

# 공기 침투성과 콘크리트 품질의 상관관계에 관한 실험적 연구

## Experimental Study of Relation between Air exclusion & Quality of the Concrete

박 성 우\*  
Sung-Woo Park

윤 성 훈\*\*  
Sung-Hun Yoon

---

### ABSTRACT

Air exclusion test which is the way to assess the quality of the concrete is a part destructive test for minor damaging and accurate measurement. it has been well known but the test process is complexed, so it has been well known in foreign country but it is not usable in our country.

For this experiment, it analyze its special quality through the inspection for the factor which effect to the result or accuracy for the Air exclusion test, and it examine through the experimnt for the Non destructive test and cylinder compressive test which is different from the air exclusion test. We suggest the suitable classified table for the domestic concrete condition through the comparative analysis against the overseas result that has been suggested before.

---

### 1. 서론

#### 1.1 연구의 배경 및 목적

콘크리트의 품질을 평가하기 위한 방법인 공기침투성시험법은 구조물에 최소한의 손상을 주면서도 정확한 측정결과를 보이는 국부파괴 검사법으로서 그 기본원리 등이 널리 알려진 상태이나 시험과정이 기존 비파괴 검사법 보다 복잡하여 외국에서는 널리 보급된 검사법이나 국내에서는 거의 사용되지 못하는 실정이다. 이번 실험에서는 우선 공기침투성시험법에 대한 시험방법의 정확성이나 결과에 영향을 미치는 인자들에 대한 검증실험을 통하여 자체의 특성을 분석하고, 또한 공기침투성 시험법과 다른 비파괴시험법과 공시체 강도 등과의 상관관계를 실험적으로 규명하여, 기존에 제안된 외국의 결과와 비교분석하고, 국내 콘크리트 조건에 적합한 분류표를 제안하였다.

#### 1.2 연구 방법 및 범위

콘크리트의 강도에 영향을 주는 요인으로는 이미 잘 알려진 바와 같이 굵은 골재와 시멘트 페이스트 사이의 부착강도, 혼화재료의 종류와 사용량, 물/시멘트비, 골재유형, 재령, 시험방법, 시공상태, 양생 방법 등 여러 가지 요인이 있으나 콘크리트를 동일한 조건(물리적, 성분적, 화학적)에 의하여 제조하고 측정한다면 강도추정에 영향을 주는 요인은 양생방법, 재령, 시험의 정밀성 등으로 한정할 수 있다. 본 연구에서는 이들 요인 가운데 시험 가능한 것으로 다음과 같은 방법으로 연구범위를 정하였다.

1) 콘크리트는 A회사의 레미콘제품으로 현장에서 표준 공시체( $\phi 15 \times 30\text{cm}$ )를 제작하였고,  $20 \pm 3^\circ\text{C}$

---

\* 삼성물산(주)건설부문 기술연구소 차장

\*\* 삼성물산(주)건설부문 기술연구소 주임

의 수중에서 28일간 양생(표준양생)하였다.

2) 콘크리트의 품질상태 및 압축강도추정을 위한 시험방법은 수행완료된 실험중 비파괴시험인 Schmidt Hammer법, Ultrasonic법 및 공기침투성시험법(Poroscope법)에 의하여 실시하였고, 압축 강도시험은 KS F 2405/ASTM C873(콘크리트의 압축강도시험방법)의 기준을 따랐다.

금번 논문에서는 수행완료된 실험중 공기침투성과 콘크리트품질의 상관관계에 관한 것으로 연구범위를 한정하였다.

## 2. 비파괴 시험에 의한 압축강도 추정방법

### 2.1 개요

현재까지 연구 및 활용되고 있는 콘크리트의 건전성 평가 방법의 대부분은 압축강도를 추정하는 것이 주목적이라고 말할 수 있다. 일반적으로 사용되어 온 비파괴시험법은 강도를 간접적으로 추정하는 방법이고, 또한 콘크리트의 사용재료, 배합조건, 타설방법, 양생조건, 재령등 수많은 조건들에 의하여 상당히 큰 오차가 발생될 수 있으므로 추정정도가 매우 낮다는 것이 최대의 결점이다. 이것을 반증하는 것이 각 연구 단체에서 제안한 추정식 사이에 커다란 차이가 있음을 알 수 있다. 따라서 최근에는 측정정도를 높이기 위하여 국부파괴법 또는 각 시험에서 얻어진 결과치를 병용하는 복합법(일명 조합법이라고 함)등이 많이 제안되고 있다. 한편 콘크리트의 강도추정을 위한 각 시험법에는 각각의 특징이 있으므로 시험방법의 선정시 유의해야 한다.

### 2.2 공기 투과율 시험의 원리

콘크리트의 공기확산계수를 측정하는 방법중 비교적 간단한 방법인 포로스코프는 공기의 압력차를 이용하여 측정한다.

: 기압 55kPa 이상 ---> 50kPa로 압력이 떨어지는 시간을 측정

- 기압 5kPa이 확산되는데 걸리는 시간과 확산계수와의 관계를 이용하여 투수계수를 구할수 있는데 이것으로 투수계수와의 상관 관계를 고찰할 수 있다.

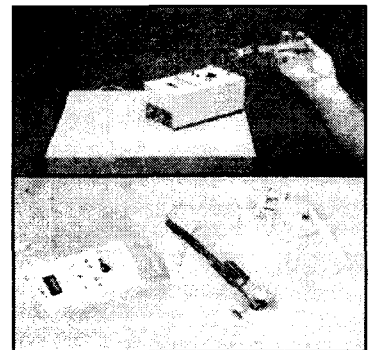
- AER(Air Exclusion Rating for concrete)은 공기의 침투성에 대한 실험적인 값을 나타낸 것으로서, 포로스코프의 측정값이 같은 시험체에 대하여 경과시간이  $\pm 2\%$  정도이내에 들어야 한다.

#### \* 투수계수의 이론식(포로스코프)

측정값을 아래의 실험식에 대입하여 확산계수를 계산한다.  
단, 여기서 t는 초(sec)로 표시된 측정시간이며, V는 (ml)로 표시된 시험 구멍의 체적으로서 표준구멍의 체적은 77.1ml이다. 확산계수D는 AER의 수로서 다음식으로 구한다.

$$\begin{aligned} \text{AER} &= t / [ 55V / 50 - V ] \times 52.5 / 100 \\ &= 19.05 t / V = 0.247 t \text{ (sec/ml)} \end{aligned}$$

$$D = 1 / \text{AER} = 4.047 / t \text{ (ml/sec)}$$



### 2.3 시험전 준비사항

#### 1) 재료

본 실험에 사용한 재료는 모두 레미콘 배합시의 재료로서 조골재는 경인지역 일원에 많이 납품되고 있는 골재로서 시험결과 양호한 품질을 가지고 있었으며, 세골재는 세척사로서 조립률 및 NO 100체를 통과하는 양이 적은 부배합에 적합한 것이며 혼화제 (AB감수제 표준형)는 H사제품으로 물성 및 제품 적용결과 KS F 2560기준에 만족 하는 것으로서 재료의 성분 및 시험치 콘크리트 배합설계표는 다음과 같다.

a) 시멘트

실험에 사용된 시멘트는 KS L 5201 규정에 적합한 D회사 제품인 1종 보통 포틀랜드 시멘트이며, 그 물리적 성질과 압축강도 시험은 KS기준에 따라 실시하였고 그 결과는 아래 (표1)와 같으며 화학적 조성은(표2)와 같다.

표1 시멘트의 물리적 성질

항목	비중	종결 시간		분말도 비표면적	안정도	압축강도		
		초결	종결			3일	7일	28일
KS 기준	-	60이상 (분)	10이하 (시간)	2,800이상 (cm <sup>2</sup> /g)	0.8이하 (%)	130이상 kg/cm <sup>2</sup>	200이상 kg/cm <sup>2</sup>	290이상 kg/cm <sup>2</sup>
시험 결과	3.15	285	6:40	3,226	0.06	188	260	352

표2 시멘트의 화학적 조성

성분	CaO	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	SO <sub>3</sub>	Insol	lg.LOSS
구성비율(%)	62.50	21.31	5.34	3.54	2.80	1.59	0.5	1.36

b) 골재

세골재는 세척사로서 2.5mm체를 90%이상 통과한 것이고 조골재는 쇄석으로 안산암질이며 25mm체를 95%이상 통과한 것으로서 KS F 2502~2506의 기준 및 방법에 의한 시험결과와는 다음의(표3)과 같다.

표3 잔 골재의 물리적 성질

항목	비중	흡수율 (%)	단위용적량 (kg/m <sup>3</sup> )	입도		점토함량 (%)	안정성 (%)	색시험 (%)
				조립율	최대크기 (mm)			
시험값	2.58	1.05	1,480	2.75	5	0.30	4.6	0.80

표4 굵은 골재의 물리적 성질

항목	비중	흡수율 (%)	단위용적량 (kg/m <sup>3</sup> )	입도		점토함량 (%)	안정성 (%)	색시험 (%)
				조립율	최대크기 (mm)			
시험값	2.65	0.45	1,612	6.90	25	0.12	5.04	0.29

c) 물

KS F 4009의 물기준에 적합한것으로서 유해량의 기름, 산, 알칼리, 염류 및 유기물 등을 함유하지 않은것을 사용하였다.

d) 혼화제

KS F 2560의 기준에 적합한 리그닌 설폰산 계열의 AE감수제 표준형을 사용하였다.

e) 콘크리트의 배합설계표

시험시 사용한 레미콘의 시방배합은 다음의 (표4)와 같다.

표5 콘크리트 배합설계표

설계강도 (kg/cm <sup>2</sup> )	물 재 대 수	슬럼프 (cm)	공기량 (%)	W/C (%)	S/A (%)	단위재료량 (kg/cm <sup>3</sup> )				
						물	시멘트	세골재	조골재	혼화제
210	25	12.0	4.5	52.1	45	177	310	791	958	0.68
240	25	12.0	4.5	49.7	44.4	177	356	770	983	0.71

2) 공시체 제작 및 양생

시료는 배척플랜트에서 생산되어 레미콘 믹서트럭으로 현장에 운반된것을 시료팬에 받아 Slump 및 공기량 염분함량 등을 측정 하고 아래 (표5)의 기준에 적합한 시료는 ASTM C 873(콘크리트의 강도시험용 공시체 제작 방법)의 기준에 따라 φ15×30cm의 공시체를 제작하였다.

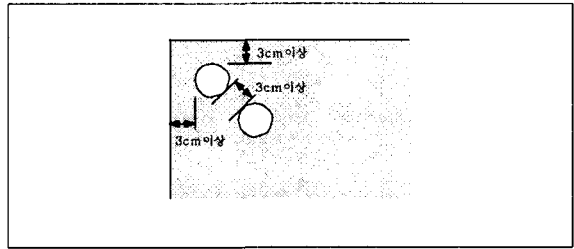
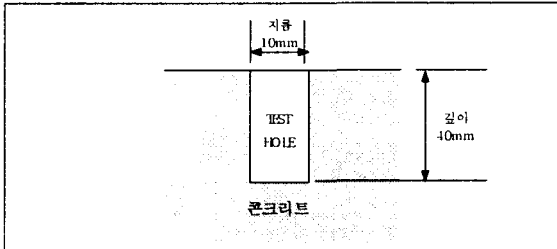
성형완료된 공시체는 20℃정도로 유지된 시험실로 옮겨 24시간 경과 후 탈형하여 20 ±3℃의 수중에 표준양생 하였다.

표5 레미콘 품질 기준(생 콘크리트)

구 분	콘크리트 품질 및 종류	허용차 기준	단 위	비 고
슬럼프	8이상 18이하	±2.5	cm	ASTM C873
공기량	보통 콘크리트	4.5±1.5	%	
염화물량	CI	0.3이하	kg/m <sup>3</sup>	

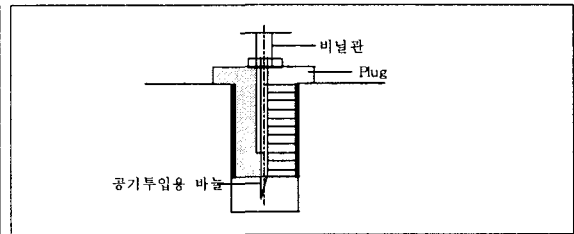
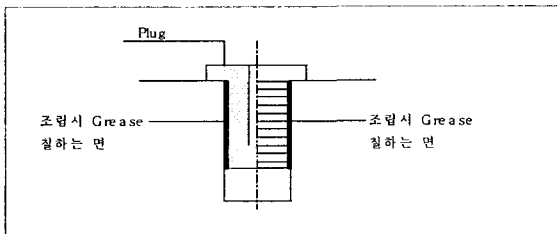
### 3) 시험체 준비

#### a) 공기 침투성시험(Poroscope)



- 시험대상 콘크리트에 Hammer Drill을 이용하여 지름10mm, 길이 40mm정도의 Hole을 뚫는다.

- 정확한 시험을 위해서 최소 3 ~ 6개를 준비하며, 구멍은 수직이 되도록 뚫는다.  
- 구멍과 구멍과에 거리는 최소 3cm이상 이 되도록 한다. 그리고 벽면에 모서리나 바닥에 모서리 등에서는 되도록 멀리서 시험을 한다.



- 구멍을 드릴로 뚫는 다음 깨끗이 청소를 한다. 되도록 가루가 없게 청소를 한다.  
- 콘크리트 표면에 그림과 같이 PLUG를 부착한다. 부착 할때는 GREASE를 칠한 뒤 부착  
- PLUG가 설치가 끝나면 PLUG에 공기투입 용 바늘을 꼽는다.  
- PLUG에 공기투입용바늘을 넣기 전에 공기투입용 바늘의 내부를 철사로 청소/이물질을 제거

- 수직면을 측정시 본체를 고정하기위해서6mm 앵커 구멍을 설치하여 본체를 걸어준다.  
- 장비의 특성에 따라 시험을 실시한다.

### 2.4 공기침투성 시험결과와 활용

- AER 판정기준(J.W Figg의 제안식)

-  $AER = 19.05 t / V$  의 식에 대입하여 공기 투과율을 계산하고 품질을 판정( $V = 77.1ml$ )

NO	품질 등급	측정 시간 (초)	공기 침투율 (AER)	추정 강도(kg/cm <sup>2</sup> 또는 상태)
1	매우 불량	< 30	< 8	구멍이 많은 MORTAR
2	보통이하	30 - 100	8 - 25	약 210
3	보통	100 - 300	25 - 75	280 - 490
4	양호	300 - 1000	75 - 250	조밀한 조직 양생이 잘되었음
5	매우 우수	> 1000	> 250	중합체로의 변화물

### 3 실험

#### 3.1 실험 계획

콘크리트를 구성하고있는 여러가지 재료들이 특성에 따라 압축강도 및 건전성에 변화요인 이 발생하는 것을 최대한 줄이기 위해 현재 경인지역에서 보통의 콘크리트구조물에 가장 많이 사용되고 있는 설계기준강도 240kg/cm<sup>2</sup>에 대해 집중적으로 실험하였으며 동일한 시험 조건에서 콘크리트의 골재를 세 골재 최대치수 5mm, 조골재 최대치수 25mm로 정하고, 슬럼프는 12Cm를 목표로 하였으며 공시체는 원주형 표준공시체(φ15 × 30Cm)를 사용 하였다. 제작된 공시체는 20 ±3℃의 수중 에서 28일 동안 양생하여 실험하였으며, 실험에 사용된 기구로는 공기침투성 시험기(P-6000)와, 200Ton압축강도시험기(ELE)를 사용하였다.

#### 3.2 공기침투율 측정시험(Air Exclusion Test) 방법

시험체는 반발경도 측정용 공시체와 동일한 조건으로 제작하여, 침수 및 투기성 실험을 하였고 측정의 정밀도를 높이기 위하여 Test Hole 주변에 Grease를 도포하여 hole안의 공기가 빠져 나가지 않도록 주의하여 실험 하였다. 표준 양생 공시체를 대기중에 표면건조시킨 상태에서 시험을 하는 이유는 침수 및 투기성 시험시 콘크리트 건습상태에 따라 차이가 있고, 또한 실구조물에 적용시 표면건조된 콘크리트를 표준으로 하기 때문 이다.

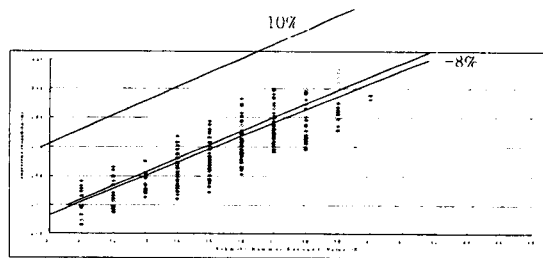
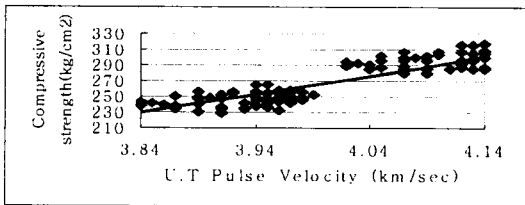
표 3 시험결과표

(규격 25-210-12)

(규격 25-240-12)

공시체 NO	공시체 크기		반발경도 (R)	초음파 속도 (km/s)	공시체 파괴압축 강도 (kg/cm <sup>2</sup> )	슈미트햄머 추정강도 (kg/cm <sup>2</sup> )						공기 투과율 (AER)
	직경 (mm)	높이 (mm)				F1	F2	F3	F4	F5	F6	
1	149.6	299.4	33	3.97	250	245	341	223	318	234	215	26
2	149.5	299.5	34	3.80	256	258	348	230	335	216	231	26
3	149.7	299.6	32	3.90	249	232	334	210	297	219	218	24
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
54	149.7	299.5	35	3.95	246	271	336	241	373	231	266	25
56	149.8	299.8	36	3.03	247	284	363	250	297	234	236	26
평균	149.7	299.7	33.9	3.90	242	257	348	229	334	226	242	25

- \* (표3) 작성기준 : 각각의 공시체 파괴시험결과 배합강도(Fr: 242kg/cm<sup>2</sup>)의 표준편차를 벗어난 Data값은 공시체 성형시나 시험방법의 Error로 판단하였다. 회귀분석하여 작성될 추정식의 신뢰도를 높이기 위해 (표3) 시험결과 표에 기록하지 않았다.
- \* 전체실험공시체수 : 110개
- \* 배합강도(Fr) = α(할증계수) × Fck(설계강도)



### 4 실험결과 및 고찰

#### 4.1 실험 결과

압축강도에 대한 비파괴 시험법으로서 가장 일반적으로 이용되고 있는 방법은 슈미트햄머 에 의한 반발경도법과 초음파속도법을 들 수 있는데, 외국에서는 반발경도법(ASTM C805, BS 4408, DIN

1048) 및 초음파법( ASTM C 597, BS 4408)등의 규격 또는 지침서【RILEM : 국제재료구조 시험 연구기관 연합 - 복합 비파괴시험법(1980년)】가 제정되어 있다. 따라서 본 실험에서는 실린더 공시체에 공기투과율시험을 실시후 공시체를 파괴하여 압축강도를 비교하였다.

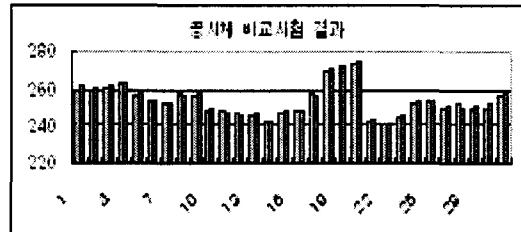
#### 4.2 결과의 비교분석

슈미트햄머법에 의한 반발경도값은 콘크리트 표면의 평활도 및 타격부분의 굵은 골재의 분포상태, 함수상태, 타격각도, 재령 등 여러가지 원인에 의해 달라질 수 있다. 타격각도 및 재령의 영향에 대해서는 추정 압축강도의 보정을 할 수 있으나 커다란 오차가 발생할 소지가 있다. 초음파 속도법에 의한 음속의 측정 및 투기시험에 의한 공기투과율의 측정에도 콘크리트 내부의 철근, 철골, 콘크리트의 함수율, 콘크리트의 배합비등에 따라 그 속도값이 달라질수가 많다. 따라서 본 연구에서는 시험결과와 신뢰성을 높이기 위해 우선 오차가 발생할 소지가 큰 타격각도 및 재령 보정 함수상태 등의 영향을 제거하기 위해 보정이 필요없는 타격각도(0°)와 재령(28일:보정계수 $\alpha=1$ ), 표면건조상태(24시간 대기중 건조) 및 무근 콘크리트(실구조물에 적용시 철근탐사기를 사용하여 철근이 있는 부위는 피하여 시험 실시)의 조건으로 실험을 실시하고 압축강도를 추정하는데 초점을 맞추었다. 공기침투성 시험법을 적용하여 측정한 Data값을 국내외에서 많이 사용하는 기존추정식/분류표에 대입하여 각각의 값과 그 공시체를 압축강도시험기로 파괴한 실측값을 비교분석하였다.

##### 4.2.1 시험전 공시체 비교시험 결과

투기시험시 공시체의 표면에 지름 10mm, 깊이 40mm의 Hole가공을 한 뒤 투기시험 후 일축압축강도 시험을 하여야 하므로 이러한 시험변수로 인한 오차를 파악하기 위해 미리 같은 배합의 공시체 60개를 각각 30개씩 Hole가공을 한 것과 하지 않은 것에 대하여 비교시험을 실시한 결과 평균(254.4kg/cm<sup>2</sup> : 255.0kg/cm<sup>2</sup>)으로 그 차이는 미미(평균 0.5% 이내)하여 무시하였다.

구 분	공시체 압축강도 비교 결과표(kg/cm <sup>2</sup> )		비 고
	hole가공을 한 공시체	hole가공을 하지 않은 공시체	
평균값	254.4kg/cm <sup>2</sup>	255.0kg/cm <sup>2</sup>	



##### 4.2.2 투기시험에 의한 압축강도의 추정

공기 침투성시험에 의하여 측정된 공기 침투율값을 설계기준강도에 따라 분석하고 기존추정식에 대입하여 압축강도 추정범위를 구하고 실측압축강도와 비교 분석하여 기존 추정식에 대입하여 시험해본 결과기준의 범위에 대해 좀 더 정확성을 가지는 값을 얻고자 공기투과율과와 압축강도와의 관계에 대해 조사하였다.

###### 1) 설계기준강도(ock)와 공기투과율과의 관계

공기투과율은 평균값Ⅱ에서 49AER 낮게 나타났고 공시체실측강도는 평균49.9kg/cm<sup>2</sup> 높게 나타났다.

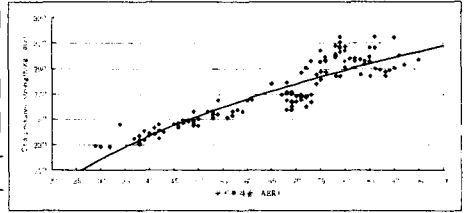
구 분	Type(I)	Type(Ⅱ)
설계기준강도	210kg/cm <sup>2</sup>	240kg/cm <sup>2</sup>
공기투과율(AER)	25 AER	74 AER
배합강도	242kg/cm <sup>2</sup>	276kg/cm <sup>2</sup>
실측강도	242.7kg/cm <sup>2</sup>	292.6kg/cm <sup>2</sup>

###### 2) 공기투과율 및 실측압축강도 비교

공기투과율을 시험해 본 결과 설계강도 I, Ⅱ 2가지 Type에서 모두 실측압축강도 결과와 비교하였을 때 기존의 분류표보다 압축강도의 범위를 더 세분화 할수 있었다.

### 3) 압축강도 추정

2Type콘크리트의 실측압축강도 평균값과 공기투과율값의 상관관계를 다음 그림에 나타내었다. 이 결과는 공기침투성 시험결과에 대해 비례식으로 AER분포를 나열하였으며 이 시험 결과 350kg/cm<sup>2</sup> 이상 일축압축강도를 가지는 콘크리트에 대해서는 내부의 결함이 없는 경우 공기침투시간이 대부분 300sec 이상으로 측정되었으므로 AER과 추정강도 / 품질등급이 무의미한 것으로 판단된다.



## 제 5 장 결 론

콘크리트의 강도는 콘크리트의 품질과 특성을 나타내는 가장 영향력 있는 파라메타로 취급된다. 시공되어 있는 구조물에 강도를 실측할 수 있는 방법으로는 코아시험이 유일 하나 경우에 따라 구조물에 많은 손상을 가져 오므로 정확한 비파괴시험법이 제안되고 활용 되어야 한다. 콘크리트 강도에 관한 비파괴 시험방법은 1930년대 부터 연구가 활발하게 이루어져 왔으며, 특히 슈미트햄머법이나 초음파속도법이 현재 많은 나라에서 이용되고 있으며, 규격화 되고 있다. 본 연구에서는 현재 국내외에서 콘크리트 생산량의 절대다수를 차지하는 레미콘 (Ready -Mixed-Concrete)중 보통콘크리트 구조물에 가장 많이 사용되고 있는 설계기준 강도 210kg/cm<sup>2</sup>과 240kg/cm<sup>2</sup>의 2가지 타입의 공시체에 대해 비파괴시험을 실시하고 300kg/cm<sup>2</sup>이상의 강도에 대한 확인을 위하여 300, 350, 400kg/cm<sup>2</sup> 강도의 콘크리트에 대한 강도시험을 실시하고 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 공기투과율 시험법에 의한 시험결과 공기투과율은 압축강도와 비례하며, 일축 압축강도가 350kg/cm<sup>2</sup>이신 콘크리트에 대해서는 이 시험법을 적용하여 품질상태를 평가할 수 없는 것으로 판단되었다.
- (2) 실험결과에 따른 압축강도 판정기준 분류표는 다음과 같다.

#### \* 콘크리트 판정기준 제안표

NO	품질 등급	측정 시간 (초)	공기 투과율 (AER)	추정 강도(kg/cm <sup>2</sup> ) 또는 상태
0	불량	< 30	8	N/A
1	보통이하	30 - 100	8 - 25	약 210
2	보통	100 - 200	25 - 50	210 - 250
3	양호	200 - 300	50 - 75	250 - 300
4		300 - 500	75 - 120	300 - 350
5	매우 양호	500 이상	120 이상	350 이상

비파괴 시험에 의한 콘크리트의 강도추정은 여러 가지 적용한계가 있으며 이것들을 알고 잘 적용함이 필요하며, 그 추정값의 신뢰성을 높이기 위해 다각적인 측면에서 실험 및 조사연구를 계속하여 국내실정에 적합한 기준 및 시험법들의 규격화를 조속히 이루어 더 이상 외국의 강도 추정식에 의존하여 구조물의 건전성평가를 하지 않았으면 하는 바램이다.

### 참 고 문 헌

1. 박성우 ·비파괴 시험을 이용한 경화 콘크리트의 압축강도에 관한 실험적 연구.
2. 권영웅 ·비파괴시험법에 의한 경화 콘크리트의 임계강도제안에 관한연구.
3. 대한주택공사 ·철거대상 아파트이용 현장실험 및 조사연구.
4. 한국도로공사연구소 일반콘크리트 및 특수콘크리트의 투수특성연구(II).
5. V.M.Malhotra, Testing Hardened Concrete : Nondestructive Method.
6. BSI, Recommendations for Non - destructive Methods of Test for Concrete, Surface Hardness Methods, BS 4408 PART4.
7. ACI, Building Code Requirements for Reinforced Concrete, ACI 318-89.
8. ASTM C 805, Test Method for Redound Number of Hardened Concrete.
9. ASTM C 597, Test Method for Pulse Velocity Through Concrete.
10. DIN, TEST Method for Concrete, DIN 1048, PART 2.
11. RILEN, Recommendation for Testing Concrete by Hardess Methods.
12. 日本建築學會, ゴシツト-強度推定のための非破壊試験方法 ゴニユアル 昭和.