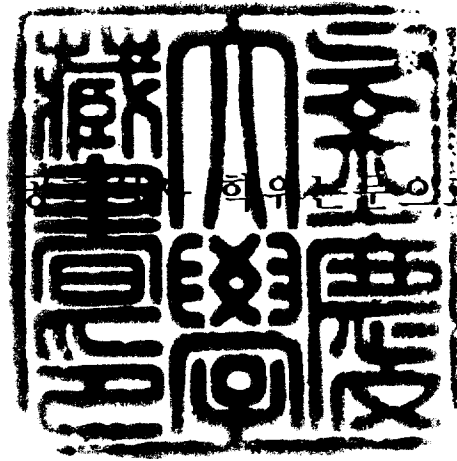


공학석사 학위논문

수평진동이 잔골재 종류에 따른
콘크리트의 압축강도에 미치는 영향

지도교수 김 명 식

이 논문을 공학석사 학위논문으로 제출함



2002년 2월

부경대학교 산업대학원

토 목 공 학 과

김 이 훈

김이훈의 공학석사 학위논문을 인준함

2001년 12월 15일

주 심 공학석사 김 종 수



위 원 공학박사 이 상 호



위 원 공학박사 김 명 식



<목 차>

1. 서론	1
1.1 연구배경 및 목적	1
1.2 연구범위 및 방법	2
2. 문헌 고찰	3
2.1 콘크리트에 미치는 진동의 종류	3
2.2 진동이 콘크리트에 미치는 영향에 관한 연구 동향	4
2.2.1 외국의 경우	4
2.2.2 국내의 경우	7
2.3 진동이 콘크리트에 미치는 영향에 대한 기준	10
3. 실험계획 및 방법	13
3.1 실험파라미터	13
3.2 실험방법	14
3.2.1 콘크리트의 제작 및 양생	14
3.2.2 압축강도시험	14
3.2.3 진동가력장치	14
3.3 사용재료	16

3.3.1 시멘트 및 혼화제	16
3.3.2 골재	16
3.4 배합설계	17
4. 실험결과 및 분석	19
4.1 재령 7일 압축강도의 변화	22
4.2 재령 28일 압축강도의 변화	26
5. 결 론	30
참 고 문 헌	31

The Effects of Horizontal Vibration on the Concrete Compressive Strength under Kinds of Fine Aggregate

Lee Hoon, Kim

*Department of Civil Engineering,
Graduate School of Industry
Pukyong National University*

ABSTRACT

The objective of this study is to find out effect of horizontal vibration on the compressive strength for 7days and 28 days cured concrete specimens according to kind of fine aggregate and the variation of vibration velocities, and times began to vibrate.

Three kinds of fine aggregate(river sand, sea sand, crush sand), three types of vibration velocities(0.25, 0.5 0.1kine(cm/sec)), and four steps of times(0, 3, 6, 9hrs after concrete casting) were chosen as the experimental parameters in this study, the vibrations are applied for 30 minutes in each case.

From this study, the variation with type of fine aggregate doesn't show constant tendency and the compressive strength decreases with increasing vibration velocity. When the vibration force time is more than 6hr, It shows that compressive strength decreases under the condition of vibration velocity which the value is 0.5 and 1 kine.

1. 서론

1.1 연구배경 및 목적

건설현장에서 초기양생중에 있는 콘크리트는 인접한 공사현장 또는 다른 진동원으로 부터 진동을 받는 경우가 흔히 발생하는데, 이러한 경우에 양생중인 콘크리트에 영향을 줄 수 있을 것으로 판단된다. 그리고, 진동을 동반하는 발파작업 및 파일함타 등은 콘크리트 공사를 효율적으로 시공하는데 제한을 주게 되므로 진동이 초기양생중인 콘크리트에 미치는 영향에 대해 정확한 평가가 이루어져야 할 것이며, 이를 통하여 국내 실정에 적용 가능한 시공기준을 정립할 필요가 있다.

외국에서는 이미 1929년 부터 진동이 콘크리트의 압축강도에 미치는 영향에 관한 연구가 행해져 왔으며, 또한 그 결과로 양생중인 콘크리트에 대한 진동의 제한치를 제시하였으나, 국내에서는 1980년대 말부터 초기양생중인 콘크리트가 진동을 받는 경우에 대한 실험을 시작하였고 1990년에는 대한주택공사에서 이러한 진동실험을 실시하였다. 이 이후에도 계속해서 연구중이지만, 아직까지 초기양생중인 콘크리트에 대한 진동의 기준을 확립하지 못하고 있는 실정이므로 보다 다양하고 폭넓은 실험이 계속 수행되어야 할 필요성이 있다.

따라서, 본 연구에서는 실험변수로 잔골재의 종류를 강모래, 바다모래, 부순모래 3종류로 하고, 진동속도를 0.25, 0.5, 1kine(cm/sec) 3종류로 하며, 진동가력시점을 콘크리트 타설 후 0, 3, 6, 9hr으로 한다. 또한 각 진동가력시점에서 진동가력시간은 30분으로 일정하게 하여 잔골재의 종류, 진동속도 및 진동가력시점의 변화가 콘크리트의 재령 7일, 28일의 압축강도에 어떠한 영향을 미치는가에 대하여 연구하고자 한다.

1.2 연구범위 및 방법

본 연구의 배합설계조건은 배합강도(f_{cr})를 240kgf/cm², 슬럼프를 12cm, 공기량 5%를 기준으로 하고, 잔골재율은 47%, 물-시멘트비(W/C)는 45%로 고정한다. 이러한 배합설계조건을 중심으로 다음과 같은 순서와 방법으로 연구를 수행하고자 한다.

- ① 문헌고찰을 통하여 진동이 콘크리트에 미치는 영향과 특성에 대하여 살펴본다.
- ② 본 연구에 필요한 사용재료를 결정하고, 각 재료의 물성을 파악한다.
- ③ 본 연구의 설계조건을 기준으로 잔골재의 종류에 따른 배합설계를 실시하여 기준시방배합표를 작성한다.
- ④ 기준시방배합표를 중심으로 진동속도를 0.25, 0.5, 1kine으로 하고, 각각의 진동가력시점을 0, 3, 6, 9hr에 대한 각각의 배치량을 55ℓ로 하는 배합표를 작성한다.
- ⑤ 공시체에 각각 30분간 진동을 가한 콘크리트의 재령 7일, 28일 압축강도의 변화를 측정하여 결과를 비교·분석해 보기로 한다.

2. 문헌 고찰

2.1 콘크리트에 미치는 진동의 종류

양생 중인 콘크리트에 진동이 가해지면 어떠한 형태로든 영향을 받게 된다. 이러한 진동은 타설 후 성질을 좋게 해주는 재진동이 있고, 타설과 동시에 이루어지는 작업 때문에 생기는 작업진동이 있다.

1) 재진동

콘크리트를 타설한 후 다짐을 좋게하기 위하여 부분적으로 콘크리트에 가하는 진동을 보통 재진동이라 한다.

이러한 재진동은 거푸집의 결함에 의한 수분손실, 철근이나 다른 골재의 주위에서 발생하는 블리딩, 골재의 침전에 의해 발생하는 균열 등을 제거하여 콘크리트의 다짐을 좋아지게 할 수 있다.

이와 같은 이유에서 재진동은 콘크리트와 철근의 부착을 크게 증가시킨다. 그러나, 이러한 장점에도 불구하고 재진동은 콘크리트 제작에 있어서 광범위하게 쓰이지는 않는다. 왜냐하면, 재진동을 늦어지면 콘크리트에 악영향을 줄 수 있기 때문이다.

많은 실험결과에 의하면 배치후 4시간까지의 재진동은 콘크리트의 품질을 좋게 할 수 있다고 나타내고 있다.

2) 작업진동

일반적으로 실제 현장에서 고려되어야 할 진동은 발파시의 진동, 파일항타시의 진동, 진동롤러 다짐기에 의한 진동, 교통하중에 의한 진동과 같은 경우이다.

요즘들어 대규모 주택단지 조성을 위해 연약지반이나 산지를 이용 하는 경우가 많은데 이러한 경우 파일항타나 발파진동이 기초공사의 콘

크리트 타설과 동시에 이루어지는 경우가 늘어나고 있다.

또한, 교통량이 늘어남에 따라 도로나 기존의 교량을 확폭하는 경우가 있다. 이러한 경우 모든 차선을 막고 작업을 할 수는 없기 때문에 부분적으로 차량을 통과시킬 때 발생하는 진동이 양생초기에는 그 기준을 넘어서는 경우도 있다.

2.2 진동이 콘크리트에 미치는 영향에 관한 연구 동향

2.2.1 외국의 경우

1) Bastian은 파일항타에 의한 진동이 양생중인 콘크리트에 어떤 영향을 미치는지를 실험 조사하였다. 두 가지 실험을 하였는데 한 가지는 파일 자체가 외부 진동원에 의해 진동을 받는 경우이고, 다른 한가지는 파일항타에 의한 진동이 다른 요소에 영향을 주는 경우이다.

실험결과 진동은 콘크리트의 응결과 양생기간동안에 악영향을 주지 않는다고 나타났다. 그리고, 일축압축강도는 항타진동을 받는 표본이 무진동 양생된 표본보다 4% 높은 강도를 나타내었다.

2) Howes는 양생중인 콘크리트에 발파진동이 왔을 때 콘크리트에 어떤 변화가 발생하는지를 연구하였다. 발파진동을 발생시킬 수 있는 장치를 고안하여 진동속도의 크기를 1.6, 3.2, 5.0in/sec로 주었으며 진동가력은 7일 동안 한 시간 간격으로 계속해서 주었다. 진동을 준 콘크리트와 주지 않은 콘크리트에 대해 압축강도, 밀도, 탄성계수 등을 측정하여 비교하였다. 실험장치의 개략도는 그림 2.1과 같다.

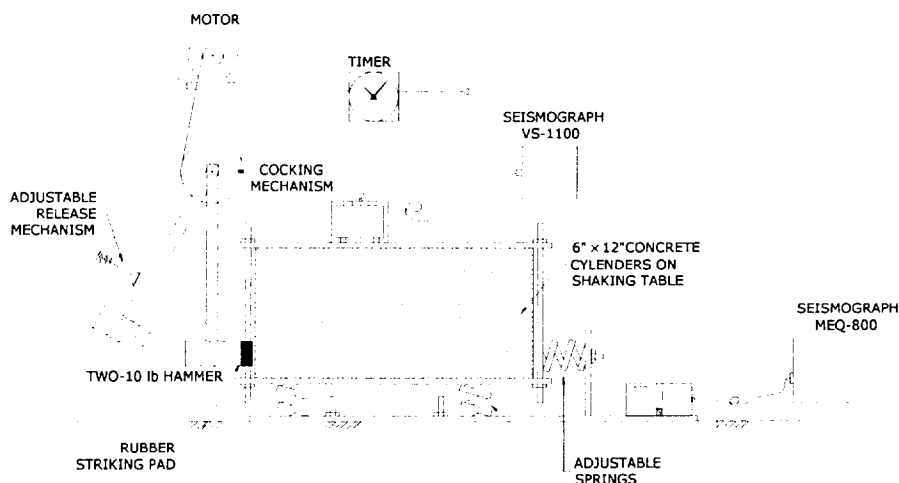


그림 2.1 실험장치의 개략도

실험결과로 5.0in/sec까지의 발파진동을 모사한 이러한 실험으로부터 진동은 콘크리트 압축강도 시험체를 양생하는 동안 강도나 물리적 성질에 악영향을 주지 않는다고 결론지었다. 이 결과는 현장실험에서 발생하는 비슷한 진동도 콘크리트에 해가 되지 않는다는 것을 나타내고 있다.

3) Hulshiver는 발파진동, 파일항타, 장비와 기계류에 의한 진동이 굳지 않은 콘크리트에 미치는 영향을 고찰하기 위해서 실내실험과 현장 실험을 수행하였다. 그는 굳지않은 콘크리트의 정의를 배치 후 24시간 이내의 콘크리트라고 하였다. 현장에서는 압축강도 시험, 보 시험, 벽체 시험을 수행하였고, 실내실험으로는 압축강도 시험체와 부착강도 시험체에 고정된 주기를 가지는 여러 가지 진동속도를 양생시간별로 가하였다.

표 2.1은 Hulshiver가 상기한 연구결과를 중심으로 제안한 진동허용

기준치를 나타내고 있다.

표 2.1 Hulshiver가 제안한 진동허용기준치

Concrete age, in hours	0~3	3~11	11~24	24~48	Over 48
Peak particle ground velocity limitations, in inches per second	4.0	1.5	2.0	4.0	7.0

4) Krell은 화력발전소의 설비확충작업 도중, 기존의 콘크리트기초부분이 신설 콘크리트 기초와 접합 시공되어야 하는 상황에서, 기존 콘크리트 기초 위에 있는 발전설비에 의한 진동이 양생중인 신설 콘크리트의 기초에 미치는 영향을 조사한 것으로 기존 콘크리트 기초 위에 실린더 공시체를 설치하여 발전설비로부터 연속적인 진동을 받게 하였다. 가해진 진동속도는 0.2in/sec에서 0.5in/sec 범위이며 타설 후로부터 28일까지 연속으로 시험체에 진동을 가하였다. 시험체에 대하여 압축강도시험과 부착강도시험이 행해졌는데 시험결과로 진동을 받은 시험체의 압축강도가 진동을 받지 않은 기준시험체의 값보다 더 컸으며, 부착강도시험에서도 철근과 콘크리트 사이의 부착파괴는 생기지 않고 오히려 철근의 절단에 의하여 공시체의 파괴가 생겼다고 하였다.

2.2.2 국내의 경우

1) 오병환은 도로의 보수보강 및 차선험폭시 주변에서 발생하는 진동이 양생중인 콘크리트에 미치는 영향에 대해서 연구하였다. 이 실험에서 실험변수는 진동속도, 진동가력시점으로 나누었고, 압축강도와 부착강도를 측정하였다. 또, 응결시간을 측정하여 외부진동요인이 응결에 미치는 영향을 고려하였고, 응결이 강도에 미치는 상관관계를 고찰하였다.

실험방법은 먼저 최대 수평진동속도를 4.2cm/sec까지 발생시킬 수 있는 진동기(shaking table)를 제작하였고 압축강도실험을 위해 10×20cm의 원형공시체를 제작하였으며, 부착강도실험을 위해서는 15×15×15cm의 부착시험 공시체를 제작하였다. 진동속도는 0.25, 0.5, 2.5, 4.2cm/sec의 네가지로 정하고, 진동가력시점은 콘크리트 타설 직후 2, 4, 6, 12시간 후로 하였으며, 각각의 진동지속시간은 30분으로 고정시켰다. 이는 일반적으로 사용하고 있는 진동규정 중에서 재령 12시간 이내의 양생초기 콘크리트의 기준인 0.25cm/sec를 최소값으로 하고, 최대값을 4.2cm/sec까지 변화시킨 것이다. 진동의 영향을 평가하기 위해서 진동을 가하지 않은 기준 시험체(Control specimen)를 동시에 제작하였다.

압축강도실험 결과를 분석하여 보면 진동속도가 0.25cm/sec일 경우에 가장 크게 압축강도가 증가하였는데 약 27.5%까지 증가하였다. 반면에 0.5cm/sec이상의 경우에는 압축강도의 감소를 나타내는데, 최대 11.4%까지의 감소를 보였다. 또한, 진동가력시점에 대해서는 별 영향을 받지 않는 것으로 나타났다. 부착강도 실험결과는 진동속도가 0.25cm/sec의 경우에는 최대 11.5% 증가하였으나, 진동속도 0.5cm/sec의 경우에는 최대 12.7%가 감소하였다. 진동가력시점에 대해

서는 압축강도와 마찬가지로 별다른 영향을 나타내지는 않았다.

2) 대한주택공사에서는 진동이 콘크리트 경화에 미치는 영향을 알아보기 위하여 양생중인 콘크리트 공시체에 대하여 진동가력시간, 진동가력시점 및 진동의 크기 등을 달리하여 공시체의 28일 강도를 측정하였다. 이 때 콘크리트의 강도는 압축, 인장 및 부착강도를 측정하였다

압축강도실험에서 콘크리트 타설 후 3~5시간 범위 이내에서 진동을 받으면 압축강도가 크게 떨어지는 것으로 나타났는데, 이는 콘크리트가 유동체(Fluid)일때는 공극의 감소, 진동의 촉매작용 등으로 인해 강도 증대 효과를 가져오나 응결과 종결사이의 임계상태에서는 위결(False set)과 급결(Flash set)로서 수화반응이 비정상적으로 일어나므로 강도 감소가 발생한다고 보았다. 부착강도실험에서도 타설 후 3~5시간 범위 이내에 진동을 가하면 강도가 떨어지는 것으로 나타났다.

모르타르의 강도는 진동가력시간의 변화에 무관하다고 하였고, 콘크리트 보다 강도변화가 적었는데 이는 모르타르가 콘크리트보다 재료상 균질하기 때문에 진동에 대한 영향이 적게 받기 때문이라고 판단하였다.

또, 진동의 크기를 변수로 한 실험에서는 콘크리트에 가한 진동의 크기를 0.025~4.8cm/sec까지 변화를 주었으며, 진동가력시점이 2, 5시간 인 두 경우에 대하여 압축강도실험을 실시한 결과 압축강도는 진동의 크기에 거의 영향을 받지 않는다고 결론을 내렸다.

3) 권영웅은 모울드에 콘크리트를 타설한 후 임의로 정해진 시간 후에 쇠파치로 모울드에 타격을 가하고 이 공시체들의 압축강도를 비교하였다. 첫 번째 공시체(A₁)는 2.5, 4.0, 5.5시간 후에, 두 번째 공시체(A₂)는 2.5, 4.0, 5.5, 17.5시간 후에, 세 번째 공시체(A₃)는 2.5, 4.0, 5.5,

17.5, 20.5시간 후에, 그리고 네 번째 공시체(A₄)는 2.5, 4.0, 5.5, 17.5, 20.5, 65.5, 89.5, 113.5, 137.5시간 후에 각각 30번 썩의 타격을 받았다. 공시체들의 3일, 7일 및 15일 강도를 비교한 결과는 콘크리트의 양생 초기에 가한 타격정도가 클수록 콘크리트 압축강도도 증가한다고 하였다.

4) 한중기는 수평연속진동이 초기양생중의 콘크리트에 미치는 영향에 관하여 연구하였는데, 진동가력은 다짐이 끝난 후 바로 시작하였으며, 강도의 평가는 콘크리트성능의 주된 평가기준인 압축강도를 비롯하여, 쪼갬인장강도, 부착강도의 3가지로 하였다. 진동가력시간은 시멘트의 종결시간과 실험여건을 감안하여 최대 24시간으로 하는 3, 6, 12, 24시간의 4종류로 하고, 진동속도는 0.25, 0.5, 1, 2, 4kine(=cm/sec)의 5종류로 하였다.

실험결과 다음과 같이 결론을 내렸다. 진동속도 0.25kine에서는 진동가력시간에 무관하게 강도의 감소가 거의 없었으므로, 이 값을 타설 직후 수평연속진동 가력시 강도에 영향을 미치지 않는 한계치로 고찰할 수 있다고 하였다. 진동속도 0.5kine에서는 압축강도, 쪼갬인장강도, 부착강도 모두 강도의 증가를 보인 경우는 타설 직후부터 3시간동안 진동을 주었을 경우이다. 그러나 12시간 진동을 준 경우에는 압축강도가 25%까지 감소하는 등 전반적으로 크게 감소하였으며, 24시간 진동을 받은 경우에는 최대 감소율이 10% 이내로 되어 강도가 회복된다고 하였다. 최대 진동속도인 4kine에서 가장 큰 강도의 저하를 나타내지는 않았고, 부착강도에서는 오히려 다른 진동속도에서 보다 그 증가율이 확연히 더 크게 나타났으므로 진동속도가 크다고 하여 강도의 감소가 크게 발생하는 것은 아니라고 결론을 내리고 있다.

전체 시험체를 통하여 볼 때 0.5kine-6hrs 이상의 경우에는 압축강

도가 최대 38% 감소하는 것을 비롯하여 다른 강도들도 적지 않게 감소하고 있으므로, 이 범위에서는 수평연속진동이 콘크리트의 강도에 불리한 영향을 줄 수 있다는 것을 의미한다.

재료분리에 대하여 살펴보면, 진동에 의해 시험체 상부의 골재가 전체적으로 약간씩 하강한 것은 볼 수 있었으나 강도나 내구성에 영향을 미칠 정도의 재료분리는 발생하지 않았다. 그러므로 최대 4kine의 진동속도와 24시간의 진동가력시간의 범위내에서의 수평연속진동에서는 재료분리가 발생하지 않는다고 하였다.

본 연구는 진동속도와 진동가력시간을 변수로 하여 수평진동에 대해 실험한 것이며, 향후 수직진동을 비롯한 다양한 요인 및 수준에 대해서도 추가적인 연구가 진행되어야 할 것으로 판단된다고 결론을 내렸다.

2.3 진동이 콘크리트에 미치는 영향에 대한 기준

발파진동이나 파일항타시의 진동은 그 진동속도나 진동가력시점이 얼마인가에 따라 콘크리트에 주는 영향은 다를 수도 있다. 따라서, 이러한 진동영향을 고려하기 위해 미국토목학회(ASCE)에서는 표 2.2와 같은 기준을 규정하고 있는데 이는 타설 후 12시간이내의 콘크리트에는 0.254cm/sec의 낮은 기준을 사용하고, 재령이 길어질수록 허용할 수 있는 최대진동속도가 높아짐을 알 수 있다. 또한 표 2.3과 표 2.4는 외국의 진동기준치를 나타내고 있는 일례이다.

표 2.2 콘크리트의 양생과 허용진동속도와의 관계(ASCE)

타설후 시간	최대진동속도(cm/sec)
0~12시간	0.254
12~24시간	1.27
24~5일	1.27~5.80(비례하여 증가)
5일 이상	5.08

표 2.3. 미국 교통국의 양생콘크리트에 대한 허용 진동수준 지침(1991)

타설후 시간	최대진동속도(cm/sec)
0~4시간	5.08
4~24시간	0.63
1~3일	2.54
3~7일	5.08
7~10일	12.70
> 10일	25.40

표 2.4 스웨덴 기준

경화온도	경화시간	허용 진동치(cm/s)	비고
+5℃	2	0.8	형틀에 넣은 후, 10시간 이내라면 최대 10(cm/s)의 지반진동까지 견 딜 수 있다. 형틀에 넣은 후, 1 0~70시간이라면 30m이내에서 발파해서는 않된다.
	3	1.1	
	7	3.5	
	28	80	
	90	10.0	
+15℃	1	1.4	형틀에 넣은 후, 5시간 이내라면 최대 10(cm/s)의 지반진동까지 견 딜 수 있다. 형틀에 넣은 후 5~ 24시간 이라면 30m이내에서 발 파해서는 않된다.
	2	3.0	
	3	4.0	
	7	6.0	
	28	8.5	
	90	10.0	

3. 실험계획 및 방법

3.1 실험파라미터

본 연구에서는 잔골재의 종류를 강모래, 바다모래, 부순모래로 하고, 진동속도는 0.25, 0.5, 1kine로 하며, 진동가력시점은 콘크리트 타설 직후 0, 3, 6, 9시간으로 하여 각각 이후에 30분 동안 진동을 가한 콘크리트의 재령 7일과 재령28일의 압축강도를 측정하여 그 변화 특성을 파악하고자 하였으며 실험파라미터를 정리하면 표 3.1과 같다. 표 3.1에서 무진동 NA, NB, NC는 진동을 가한 콘크리트의 압축강도와 비교하기 위하여 진동을 가하지 않은 콘크리트를 말한다.

표 3.1 실험파라미터

잔골재의 종류	진동속도 (kine=cm/sec)	진동가력시점(hr)	symbol	
			진동	무진동
강모래(A)	0.25(Ⅰ)	(0), (3), (6), (9)	AⅠ(0), AⅠ(3) AⅠ(6), AⅠ(9)	NA
	0.5(Ⅱ)	(0), (3), (6), (9)	AⅡ(0), AⅡ(3) AⅡ(6), AⅡ(9)	
	1(Ⅲ)	(0), (3), (6), (9)	AⅢ(0), AⅢ(3) AⅢ(6), AⅢ(9)	
바다모래(B)	0.25(Ⅰ)	(0), (3), (6), (9)	BⅠ(0), BⅠ(3) BⅠ(6), BⅠ(9)	NB
	0.5(Ⅱ)	(0), (3), (6), (9)	BⅡ(0), BⅡ(3) BⅡ(6), BⅡ(9)	
	1(Ⅲ)	(0), (3), (6), (9)	BⅢ(0), BⅢ(3) BⅢ(6), BⅢ(9)	
부순모래(C)	0.25(Ⅰ)	(0), (3), (6), (9)	CⅠ(0), CⅠ(3) CⅠ(6), CⅠ(9)	NC
	0.5(Ⅱ)	(0), (3), (6), (9)	CⅡ(0), CⅡ(3) CⅡ(6), CⅡ(9)	
	1(Ⅲ)	(0), (3), (6), (9)	CⅢ(0), CⅢ(3) CⅢ(6), CⅢ(9)	

3.2 실험방법

3.2.1 콘크리트의 제작 및 양생

믹서기는 강제식 믹서기를 사용하였으며, 재료분리를 방지하고 혼합이 잘되도록 하기 위하여 시멘트, 잔골재, 굵은골재를 믹서기에 투입하여 1차 혼합 건비빔을 30초간 실시하고, 배합수와 표준AE감수제를 투입하여 120초간 2차 혼합비빔을 실시한 후 강도측정용 공시체를 제작하여 소정의 진동을 가하였으며, 공시체를 제작 24시간 후에 켈핑을 실시하였으며 다시 24시간 뒤에 탈형을 한 뒤 $20\pm3^{\circ}\text{C}$ 의 수조에서 양생을 하였다.

3.2.2 압축강도시험

재령 7일, 28일 동안 양생이 끝나면 공시체의 표면수를 제거하고 KS F 2405 「콘크리트의 압축강도 시험방법」에 준하여 압축강도를 측정하였으며 잔골재의 종류, 진동가력시점 및 진동속도의 변화에 따른 콘크리트의 압축강도를 비교하였다.

3.2.3 진동가력장치

액추에이터를 통해 진동을 제어하기 위해서는 먼저 진동계를 이용하여 진동속도를 측정하여 본 논문에서 원하는 진동속도를 얻었다. 진동속도를 얻기 위해서 진동계를 진동판에 고정시키고 진동수를 4~5Hz로 맞춘 뒤 출력을 Low와 High로 바꿔가면서 진폭을 조절하여 얻은 진동속도의 출력, 진동수 및 진폭은 표 3.2와 같다.

표 3.2 진동속도의 출력, 진동수 및 진폭

진동속도(kine)	0.25	0.5	1.0
출 력	LOW	LOW	HIGH
진동수(Hz)	4	4	4
진폭(mm)	± 0.6	± 1	± 0.959

이렇게 해서 얻은 진동속도를 이용하여 실험변수에 맞는 진동속도를 적용하여 진동판 위에 물드를 고정시킨 후 25톤 용량의 액츄에이터를 이용하여 최대 4Hz 이내의 범위에서 sine파로 진동을 가력하였다.

3.3 사용재료

3.3.1 시멘트 및 혼화제

본 연구에서는 국내 S사의 1종 보통포틀랜드시멘트를 사용하였으며 물리·화학적특성은 표 3.3과 같으며, 혼화제는 표준AE감수제를 시멘트의 단위중량에 0.1%를 사용하였다.

표 3.3 물리·화학적 특성

물리적 특성			화학적 특성 (%)					
비중	강열감량 (%)	불용잔분 (%)	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃
3.14	0.5~1.3	0.2~0.9	21.0~22.5	4.5~6.0	2.5~3.5	63.0~66.0	0.9~3.3	1.0~2.0

3.3.2 골재

본 연구에서 사용한 굵은골재는 최대치수 25mm, 비중 2.69, 조립율 6.97인 경남 진해 용원 석산에서 생산되는 부순자갈을 사용한다. 잔골재로 강모래는 경남 합천 황강에서 채취한 비중 2.58, 조립율이 2.66인 것을 사용하고, 바다모래는 전남 진도 앞바다에서 채취한 비중 2.58, 조립율 2.75인 바다모래를 제염하여 사용하며, 부순모래는 경남 진해 용원 석산에서 생산되는 비중이 2.66, 조립율이 3.00인 것을 사용하였으며, 사용 골재의 물리적 특성은 표 3.4와 같다.

표 3.4 골재의 물리적 특성

골재 종류	항목 굵은골재 최재치수 (mm)	비중	흡수율 (%)	조립률	단위중량 (kg/m ³)	조개껍질 함유량 (%)	염화물 함유량 ($\times 10^{-3}\%$)	
							NaCl	Cl ⁻
굵은골재	25	2.69	1.0	6.97	1520	-	-	-
강모래	-	2.58	1.80	2.66	1540	-	-	-
바다모래	-	2.58	1.80	2.75	1537	7.0	2.6	2.0
부순모래	-	2.66	3.00 이하	3.00	-	-	-	-

3.4 배합설계

본 연구의 배합설계조건은 배합강도(f_{cr})를 240kgf/cm², 슬럼프를 12cm, 공기량을 5%를 기준으로 하고, 잔골재율은 47%, 물-시멘트비(W/C)는 45%로 고정하고 잔골재의 종류에 따라서 배합계산한 결과는 표 3.5와 같다.

표 3.5 기준시방배합표

잔골재 종류	f_{cr} (kgf/cm ²)	Slump (cm)	Air content(%)	G_{max} (mm)	s/a (%)	W/C (%)	Unit weight (kg/m ³)				
							W	C	S	G	AE
강모래(A)	240	12	5	25	47	45	185	411	752	903	0.411
바다모래(B)							185	411	769	904	0.411
부순모래(C)							191	424	780	890	0.424

기준시방배합표의 배합사항을 기준으로 실험조건인 잔골재율의 변화에 따라서 배치량(55 l)을 산정하면 표 3.6과 같다.

표 3.6 잔골재율의 변화에 따른 배치량

잔골재 종류	f_{cr} (kgf/cm ²)	Slump (cm)	Air content(%)	G_{max} (mm)	s/a (%)	W/C (%)	Unit weight (kg/m ³)				
							W	C	S	G	AE (g)
강모래(A)	240	12	5	25	47	45	10.18	22.61	41.36	46.67	22.61
바다모래(B)							10.18	22.61	42.30	49.72	22.61
부순모래(C)							10.51	23.32	42.90	48.95	23.32

4. 실험결과 및 분석

압축강도의 증감률은 진동을 가하지 않은 공시체의 압축강도를 기준으로 하였으며 그 적용식은 다음과 같다.

$$\text{압축강도의 증감률(\%)} = \frac{\text{진동을 가한 공시체의 압축강도}}{\text{진동을 가하지 않은 공시체의 압축강도}} \times 100 - 100$$

위의 식을 이용하여 각 재령에 따른 압축강도 증감률을 표 4.1과 표 4.2에 정리하였으며, 이 표를 이용하여 잔골재의 종류, 진동속도 및 진동가력시점의 변화에 따른 콘크리트 압축강도의 변화에 대하여 분석하였다.

표 4.1 재령 7일 압축강도 증감률의 결과

재령 7일 압축강도 증감률		압축강도 증감률(%)		
		잔골재 종류		
진동속도 (kine)	진동가력시점 (hr)	A	B	C
I	0	1	5	9
	3	3	4	8
	6	3	1	8
	9	-8	-11	2
II	0	15	4	3
	3	4	7	2
	6	-3	0	2
	9	-14	-5	-5
III	0	10	7	1
	3	0	7	0
	6	-3	-14	-7
	9	-23	-20	-14

표 4.2 재령 28일 압축강도 증감률의 결과

재령 28일 압축강도 증감률		압축강도 증감률(%)		
		잔골재 종류		
진동속도 (kine)	진동가력시점 (hr)	A	B	C
I	0	20	10	6
	3	18	6	10
	6	5	-3	-1
	9	4	-3	-4
II	0	3	5	2
	3	7	-2	2
	6	1	-4	-1
	9	-6	-16	-4
III	0	1	0	3
	3	1	-7	1
	6	-11	-12	-4
	9	-20	-19	-6

4.1 재령 7일 압축강도의 변화

그림 4.1, 그림 4.2, 그림 4.3, 그림 4.4는 잔골재의 종류, 진동속도 및 진동가력시점의 변화에 따라서 재령 7일의 압축강도 증감률이 어떠한 변화를 보이는가를 나타낸 그림으로서 가로축은 진동속도를 나타내고 있으며, 세로축은 재령 7일의 압축강도의 증감률을 나타내고 있다.

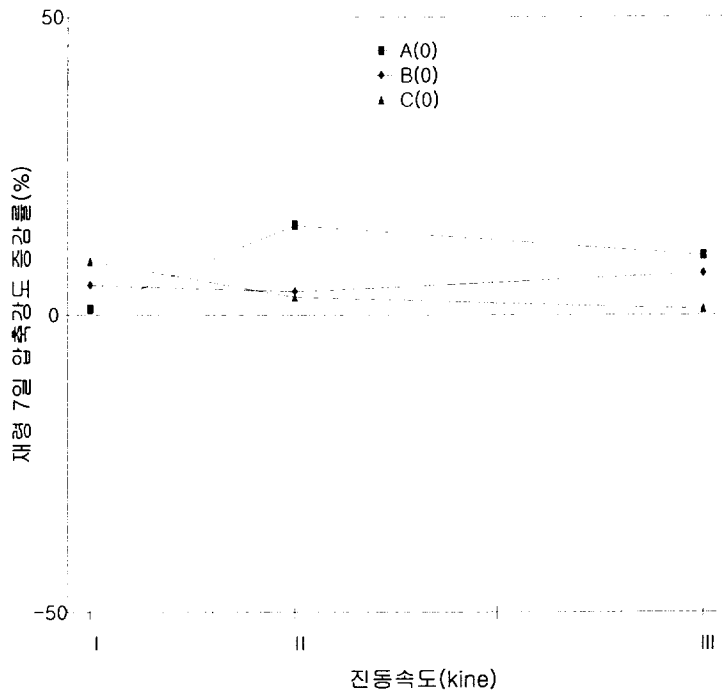


그림 4.1 진동가력시점이 0hr일 때 재령 7일 압축강도 증감률

그림 4.1은 진동가력시점이 0hr일 때의 압축강도의 증감률을 나타낸 것으로서 잔골재의 종류와 진동속도에 관계없이 진동을 가하지 않은 공시체의 압축강도에 비하여 압축강도가 증가하는 것으로 나타났다.

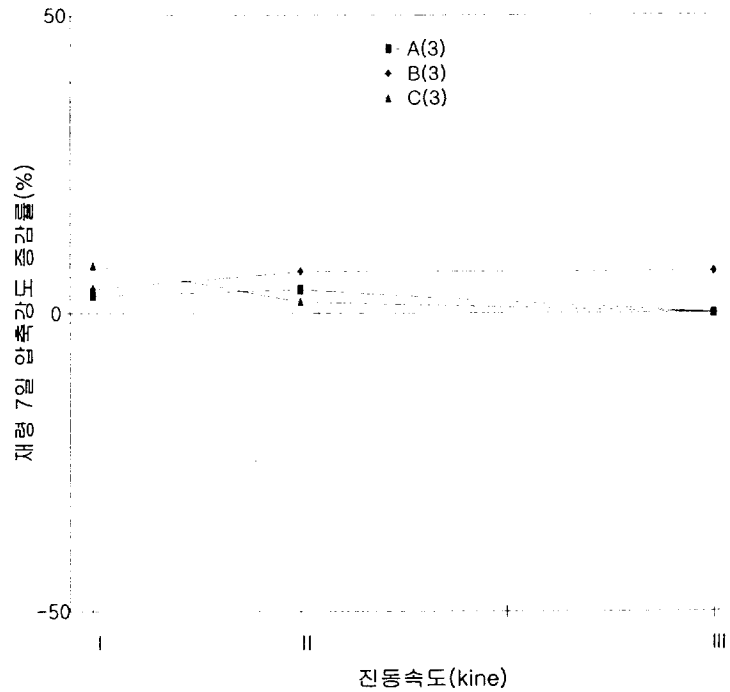


그림 4.2 진동가력시점 3hr일 때 재령 7일 압축강도 증감률

그림 4.2는 진동가력시점이 3hr일 때의 압축강도의 증감률을 보여주고 있는 그림으로서 잔골재의 종류와 진동속도 관계없이 압축강도가 전반적으로 증가하는 것으로 나타났으며, 진동속도가 증가함에 따라서 증감률이 적어지는 경향을 나타내고 있으나, 바다모래를 잔골재로 사용한 경우에는 반대의 경향이 나타나고 있다.

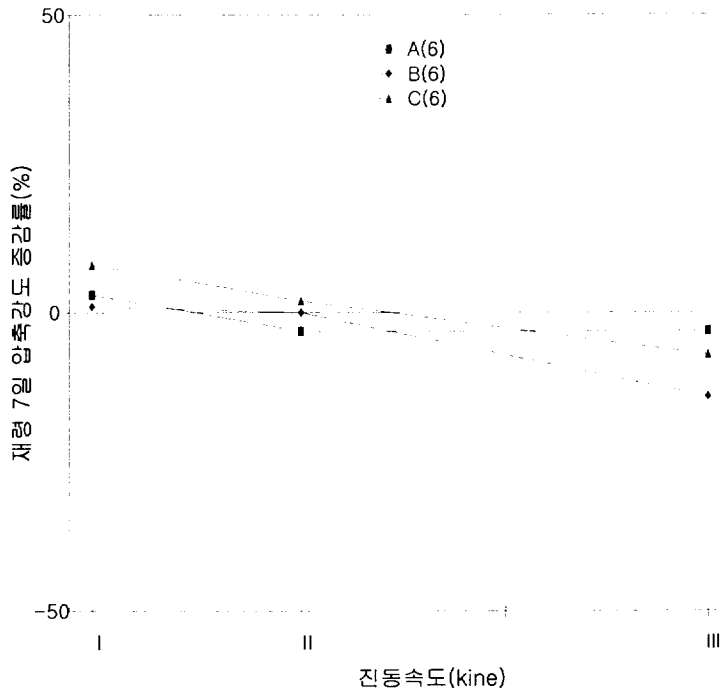


그림 4.3 진동가력시점 6hr일 때 재령 7일 압축강도 증감률

그림 4.3은 진동가력시점이 6hr일 때의 압축강도의 증감률을 나타낸 그림으로서 진동속도가 0.25kine일 때에는 잔골재의 종류에 관계없이 압축강도가 증가하는 경향을 나타내고 있으나, 0.5kine일 경우에는 잔골재로 강모래를 사용할 때만 압축강도가 감소하는 경향을 나타내고 있고, 1kine에서는 사용된 잔골재의 종류에 관계없이 압축강도가 감소하는 경향을 나타내고 있다.

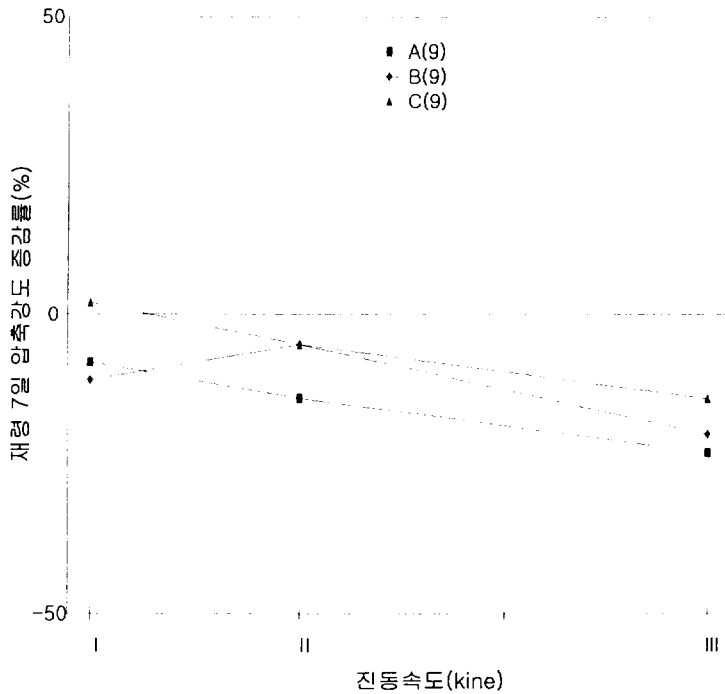


그림 4.4 진동가력시점 9hr일 때 재령 7일 압축강도 증감률

그림 4.4는 진동가력시점이 9hr일 때의 압축강도의 증감률을 나타낸 그림으로서 전반적으로 압축강도가 감소하는 경향을 나타내고, 진동속도 0.25kine에서는 잔골재로 부순모래를 사용한 경우에만 압축강도가 증가하며, 나머지 진동속도에 대해서는 잔골재의 종류에 관계없이 압축강도가 감소하는 경향을 나타내고 있다.

따라서 잔골재의 종류, 진동속도 및 진동가력시점의 변화에 따른 재령 7일의 압축강도 증감률을 보면, 잔골재의 종류에 대해서는 일정한 경향을 나타내지는 않았으나, 진동속도가 증가함에 따라서 일반적으로 증감률이 떨어졌으며, 진동가력시점이 증가함에 따라서 압축강도는 전반적으로 감소하는 경향을 나타내는 것으로 나타났다. 또한, 진동속도가 0.5kine이상이고 진동가력시점이 6hr이상이 되었을 경우에는 전반적으로 압축강도가 감소하는 경향이 나타났다.

4.2 재령 28일 압축강도의 변화

그림 4.5, 그림 4.6, 그림 4.7, 그림 4.8는 잔골재의 종류, 진동속도 및 진동가력시점의 변화에 따른 재령 28일의 압축강도 증감률의 변화를 나타낸 그림이다.

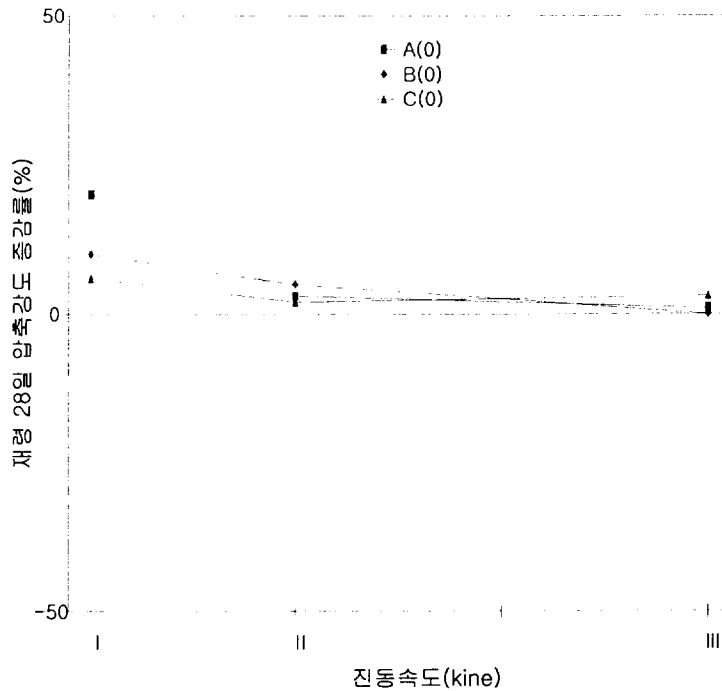


그림 4.5 진동가력시점 0hr일 때 재령 28일 압축강도 증감률

그림 4.5는 진동가력시점이 0hr일 때의 압축강도 증감률을 보여주고 있는 그림으로서 잔골재의 종류와 진동속도의 변화에 관계없이 전반적으로 압축강도가 증가하는 경향을 보여주고 있다.

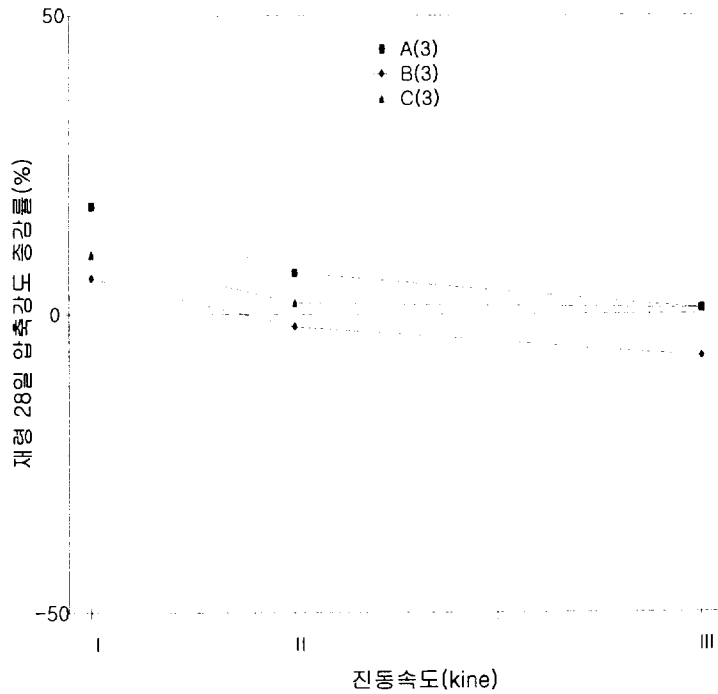


그림 4.6 진동가력시점 3hr일 때 재령 28일 압축강도 증감률

그림 6은 진동가력시점이 3hr일 때의 압축강도 증감률을 보여주고 있는 그림으로서 잔골재로 강모래와 부순모래를 사용한 경우에는 진동 속도에 관계없이 압축강도가 증가하는 경향을 나타내고 있으나, 바다모래를 사용한 경우에는 진동속도가 0.5, 1kine일 경우에는 압축강도가 감소하는 것으로 나타났다.

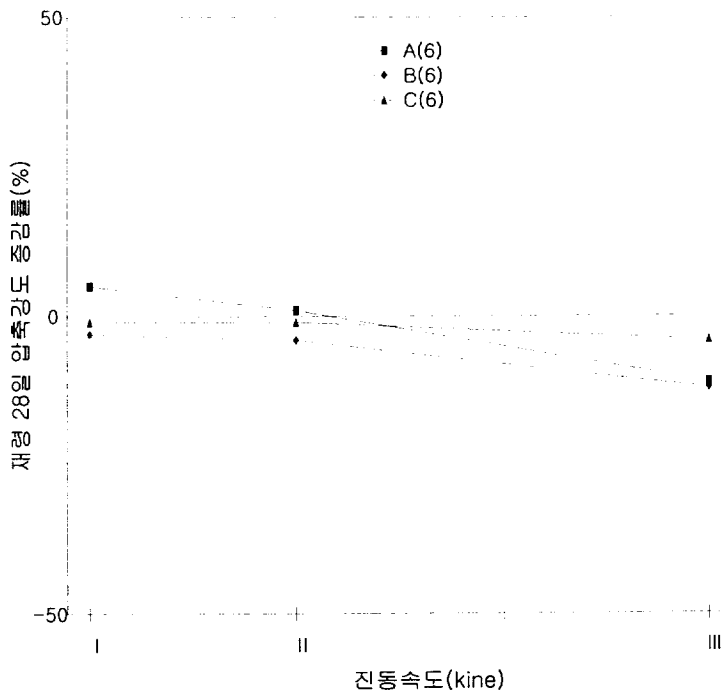


그림 4.7 진동가력시점 6hr일 때 재령 28일 압축강도 증감률

그림 4.7은 진동가력시점이 6hr일 때의 압축강도 증감률을 보여주고 있는 그림으로서 잔골재로 바다모래와 부순모래를 사용한 경우 진동속도에 관계없이 압축강도가 감소하는 것으로 나타났고, 강모래를 사용한 경우에는 진동속도가 1kine일 경우에만 압축강도가 감소하는 경향을 나타내고 있다.

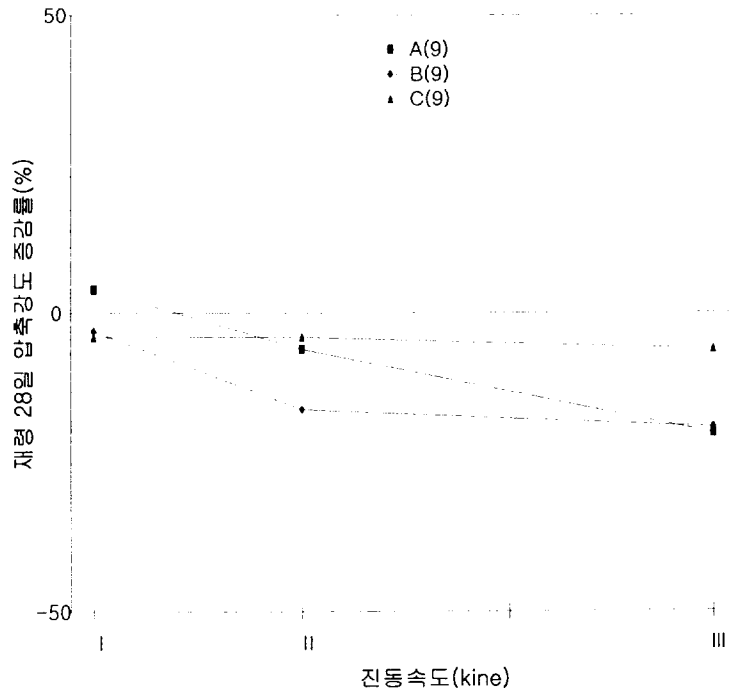


그림 4.8 진동가력시점 9hr일 때 재령 28일 압축강도 증감률

그림 4.8은 진동가력시점이 9hr일 때의 압축강도 증감률을 보여주고 있는 그림으로서 잔골재로는 강모래를 사용한 경우에는 진동속도가 0.25kine일 경우에만 압축강도가 증가하는 것으로 나타났고, 바다모래, 부순모래를 사용한 경우에는 진동속도에 관계없이 압축강도가 감소하는 것으로 나타났다.

따라서 잔골재의 종류, 진동속도 및 진동가력시점의 변화에 따른 재령 28일의 압축강도 증감률의 변화를 살펴보면, 재령 7일에 비하여 부분적이 차이는 있으나 전체적으로는 대부분 비슷한 경향을 나타내었다. 잔골재의 종류에 따른 경향은 일정하지 않았고, 진동가력시점이 6hr이상에서는 진동속도에 관계없이 전반적으로 압축강도가 감소하는 것으로 나타났다.

5. 결 론

잔골재의 종류, 진동속도 및 진동가력시점을 변화시킨 콘크리트의 재령 7일, 28일의 압축강도에 수평진동이 미치는 영향에 대한 실험을 통하여 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- (1) 잔골재의 종류, 진동속도 및 진동가력시점의 변화에 따른 재령 7일의 압축강도 증감률을 보면, 잔골재의 종류에 따른 변화는 일정한 경향을 나타내고 있지는 않았고, 진동속도는 그 크기가 증가함에 따라서 전반적으로 압축강도가 감소하는 것으로 나타났으며, 또한 진동가력시점이 6hr이상이고 진동속도가 대체로 큰 0.5, 1kine일 경우에는 전반적으로 압축강도가 감소하는 것으로 나타났다.
- (2) 진동을 가한 콘크리트의 재령 28일 압축강도 증감률은 재령7일에 비하여 부분적인 차이는 있으나 전체적인 경향은 비슷하였다. 진동가력시점이 6hr이상에서는 진동속도에 관계없이 전반적으로 압축강도가 감소하는 것으로 나타났으며, 잔골재의 종류에 따른 경향은 일정하지 않았다.
- (3) 재령 7일과 재령 28일의 압축강도의 변화를 살펴본 결과, 진동속도와 진동가력시점에 대해서는 어느 정도 경향을 보이고 있으나, 잔골재의 종류에 따른 경향은 알아볼 수가 없었다. 따라서, 잔골재의 종류에 따른 변화를 살펴보기 위하여 실험변수를 다양하게 하여 연구해 볼 필요가 있을 것으로 사료된다.

참 고 문 헌

1. 한국콘크리트학회 (1999) 건설교통부 제정 콘크리트 표준시방서.
2. 한국도로교통협회 (1999) 건설교통부 제정 도로교표준시방서.
3. Bastian, C. E. (1970) The Effects of Vibrations on Freshly Poured Concrete, Foundation Facts, Vol. 6, No. 1, pp. 14-17.
4. Howes, E. V. (1979) Effects of Blasting Vibrations on Curing Concrete, Proceedings, 20th U.S. symposium on Rock Mechanics, Austin, Texas, pp. 455-460.
5. Akins, Kenneth P. Jr and Dixon, Donald E. (1979) Concrete Structures and Construction Vibrations, ACI SP-60, pp. 213-247.
6. Hulshizer, A. J. (1996) Acceptable Shock and Vibration Limits for Freshly Placed and Maturing Concrete, ACI Materials Journal, Vol. 93, No. 6, pp. 524-533.
7. 대한주택공사 (1990) 진동이 주변구조물 및 콘크리트 경화에 미치는 영향.
8. 권영웅 (1988) 진동이 콘크리트의 초기강도에 미치는 영향에 대하여, 대한주택공사, 주택 제 49호, pp. 95~100.
9. 정하선, 권영웅, 오용복 (1991) 콘크리트 강도의 진동에 관한 연구, 한국콘크리트학회 봄 학술발표회 논문집, pp. 37~40.
10. 윤상천, 지남용, 이리형 (1996) 진동다짐이 굳지 않은 콘크리트의 거동에 미치는 영향평가를 위한 실험연구, 대한건축학회 논문집, 12권 3호, pp. 203~211.

11. 윤영수, 장영일, 이승훈 (1996) 말뚝항타에 의한 진동발생이 콘크리트에 미치는 영향에 관한 실험적 연구, *대한토목학회 논문집*, 제 6권, 제1~5호, pp. 515~526.
12. Tjaronge, M. W., KAWABE, S., OKAJIMA, T., MUTO, M. MATSUOKA, S. (1999) Compaction of Fresh Concrete with Long Amplitude and Low Frequency of Vibration in Manufacturing Precast Concrete, *Proceedings of the Advanced Materials Development and Performance*, Vol. 2, pp. 501~506.
13. 오병환, 송혜금, 조재열 (1998) 진동이 양생초기 콘크리트에 미치는 영향에 관한 연구, *콘크리트학회지* 제10권 5호, pp. 81~87.
14. Sawyer, D. H. and Lee, S. F. (1956) The Effects of Revibration on Properties of Portland Cement Concrete, *ASTM Proceedings*, Vol.56, pp. 1215~1228.
15. Vollick, C. A. (1958) Effects of Revibration Concrete, *ACI Journal*, Vol. 29, No. 9, pp. 729~732.
16. Cannon, Robert W. (1974) Compaction of Mass Concrete with Vibratory Roller, *ACI Journal*, Vol. 71, No. 10, pp. 506~513.
17. ACI Committee 309 (1981) Behavior of Fresh Concrete During Vibration, *ACI Journal*, Jan-Feb, pp. 36~53.
18. John F. W. (1981) Construction Vibrations: State-Of-The-Art, *Journal of the Geotechnical Engineering Division*, Vol. 107, No. GT2, pp. 167~181.

감사의 글

학사과정에서 본인의 게으름으로 부족하였던 배움을 석사과정에서 충족시키려는 욕심으로 대학원 생활을 시작하였으나 오늘 이 한편의 논문이 완성되고 보니 만족보다는 후회가 앞섭니다.

이 논문에서 아직도 연구할 과제가 많은 『진동이 콘크리트에 미치는 영향』에 대하여 미력하나마 하나의 성과물이 도출되었다는 점에서 무척이나 기쁘게 생각합니다.

이 논문이 나올 수 있도록 항상 바쁘신 일정에도 불구하고 전 과정을 친절하고 세심한 학문적 지도와 격려로서 지도하여 주신 김명식 지도교수님께 먼저 무한한 감사를 드립니다. 또한 미흡한 저의 논문을 심사하며 바로 잡아주신 김종수 교수님, 이상호 교수님께도 깊은 감사를 드리며, 아울러 김상용 교수님, 손인식 교수님, 이동욱 교수님, 이종출 교수님, 이영대 교수님, 정진호 교수님, 이환우 교수님, 정두희 교수님, 국승규 교수님, 장희석 교수님께도 감사드립니다.

아울러 논문이 완성되기까지 실험실에서 수고해준 정병훈, 박세인, 정해동 학형, 건설재료실험실 동아리 여러분들에게 고마움을 전하며,

특히 본 연구를 무사히 마칠 수 있도록 직장생활을 배려하여 주신 서정환 부구청장님, 정지용 도시국장님, 김영기 건설과장님 이찬기 계장님 그리고 직원 여러분께도 감사드립니다.

여러분의 덕분에 오늘보다 나은 내일을 준비하기 위한 조그마한 또 하나의 결실을 볼수있게 된 것을 무한한 영광으로 생각하고 있습니다.

끝으로 배움의 길을 계속할 수 있도록 물심양면 지원을 아끼지 않으신 부모님, 장인, 장모님과 학업과 논문준비 관계로 매일밤 늦은 귀가속에서도 묵묵히 내조를 아끼지 않은 아내 강지연과 사랑스런 나의 아들 정환, 정현이에게도 이 영광을 함께 나누고 싶습니다.