

# 콘크리트 非破壞試驗의 概要

池 永 國

〈韓國建設技術研究院·先任研究員〉

## 〈目 次〉

1. 序 論
2. 非破壞試驗方法의 意義
3. 非破壞試驗方法의 種類
4. 反發硬度方法
5. 超音波方法
6. 貫入抵抗方法
7. 引拔方法
8. 結 論

## 1. 序 論

콘크리트의 非破壞試驗方法은 既存 構造物에 손상을 입히지 않고 구조물이 지니고 있는 耐力을 평가할 수 있기 때문에 기존 구조물의 補強을 위한 耐力測定에 적합한 방법으로 그 試驗의 目的과 研究方法이 다양하다.

각종 非破壞試驗方法中 콘크리트구조물에 적용되고 있는 試驗方法의 소개와 더불어 그 중 일반적으로 널리 사용되고 있는 슈미트·테스트 햄머방법, 超音波方法, 引拔方法, 貫入抵抗方法 등의 특징과 使用方法에 대해 記述하고 이 분

野와 관련된 規準과 그 研究趨勢를 소개하고자 한다.

## 2. 非破壞試驗의 意義

構造物로서 이미 완성되어 있는 콘크리트가 최초의 設計強度를 지니고 있어 構造物의 安全性이 기대되는지의 확인과 施工管理面에서 設計圖書 또는 契約대로 콘크리트가 타설되었는지의 여부를 判定하는 경우 일반적인 方法은 現場에서 타설되는 콘크리트와 동일한 것으로 제작된 공시체를 요구하는 材畧에서 시험하도록 정하고 있다.

그러나 공시체와 구조물콘크리트와는 다짐, 거푸집, 양생등의 여러 조건이 다르기 때문에 공시체의 強度와 실제 타설된 콘크리트 강도는 차이가 있는 경우가 많다. 실제 콘크리트구조물에서 코아(core)를 채취하여 시험하여 精確한 強度를 파악할 수 있지만 부분적인 손상과 소요경비를 고려하여 특별한 경우를 제외하고는 이를 적용하지 않는다. 이에 반해 구조물의 손상없이 구조물콘크리트강도를 간편하게 判定할 수 있는 것이 非破壞試驗의 意義라 할 수 있다.

또한 이러한 試驗方法은 타설콘크리트의 강도추정뿐만 아니라 판두께의 측정, 내부 균열의 깊이 측정등에도 이용되고 있다.

### 3. 非破壞試驗의 種類

콘크리트 비파괴시험방법은 강도추정에 의한 방법과 강도이외의 物性評價에 관한 방법으로 구분되며 施工管理 또는 構造物의 老後化정도의 평가에도 사용된다. 강도추정에 관한 試驗方法에는 反發硬度方法, 貫入抵抗方法, 引拔方法, 超音波方法, 2 가지 이상의 方法을 함께 사용하는 調和方法, 養生時間으로 측정되는 메츄리트방법등이 있으며, 강도이외의 物性을 평가하기위한 試驗方法에는 電磁誘導法, 電氣的 方法, 放射線 方法, 超音波 方法, 아코스틱·에미손方法, 각종 浸透性 試驗方法등이 있다.

그리고 非破壞試驗과 관련된 規準 및 使用指針을 살펴보면 다음과 같이 요약할 수 있다.

- 美國 ; ASTM(American Society for Testing and Materials)에서 제정한 超音波方法(Standard Test Method for Pulse Velocity through Concrete ; ASTM C 597), 反發硬度方法(Standard Test Method for Rebound Number of Hardened Concrete; ASTM C 805), 貫入抵抗方法(Standard Test Method for Penetration Resistance of Hardened Concrete; ASTM C 803), 引拔試驗方法(Standard Test Method for Pullout Strength of Hardened Concrete; ASTM C 900)

- 日本 ; 共鳴方法(JIS A 1127), 反發硬度方法(日本 材料學會의 「슈미트햄머에 의한 실제 콘크리트 壓縮強度 판정방법지침(案)」과 日本 建築學會의 「콘크리트 강도추정을 위한 非破壞 試驗方法 指針書」)

- 英國 ; 超音波電波方法(BS 4408), 反發硬度方法(BS 4408)

- 西獨 ; 反發硬度方法(DIN 1048)

한편 1984년 10월 캐나다의 오타와에서 「콘크리트現場試驗 및 非破壞試驗에 관한 國際會議」에서 62편의 각종 試驗에 관한 論文이 발표되었다. 이 論文들은 미국 콘크리트학회(American Concrete Institute)의 특별간행물 SP-82에 수

록되어 있으며, 그 內容은 試驗裝置의 교정방법, 데이터 평가방법, 시험방법의 標準化에 관한 사항과 非破壞試驗등에 관한 연구등이다.

前述한 바와 같은 콘크리트 非破壞 試驗方法은 대체로 다음과 같이 분류된다.

- 타격에 의한 方法
  - 表面硬度法(낙하식, 회전식 햄머법)
  - 反發硬度法(슈미트 햄머법)
- 음향학적 方法
  - 공진방법(중공진방법)
  - 음속방법(초음파방법)
- 電氣的 方法
  - 電氣抵抗方法
  - 磁氣方法
- 放射線方法
  - 放射線方法(X선,  $\gamma$ 선)
  - 中性子方法
- 局部破壞方法
  - 貫入抵抗方法(Simbi 햄머법, Windsor Probe법)
  - 引拔方法
  - 局部壓縮方法
- 調和方法(2 가지 이상의 方法을 조합·併用한 方法)
  - 音速方法+슈미트 햄머법
  - 音速方法+음속감쇄율
- 기타 方法
  - 아코스틱·에미손方法
  - 표면흡수성등

또한 이들의 각 方法을 간략히 요약하면 다음과 같다.

- 打擊方法 : 타격에 의한 試驗方法은 역사도 제일 오래 되었고 그간 많은 연구도 되었다. 그중 슈미트햄머법이 측정이 용이하고 콘크리트 강도의 測定精密度가 비교적 양호한 편으로 현재 세계 각국에서 제일 많이 사용되고 있는 방법이다.

- 振動方法 : 超音波電波速度方法으로 대상 측

정물의 形狀·치수에 관계없이 적용이 가능하며 슈미트햄머법과 더불어 광범위하게 사용되고 있으며, 또한 공진방법은 耐久性의 測定法으로 많은 나라에서 規格化하고 있는 추세이다.

• 電氣的 方法·放射線方法: 이 방법은 強度推定을 목적으로 콘크리트의 含水率, 密度, 슬래브판의 두께등을 측정하는데 이용되며 이에 대한 研究報告書가 다소 있으나 그 적용사례가 적어 앞으로 많은 연구가 기대되는 방법이다.

• 局部破壞方法: 構造物의 試驗部位의 극히 일부가 손상되므로 엄밀한 의미에서 비파괴시험방법의 일종으로 간주한다. 이 方法에는 貫入抵抗方法, 引拔方法, 局部壓縮方法이 포함되며 引拔方法은 추후 연구진전이 기대되는 방법이다.

• 調合方法: 상기의 試驗은 단독으로 사용하고 있는데 반하여 2種類이상의 方法을 併行使用함으로써 強度推定을 향상시킬 수 있는 調合方法이 개발되었는데 현재 가장 우수한 방법중의 하나로 각광을 받고 있으며 앞으로 많은 연구가 기대되는 방법이다.

다음은 非破壞試驗方法中 비교적 사용빈도가 많고 장래에 적용이 유망한 反發硬度方法, 超音波電波方法, 貫入抵抗方法, 引拔方法의 적용방법과 특성을 소개하고자 한다.

#### 4. 反發硬度方法

슈미트햄머법이라고도 불리우는 反發硬度方法은 테스트햄머속에 들어있는 추가 튀어오르는 거리를 가지고 콘크리트표면의 경도를 측정하여 構造物의 強度和 品質을 평가하는 방법으로서 측정이 간단용이하고 구조물 손상등의 피해가 없는 방법으로 널리 보급되어 있는 방법이다. 이 테스트햄머는 1948년 스위스의 Ernst Schmidt가 고안한 것으로 보통 슈미트 햄머라고 불리운다. 슈미트햄머는 보통 콘크리트에는 N형햄머(NR형은 자동기록장치有)가 사용되나 표-1에서와 같이 대상 콘크리트의 종류에 따라 각종 테스트햄머가 사용되고 있다.

표-1. 슈미트햄머의 종류와 적용조건

종 류	타격에너지		적용강도범위 (kg/cm <sup>2</sup> )	대상 콘크리트
	kg·m	N·m		
N, NR형	0.225	2.207	50~600	보통콘크리트 건물·교량
L, LR형	0.075	0.735		경량콘크리트 인조대리석
M형	3	29.43		매스콘크리트
P형	0.090	0.883	40~200	경량콘크리트 플라스터
PT형	0.090	0.883	4~50	저강도의 건축재료

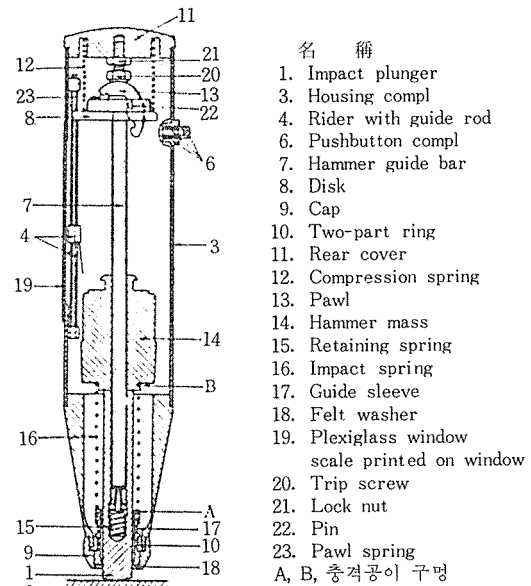


圖-1. N型 슈미트 햄머구조

N형 테스트햄머의 구조는 圖-1과 같다. 햄머를 콘크리트면에 직각으로 누르면 추가 프란자에 충돌하고 그 탄력이 라이더의 이동거리로 표시되어 표시된 눈금으로부터 反發硬度(Rebound Number) R을 측정한다.

이 슈미트햄머를 사용할 시에는 반드시 안빌 시험을 실시해야되며, 이 시험에 합격되지 않은 경우 햄머를 조정하여 사용한다.

규정안빌(重量 16kg, 브리넬경도 500kg/mm<sup>2</sup>)을 바닥에 놓고 下向으로 타격할 때 R 값이 80 ±2의 값을 나타내야하며 이 규정값에 어긋날 때는 다음 식으로 補正한다.

$$R = \bar{R}_0 \cdot 80 / R_a$$

여기서  $R_a$ ; 안빌에 의한 반발경도

$\bar{R}_0$ ; R의 평균값

햄머의 추중량, 충격스프링의 스프링 정수에 따라서 타격에너지는 일정하지 않으므로 다른 종류의 햄머로 측정된 反發硬度和 비교할 때 주의할 요인이다.

콘크리트의 反發硬度和 壓縮強度的 상관관계 즉 強度推定式을 구하는 方法은 여러가지가 있다. 강도추정식은 사용하는 햄머, 타격방향, 부재의 강성, 콘크리트 표면상태와 건조상황, 측정횟수와 측정간격등 측정방법상의 여러 요인 그리고 콘크리트 使用材料와 配合, 養生條件, 初期硬化速度, 다짐의 정도, 材令, 炭酸化 정도등 콘크리트 품질에 영향을 미치는 여러 요인에 의해 좌우된다.

反發硬도에 의한 強度判定의 目的은 施工中의 콘크리트 品質管理와 既存 構造物의 耐力判定으로 구분할 수 있다. 品質管理를 위해서는 소정의 햄머로 부터 대상콘크리트의 強度推定式을 실험적으로 구하고 이것을 사용하여 콘크리트구조물의 강도를 추정하여야 한다. 耐力判定의 경우에는 대상콘크리트 強度推定式이 얻어지지 않는 것이 많아 대상콘크리트와 유사한 조건하에서 구할 수 있는 기존의 推定式을 사용할 수 있으나 구조물에서 채취한 코아의 強度和 反發硬度和의 관계에서 적용한 推定式과의 확인 또는 수정이 필요하다. 이러한 이유로 反發硬도方法에 관한 외국의 規準에는 시험해야할 콘크리트의 強度推定式이 구해지지 않을 경우에는 콘크리트의 강도추정보다 오히려 強度分布등 品質의 상대적 변화의 평가를 목적으로 한 것이 많다.

反發硬度和 強度推定式에 의한 외국의 規準으로 日本 材料學會의 「슈미트햄머에 의한 실제

콘크리트의 압축강도 판정법 지침안」에서 제안된 강도 추정식은 다음과 같다.

$$F = -184 + 13.0R$$

기준경도  $R_0$ 는 측정경도 R에 ① 打擊方向의 修正 ② 壓縮應力을 받는 경우 ③ 水中 養生의 콘크리트를 건조하지 않은 상태에서 측정한 경우의 補定값을 나타내고 있다.

미국의 ASTM C 805 「Standard Test Method for Rebound Number of Hardened Concrete」에 의한 反發硬도試驗은 실제 콘크리트의 균일성, 노후화부분의 결정, 시멘트의 水和作用에 의한 변화등을 알기위해 사용한다. 따라서 이 試驗은 거푸집과 支柱의 제거시기를 결정하는데 유효하다. 그러나 이 試驗方法은 콘크리트강도의 결정에는 사용되지 않는다고 명시되어 있다.

영국의 BS (British Standard) 4408 Part 4 「Recommendations for Non-destructive Methods of Test for Concrete, Surface Hardened Methods」는 反發硬度和 요철부硬도試驗을 規定한 것으로, 구조물콘크리트의 試驗方法은 물론 공시체를 사용하여 검정곡선을 구하는 方法, 表面硬도試驗結果에 영향을 미치는 요인에 대해서도 상세히 記述되어 있다. 이 規準에서도 表面硬도方法은 콘크리트의 대체적인 品質을 알 수 있는 方法이라고 명시되어 있다.

서독의 DIN 1408 Part 2 「Prüfverfahren für Beton-Bestimmung der Druckfestigkeit von Festbeton in Bauwerken und Bauteilen (콘크리트의 일반적 試驗方法 - 構造物 및 部材의 콘크리트 壓縮強度的 決定)」에는 코아 및 슈미트 햄머 N형, 鋼球打擊햄머(Kugelschlag Hammer)에 따른 콘크리트강도의 결정방법이 제시되어 있다. 그리고 Part 4 「콘크리트의 일반적 試驗方法 - 構造物 및 部材의 콘크리트 壓縮強度的 決定, 關係直線의 적용과 특수한 方法에 의한 評價」에는 反發硬도R과 공시체의 壓縮強度 또는 코아強度和의 關係直線을 구하는 方法 및 시험 결과의 평가와 제정방법이 수록되어 있다.

## 5. 超音波方法

이 試驗方法은 超音波 펄스(Pulse)를 콘크리트에 放射하여 거리L(m)간의 電波時間T(sec)를 측정한 다음 音速 V(M/s)를 구하여 콘크리트의 品質을 판정하는 방법이다. 이 方法의 특징은 공시체, 구조물의 形狀등에 관계없이 어느 部位에도 적용할 수 있으며, 거리는 미터단위의 구간이나 센티미터단위의 작은 部材에까지 적용이 가능하다.

이 方法의 用途는 콘크리트의 品質管理, 거푸집제거시기의 測定, 프리캐스트 콘크리트 工場 製品의 製造管理, 既存 콘크리트구조물의 品質 評價 및 균열의 깊이등을 측정하는데 사용된다.

특히 構造物 内部의 균열, 空隙의 調査, 판두께의 測定도 가능하며 超音波의 감쇄정수를 측정하여 콘크리트의 配合등 内部構成의 推定에도 活用할 수 있다.

超音波方法을 최초로 고안한 사람은 1949년 캐나다의 Leslie와 Cheesman이며. 이들은 Soniscope 測定器로 댐을 대상으로 획기적인 測定研究를 試圖하였다. 또 이 시기에 영국의 Jones가 ultrasonic concrete tester를 개발하여 研究報告書 다수를 발표하였다. 일본에서도 광범위한 연구가 있었고 측정기도 시판되고 있다.

超音波란 보통 20kHz 이상의 音波를 말하며 그 特性은 空氣보다도 固体·液体중에서 잘 전파되며 파장이 짧아 指向性이 매우 크다. 즉 직경  $\alpha$ 인 발진자가 진동을 할때 波速은 발진자의 면에 직각으로 放射되고 波長  $\lambda$ 로서 放射경로의 각도  $\theta$ 를 나타내면 다음 식과 같다.

$$\sin \theta = \frac{1.22 \lambda}{\alpha}$$

또 파장보다 큰 장애물 즉 철근, 자갈, 공극등이 있으면 반사, 산란을 일으키며 특히 균열이 있으면 거의 100% 반사한다.

超音波振動子는 수정, 치탄산바륨계 또는 치탄산연, 지르콘산연이 사용되고 수정은 150~

300kHz 이고 기타는 20~100kHz로 유리하다. 이러한 振動子는 圖-2와 같이 케이스속에 들어가 사용된다.

초음파방법에 관한 規格은 전술한 바와 같이 ASTM C597과 BS 4408 Part5에 제정되어 있다.

콘크리트면에 間隙이 없도록 밀착시킨 發振子에 전기적 충격을 가하면 초음파가 콘크리트속으로 전파되어 일반적으로 반대편면에 똑같이 밀착시킨 受振子에 電氣振動으로 변환된다.

이것은 증폭되어 브라운관에 영상화되고 發振子별로 受振波의 圖-3과 같이 올라간 부분의 時間差異가 電波時間이 된다.

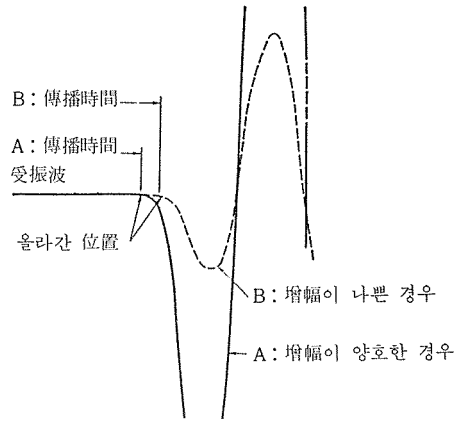


表-3. 受振波의 增幅에 의한 傳播時間變化

超音波의 波動은 半無限体속을 전파한다고 볼 수 없으므로 縱波의 速度  $V_e$ 과 橫波가 검출된다면 橫波의 速度  $V_t$ 를 자기 式으로 나타내면 다음과 같다.

$$V_e = \sqrt{\frac{E_0 g}{\rho} \cdot \frac{(1-\mu)}{(1+\mu)(1-2\mu)}}$$

$$V_t = \sqrt{\frac{E_0 g}{\rho} \cdot \frac{1}{2(1+\mu)}}$$

$$V_t / V_e = \sqrt{\frac{2(1-\mu)}{1-2\mu}}$$

여기서  $E_a$  : 동탄성계수

$\rho$  : 밀도

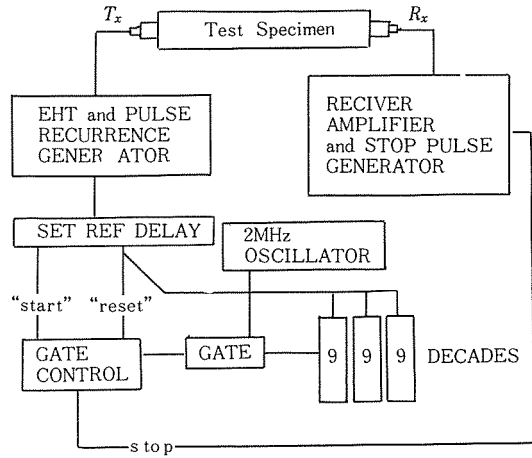
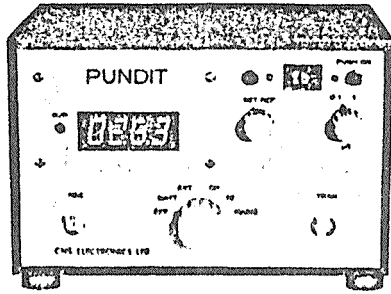


圖-4 電氣系統圖

$\mu$  : 프와송비  
 $g$  : 중력가속도

초음파방법의 測定器具로는 영국의 판디트 (Portable Ultrasonic Nondestructive Digital Indicating Tester)가 널리 보급되어 있다. 이 측정기는 수신파에 따른 電波時間을 타이머가 부착된 디지털로 표시하며 圖-4는 이 측정기의 電氣系統圖이다.

측정방법으로는 ① 發·受振子를 콘크리트면에 부착하는 위치에 따른 對稱測定, ② 매스콘 콘크리트의 品質, 斜角의 균열깊이 측정등에 이용되는 斜角測定, ③ 균열의 깊이 및 판두께의 측정등에 이용되는 表面測定이 있다

音速은 초음파펄스의 투과거리  $L(m)$ 과 전파 시간  $T(sec)$ 를 측정하여 다음 式으로 구한다.

$$N = L/T$$

音速에 따른 壓縮強度의 推定式은 研究者에 따라 여러식이 있으나 일반적으로 사용하는 실험식은 다음과 같다.

$$\sigma^c = KV^n$$

$$\sigma^c = K(V-B)^n$$

$$\sigma^c = ae^{bv}$$

$$\sigma^c = a + bV + cV^2$$

여기서  $\sigma^c$  : 콘크리트 압축강도

$V$  : 콘크리트의 음속

$K, n, a, b, c$  : 실험 정수

$B$  : 굳지 않은 콘크리트의 음속

## 6. 貫入抵抗方法

이 試驗方法은 1960년대에 연구가 시작되어 1982년 ASTM C803으로 규정된 방법으로 Windsor Probe 시험 방법으로 잘 알려져 있다.

이 방법은 圖-5와 같이 화약을 사용하는 일종의 Gun裝置를 이용하여 Probe를 콘크리트 표면에 관입시켜 그 Probe의 노출길이를 0.5 m/m까지 측정한다 다음 강도 또는 상대적 품질

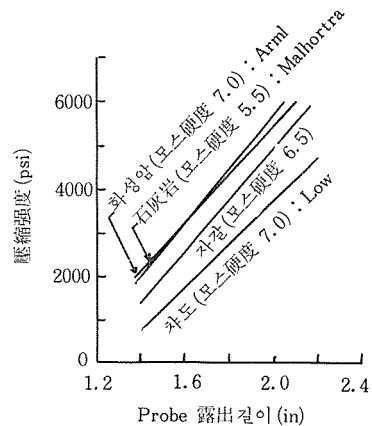


圖-5. 露出길이와 壓縮強度의 關係

을 결정하는 방법으로서 普通 強度用과 低強度用이 있다.

노출길이는 Probe의 貫入速度 즉 Gun의 청결도, 화약 사용량, Gun과 Probe의 마찰관계, 굵은 골재의 硬度에 큰 영향을 받기때문에 研究者 또는 使用者에 따라 크게 차이가 난다.

따라서 강도추정시에는 노출길이와 코아강도와와의 관계를 미리 실험적으로 구해둘 필요가 있으며 아울러 강도의 추정보다도 품질의 상대적 평가치를 구하는데 주로 사용되고 있다.

## 7. 引拔方法

이 方法은 콘크리트에 미리 매립된 볼트나 철물등 매립금속의 표면에 정착한 圓盤의 引拔力으로 부터 壓縮強度를 추정하는 方法이다.

이 方法은 1934년 이래 많은 연구가 되어왔다. 매립금속으로는 콘크리트타설시 미리 매립해 둔 것외최근 건설공사에 많이 사용되고 있는 앵카볼트류를 이용하는 方法이 있다.

미리 콘크리트에 매립해 두는 方法은 ASTM C 900 (Standard Test Method for Pullout Streugter of Hardeued Concrete)에 규정되어 있으며, 同規定에 의한 強度推定式은 다음과 같다.

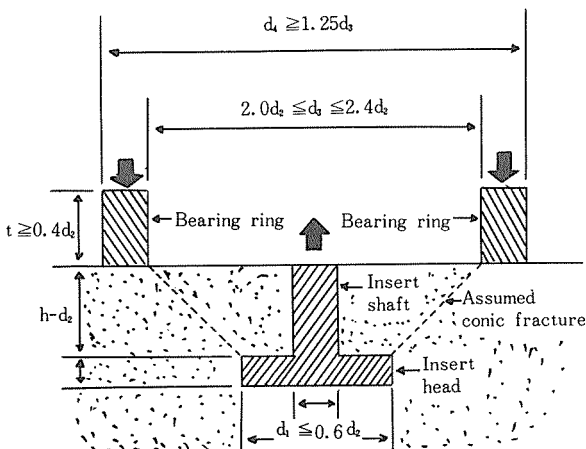


圖-6. Schematic of Pullout Test

$$f_y = P/A$$

$$A = \frac{\pi}{4} (d_3 + d_2) \{4h^2 + (d_3 - d_2)^2\}^{1/2}$$

여기서  $f_y$  : 인발응력 (psi)

$P$  : 인발력 (ebf)

$A$  : 면적

$d_2$  : 인발인서트하단의 직경

$d_3$  : 베어링의 내경

$h$  : 인서트 하단에서 베어링까지의 거리

ASTM C 900 方法은 圖-6과 같이 매립된 금속과 반력링을 사용한다. 그 破壞線인  $2d$ , 매립깊이  $h$ 와 반력링의 內徑은 캐나다의 V. Mohan Malhotra의 실험결과를 근거로 하여 결정된 것이 이론적 근거 또는 시험방법의 신뢰성관점에서 구해진 것은 아니다.

그때문에 현재 미국의 標準局 (National Bureau of Standards)의 H. S Lew는 적절한 引拔試驗裝置에서 骨材部分의 破壞理論, 骨材의 종류 및 치수가 引拔荷重에 미치는 영향, 시험방법의 신뢰성을 검토·연구하고 있는 추세이다.

이 方法은 試驗裝置의 適定化를 위한 有限要素法에 의한 解析, 壓縮強度推定上의 問題點의 再檢討, 養生方法이 相異할때 推定強度에 미치는 영향등을 검토하고 연구하는 추세에 있다.

현재까지의 연구결과로는 이 方法이 콘크리트구조물의 종합적인 品質管理의 指標로 실용적으로 활용될 수 있을 것이라 예측할 정도이다.

## 8. 結 論

콘크리트의 非破壞試驗方法에 관한 역사는 오래되어 1934~1935년 영국, 독일등에서의 表面硬度法 및 引拔法의 시험방법 개발을 시작으로 하여 1948년 슈미트햄머법이 개발된지도 이미 45년이 경과하고 있다. 전술한 바와 같이 각종 비파괴시험방법이 여러가지 방법으로 제안되었으나 구조체에 타설된 콘크리트의 강도를 확실

히 추정할 수 있는 방법은 아직 개발되지 않은 실정이다.

이것은 실제 파괴해보지 않고는 알 수 없는 구조민감성에 속하는 強度性質을 파괴하지 않고 측정하여 얻는 反發硬度, 超音波電波速度, 彈性係數 등의 구조민감성에 속하는 物理性質로 추정한 근본적인 모순때문이다.

그러나 공시체에 의한 早期強度試驗과 구조체에 타설된 콘크리트의 非破壞試驗에 기초하

여 콘크리트의 새로운 品質管理에 대한 검토가 대두되면서부터 재래의 콘크리트 비파괴시험법으로는 이에 대한 충분한 強度推定精密度를 확보할 수 없게 되었다. 따라서 새로운 방식의 品質管理手法을 구체화하기 위해서는 콘크리트 強度推定精密度를 향상시킬 수 있는 여러 요인의 분석과 새로운 非破壞試驗方法의 개발을 통하여 이를 標準化하는 것이 절실히 요구된다 하겠다.



---

## 謀事在人 成事在天

---

Man proposes, God disposes

— 論 語 —

사람은 일을 圖謀하고 그 일의 成敗 여부는 神이 결정한다.  
일의 결과를 予測하지 않고 熱과 誠을 다하여 推進하면 하늘이 스스로 돕는다.

적극적이고 진취적인 행동의식을 갖도록 하는 데에 현대적인 意味를 부여할 수 있다.