F_c = 215V_p - 620$  (2.4)

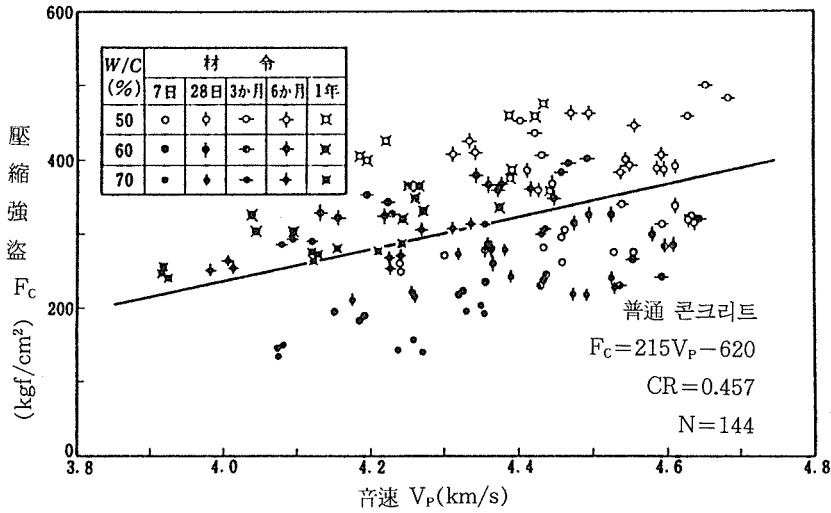
輕量 콘크리트  $F_c = 544V_p - 1597$  (2.5)

슈미트 함-마법의 경우와 같은 모양으로 보통 콘크리트에서는 실험치에 큰 편차(상관계수: 0.46)가 있지만 輕量 콘크리트의 압축강도와 음속과의 사이에는 매우 높은 상관(상

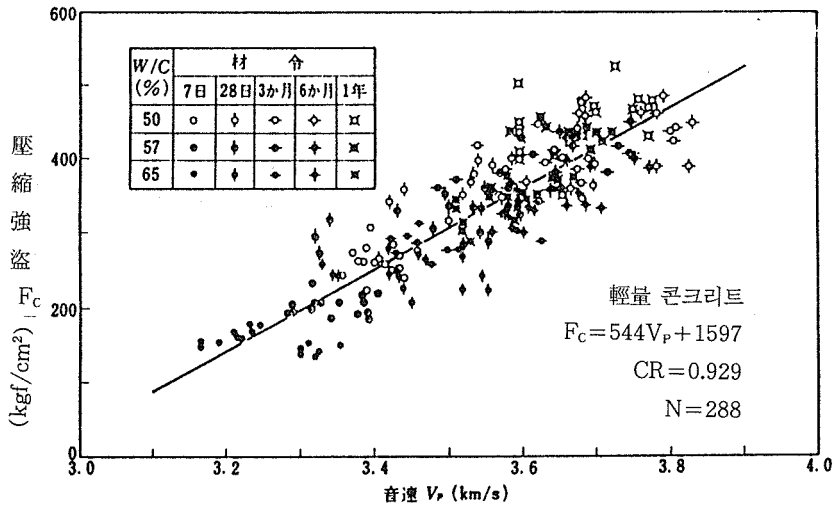
관계수=0.93)이 있다.

물시멘트비가 압축강도와 음속과의 관계에 미치는 영향을 슈미트 함-마 법인 경우와 거의 같은 모양이지만 材令에 대해서는 그것만큼 현저한 영향을 보이지 않았다.

附圖 2. 3 壓縮強度와 音速과의 관계 (普通콘크리트)



附圖 2. 4 壓縮強度와 音速과의 관계



(3) 複合法에 대해서

附圖 2.5는 압축강도 실험치와 다음과 같은 강도추정식에 의해서 구한 推定値와를 比較한 것이다.

普通콘크리트  $F_c = 8.2R + 269V_p - 1094$  (2.6)

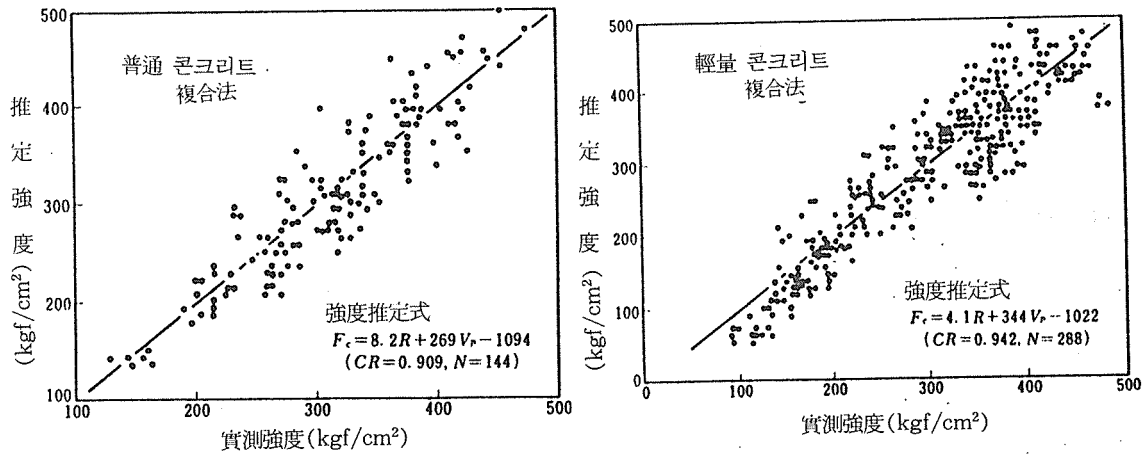
輕量콘크리트  $F_c = 4.1R + 3.44V_p - 1022$  (2.7)

보통콘크리트 및 경량콘크리트의 重相關係數 CR은 각각 0.91 및 0.94로 되고 보통 콘크리트에서는 슈미트 합-마法和 音速法을 단독으로 사용한 것 보다도 強度推定精度는

向上한다. 한편 輕量 콘크리트의 경우는 압축 강도와 반발도 및 음속의 상관이 대단히 높았기 때문에 反發도와 音速을 使用해도 重相關係數는 대폭적으로 증가해 있지 않다.

附圖 2.6에 각각 슈미트 합-마法에 의한 압축강도의 推定誤差를 제시한다.

附圖 2.5 複合法에 의한 推定강도와 實測值와의 比較



附圖 2.6 強度推定誤差(슈미트 합-마法)

