

인발법을 포함한 비파괴시험법에 대한 특성 비교

A Study on the Characteristics of Nondestructive Tests including Pullout Test

고 훈 범* 정 성 원* 음 성 우**
Ko, hune-bum Chung, sung-won Eum, seong-woo

Abstract

This paper presents comparisons of pullout load of concrete with compressive strength of cylinders and cores, pulse velocity, and rebound number. A pullout test, which is a relatively new nondestructive technique, measures with a special tension ram the force required to pullout a specially shaped steel rod whose enlarged end has been cast into a concrete block. In this study 3 concrete mixes(normal strength, high-strength & super-high-strength) were made. From each mix, one 100×70×20 concrete block, 24 cylinders(ϕ 10mm) were casted. Each tests were performed on the concrete blocks at 3, 7, 28, and 91 days. The test data shows that the pullout test is superior to the rebound hammer and the pulse velocity measurements on the evaluation of concrete strength. The pullout test is satisfactory for estimating the strength of in situ concrete at both early and late age, and its results can be reproduced with an acceptable degree of accuracy.

1. 서 론

최근 국내외적으로 콘크리트 구조물의 강도, 콘크리트 품질관리의 정확한 평가방법에 대한 요구가 강하게 제기되고 있다. 그러나 콘크리트 구조물에서 콘크리트 강도를 정확하고 간편하게 그리고 경제적으로 평가할 수 있는 시험법은 아직 확립되지 않은 것이 현실이다. 콘크리트 강도를 평가하는 방법으로 국내에서는 슈미트 햄머에 의한 반발경도법이 널리 사용되고 있으며 부분적으로 펄스속도시험법도 이용되고 있다. 이 시험들은 콘크리트 강도를 간편하게 측정할 수 있는 장점을 가지고 있으나 정확성에서 불투명하며 저강도 및 고강도의 콘크리트에 대해서는 적용하기 쉽지 않은 단점을 가지고 있다.

본 연구는 콘크리트 강도측정 방법으로 최근 ASTM, 캐나다표준국에서 추천되고 있는 인발법(Pullout Test)에 근거하여, 저강도, 고강도, 초고강도의 강도특성을 갖는 모의 콘크리트벽체에 대하여, 시험법의 유효성과 실용상의 문제점을 명확하게 판단

하는 것을 목적으로 하고 있다. 또한 인발법과 동시에 슈미트 햄머에 의한 반발경도 측정법과 펄스속도 시험법을 적용하고, 시험법에 의해 측정된 결과를 회기분석을 통하여 원형공시체의 실험결과와 비교하고 각 시험법에 대한 강도추정 정도를 알아보았다.

2. 인발법

본 실험에 사용된 인발시험장치는 그림 1과 같다. 인발부분의 형상과 크기는 Malhotra의 방법을 참고로 하였으며, 사용된 기자재 및 치구제작은 Morita의 연구결과에 근거하여 편이성과 경제성을 고려하여 시판제품을 위주로 제작하였다. F11T(M10)볼트와 외경 25mm의 가력플레이트(시판와서사용)를 결합시키고, 25mm의 spacer를 사용하여 콘크리트 타설전에 형틀에 고정한다. 인발장치는 내경 58mm의 반력링, 12ton 센터홀형 유압재키, 내경 10mm너트용 인발봉, 로드셀로 구성되어있으며, 시험시 볼트의 중심과 반력링의 중심을 일치시키기 위하여 직경 58mm 센터링 플레이트를 사용한다. 반력링의 내경과 가력플레이트의 외경으로 결정되는 원추각도 67° 는

* 정희원, 금호건설 기술연구소

** 정희원, 금호건설 기술연구소, 공학박사

표1. 콘크리트 배합비

	Mix Proportion(kg/m ³)				W/C (%)	Air (%)	S/A (%)	Ad (%)
	W	C	S	G				
N	207	345	705	1053	60	2.0	40	0
H	183	424	667	1055	41	2.9	39	1.0
S	167	555	606	1062	30	2.0	36	1.2

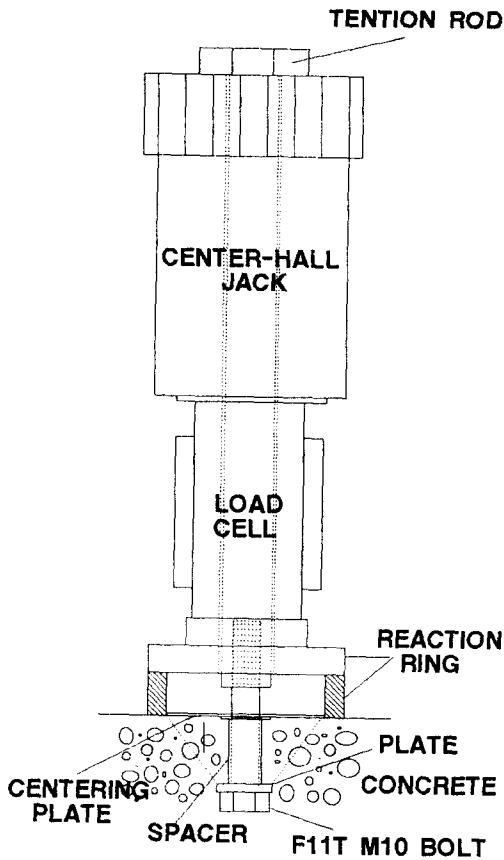


그림 1. 인발법 시험장치

Marhotra의 연구결과를 참고하여 결정하였다. 인발 시험을 실시하면 최대하중시에 그림 1에 나타난 점선부분을 따라 원추형태의 콘크리트부분이 취성적으로 뺏혀 나온다.

3. 실험계획

3.1 콘크리트 배합 및 사용재료

실험에는 200kg/cm²급의 보통강도(N), 400kg/cm²급의 고강도(H), 600kg/cm²급의 초고강도수준(S)을 예상하여 콘크리트 배합을 결정하였다. 배합표는 표 1과 같으며 시멘트는 S사 포틀랜드시멘트를 사용하였으며 조골재는 남한강산 쇄석(최대입경 19mm), 세골재도 남한강산을 사용하였다. 혼화제는 콘크리트 고성능 감수제(G사 제품)를 고강도급 이상의 배합에 사용하였다.

3.2 시험체 및 공시체의 제작

시험체는 그림2와 같이 각 배합에 대하여 100cm×70cm×20cm크기의 모의 벽체부재를 가정하고, 각 시험체에 대하여 인발용 볼트를 양면으로 각각 16개를 매입하였다. 압축강도시험용 공시체로서 ϕ 10×20cm의 원형공시체를 각 배합에 대하여 24개(표준수중양생, 외기양생) 제작하였다. 또한 시험체 강도와 공시체 강도를 비교하기 위하여 각 배합에 대해 6개씩의 코어를 채취하였다. 콘크리트 배합에는 용량 100liter의 강제식믹서를 사용하였으며 다짐에는 봉형바이브레이터(시험체)와 일반 원형다짐봉(원형공시체)을 사용하였다. 양생방법은 시험체인 경우 외기양생, 원형공시체는 각 배합에 대하여 표준양생과 외기양생을 실시하였다. 원형공시체의 켈핑은 모르터켈핑을 실시하였다.

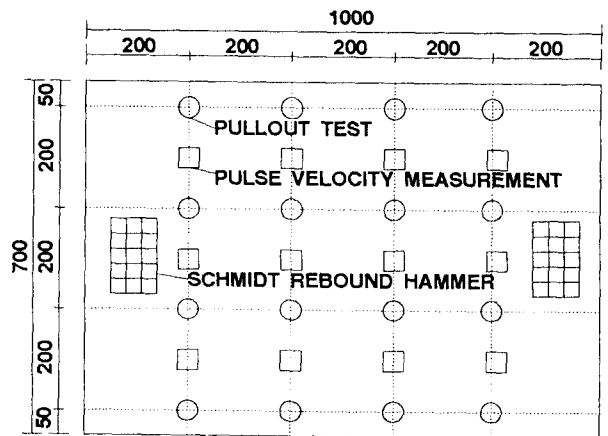


그림 2. 모의 시험벽체와 시험위치

3.3 시험방법

시험은 압축강도시험, 인발시험, 펄스속도시험, 반

발경도법 4종류가 사용되었으며, 모의 벽체에 대해서는 반발경도법·인발시험·필스속도시험을, 원형공시체(코아포함)에 대해서는 압축강도시험과 필스속도시험만을 실시하였다. 각 시험은 KS F 2405(압축강도시험), KS F 2418(필스속도시험법), ASTM C805-79(반발경도법), ASTM C900-82(인발시험법)에 근거하여 실시하였다.

4. 실험결과

4.1 공시체에 대한 압축강도시험 결과

공시체에 대한 압축강도 시험결과는 표2와 같으며, 그래프로 나타내면 그림3과 같다. 강도수준 별로 살펴보면 N 강도수준에서는 재령 91일 까지 지속적인 강도증진을 보여주고 있으나, H·S 강도수준에서는 기존의 연구결과에서 알려진 바와 같이 재령 28일

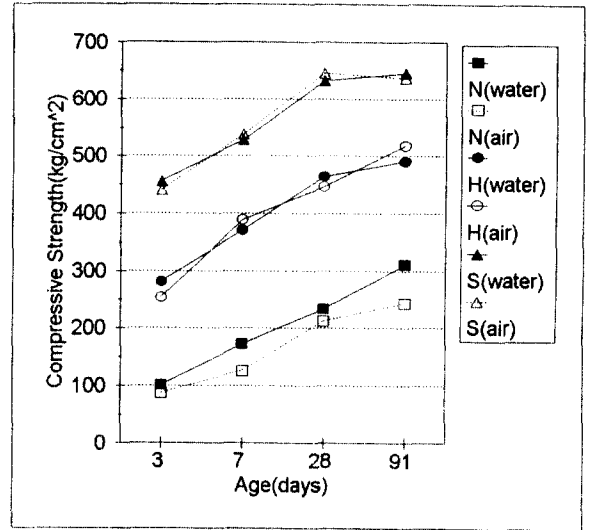


그림 3. 공시체에 대한 압축강도시험결과

표 2. 공시체에 대한 압축시험결과 (kg/cm²)

강도	N		H		S	
	수중	기건	수중	기건	수중	기건
3일	102	88	282	254	455	440
7일	172	127	371	389	528	539
28일	234	212	464	446	632	639
91일	312	244	491	519	646	637
3일	0.44	0.38	0.61	0.55	0.72	0.70
7일	0.74	0.54	0.80	0.84	0.84	0.85
28일	1	0.91	1	0.96	1	1.01
91일	1.33	1.04	1.06	1.12	1.02	1.01

이후의 장기재령에 있어서 강도증진은 비교적 적은 것으로 나타났다.

양생조건에 따른 시험결과를 살펴보면 N 강도 수준에서는 수중양생이 기건양생보다 전 재령을 통하여 높은 강도수준을 보여주었으나, H·S 강도수준에서 살펴보면 초기재령(재령 3일)에서는 같은 결과를 나타내고 있으나, 그 이후의 재령에 있어서는 특별한 경향을 나타내고 있지 않다.

4.2 모의 벽체시험체에 대한 시험결과

모의 벽체시험체에 대한 인발시험, 필스속도시험, 반발경도법에 대한 결과는 표 3과와 같으며 시험결과를 그래프로 나타내면 그림 4~6과 같다.

표3. 모의 벽체시험체에 비파괴시험결과

강도	시험 방법	인발하중 (ton)	초음파속도 (m/sec)	반발도
N	3일	1.27	3822	21
	7일	1.71	3982	29
	28일	2.07	4175	33
	91일	2.49	4317	39
H	3일	3.18	4354	35
	7일	3.34	4412	37
	28일	4.36	4580	43
	91일	4.49	4604	48
S	3일	4.39	4584	48
	7일	4.5	4605	44
	28일	5.13	4730	49
	91일	5.78	4770	50

반발경도법에 대한 시험결과를 살펴보면, 전체적으로 콘크리트 강도가 높아질수록 반발경도값은 큰 수치를 보여주고 있으나, 콘크리트가 고강도급이 될수록 재령에 의한 값의 차이가 적게 나타나는 경향을 보여주고 있다. 필스속도시험법에 대한 시험결과를 살펴보면, 반발경도법과 같은 결과를 보여주고 있으나, 28일 강도를 기준으로 각 재령에 대한 증진비율을

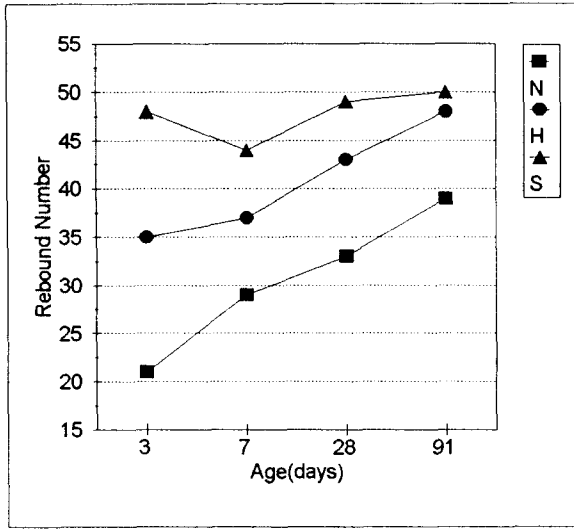


그림 4. 반발경도법에 대한 시험결과

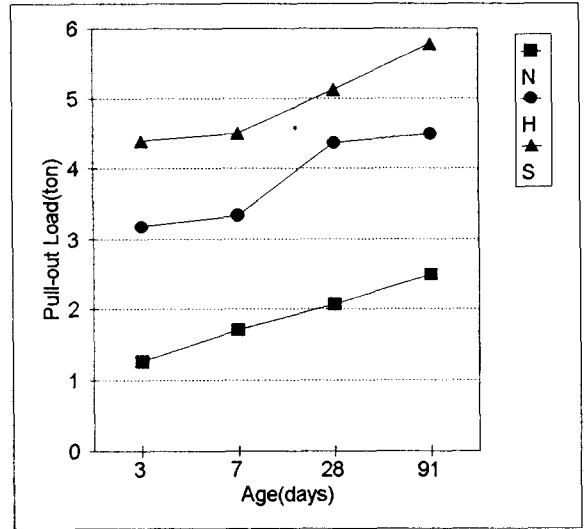


그림 6. 인발법에 대한 시험결과

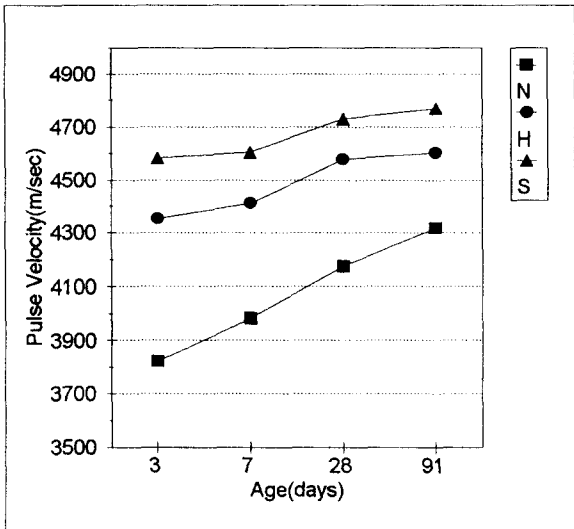


그림 5. 펄스속도시험법에 대한 시험결과

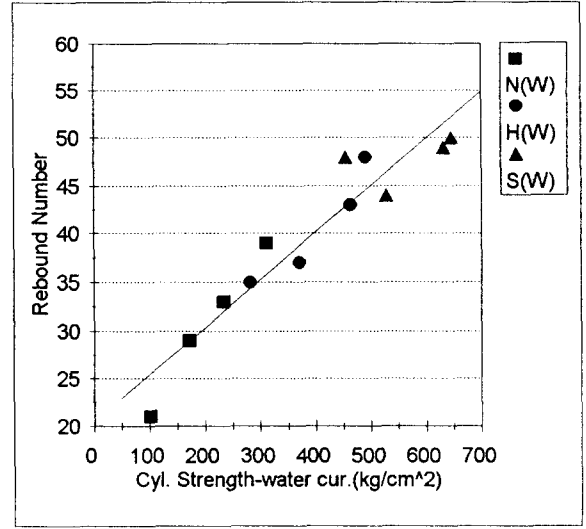


그림 7. 반발경도값에 대한 선형 회귀분석결과

계산해 보면 매우 적은 비율로 변화하는 것을 알 수 있다. 인발법에 대한 시험결과를 살펴보면, 다른 시험법과는 다르게 강도수준에 따라 명확하게 인발하중이 구분되어지며, 재령에 따른 강도증가도 대체적으로 뚜렷하게 나타나고 있는 것을 알 수 있다.

5. 실험결과에 대한 고찰

그림 7~그림 9는 각 비파괴시험법(반발경도법, 펄스속도시험법, 인발법)의 측정값과 원형공시체의 압축강도(표준양생)에 대하여 선형 회귀분석한 결과를

나타내고 있다. 각 시험법에 대한 상관계수를 살펴보면, 반발경도법인 경우 0.90, 펄스속도시험법인 경우 0.94, 인발법인 경우 0.96으로서 대체적으로 높은 상관관계를 보여주고 있으며, 그 중에서도 인발법이 가장 높은 상관관계를 보여주고 있어 비파괴시험에 의한 콘크리트 강도추정방법으로서 인발법은 유효하다는 결론을 얻을 수 있다.

6. 결론

본 연구는 콘크리트 강도추정을 위한 비파괴시험

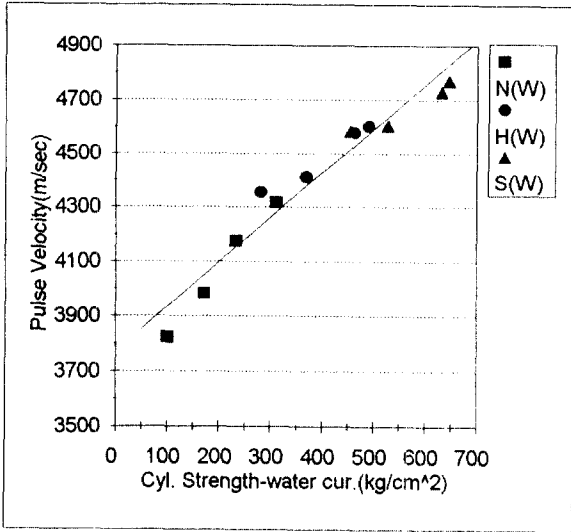


그림 8. 펄스속도시험법에 대한 선형 회기분석 결과

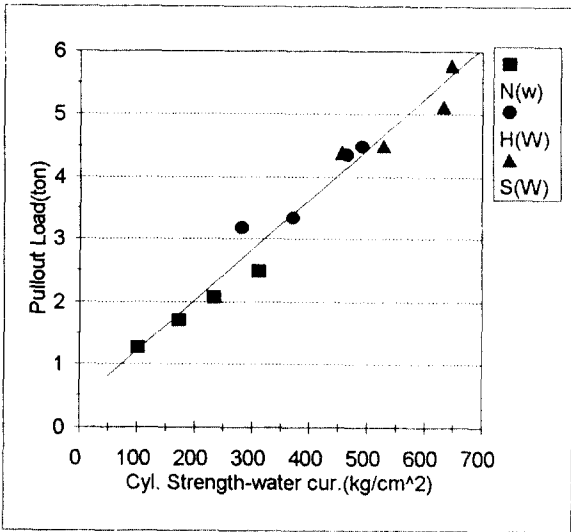


그림 9. 인발법에 대한 선형 회기분석결과

법의 하나로 구미를 중심으로 표준화되어 있는 인발법을 중심으로 모의 벽체부재에 대하여 반발경도법, 펄스속도시험법을 적용하고, 콘크리트 공시체의 압축강도를 특성과 비교하여 보았다. 결과적으로 인발법은 구조체 콘크리트의 강도를 평가하는데 매우 유효한 방법이라고 할 수 있으며, 다른 시험법에 비교하여 높은 정확도를 보여 주었다. 실용적인 측면에서는 콘크리트 타설전에 미리 계획하여 인발볼트를 설치해야 하는 어려움이 있고 실제적으로 적용된 실험자료가 부족하지만, 간단하게 인발볼트의 개수만 증

가시키면 재령에 관계없이 필요한 시기에는 언제든지 콘크리트 강도를 측정할 수 있으며 시험된 부분은 구조체의 손상 없이 간단하게 마감할 수 있어, 구조물의 거푸집 해체시기, 중량물 적체시기 등에 대한 정확한 예측이 가능하다. 그러므로 인발볼트에 대한 후매입방법 등을 통하여 계속적인 실용적인 연구가 이루어진다면 유효한 콘크리트의 강도평가방법으로 널리 사용되어질 것이다.

참고문헌

1. V.M.Malhotra and G.Carette, "Comparison of Pullout Strength of Concrete with Compressive Strength of Cylinders and Cores, Pulse, Velocity, and Rebound Number," ACI JOURNAL, May-June, 1980, pp. 161~170.
2. Richards, O., "Pullout Strength of Concrete," Reproducibility and Accuracy of Mechanical Tests, STP-626, ASTM, Philadelphia, 1977, pp. 32-40.
3. "Standard Test Method for Pullout Test Strength of Hardened Concrete," (ASTM C 900-82), 1983 Annual Book of ASTM Standards, V. 04.02, ASTM, Philadelphia, pp. 582-585.
4. Stone, William C., and Carino, Nicholas J., "Deformation and Failure in Large-Scale Pullout Tests," ACI Journal, Proceedings V.80, No.6, Nov.-Dec. 1983, pp. 501-513.
5. Kierkegaard-Hansen, P., "Lok-Strength," Nordisk Betong(Stockholm), V.19, No.2, 1975, pp. 9-11.
6. Stone, W. C., "Internal Strain, Deformation, and Failure of Large Scale Pullout Tests in Concrete," Report NBSIR 82-2484, NBS, Washington, D.C., 1982, 170pp
7. 森田, 小松, 中村 ; 引抜き試験法によるコン크리트強度の推定, セメント技術年報 35(1981) No.18
8. 小松勇二郎, 森田司郎 ; 1000kg/cm²級コン크리트に對する引抜き試験法の適用, 콘크리트工學年次論文報告集 12-1, 1990