

콘크리트 強度推定을 위한 非破壞試驗法에 관한 小考

吳 昌 熙 - 漢陽大學校 建築工學科 教授

李 利 衡 - 漢陽大學校 建築工學科 教授

徐 致 焄 - 建國大學校 建築工學科 助教授

EVALUATION OF CONCRETE STRENGTH BY MEANS OF NON-DESTRUCTIVE TESTING METHODS

Oh, Chang He - Han Yang University / Professor

Lee, Li Hyung - Han Yang University / Professor

Suh, Chee Ho - Kon Kuk University / Assistant Professor

I. 序 言

콘크리트는 시멘트와 잔골재 그리고 굵은 골재로 만들어진 複合材料로서 각 材料의 品質·配合·打設·保養 등에 따라 強度變動의 要因이 되고 있다. 이러한 콘크리트 構造物이 필요한 強度 및 耐久性과 水密性을 가짐과 동시에 균일한 품질을 지녔는지의 여부에 대한 확인과 그 品質管理를 수행하기 위하여 콘크리트 壓縮強度의 시험이 필요하다. 또한 老朽된 콘크리트 構造物이나 災害를 당한 콘크리트 構造物에 대한 安全度 檢定時 그 必要性이 절실하다.

既存構造物의 콘크리트에 대한 壓縮強度의 測定에는 일반적으로 現場의 콘크리트 打設과 平行하여 제작된 標準供試체를 필요한 材齡에 따라 시험한 결과를 이용하고 있으나, 이 測定値는 既存 콘크리트의 強度와 다소 차이가 나는 것이 보통이다. 그 이유는 콘크리트의 응결·형상·양생方法 등의 諸條件이 相異하기 때문이다.

또한 既存建물이 災害를 당한 경우, 미리 준비한 強度管理用 供試체가 없기 때문에 構造物의 콘크리트 強度를 직접 측정할 수도 없다.

결국 構造物로부터 콘크리트 CORE를 채취하여 強度試驗을 행하여 그 값을 취하지만, CORE의 채취 위치나 個數의 한정, 構造物의 部分的 損傷에 따른 制限 問題點 및 經費 등의 면에서 특별한 경우를 제외하고는 적용되지 않는다. 따라서 콘크리트 強度를 推定하는 補助手段으로 콘크리트 強度의 非破壞試驗이 활용된다.

콘크리트 強度推定을 위한 非破壞試驗法에는 Schmidt Hammer 法, 超音波速度法, 共振法, 複合法, 引拔法, 電氣法, Acoustic Emission 法, 貫入法, 放射線法, 中性子法, 磁氣法, 極超短波吸收法, 局部壓縮法, 化學分析法, 水銀壓入法, 自然電極電位法 등이 提案되어 있다. 본 기고에서는 現時點에서 가장 실용적인 非破壞試驗法으로 알려진 反發硬度에 의한 Sch-

midt Hammer 法, 超音波速度에 의한 音速法 및 양자의 複合法 등에 관하여 적용하는 實際의 要領·留意事項에 대하여 기술하여, 실제로 構造物의 安全度調査 등에 參考되도록 한다.

II. 非破壞試驗法의 概要

콘크리트 非破壞試驗에 대한 研究는 1934년 무렵부터 시작하여 현재에 이르고 있으며, 그간의 연구는 실로 다양하다. 콘크리트 強度를 推定하기 위한 試驗과 콘크리트 構造物의 균열探傷·鉄筋探査 등을 목적으로 하는 試驗法의 종류 및 특징을 表-1에 나타내었다.

이 중 打擊法에 관한 研究는 이미 1934년 부터 英國·獨逸 등에서 시작되어 왔다. 1948년에는 Schmidt 氏가 Schmidt Hammer를 고안하여 현재 세계에서 널리 사용되고 있으나, 강도 推定의 精確성은 制限 試驗條件과 方法에 따라 반드시 만족할 만한 결과만이 아니라는 점을 고려해야 한다.

表 1. Concrete 非破壞試驗法의 種類 및 特徵

種 類		測定 內容	適用 範圍	長 點	欠 點	備 考
打	表面 硬度 法 낙하식 Hammer 법 Spring 식 Hammer 법, 회전식 Hammer 법, Pistol 鋼球타격법 등	左記의 각종 기구를 사용하여 Concrete 표면을 타격해, 철근의 깊이, 직경, 면적등을 측정	압축강도의 추정	• 측정이 비교적 용이 • 被측정물의 형상·치수에 관계 없이 적용 가능	• 측정부가 Concrete의 표층부에 限한다. • 동일한 곳에 다시 적용할수 없다.	최근 그다지 사용되지 않는다.

種 類		測 定 内 容	適 用 範 囲	長 点	欠 点	備 考	
擊 法	反 発 度 法	Schmidt Hammer 법 등	左記의 기구를 사 용하여, Concre- te 표면을 타격해 그 반발경도를 측 정	압축강도의 추정	• 측정이 간편 • 被 측정물의 형 상·치수에 관 계 없이 적용가 능	同 上	• 가장 많이 사용 되고 있는 Sc- hmidt Hammer 의機種은 多樣 함. 普通Concrete用 : N, NR型 輕量Concrete用 : L 型 低強度Concre- te用: P 型 Mass Concrete 用: M 型
	共 振 法	縱공진법 치질 공진법 비틀림 공진법	특정 형상 치수법 의 Concrete 공시 체의 공진 진동수 대수 감쇄율 등의 측정	• 동적특성 (동탄 성계수 동전단 탄성 계 수·동Poisson 비 등)의 측정 • 동결 응해 저항 성의 측정 • 압축 강도의 추 정	• 측정은 비교적 간편 • 동일 시험체에 반복하여 적용 할 수 있다.	• 被 측정물의 형 상·치수에 제 약이 있다. • 동적 특성을 단 독으로 이용한 경우 강도 측정 정확성은그다지 좋지않다. (複合法 참조)	이미 JIS·ASTM 등에서 규격화 되 어 많이 이용되고 있다.
振 動 法	音 速 法	초음파법 충격파법 위상법	• 초음파 縱波의 전파속도의측정 • 충격파(중파·횡 파)의 전파 속 도의 측정 • 표면파의 전파 속도의 측정	• Concrete 두께 의 측정 • Concrete 내부 의 결손 추정 • 동탄성 계수의 측정 • 압축강도의추정	• 被 측정물의 형 상·치수에 그 다지 제약이 없 다. • 동일 개소에 반 복 적용할 수 있 다.	• 사용 주파수가 높으면 지향 성은 좋지만 음 파의 감쇄가 크 게 된다. • 단독으로 사용 하는 경우 강도 추정 정확성은 그다지 좋지 않 다.	초음파 법은 최근 잘 이용되지만, 충격파법 및 위상 법은 그다지 이용 되지 않는다.
	複 合 法	음속 Schmidt H- ammer 법	초음파 음속과 S- chmidt Hammer 반발도의 측정	압축강도의추정	음속법·Schmidt Hammer 법을 단 독으로 사용하는 경우 보다도 추정 정확성이 좋다.	강도 판정식이 확 립되어 있지않다.	강도 추정 정확성 의 향상을 기대하 여 유망시되고 있 다.
局 部 破 壞 法	貫 入 法	Simbi Hammer法 Spitpin法, Win- dsor Probe 法 등	관입 깊이의 측정	압축강도의 추정	측정이 비교 적 용이	• 화약을 이용하 기 때문에 위험 • 시험후의 보수 가 필요	별로 사용되지 않 음
	引 拔 法	못·Bolt 등의 引 拔法	Concrete 속에 埋 込되어 있는 못· Bolt 등의 引拔耐 力の 측정	압축강도의 추정	강도측정 정확도 가 비교적 좋다.	• Concrete 打込 전에 준비를 필 요로 한다. • 시험 후의 보수 가 필요	소련에는 이미 규 격화 되었고 미국 에도 규격화 되고 있다.

種 類		測 定 内 容	適 用 範 疇	長 点	欠 点	備 考	
	局部壓縮法	—	φ 15mm 정도의 강판에 따라 국부압축내력의 측정	압축강도의 추정	강도 추정 정확도가 비교적 좋다.	• 실시가 거의 곤란 • 시험후의 보수가 필요	적용에는 적다.
電 磁 氣 法	전기저항법 유전율법 자연전국전위법	• 전기 저항의 측정 • 유전율의 측정 • 자연전기 전위의 측정	• Concrete의 두께·밀도 • 함수율 등의 측정 • Concrete 속의 철근부식 상황의 측정	• 측정은 비교적 용이 • 동일 개소에 반복하여 적용할 수 있다.	측정 정확성은 그다지 좋지 않다.	연구 단계에 있기 때문에 적용에는 비교적 적다.	
	磁氣法	Pachometer 법, Covermeter 법 등	철근의 존재에 따른 자기의 변화	철근 탐사	• 측정은 비교적 용이 • 동일 개소에 반복하여 적용할 수 있다.	• 과철근의 경우 탐사가 곤란 • 깊은 위치에 있는 철근에는 적용 곤란	시판의 기구도 있고, 꽤 널리 실용되고 있다.
放射線·中性子法	γ 선법, r 선 Radiography 법, r 선 라디오-원소법	방사선 투과 상황의 촬영	• 내부 결손의 탐사 • 철근 탐사	• Concrete 내부의 상황이 직접 관찰된다.	• 방사선에 따른 위험이 따른다. • 장치가 대형	방사선·중성자 등의 취급에는 제한이 있고, 그다지 실용되고 있지 않다.	
	중성자 함수량 측정법 중성자 활성화 분석법	중성자의 감쇄 상황의 측정	• Concrete 함수량의 추정 • 단위Cement 양의 추정	측정 정확도가 비교적 좋다.	• 위험이 따른다. • 장치가 대형		
其 他 方 法	Microwave 흡수법	파장 0.3~300mm의 Microwave의 물에 따른 감쇄율의 측정	Concrete 함수율의 측정	측정이 비교적 용이	추정 정확도는 꼭 좋지는 않다.	연구단계	
	表面吸收法	Concrete 표면에 물은 물(수심약20cm)의 흡수속도와 흡수량의 측정	공극률에서 동결용해 저항성을 추정	특별한 기구를 필요로 하지 않는다.	수평부재의 윗 면에만 적용 가능	적용에는 적다.	
	함수율·공극율법	수는 압입법에 따른 공극율과 화학분석법에 따른 함수율의 측정	압축강도의 추정	• Concrete 시편이 있다면 강도추정이 가능 • 강도 추정 정확도가 좋다.	측정이 곤란	연구단계	
	Acousticemission 法	재하에 따른 Concrete내부의 균열 발생음의 계측	• Concrete품질의 추정 • 재하 이력의 추정	Kaiser 효과를 이용하여 그 Concrete 과거의 재하 이력을 추정할 수 있다.	• 측정이 곤란 • 측정 장치가 고가	연구단계	

振動法은 表-1에 표시한 바와 같이 共振法과 音速法이 있다. 그러나 共振法은 적용가능한 공시체의 형상·치수에 제약이 있어 콘크리트 強度推定에 적절하지 못하나 音速法은 이와 같은 制約이 없다. 音速法의 종류에는 超音波伝播速度法·衝擊波法·位相法 등이 있다. 이중에서 超音波는 적용 주파수가 높고(약 50~100Hz) 音波가 특정의 方向으로 직진하는 性

質이 있어 材料内部의 探傷도 가능하고, 測定機器도 數種이 개발되어 있어 이를 사용하면 실용적이다. 초음파법에 따른 비파괴시험의 연구는 1945년 경부터 시작되지만 1948년 Jones가 초음파의 음속과 콘크리트의 휨·압축강도와와의 상관관계를 조사해 強度推定の 가능성을 나타내었으며, 1950년대 이래 많은 연구가 진행되어져 왔다. 이중 Whitehurst의 연구는

ASTM規準에 채택되어 있다.

複合法은 두종류 이상의 비파괴 시험법을 병용하는 強度推定法으로 이미 1953년 Kesler·樋口에 의해 動彈性係數와 對數減衰率의 병용한 것이 있으나 이 방법은 실제 Concrete 構造物에 적용하기는 곤란하며 動彈性係數와 對數減衰率의 어느 것도 共振振動試驗에 따라 구한 物理量이기 때문에 엄밀히는 복합법이라고 말할

수 없는 것이다. 콘크리트 構造物에 적용할 수 있는 複合法의 研究는 1960년대부터 시작한 超音波傳播速度法과 Schmidt Hammer 반발경도를 병용한 것이 있고, Facaoaru · Dumitrescu · Stamate, 谷川 · 山田 · 小阪 및 明石의 연구가 있다. 이들의 연구는 초음파전파속도 혹은 Schmidt Hammer의 반발경도를 단독으로 이용하는 것 보다는 양자의 측정치를 複合시켜 콘크리트 強度를 測定하는 것이 強度推定의 精確도를 높일수 있음을 보여 주고 있다.

위의 3 가지 강도 推定을 위한 비파괴 시험법 외에 表-1에 나타난 引拔法은 콘크리트 속에 매입된 잉카볼트 등의 鐵物의 引拔耐力에서 콘크리트 強度를 推定하는 방법이다. 이 방법은 국부적이긴 하지만 콘크리트 일부를 損傷하는 것이기 때문에 엄밀하게는 비파괴 시험이라고는 할수 없지만 埋込鐵物의 引拔耐力이라 하는 콘크리트 강도에 상관관계되는 지표를 이용하기 때문에 강도추정의 精確도라는 관점에서 기대되는 試驗方法이다.

Ⅲ. 各種非破壞試驗法

3.1 反發硬度法(Schmidt Hammer Test)

1. 概說

非破壞試驗方法에는 前述한 바와같이 各種의 방법이 있으나 Schmidt Hammer Test는 실험실 및 現場에서 적용될 수 있는 가장 簡易한 試驗方法이다.

Schmidt Hammer法은 콘크리트 表面의 硬度로 부터 콘크리트의 壓縮強度를 推定하는 한 방법으로, 그 測定方法, 適用可能한 強度範圍, 判定式 및 判定의 評價方法에 대한 考證가 強度를 推定하는 과정에서 필요하다.

콘크리트의 品質管理를 위함과 구조물의 耐力診斷에 한정된 경우 그 測定方法과 強度의 적용범위는 共通된 要因으로 볼 수 있으나 時間要素에 관하여는 前者는 비교적 短期間의 문제이며 後者는 비교적 長期間을 대상으로 취급되고 있으므로 強度의 判定式은 測定方法과 時間要素를 고려하여 結果를 判定하여야 한다.

2. 測定器種類의 選定 및 檢定

① 機種의 選定

Schmidt Hammer는 N型 · NR型 · NP型 · ND型 · MTC型 · P型 · L(R)型 · M型 등의 機種(表-2 참조)이 있다.

보통콘크리트의 경우는 N型和 NR型이 일반적으로 사용되며, 反發硬度를 직접 읽는 N型이 가장 많이 사용되고 있다. NP型은 反發硬度를 數字記錄하는 測定值의 기록과 처리가 精確하며 간단하다. ND型은 실제의 反發硬度를 직접 읽을 수 있으므로 개인의 측정 誤差가 없는 간단 · 精確 · 신속하게 構造物試驗을 실시할 수 있다. MTC型은 反發硬度(R)의 20打點 平均値와 타격각도에 따른 補正値(\bar{R})로 부터 직접 콘크리트의 壓縮強度를 직접 推定하여 그 값을 記錄하는 機種이다.

初期強度 등을 推定하는 경우는 低強度用 P型이 사용되며, L型은 輕量콘크리트用으로, M型은 메스콘크리트用으로 사용되나 M型만은 아직 實施例가 없다.

Schmidt Hammer法은 그 目的에 対応하는 精確한 測定器의 機種을 사용할 필요가 있으며, 또한 各機種의 強度測定範圍가 表-2에 나타나 있으므로 이를 이용하여야 한다.

表-2 Schmidt Hammer의 種類

機 種	衝擊에너지 (Kg · m)	強度測定範圍 (Kg / cm ²)	自動 (Kg)	備 考
N型(普通콘크리트用)	0.225	150~600	1.0	反發硬度R을 직접읽음
NR型(同 上)	0.225	150~600	1.4	反發硬度R을 자동記錄
NP型(同 上)	0.225	150~600	1.6	反發硬度R을 자동記錄
ND型(同 上)	0.225	150~600	1.6	反發硬度R이 디지털表示器에 나타남
M+C型(同 上)	0.225	150~1,000	1.6	콘크리트 壓縮強度記錄
P型(低強度콘크리트用)	0.09	50~150	2.7	振子式 初期強度推定
L(R)型(輕量콘크리트用)	0.075	100~600	1.2	自動記錄
M型(메스콘크리트用)	3.0	600~1000	12.0	댐이나 활주로 등의 메스콘크리트用

表-3 打撃方向補正値

反發硬度 R	水 平 과 이루는 角度			
	+90°	+45°	-45°	-90°
10	-	-	+2.4	+3.2
20	-5.4	-3.5	+2.5	+3.4
30	-4.7	-3.1	+2.3	+3.1
40	-3.9	-2.6	+2.0	+2.7
50	-3.1	-2.1	+1.6	+2.2
60	-2.3	-1.6	+1.3	+1.7

② 檢定

調査한 文献의 範圍內에서 Schmidt Hammer를 사용하는 경우, 事前에 Test Anvil에 의한 定期檢定을 행하여야 한다. 이는 Schmidt Hammer 使用時에 정상적인 測定值를 가질 수 있도록 使用直前 또는 定期的으로 Test Anvil에 의한 精確度 및 補正을 할 필요가 있음을 뜻한다. Test Anvil에 의한 Test Hammer의 반발경도 R은 80으로 기준하고, 80±2의 範圍를 정상으로 하나, 필수 있는 한 80±1의 범위로 한다. 이 범위의 값을 벗어날 경우 Test Hammer의 調整나사를 조작하여 調整하여야 한다.

3. 測定方法

① 打撃方法

가) 打撃方向

打撃方向은 水平方向이 일반적이거나, 水平以外의 方向의 打撃時에는 表-3의 값으로 補正하여야 한다.

나) 打撃回数

Schmidt Hammer 試驗에서의 打撃回수는 10回中 6~7회가 범위에 포함하지 않는 경우는 20회를 측정하여야 한다.

平均 R 15 30 45

偏差 ΔR ±2.5 ±3 ±3.5

表-4와 表-5는 建築物의 各部位

에 대하여 조사한 Schmidt Hammer에 의한 強度推定値의 信賴度와 打撃回数와의 關係를 表示하였다. 이 결과로 부터 各 測定部位에 各 20點의 打撃回數가 만족할 만한 強度推定의 값을 얻을 수 있음을 알 수 있다.

② 콘크리트 表面의 狀態

測定面이 平滑하여야 하며, 粗面은 피하여야 한다. 마감재로나 도로로 鋪하여져 있는 部位는 이를 제거하여 콘크리트 면에 직접 打撃하여야 한다.

表面의 凹凸은 반발경도 R치에 영향을 미치므로 各급적 表面을 무작위로 선정후, 研磨하여 平滑하게 할 필요가 있다. 또한 측정면 내에 있는 豆板·空隙 및 노출된 자갈 등의 部分 등은 測定點에서 제외하여야 한다.

일반적으로 콘크리트面이 濕한 상태를 測定한 값은 건조한 상태의 경우보다 반발경도 R 값이 2~5 정도 혹은 20% 정도 적게 나타나므로, 強度推定에 있어 다소 영향이 있을것이므로 이에 대한 적절한 고려가 필요하다.

또한 構造體의 콘크리트에 있어 실제의 측정은 被測定部材의 콘크리트 두께가 10cm 이상 되는 곳을 選定하여야 한다.

4. 強度의 推定

表-4 打撃回數와 強度推定値의 信賴度

打撃回数	5	10	15
기둥 (71件)	55%	83%	99%
벽 (55件)	60%	89%	98%
보 (36件)	67%	92%	99%

表-5 打撃回數와 強度推定値의 信賴度

打撃回数		5	10	15	20
角柱	A	25%	95%	99%	
	B	17%	83%	84%	99%
	C	20%	40%	60%	99%
	D	20%	60%	80%	99%
円柱	A	1%	33%		
	B	33%	34%	67%	99%
	C	1%	33%	99%	
	D	1%	2%	33%	99%

[注] A·B·C·D의 記号는 높이를 4等分한 部位를 나타낸 것으로

가) 品質管理를 목적으로 한 構造體의 콘크리트 壓縮強度의 推定 構造體 콘크리트의 해당개소에 測定한 反發硬度和 壓縮強度와의 相關圖表나 關係式을 이용하여 壓縮強度를 推定한다. 이 경우 反發硬度和 壓縮強度와의 相關圖表 또는 關係式은 強度를 推定하기 위한 콘크리트의 同一 調合 強度의 調合콘크리트 供試體를 제작하여 그 反發硬度和 壓縮強度를 測定하는 것이 원칙이다.

앞서 언급된 방법의 실시가 불가능할 경우는 같은 종류의 콘크리트에 있어 신뢰할 수 있는 相關圖表 또는 關係式을 사용하여야 한다.

나) 耐力診斷을 目的으로 한 既存 콘크리트의 壓縮強度 推定

이 경우 反發硬度和 壓縮強度와의 相關係數에 의한 式이나 圖表를 이용하는 것이 일반적이나, 해당 建築物에서부터 일부 채취한 콘크리트 코어의 壓縮強度 實測値와 비교 검토함이 바람직하다.

다) 콘크리트 材令에 따른 콘크리트 強度推定値의 補正

長期材令의 콘크리트의 強度推定에 있어 일반적으로 적용되는 關係式이나 圖表에서 材令에 따른 補正係數를 적용할 필요성이 있다. 관련된 연구

에 의하여 材令 t년의 콘크리트의 反發硬도 R과 壓縮強度 Fc와의 사이에서 다음과 같은 關係式으로 推定될 수 있다.

$$F_c = 9.37 \times (0.987)^t \times R + (1.3t - 109) \text{ [Kg/cm}^2\text{]}$$

또한 表-6은 材令에 따른 콘크리트 強度를 추정하는 경우, 材令 28日 強度를 기준으로 材令係數 α를 곱하여 콘크리트 強度를 推定할 수 있다.

5. 結果의 評價

가) 判定式

현재 일반적으로 사용되는 強度判定式은 다음과 같다.

東京都建築材料検査所의 式

$$F = 10R_o - 110 \text{ [Kg/cm}^2\text{]}$$

日本材料学会의 式

$$F = 13R_o - 184 \text{ [Kg/cm}^2\text{]}$$

이러한 判定式은 일정한 條件下에 얻어지는 것이며, 測定器機의 종류, 試驗條件에 따라 다소 차이가 있다. 이러한 條件下에 위의 強度判定式을 이용하여 強度를 推定하는 것은 多少 불합리하므로 사용하고자 하는 測定機를 이용한 표준공시체 또는 Core 供試體의 壓縮強度를 구하여 이 測定値들을 상호 비교함이 타당하다.

3.2 超音波速度法(音速法)

1. 概說

본 試驗方法은 경화된 콘크리트 내 부로 傳達되는 超音波의 傳播速度로 콘크리트의 耐久性·均質性 등의 判定 및 強度推定 등에 이용된다. 그러나 콘크리트 중의 音速은 측정조건· 使用骨材의 種類·骨材의 量·콘크리트 함유상태·内部鉄筋의 量과 配置 등 많은 要因의 影響을 받기 때문에 音速만의 콘크리트 壓縮強度 推定은 그 精度가 낮다. 단, 類似한 조건인 경우는 音速과 強度 사이에는 거의 일정한 關係가 있어 강도의 推定이 가능하다.

2. 測定管理와 適用範圍

콘크리트에 밀착된 단자에서 發振한 超音波 Pulse (20~200KHz의 斷續音波)가 콘크리트 중에 전달되어, 수신단자에 가장 빨리 도달한 시간을 구하여 傳播時間으로 하여 兩 단자간 의 距離를 구하여 그 速度를 얻는다.

이 音速과 壓縮強度와의 相關關係에 의해 콘크리트 強度를 推定한다.

본 試驗方法은 콘크리트의 種類 및

表-6 材令係數 α의 값

材令	10日	28日	100日	300日	500日	1000日	3000日
材令係數	1.56	1.0	0.78	0.70	0.67	0.65	0.63

測定하는 部材의 형상·치수에 대한 適用上의 制約은 비교적 적다. 用途에 대하여는 構造體 콘크리트의 品質管理, 거푸집 제거, 時期의 決定, 프리캐스트 콘크리트 제품 제조 공정에 있어 製造管理, 既存 콘크리트 構造物의 콘크리트 強度判定 등을 위한 補助手段으로 활용된다.

音速法의 경우, 適用強度範圍는 종래의 研究調査 및 實驗結果에 따라 100~600 Kg/cm²로 한다.

3. 測定方法

① 測定機

測定機는 電源同調回路 및 時間測定裝置를 主構成要素로 하는 本体와 水晶·디탄산바륨, 그 외를 이용한 振動子(發振子 및 受振子)로 周波數帶는 20~200KHz인 端子로 한다.

② 測定機의 校正

현재 측정기는 100V 전원의 周波數에 대해 校正(Calibration)操作은 필요하지 않지만, 機種間 또는 測定機 端子의 온도에 의해 誤差가 생기는 경우가 있다. 이 경우 0點 調整만으로는 반드시 校正이 될 수 없기 때문에 溫度 등의 영향을 받기 어려운 物質을 이용한 試驗片에 의한 校正을 행할 필요가 있다. 測定機에 따라 標準試驗片이 부속품으로 부착되어 있어 이를 이용하여 校正함이 바람직하다.

③ 測定對象

測定距離는 원칙적으로 測定誤差를 줄이기 위해 최소 10cm 이상으로 하며, 端子가 接하는 면은 평활하게 한다. 평활한 면이 아닌 경우 혹은 接觸面에 모래 등이 부착된 경우 그 部分에서의 音波의 감쇄가 현저하여 測定이 곤란하게 된다. 이 경우 그리이스나 파라핀 등을 공극에 충전하여 減衰를 억제시켜 측정하는 것도 가능하지만 그 密着材에 의한 音速의 低減效果에 의해 반드시 정확한 測定值는 얻을 수 없다. 또한 되도록이면 콘크리트 중의 超音波 투과를 직접 받을 수 있게 直接적으로 측정함이 測定精度의 점에서 가장 우수하다.

④ 測定個所

測定部位는 調査目的에 따라 適宜 선정함이 좋다. 通常 測定個所는 計測이 가능하고, 또한 試驗條件을 잘 나타낸, 즉 콘크리트의 品質을 잘 대

표하는 위치로 선정한다. 콘크리트의 마감재가 있는 경우 가능한 이것을 제거한 후 試驗을 행한다. 測定數는 가능한 많은 위치를 선정하며, 반드시 동일 個所에 2회 이상의 測定을 행하여 그 평균치를 그 個所의 測定值로 한다.

또한 鉄筋 콘크리트의 경우 測定方向에 동일 方向의 鉄筋은 音速에 현저한 영향을 미친다. 따라서 實施 構造物의 測定時에는 철근탐지기를 이용하든가, 또는 測定位置를 겹치지 않게 여러 군데 測定을 하여 철근 위치와 정확한 콘크리트의 音速치를 얻도록 한다.

⑤ 測定要領

測定에 앞서 대상으로 하는 콘크리트에 관한 資料(材料·配合·材令·養生·내부 鉄筋·含水率 등)를 가능한 수집하여 測定目的 및 結果의 檢討時 判斷 자료로 한다.

4. 強度推定

① 音速의 算定

實測한 超音波 Pulse의 傳播時間 t 및 測定距離 L 을 이용해서 아래식에 의해 V_p 를 구한다.

$$V_p = L/t \text{ (Km/s 또는 m/s)}$$

② 強度의 推定

구조체 콘크리트의 音速을 推定하여 미리 구해진 音速과 壓縮強度와의 相關關係에 의한 圖表 및 式을 이용하여 압축강도를 推定한다. 이와 같이 콘크리트 強度를 推定할 시 고려하여야 할 사항은 骨材의 種類·Cement 량·骨材量 등의 콘크리트 配合과 材料에 대한 것과 콘크리트 材令 및 콘크리트의 表面狀況·콘크리트 含水率·균열공극 등 測定部位의 상태에 기인하는 要素, 콘크리트 内部鉄筋量 및 鉄筋方向과 적용주파수, 사용시 온도·단자·접착요령 등이다.

音速(V_l : Km/sec)과 콘크리트 壓縮強度(F_c : Kg/cm²)와의 相關關係式은

$$F_c = 2.57 \times 10^{-4} V_l^{2.59}$$

$$V_l = 2.924 F_c^{0.0608} \text{ (材令 7日)}$$

$$V_l = 2.621 F_c^{0.0893} \text{ (材令 28日)}$$

등 몇 種의 研究가 있다.

3.3 複合法

1. 概說

본 試驗方法은 反發硬度法(Schmidt Hammer Test)에 의한 反發硬度(R)와 超音波波速度法에 의한 傳

播速度(V_l)의 측정치를 併用해서 콘크리트의 壓縮強度(F_c)를 推定하는 시험이다. 이 방법은 콘크리트의 壓縮強度와 일정의 相關關係를 갖는 各非破壞 試驗值를 強度推定式 가운데 順次變數로 추가해 가는 것에 의해 강도의 推定精度를 向上하는 것이다.

適用範圍는 反發硬度法과 音速法에 준하여 推定壓縮強度가 100Kg/cm² 이상 600Kg/cm² 이하의 콘크리트에 적용한다. 콘크리트 材令에 대해서는 특히 제한을 붙이지 않지만 오랜 세월을 경과한 콘크리트의 強度를 推定하는 때에는 과거의 調査資料와 채취된 콘크리트 CORE의 壓縮試驗결과 등을 충분히 참고로 하여 推定強度의 補正을 하여야 한다.

2. 測定方法

반발경도 및 音速의 測定은 각 3·1 및 3·2에 기술한 방법에 의하며, 同一個所에서 反發硬度和 音速을 測定하는 경우 원칙적으로 反發硬度的 測定을 먼저한다. 이는 音速測定時 그 리이스 사용을 고려한 것이며, 輕量 콘크리트의 경우 Hammer 타격에 의해 콘크리트 表面에 균열이 생길 우려가 있을 때는 音速의 測定位置를 조금 移動한다.

3. 強度推定

反發硬度(R)과 音速(V_l)을 병용한 壓縮強度 F_c 의 推定式 으로서는 다음과 같은 各式이 제안되고 있다.

$$F_c = V_l(k_1 R + k_2 R^2 + k_3 R^3 + C)$$

$$F_c = \rho V_l^2 (k_1 R + k_2 R^2 + k_3 R^3 + C)$$

$$F_c = \frac{V_l}{k_1 R + k_2 R^2 + k_3 R^3 + C}$$

여기서 ρ 는 콘크리트 比重, $k_1 \cdot k_2 \cdot k_3 \cdot C$ 는 實驗定數이다. 또한 물시멘트비 W/c , 조골재의 最大値數 ϕ_a , 粗骨材體積混入率 V_a/V_c 등을 위의 式에 變數로서 추가한 式의 사용도 가능하다. 예를 들면

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

$$\phi_a + k_5 (V_a/V_c) + C$$

이와 같이 변수를 늘려가면 강도 推定精度는 높아지게 된다. 참고로 지금까지 제안되어 온 實驗式 중 대표적인 것을 소개하면 다음과 같다.

$$F_c = 8.2R + 269V_p - 1094$$

(普通콘크리트 경우)

$$F_c = 4.1R + 344V_p - 1022$$

(輕量콘크리트 경우)

VI. 結 言

콘크리트 壓縮強度를 推定하기 위한 非破壞試驗 方法 中 가장 유용성 이 있는 세가지 方法이 중점적으로 소개되었지만 향후 推定精度가 높은 試

驗方法이 연구개발 되어져야 할 것이다. 이 小考에서는 더 많은 研究結果 분석된 것을 실리지 못하였으나 차후 콘크리트의 品質管理 또는 既存 콘크리트 구조물에 있어서 콘크리트強度를

推定할 시 많은 實驗資料와 강도추정을 위한 提案式이 있으므로 實驗條件에 맞추어 適宜 선택하여 그 結果를 分析·判定하여야 할 것이다.

参考文献

1. 吳昌熙: 超音波法에 의한 콘크리트 非破壞檢査에 관한 研究(I) 大韓建築学会誌. VoL 15. No. 42. 1971. 9
2. 吳昌熙: 超音波法에 의한 콘크리트 非破壞檢査에 관한 研究(II) 大韓建築学会誌. VoL. 16. No. 44. 1972. 1
3. 吳昌熙·盧熙逸: 応力條件下의 P. S 콘크리트 部材의 超音波 傳播速度에 관한 研究. 大韓建築学会誌. VoL. 18. No. 61. 1974. 11
4. 吳昌熙·徐致煥: 人工輕量骨材를 利用한 輕量콘크리트의 活用に 관한 研究. 大韓建築学会誌. VoL. 23. No. 88. 1979. 5
5. 咸性權外 2인: 鉄筋 콘크리트 部材 内の 鉄筋探査에 관한 研究. 大韓建築学会誌. VoL. 24. No. 93. 1980. 3
6. 谷川恭雄 外: 構造材料實驗法. 森北出版株式会社. 1980
7. 柏 忠二 編著: 콘크리트의 非破壞試驗法. 1980.
8. 日本建築学会: 콘크리트 強度推定ための 非破壞試驗方法 マニュアル. 日本建築学会. 昭和58年
9. 日本建築学会: 콘크리트의 非破壞試驗法에 關する 研究의 現狀と問題點. 日本建築学会. 昭和56年

