

非破壞方法的 測定內容 및 特性은 다음 표 1과 같다.

〈표 1〉 非破壞方法 및 特性

구분 방법	측 정 내 용	특 성
반발경도법 (Rebound-Hammer)	콘크리트 표면 타격시의 반발경도	· 콘크리트의 균질성 파악에도 유용 · 측정이 간단하고 편리함
인발법 (pull-out)	콘크리트 타설 시 매설된 Insert의 인발력 측정	· 시공전 사전계획이 되어야 함 · 신뢰성이 우수함 · 조기강도 측정에 유용
관입법 (Probe Penetration)	Probe의 콘크리트 관입깊이 측정	· 굵은골재의 영향이 큼 · 신뢰성이 적음
초음파속도법 Pulse-Velocity)	초음파의 콘크리트내 전달속도 측정	· 콘크리트의 균질성 파악에 유용 · Rebound-Hammer와 조합시 신뢰성이 우수함 · 영향인자가 많음
조합법 (Rebound Hammer-Pulse Velocity)	콘크리트의 표면경도 및 초음파속도측정	· 단일방법 보다 조합시 신뢰성이 향상

나. 콘크리트 配合

본 시험에 使用된 시멘트는 1종 보통 포틀란트 시멘트를 使用하였으며, 잔골재 및 굵은 골재는 금강에서 採取된 骨材를 利用하였다.

研究目的을 위해 콘크리트 配合時 고려한 主要因子는 骨材의 種類, 굵은 골재 최대치수 및 물-시멘트비로서 골재의 종류는 강자갈과 쇄석 2가지로 분류하였다. 골재 최대치수는 현재 국내 공사에서 가장 보편적으로 使用되는 25%와 40%를 채택하였으며, 특히 쇄석의 경우 鐵筋 配筋이 복잡한 주요 구조물에 使用되는 13% 쇄석을 추가하였다.

물-시멘트비의 결정은 25% 골재의 경우 40~60%까지 5%의 간격을 두었으며 40%는 50, 55, 60%의 3단계, 13% 쇄석의 경우 40, 50, 60%로 구분하였다. 특히 본 연구목적을 위해 콘크리트 배합에 고려한 上記의 3가지 주요인자의 영향 정도를 분석하기 위해 동일 W/C의 경우 骨材量을 일정하게 하였으며, 잔골재율도 43%로 고정하였다.

또한 시멘트의 단위량도 420 kg/m³로 고정하여 W/C는 물의 양으로 조정하였는 바 이에 따라 W/C 50% 이상의 경우 Slump치가 매우 큰 것으로 나타났다. 배합에 使用된 골재는 표면건조 포화상태를 유지하였으며 配合은 용량 54ℓ의 可傾式 믹서를 使用하였다.

다. 試片製作 및 養生

시험용 試片은 각종 비파괴시험을 위한 Cube형 시편과, 壓縮強度 試驗을 위한 원형공시체를 同時에 製作하였다. 비파괴시험을 위한 Cube형 試片은 원형공시체와 동일한 溫度履歷을 갖도록 하기 위해 水中養生이 可能하고, 또한 시편의 運搬 및 시험이 용이한 상태에서 비파괴 시험에 필요한 최소허용치를 고려하여 20×20×20cm의 크기로 製作하였으며 압축강도 시험용 공시체는 Steel mold를 使用하였다. 또한 試驗用 試片의 數는 총 21配合 case의 546개(원형공시체 ; 273개, cube형공시체 ; 273개)로서 각 배합 case당 시편 제작수는 다음 표 2와 같다.

〈표 2〉 각 배합 CASE별 제작시편수

재 령 (일)	원형공시체 (150×300mm)	Cube형시편
3	3	3
7	3	3
28	3	3
90	3	3
기 타*	1	1
계	13	13
총 계	26	

*Maturity 측정용 시편

시편의 養生은 콘크리트 打設後 24시간을 保存한 다음 탈형하여 23°C 내외의 水槽에 넣어 水中養生을 실시하였다.

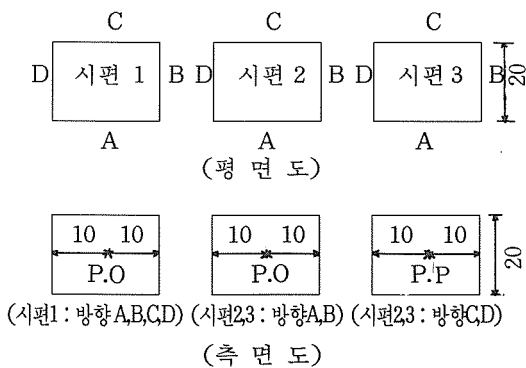
라. 壓縮強度 및 非破壞試驗

1) 壓縮強度

비파괴시험 결과와의 상관관계 도출을 위해 수행된 압축강도 시험은 材畧에 따라 非破壞試驗과 동시에 遂行되었으며, 試驗에 사용된 기기는 용량 100 ton의 UTM(Universal Testing Machine)을 이용 시험하였다.

2) 非破壞試驗

本 研究에서 遂行한 非破壞試驗 方法은 Rebound Hammer, Pulse Velocity, Pullout Probe Penetration Test로서 方法별 시험은 cube형 시편외에 일부 方法의 경우는 원형공시체에도 비파괴시험을 수행하였다. 시험용試片에 損傷을 주지 않는 Rebound와 Pulse Velocity Test는 다른 시험에 앞서 그림 1과 같은 cube형 공시체의 측면을 이용하여 수행하였다. 方法별 시험횟수는 지금까지의 연구결과를 토대로 표 3과 같이 선정하였다.



- * Rebound Hammer, Pulse Velocity는 다른 시험에 앞서 수행
- * P.O : Pullout Test
- * P.P : Probe Penetration

<그림 1> 비파괴시험 위치도

<표 3> 시험 방법별 변동계수의 평균(COV) 및 시험횟수

시험방법	평균변동계수(%)	시험회수(회)		비 고
		Cube형 시편	원형공시체	
Rebound Hammer	10%	12	15	원형공시체 측면타격
Pulse Velocity	2%	8	6	2회/원형공시체 (공시체길이 방향측정)
Pullout	8%	8	-	
Probe Penetration	5%	4	-	
Standard Cylinder	4%	3	-	

3. 結果分析

가. 콘크리트 壓縮強度

시험결과는 모든 配合 case 공히 W/C가 감소함에 따라 강도가 증가하며, 동일 W/C라 할지라도 골재 size의 감소는 강도의 현저한 增加를 나타내고 있다.

쇄석의 경우 골재 size가 40%에서 25%로 감소함에 따라 28일 강도가 약 20%가 증가하였으며, 25%에서 13%로 감소함에 따라서는 약 20~25%의 증가를 보였다. 강자갈의 경우 40%에서 25%로 감소함에 따라 약 30~50%의 강도가 증가하였는데 이는 골재 size가 작을수록 골재의 비표면적이 증가하여 시멘트 paste와의 부착이 양호하기 때문인 것으로 판단된다. 또한 동일 골재 size의 경우 골재 type의 영향을 분석한 결과 전반적으로 쇄석의 경우가 강자갈 보다 큰 것으로 나타났는데 28일 강도를 기준으로 25% 骨材의 경우는 그 差異가 매우 작은 반면 40%의 경우 쇄석이 약 10~20% 정도 큰 것으로 나타났다.

나. 非破壞 測定値의 變動性

비파괴 측정치의 변동성을 본 연구에서는 변

〈표 4〉 압축강도 및 비파괴 측정값의 변동계수 평균

시 험 압축강도 시험 (150 × 300 mm)	쇄												석						자						갈					
	13 mm			25 mm			40 mm			75 mm			90 mm			25 mm			40 mm			75 mm			90 mm					
	3일	7일	28일	90일	평균	3일	7일	28일	90일	평균	3일	7일	28일	90일	평균	3일	7일	28일	90일	평균	3일	7일	28일	90일	평균					
Rebound	5.10	4.03	5.44	2.08	416	3.75	3.07	4.89	3.79	3.88	3.30	3.82	8.57	2.31	4.50	4.03	5.26	4.66	3.32	4.32	3.96	6.38	3.08	3.27	4.17					
- Cube	13.45	8.63	9.39	6.74	9.55	13.0	9.56	11.69	9.02	10.82	11.82	11.96	10.82	11.05	11.46	12.0	10.41	8.82	10.67	14.71	15.46	12.24	9.17	12.90						
- Cylinder	10.47	11.33	10.41	8.65	10.22	12.34	11.39	9.52	9.82	10.77	13.63	14.84	11.16	9.77	13.04	12.92	10.21	10.63	11.70	12.73	13.10	10.88	6.65	10.84						
Pulse Velocity	2.05	1.40	1.37	1.14	1.49	1.46	1.51	1.92	1.97	1.72	1.38	1.66	1.96	2.40	1.85	1.62	1.64	1.90	1.86	1.76	2.35	1.81	2.06	2.04	2.07					
- Cube	0.76	0.76	1.24	0.91	0.92	0.77	0.90	1.25	0.93	0.96	0.83	0.91	0.90	1.28	0.98	1.10	1.01	0.89	1.07	1.02	0.88	0.76	1.19	1.36	1.23					
- Cylinder	10.36	5.09	7.25	-	7.57	13.03	11.45	7.88	8.75	10.28	15.77	13.69	10.42	10.27	12.54	12.38	10.58	9.86	10.65	10.87	13.97	13.67	9.73	11.2	12.14					
Pullout	6.96	4.96	4.31	5.61	5.19	10.92	12.45	8.88	7.63	9.97	-	15.57	12.47	16.07	14.7	-	11.59	12.12	9.61	11.11	18.33	11.29	12.95	14.19						
Probe Penetration	7.74	-	-	-	-	10.11	-	-	-	-	11.35	-	-	-	-	13.94	-	-	-	-	16.53	-	-	-	-					
- Regular	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-					
- Low	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-					

동계수(coefficient of variation ; COV)로 나타내었으며 그 결과는 표 4와 같으며 이들을 분석하면 다음의 결론을 얻을 수 있다.

1) 모든 方法의 變動性이 골재 最大値數의 影響을 받는다. 특히 Pullout, Probe Penetration Test와 같은 局部的 破壞를 유발하는 시험의 경우가 골재 최대치수의 영향을 크게 받는다.

2) 각 비파괴 방법별 측정값의 變動性은 使用骨材의 物理的 特性이 類似한 경우 骨材種類에 따른 영향을 받지 않으며 W/C의 변화에도 거의 영향을 받지 않는다.

3) Rebound Hammer 및 Pulse Velocity Test는 材齡에 따라 영향을 받지 않으나, 그 외의 방법은 조기재령(3, 7일)의 변동성이 장기재령(28, 90일)에 비해 큰 것으로 나타났다.

4) 1, 2차 研究結果 얻어진 각 非破壞 方法別 測定값의 변동성이 매우 유사하였는바, 이들의 범위는 다음과 같다.

- Rebound Hammer ; 10~12%
- Pulse Velocity ; 1~2%
- Pullout Test ; 13%(7%), 25%(9~10%), 40%(12%)
- Probe Penetration : 13%(5~6%), 25%(10~12%), 40%(14%)

다. 壓縮強度와의 相關關係

本 研究의 主要 目的인 非破壞 測定値와 壓縮強度의 相關關係가 표 5에 나타나 있으며 이들을 분석하면 다음과 같다.

1) 수행된 각 方法의 相關程度는 骨材 種類에 영향을 받지 않았으나 同一 壓縮強度일 때의 비파괴 측정값이 쇠석보다 강자갈의 경우가 더 큰값을 나타냈는바, 그 방법별 差異는 다음과 같다.

- Pebound Hammer ; 10%
- Pulse Velocity : 2%
- Pullout Test : 9%
- Probe Penetration : 10%

2) 遂行된 모든 方法의 相關程度가 骨材 最大値數의 影響을 받으며, 골재 최대치수가 클수록 동일 압축강도에 대한 비파괴 측정값이

증가하여, 13%에서 25%로 增加함에 따라 비파괴 측정값이 약 4~12%, 25%에서 40%로 增加함에 따라 약 7~20% 정도의 현격한 차이를 보였는바 모든 非破壞試驗에서의 信賴度 向上을 위해서는 골재 최대치수별 相互關係 導出이 필수적이다.

3) 모든 非破壞 方法의 相關程度는 W/C의 영향을 받지 않았으나 W/C비가 낮을수록 동일 壓縮強度에 대한 非破壞 측정값의 變化率이 감소하였다. 그러나 W/C비의 變化에 따른 비파괴 측정값의 차이는 강도 측정시 考慮하여야 할 정도의 影響因子는 아닌 것으로 判斷된다.

4) 전반적으로 모든 方法은 材齡이 增加함에 따라 強度 增加率에 對한 非破壞 측정값의 增加率이 감소함으로써 早期材令보다 長期材令의 相關程度가 낮으며 standard error가 增加한다.

5) 상관정도는 Pullout, Rebound, Pulse Velocity, Probe Penetration 순으로 감소한다.

라. 信賴性向上

1) 各 方法別 측정값의 信賴程度를 높이기 위해 영향인자에 따른 變動性을 考慮하여 試驗回數를 결정하여야 한다. 특히 Pullout 및 Probe Penetration Test는 골재 최대치수의 영향이 크므로 다음과 같이 골재 최대치수별 시험횟수를 조절하여 測定回數에 따른 誤差를 除去하여야 한다.

- Rebound Hammer : 12~15회
- Pulse Velocity : 4회
- Pullout : 13%(6회), 25%(10회), 40%(15회)
- Probe Penetration : 13%(3회), 25%(12회), 40%(20회)

2) Rebound Hammer 및 Pulse Velocity는 배합인자에 따른 變動性의 變化는 적으나 試片 表面狀態, 變換기 접촉상태 등에 따른 영향이 크므로 試驗條件을 均一하게 유지하여 測定誤差를 감소시켜야 한다.

3) 組合法에 의해 各 試驗方法 高유의 制限事項을 相互 補完함으로써 측정결과 信賴性을 向上시킬 수 있다. 組合은 試驗의 便宜性

및 實用性을 考慮할 때 Rebound Hammer와 Pulse Velocity의 조합이 가장 유망하며 이들 조합에 의한 성과를 분석한 결과 다음 표 6에서와 같이 5% 이상의 상관성 증가를 가져왔다.

〈표 6〉 조합 성과 표

구분	방법	상관식	상관계수
1) 모든 Case조합	반발경도법	$-72+12.0R$	0.93
	초음파속도법	$-1102+0.32V$	0.87
	조합법	$-269+10.2R+0.058V$	0.99
2) 25mm 골재	반발경도법	$-85+12.9R$	0.97
	초음파속도법	$-1225+0.36V$	0.93
	조합법	$-432+9.6R+0.104V$	0.99
3) 40mm 골재	반발경도법	$-22+8.5R$	0.94
	초음파속도법	$-869+0.25V$	0.95
	조합법	$-508+4.2R+0.142V$	0.98
4) 강자갈	반발경도법	$-91+12.6R$	0.94
	초음파속도법	$-1045+0.31V$	0.89
	조합법	$-154+11.1R+0.021V$	0.99
5) 쇄석	반발경도법	$-67+13.2R$	0.93
	초음파경도법	$-1181+0.35V$	0.85
	조합법	$-213+10.7R+0.045V$	0.99

마. 現場適用方案

1) 콘크리트 強度測定을 위한 非破壞 檢查方法을 실제 構造物에 適用할 때는 各方法이 가지고 있는 고유한 制限事項과 試驗對象 콘크리트의 配合 및 履歷에 對한 보다 많은 情報가 試驗結果의 正確度를 좌우하게 된다.

非破壞 檢查方法의 現場適用 方案을 3가지 경우로 分類하여 기술하면 다음과 같다.

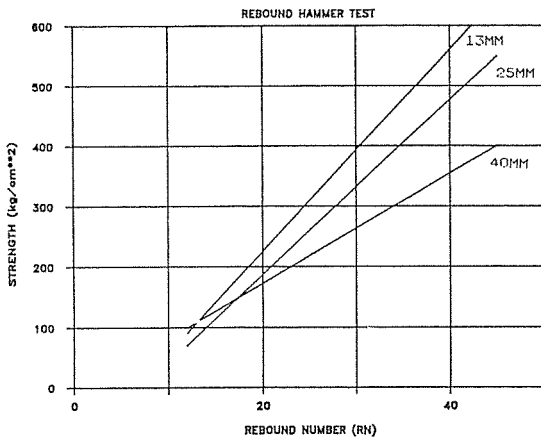
- 構造物 建設前에 相關關係를 作成한 경우 (case I)
- coring에 의해 상관관계를 作成한 경우(case II)
- 상관관계의 작성없이 直接 適用한 경우(case III)

Case 구분	Case I	Case II	Case III
적용 구조물	자체 Batch Plant를 갖거나 대규모 공사의 경우	모든 구조물에 적용 가능하나 Coring에 의해 구조적 손상이 없을 정도의 대형구조물에 적합	모든 구조물에 적용할 수 있으며 방법에 따라 제한사항이 있고 신뢰도는 상대적으로 낮음
적용 방법	공사시작전 콘크리트 배합설계시 강도측정과 함께 비파괴 시험을 동시에 수행케 하여 구조물에 사용되는 콘크리트와 ND T와의 상관관계 작성	시험대상 구조물에서 동일 배합조건으로 판단되는 부위별 비파괴 시험을 실시하고 그 부위를 Coring한 후 상관관계를 작성하여 전 구조물에 이용	임의의 구조물에 비파괴방법만을 적용하여 강도추정시는 콘크리트 상태에서 알 수 있는 배합조건(골재 최대치수 및 종류등)을 이용하여 가능한 한 인자 보정을 실시한다.
적용 절차	- 상관관계작성 - 현장비파괴시험 - 결과분석	좌 동	각 비파괴 방법 별 시험회수는 본 보고서에서 제안한 시험회수에 근거하여 결정하고 각 방법별 인자 보정은 제2장과 제4장의 상관식을 이용한다.
제한 사항	골재의 채취원이 달라지거나 배합 인자별 성질이 달라지는데 따라 상관관계 작성	소규모 구조물은 Coring에 의한 구조적 손상 우려	Pullout Test와 Maturity 방법은 이용할 수 없다.

2) 既存 構造物의 強度 測定時는 전체 구조물을 대표하는 부위를 選定하여 실시한 coring 결과, 또는 구조물 시공에 사용된 配合條件을 利用하여 도출된 상관관계에 의해 既存 相關式을 검증, 보정한 후 전체 부위에 비파괴 시험을 실시함으로써 경제적이고 신뢰성있는 측정결과를 얻을 수 있다. 이 방법은 소규모의 건축 구조물을 제외하고는 모든 형태의 구조물에 적용

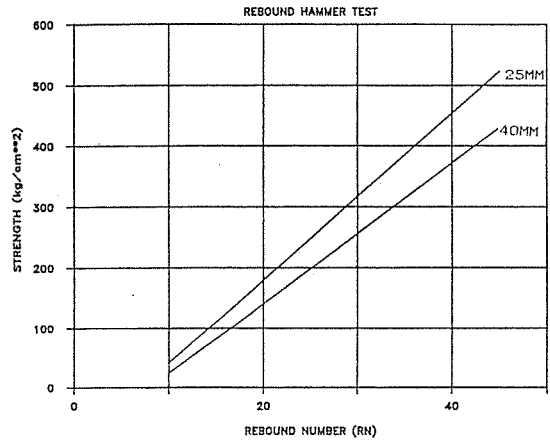
이 가능하며 많은 연구결과에서도 추천하고 있는 방법이다.

3) 原子力 發電所와 같은 主要 구조물에 對해서는 配合設計 段階에서 壓縮強度와 非破壞 試驗과의 相關關係를 事前에 確保함으로써 建設中 品質管理 및 事後 維持補修에 有用하게 活用할 수 있으리라 判斷되며, 上記 case III의 경우에는 本 研究에서 도출된 다음의 그림 2~9까지의 相關式을 利用하여 콘크리트의 強度를 추정할 수 있다.



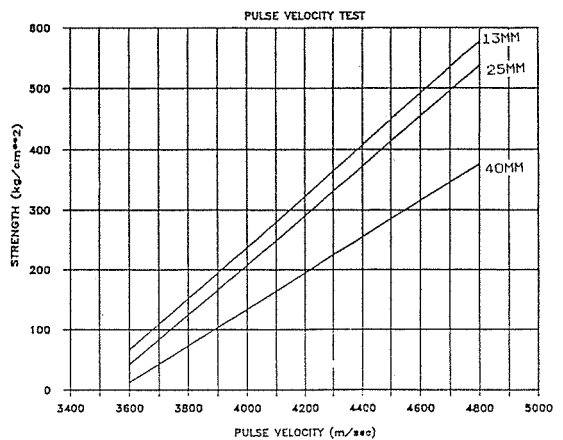
상 관 식	상관계수	Standard Error (Kg/cm ²)
THE REGRESSION POLYNOMIAL OF 13MM (-1.106E+02)+(1.679E+01)*X THE VARIANCE-6.129E+02	0.98	27.1
THE REGRESSION POLYNOMIAL OF 25MM (-1.039E+02)+(1.453E+01)*X THE VARIANCE-8.850E+02	0.97	31.3
THE REGRESSION POLYNOMIAL OF 40MM (-9.452E+00)+(9.113E+00)*X THE VARIANCE-3.045E+02	0.98	19.1

<그림 2> 굵은골재 최대치수별 Rebound No.와 압축강도의 상관관계(Cylinder-쇄석)



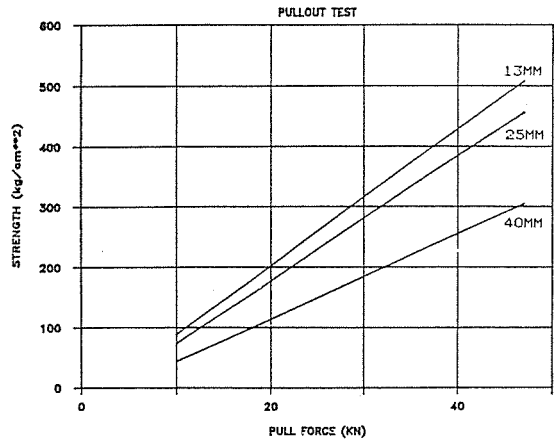
상 관 식	상관계수	Standard Error (Kg/cm ²)
THE REGRESSION POLYNOMIAL OF 25MM (-9.628E+01)+(1.377+01)*X THE VARIANCE-4.142+02	0.99	21.1
THE REGRESSION POLYNOMIAL OF 40MM (-7.103E+01)+(9.567+00)*x THE VARIANCE-8.414E+0.	0.99	10.0

<그림 3> 굵은골재 최대치수별 Rebound No.와 압축강도의 상관관계(Cylinder-강자갈)



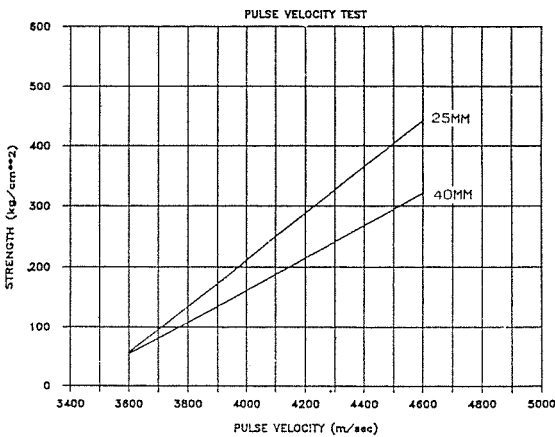
상 관 식	상관계수	Standard Error (kg/cm ²)
THE REGRESSION POLYNOMIAL OF LINE 13 MM $(-1.468E+03)+(4.262E-01)*X$ THE VARIANCE-6.727E+02	0.98	28.4
THE REGRESSION POLYNOMIAL OF LINE 25 MM $(-1.445E+03)+(4.132E-01)*X$ THE VARIANCE-1.114E+03	0.96	35.2
THE REGRESSION POLYNOMIAL OF LINE 40 MM $(-1.079E+03)+(3.032E-01)*X$ THE VARIANCE-5.402E+02	0.96	25.4

<그림 4> 굵은골재 최대치수별 Velocity와 압축 강도의 상관관계(Cylinder-쇄석)



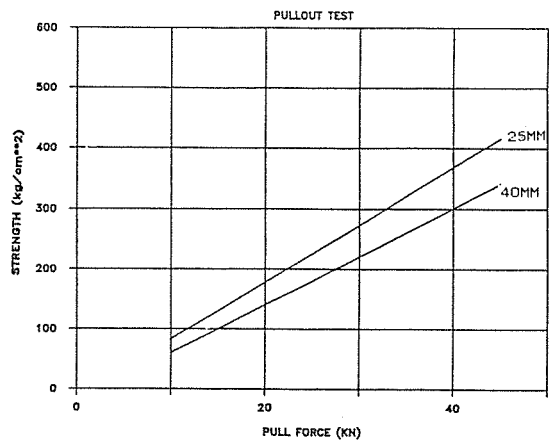
상 관 식	상관계수	Standard Error (kg/cm ²)
THE REGRESSION POLYNOMIAL OF 13 MM $(-2.539E+01)+(1.136E+01)*X$ THE VARIANCE-5.187E+02	0.97	26.3
THE REGRESSION POLYNOMIAL OF 25 MM $(-3.024E+01)+(1.037E+01)*X$ THE VARIANCE-5.358E+02	0.98	24.6
THE REGRESSION POLYNOMIAL OF 40 MM $(2.738E+01)+(7.066E+00)*X$ THE VARIANCE-3.003E+02	0.98	20.2

<그림 6> 굵은골재 최대치수별 Pullout Force와 압축강도의 상관관계(쇄석)



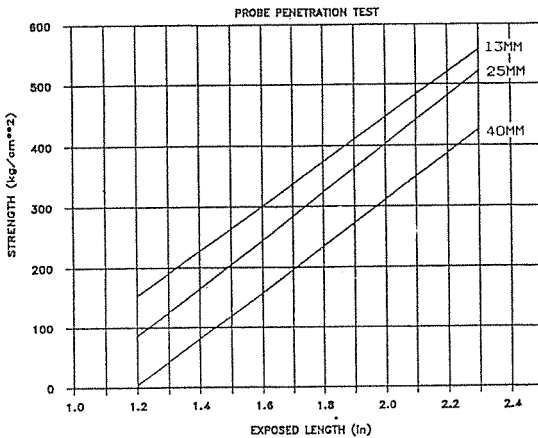
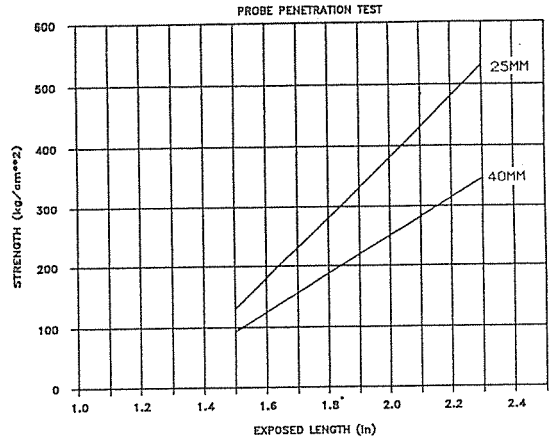
상 관 식	상관계수	Standard Error (kg/cm ²)
THE REGRESSION POLYNOMIAL OF LINE 25 MM $(-1.332E+03)+(3.858E-01)*X$ THE VARIANCE-1.921E+03	0.94	45.5
THE REGRESSION POLYNOMIAL OF LINE 40 MM $(-9.066E+02)+(2.670E-01)*X$ THE VARIANCE-3.926E+02	0.97	21.7

<그림 5> 굵은골재 최대치수별 Velocity의 압축 강도의 상관관계(Cylinder-강자갈)



상 관 식	상관계수	Standard Error (Kg/cm ²)
THE REGRESSION POLYNOMIAL OF LINE 25MM $(-1.171E+01)+(9.494E+00)*X$ THE VARIANCE-2.569E+02	0.98	17.1
THE REGRESSION POLYNOMIAL OF LINE 40MM $(-1.926E+01)+(8.002E+00)*X$ THE VARIANCE-2.083E+02	0.98	15.8

<그림 7> 굵은골재 최대치수별 Pullout Force와 압축강도의 상관관계(강자갈)



상 관 식	상관계수	Standard Error (Kg/cm ²)
THE REGRESSION POLYNOMIAL OF LINE 25MM $(-6.214E+02)+(5.010E+02)*X$ THE VARIANCE-1.893E+03	0.90	45.7
THE REGRESSION POLYNOMIAL OF LINE 40MM $(-3.809E+02)+(3.158E+02)*X$ THE VARIANCE-6.688E+02	0.91	29.3

<그림 9> 굵은골재 최대치수별 Exposed Length와 압축강도의 상관관계(강자갈)

상 관 식	상관계수	Standard Error (Kg/cm ²)
THE REGRESSION POLYNOMIAL OF LINE 13MM $(-2.865E+02)+(3.667E+02)*X$ THE VARIANCE-6.739E+02	0.97	28.7
THE REGRESSION POLYNOMIAL OF LINE 25MM $(-3.886E+02)+(3.956E+02)*X$ THE VARIANCE-1.498E+03	0.94	41.1
THE REGRESSION POLYNOMIAL OF LINE 40MM $(-4.550E+02)+(3.829E+02)*X$ THE VARIANCE-2.810E+02	0.96	19.0

<그림 8> 굵은골재 최대치수별 Exposed Length와 압축강도의 상관관계(쇄석)

4. 結 論

콘크리트 非破壞檢査의 現場適用을 위해 앞 절에서 記述한 바와 같이 case I, II의 方法이 바람직한 方案으로 판단되나 그러한 條件이 이루어지지 못한 경우에는 case III의 非破壞測定 値와 壓縮強度의 相關式을 利用한다. 이때에는 單一方法보다 Rebound Hammer와 Pulse Velocity를 조합한 方法이 가장 신뢰성이 우수한 것으로 나타났다.

실질적으로 콘크리트는 여러가지 異質性 材料로 構成되어 있어, 비파괴방법으로 콘크리트의 強度를 正確히 파악하는 것이 용이하지는 않다. 따라서 계속적인 시험연구와 適用을 통해 技術經驗과 Data를 蓄積하고 既存의 相關

式을 修正, 補完하여 보다 더 信賴性있는 測定 値를 얻음으로써 施工中の 콘크리트 品質管理 뿐만 아니라 構造物 安全度 診斷時 有用하게 活用할 수 있으리라 判斷된다.

참고문헌

1. "Standard Test for Rebound Number of Hardened Concrete"(ASTM, C.805-85), 1983, Annual Book of ASTM Standards ; V, 04, 02, American Society for Testing and Material, Philadelphia.
2. Carrette, G. G. and Malhotra, V. M. , "In Situ Tests : Variability and Strength Prediction at Early Ages." ACI SP-82 in Situ/ Nondestructive Testing of Concrete. Edited by V. M. Malhotra, 111-141.
3. Keiller, A. P., "A Preliminary Investigation of Test Method for the Assessment of Strength of in Situ Concrete", Technical Report 42. 551, Cerment and Concrete Association, Wexam Springs, 1982, U. K. , pp. 37.
4. "Standard Test Method for Pulse Velocity Through Concrete" ASTM C(597-71), Annual Book of ASTM Standards ; V 04, 02, American Society for Testing and Material, Philadelphia.
5. Y. Tanigawa. "Effect of Some Factors on Relationship between Compressive Strength and Ultrasonic Pulse Velocity of Concrete", 27th Japan Congress on Material Research, 1979, pp. 205-219.
6. Jones, R. , and Facaoaru, Ion ; "Recommendations for Testing Concrete by the Ultrasonic Pulse Method", Materials and Structures/Research and Testing(Paris), V. 2, No. 10, July-Aug. 1969, pp. 275-284.
7. Facaoaru, Ion, "Non-Destructive Testing of Concrete in Romania", Proceedings, Symposium on Nondestructive Testiing of Cocrete and Timber, Institution of Civil Engineers, London, June 1969, pp. 23-33.
8. Kiergaard-Hansen, P., "Lok-Strength", Nordisk Betong, Journal of the Nordic Concrete Federation(Stockholm), No. 3, 1975, pp. 19-28.
9. Cantor, T. E., "Status Report on the Windsor Probe Test System", Presented to Highway Research Board Committee A2-03, Mechanical Properties of Concrete, at 1970 Annual Meeting, Washington, D. C. , Jan. 1970, 10 pp.
10. Malhotra, V. M. , "Preliminary Evaluation of Windsor Probe Equipment for Estimating the Compressive Strength of Concrete", Mines Branch Investigation Report IR 71-1, Depart-
11. Malholtra, V. M. , "Evaluation of the Pull-out Test to Determine Strength of In-Situ Concrete", Materials and Structures, Research and Testing(RILEM, Paris), V. 8, No 43, Jan.-Feb. 1975, pp. 1931.
12. Richards, O., "Pullout Strength of Concrete" Reproducibility and Accuracy of Mechanical Test STP-626, ASTM, Philadelphia, 1977, pp. 32-40.