

진동이 경량기포토의 특성에 미치는 영향

Effect of Vibration on Characteristics of Lightweight Air-Trapped Soil

이 영 준¹⁾ · 김 성 원²⁾ · 박 이 근³⁾ · 김 태 형[†]

Lee, Young-Jun · Kim, Sung Won · Park, Lee Keun · Kim, Tae-Hyung

ABSTRACT : This study is conducted to find out the effect of vibration on cure and compressive strength of lightweight Air Trapped Soil(ATS). If ATS is used next to a structure existed, the effect of vibration problems may be occurred, because there exist many sources of vibration such as pile driving, blasting and use of construction machinery. For example, if a road is expanded to reduce traffic congestion, it is expected that ATS's quality may be decreased due to vibration generated by cars moving on the road. Especially, because ATS has many air bubbles and needs a time for curing, the effect of vibration is more serious than we expected. So far, the effect of vibration on concrete has been conducted, but the study of ATS has not been conducted in detail. Therefore, for evaluating the effect of vibration on ATS during cure proceeds, unconfined compression tests are conducted on the samples prepared with different variables including vibration velocity, time when vibrated and mixing ratio. The results clearly show the effect of vibration on the characteristics of ATS.

Keywords : Lightweight air trapped soil(ATS), Unconfined compressive strength, Vibration velocity, Time when vibrated, Mixing ratio, Cure

요 지 : 본 논문에서는 진동이 경량기포토의 양생과 압축강도에 미치는 영향을 파악하기 위해 이루어졌다. 경량기포토가 기존 구조물에 인접해서 시공 시 진동의 영향을 받는 경우가 종종 발생되고 있다. 예를 들어, 파일 항타, 발파 및 장비의 공용 등이 있으며, 교통난 해소를 위한 도로 확폭 공사를 하고 있는 경우 기존 도로상의 차량진행으로 인한 진동도 경량기포토의 품질저하에 영향을 미칠 것으로 예상된다. 특히 경량기포토는 수많은 기포가 포함되어있고 양생에 따른 시간이 필요하기 때문에, 그 영향은 예상되는 것보다 훨씬 더 클 것이라고 판단된다. 하지만 현재 국내에서 진동이 미치는 영향에 관한 연구는 주로 일반콘크리트에 대해 많이 이루어지고 있고, 경량기포토에 대한 진동영향연구는 미흡한 실정이다. 따라서 본 논문에서는 진동이 양생중인 경량기포토에 미치는 영향을 평가하기 위하여 실험변수를 진동속도(vibration velocity), 진동가력시점(time when vibrated), 배합비(mixing ratio) 등으로 나누어 경량기포토의 일축압축강도 등을 시험하였다. 시험의 결과는 경량기포토의 특성에 대한 진동의 영향을 명확히 밝힐 수 있었다.

주요어 : 경량기포토, 일축압축강도, 진동속도, 진동가력시점, 배합비, 양생

1. 서 론

최근 국내의 대규모 건설현장에서는 각종 건설기계, 발파 및 차량으로 인한 진동문제가 급증하고 있다. 보통의 경우 콘크리트의 타설과 양생이 동시에 이루어지고 있어 이때 주위 진동의 영향에 대하여 많은 문제가 제기되고 있다. 이러한 진동은 기존 구조물의 안전성에 영향을 미칠 뿐만 아니라 시공 중에 있는 건물, 특히 양생 중에 있는 콘크리트의 강도 및 품질에 큰 영향을 미칠 것이다. 그러나 현장성에 의존하는 콘크리트 구조물의 시공에 있어서 초기 양생 시 진동 등으로부터 절대적인 안정성을 유지한다는 것은 거의 불가능하다. 이러한 문제 때문에 현재까지 콘크리트의 양생 중 발파진동이나 항타진동 및 차량진동으로부터 양생 중인

콘크리트를 보호하기 위한 많은 연구가 진행되어져 왔고 콘크리트의 품질관리에 적용되어지고 있다(이지은 등, 2000).

진동은 보통 발생원에 따라 건설공사 현장이나 광산에서의 발파, 폭발사고 등에 의해 생기는 순간적인 충격과 향타나 굴착, 공작기계, 발동기 등의 작업에 의해 생기는 지속적인 충격, 그리고 차량, 기계 등 교통기관에 의해 생기는 진동 등이 있다. 위와 같은 진동 중 건설공사, 항타, 폭발 등에 의해 생기는 순간적이고 지속적인 충격의 경우는 진동이 큰 만큼 그 영향도 크므로 대부분의 나라에서는 진동에 대한 규제수단으로 허용진동 기준을 제시하고 있다. 교통기관에 의해 생기는 진동의 경우는 보통 시설자가 여러 가지 방법을 동원하여 진동을 감소시키고 있는 실정이다. 최근에는 사회기반시설의 확충과 도시개발 등을 위하여 대규모 건설

1) 비회원, 한국해양대학교 대학원 토목환경공학과 석사

2) 비회원, 무성토건(주) 차장

3) 비회원, (주)지오알앤디, 대표이사

† 정회원, 한국해양대학교 공과대학 토목공학과 부교수(E-mail : kth67399@hhu.ac.kr)

공사가 증가하고 있어, 건설현장에서는 각종 향타와 발파작업들이 빈번히 일어나고 이로 인해 발생하는 지반진동이 사람 뿐만아니라 구조물에도 심각한 영향을 미치고 있다(김홍기, 2004).

이와 관련하여 국내에서도 경량성토재로 쓰이는 경량기포토의 강도 및 품질에 대한 연구가 요구되고 있다. 경량기포토는 물과 시멘트와 같은 고화재 및 모래를 혼합하여 유동화시킨 것에 기포를 주입하여 제작한 것이다. 일반 토사에 비해 가벼워 지반 등에 미치는 하중을 경감할 수 있고 유동성이 높으므로 펌프압송에 의한 타설이 가능하며 시공이 용이한 장점이 있다. 이러한 경량기포토는 현재 국내에서 도로의 신설이나 확폭공사 및 구조물 뒷채움부 등의 활용을 위한 연구와 시공사례가 증가하고 있는 추세이다(일본도로공단, 1996; 土田孝 등, 1996). 하지만 이러한 경량기포토는 내부에 많은 기포를 포함하고 있는 특성상 양생 전 외부 진동에 대해 취약한 단점이 있다.

경량기포토가 기존 구조물에 인접해서 시공 시 주변환경, 특히 진동의 영향을 받는 경우가 종종 발생되고 있다. 예를 들어 파일향타, 발파 및 장비의 공용 등이 있으며, 교통난 해소를 위한 도로확폭공사를 하고 있는 경우 기존 도로상의 차량진행으로 인한 진동도 경량기포토의 품질저하에 영향을 미칠 것으로 예상된다. 현재 국내에서 진동이 일반콘크리트에 미치는 영향에 관한 연구는 많이 이루어지고 있지만 경량기포토에 대한 진동 영향연구는 미흡한 실정이다. 구체적으로 일반콘크리트나 보통지반의 경우 진동에 대한 검증 방법이나 허용기준이 정해져 있어 진동을 규제하고 피해를 최소화시킬 수 있지만 현재 경량기포토의 진동에 대한 구체적인 기준이 없어 실무적용에 어려움을 겪고 있다.

따라서 본 논문에서는 진동이 경량기포토의 양생과 압축강도에 미치는 영향을 파악하기 위한 연구가 이루어졌다. 이를 위해 실험변수를 진동속도(vibration velocity), 진동가력시점(time when vibrated), 배합비(mixing ratio) 등으로 나누어 공시체를 양생 후 일축압축강도 등을 측정하고 분석하여 진동의 영향을 확인하였다. 또한 결과를 분석하여 경량기포토의 품질저하를 막기 위한 기초 자료를 제공하고자 한다.

2. 본 론

본 연구에서는 실제 도로의 차량에 의한 진동이 경량기포토의 양생에 미치는 영향을 고찰하기 위하여 양생초기 콘크리트의 기준에서 정해진 허용진동기준을 고려한 0.25cm/s ~ 4.20cm/s의 진동속도범위에서 시험을 실시하였다. 그 외에도 진동가력시점과 배합비를 달리하여 시험을 진행하였다.

2.1 실험변수

2.1.1 진동속도

현장에서 발생하는 진동을 재현하기 위해 일반적으로 사용되고 있는 진동규정 중에서 양생초기 콘크리트의 기준인 0.25cm/s를 최소진동속도로 설정하고, 0.50cm/s, 2.50cm/s 그리고 최대 4.20cm/s까지 변화시키며 진동속도(vibration velocity)에 따른 변화를 측정하였다. 진동속도의 범위는 기존의 연구결과를 참고하였으며(송혜금, 1998), 2.0cm/s 이상의 진동속도는 현장에서 실제로 발생하기 힘들지만 본 연구에서는 경량기포토에 대한 진동의 영향 연구가 목적이므로 포괄적인 진동속도 범위를 설정하였다.

2.1.2 진동가력시점

본 시험에서는 진동가력시점(time when vibrated)을 달리 하여 경량기포토의 고화에 따른 영향을 분석하였다. 각각의 진동가력시점은 공시체 제작 직후부터 고화가 상당부분 이루어지는 12시간까지 설정하였다. 구체적으로 0시간(제작 직후), 1시간, 2시간, 4시간, 6시간, 12시간 후에 각각의 공시체에 30분씩 진동을 가하였다.

2.1.3 배합비

진동이 경량기포토의 양생에 미치는 영향 및 그에 대한 역학적 특성 및 강도발현을 파악하기 위하여 설정된 배합비는 표 1과 같다. 단위중량 6, 8, 10kN/m³에 대해 각각 시멘트-모래의 비율을 1-0, 1-1, 1-2 등 세 가지 배합비(mixing ratio)로 공시체를 제작하였다. 각 단위중량에 대한 이와 같은 배합은 이전 연구를 통해 도출된 것으로 도로성토재로서 목표

표 1. 배합비

단위중량 (kN/m ³)	C-S 배합비	슬러리				시멘트 슬러리 중량(kg): ①	기포군			기포슬러리 밀도: ①+② (kN/m ³)
		시멘트 (kg)	잔골재 (kg)	수량 (kg)	물/시멘트		기포계 (kg)	희석수량 (kg)	기포군중량 (kg): ②	
6	1-0	380	0	190	0.50	570	0.55	27.02	27.57	6
8	1-1	294	294	194	0.66	782	0.46	22.45	22.91	8
10	1-2	253	506	227.7	0.90	986.7	0.36	17.68	18.04	10

압축강도를 만족시키는 배합이다(황중호, 2009). 이후부터는 시멘트-모래비 1-0, 1-1, 1-2 배합의 공시체를 각각 6kN/m³ 공시체, 8kN/m³ 공시체, 10kN/m³ 공시체라고 칭한다.

2.2 재료

2.2.1 원료토(모래)

본 연구에서는 품질이 비교적 균일한 경량기포토의 제작을 위해 균질하게 생산되는 모래를 사용하였다. 입도분포곡선은 그림 1과 같으며 유효입경(D10)은 약 0.15mm이다. 또한 모래의 물리적 특성은 표 2와 같다.

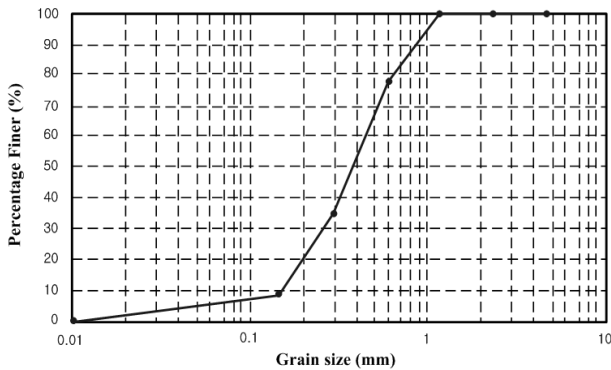


그림 1. 입도분포곡선

표 2. 모래의 물리적 특성

입경(mm)	흡수율(%)	단위중량(kN/m ³)	비 중
0.6이하	1.18	16.86	2.65

표 3. 포틀랜드 시멘트의 물리적 특성

비중	분말도	응결		안정도 (%)	압축강도(MPa)		
		초결(분)	종결(분)		3일	7일	28일
3.15	3,354	205	275	0.09	28.8	39.1	52.2

표 4. 동물성기포제의 화학적 성분

(단위 : %)

H ₂ O	Protein	NaCl	NH ₄ Cl	CaCl ₂	MgCl ₂	FeSO ₄
36	32	10	1	6	5	10

표 5. 동물성기포제의 물리적 특성

비중	점도(cP)	고형분(%)	pH	기포균 단위중량(kN/m ³)
1.18	37.3	39.1	6.29	0.541

표 6. 동물성기포제의 중금속 검출시험결과

(단위 : mg/kg)

항목	검출한계	결과	시험방법	분석장비
납(Pb)	5	불검출	EPA 3050B	ICP-AES
카드뮴(Cd)	1	불검출	EPA 3050B	
수은(Hg)	1	불검출	EPA 3050B	
6가 크롬(Cr6+)	1	불검출	USEPA 3060A	UV-VIS

2.2.2 시멘트

본 연구에서는 KS L 5201의 규정에 적합한 H사 제품인 보통 포틀랜드 시멘트를 사용하였으며 물리적 성질은 표 3과 같다.

2.2.3 기포제

동물성기포제는 단백질계 기포제로서 단백질의 원료로는 동물의 혈액, 유제성분인카세인, 동물의 뼈, 뿔의 분말인 젤라틴 등이 있다. 이들은 여러 종류의 아미노산으로 구성되어 있고 이것을 알칼리로 가수분해하여 중화한 후 여과한 것을 철염이나 방부제를 첨가하여 제작되었다. 동물성기포제의 일반적인 화학적 성분은 표 4와 같다(이수형, 2004).

본 시험에 사용된 H사의 동물성 단백질계 기포제는 동물의 잔재물인 뿔, 발톱, 털 등을 가수분해한 후 단백질을 추출하여 제조한 제품이다. 물리적 특성은 표 5와 같다.

또한, 동물성기포제의 환경오염 가능성을 알아보기 위해 본 시험에 사용된 기포제에 대한 중금속 검출시험을 실시하였다. 시험결과 표 6과 같이 중금속은 불검출되어 만족한 결과를 얻었다.

2.2.4 기포발생장치

물로 희석한 기포제를 압축공기와 함께 발포장치에 넣어 넣고 소정의 발포비율이 되도록 공기압을 조절하여 제조한다. 본 연구에서는 실내 실험용 공시체의 제작을 위해 소규모의 기포발생장치를 제작하여 사용하였다. 기포발생장치

를 통해 발생된 기포를 시멘트 슬러리에 혼합하는 선기포방식을 적용하였다.

공시체는 시멘트와 모래, 물을 핸드믹서를 사용하여 혼

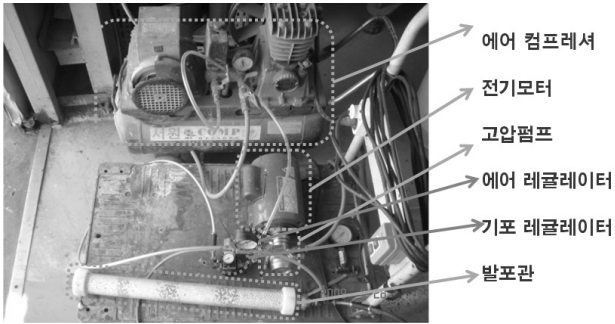


그림 2. 기포발생장치

합한 시멘트슬러리에 기포발생장치를 통해 발포된 기포와 혼합하여 제작하게 된다. 시멘트슬러리와 기포가 혼합된 기포슬러리는 미리 제작되어진 PVC mold(직경 5cm, 높이 10cm)에 성형하게 된다. 발생된 기포는 경량기포토의 강도에 매우 큰 영향을 주므로 기포제에 따라 적절한 압력으로 발포한 후 단위중량을 확인하여야 한다. 본 시험에 사용된 동물성 기포제는 400~450kPa의 압력으로 발포하였고 기포군의 단위중량은 $0.5 \pm 0.05 \text{ kN/m}^3$ 으로 공시체를 제작하였다.

2.3 진동측정장치 및 진동장치

2.3.1 진동측정장치

본 실험을 진행하기에 앞서 발파소음진동측정기인 BLASTIMATE



(a) 시멘트 슬러리 혼합



(b) 기포 발포



(c) 기포 + 시멘트 슬러리 혼합



(d) 혼합 완료

그림 3. 경량기포토 제작 과정



그림 4. 진동측정장치

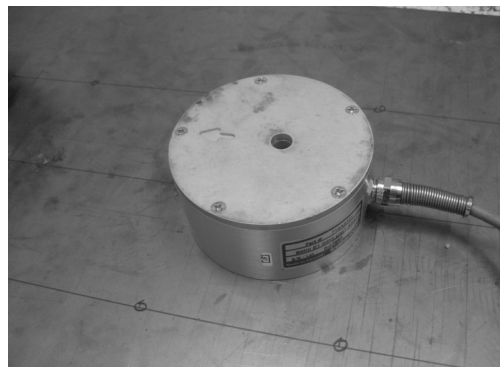


그림 5. 진동센서

III를 이용하여 해당하는 진동속도를 찾았다. 주파수는 10~30Hz의 저주파수의 범위를 사용하였다. 발파소음진동측정기의 본 기계와 센서장치는 그림 4, 5와 같다.

2.3.2 진동장치

본 연구에서는 도로 현장의 차량진동을 재현하기 위하여 크기 60cm × 120cm의 철판에 그림 6과 같은 모터를 고정시켜 진동을 가하였다. 모터는 분당 회전수를 변화시켜 0~10까지 속도를 조절할 수 있다. 모터의 회전수뿐만 아니라 모터에서 이격된 거리를 통해 해당되는 진동속도를 측정하였다. 이렇게 모터의 회전수와 모터로부터의 이격거리 등 두 가지 변수를 가지고 0.25, 0.50, 2.50, 4.20cm/s의 진동속도를 찾았다.

2.4 일축압축시험

배합조건, 진동속도 및 진동가력시점에 따른 경량기포토

의 강도특성을 파악하기 위해 일축압축시험을 실시하였다. 일축압축시험은 측압이 없는 상태에서 상하로 축하중을 주어 시료를 파괴시키는 방법이다. 시험 방법은 KS F 2314에 따라 일축압축시험기를 이용하여 실시하였다. 공시체는 내경 5cm, 길이 10cm이다(이영준 등, 2010). 흙 시료에 적용되는 시험방법을 선택한 이유는 본 연구의 경량기포토는 고화를 위해 시멘트를 사용하였지만 일반적인 콘크리트에 비해 강도가 작고 기포가 혼입되어 단위중량을 대폭 줄인 재료로 콘크리트 보다는 토사에 가깝고, 교대 뒤채움, 연약지반위 성토 등 토사재료 적용되기 때문이다.

2.5 진동시험방법

단위중량 6kN/m³, 8kN/m³, 10kN/m³으로 제작된 공시체는 각각의 진동가력시점에 대하여 해당 진동속도로 30분씩 진동을 하였으며 이러한 진동은 진동모터와 연결된 진동테

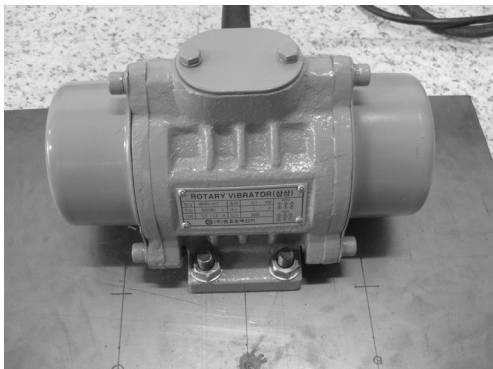


그림 6. 진동장치



그림 7. 레귤레이터

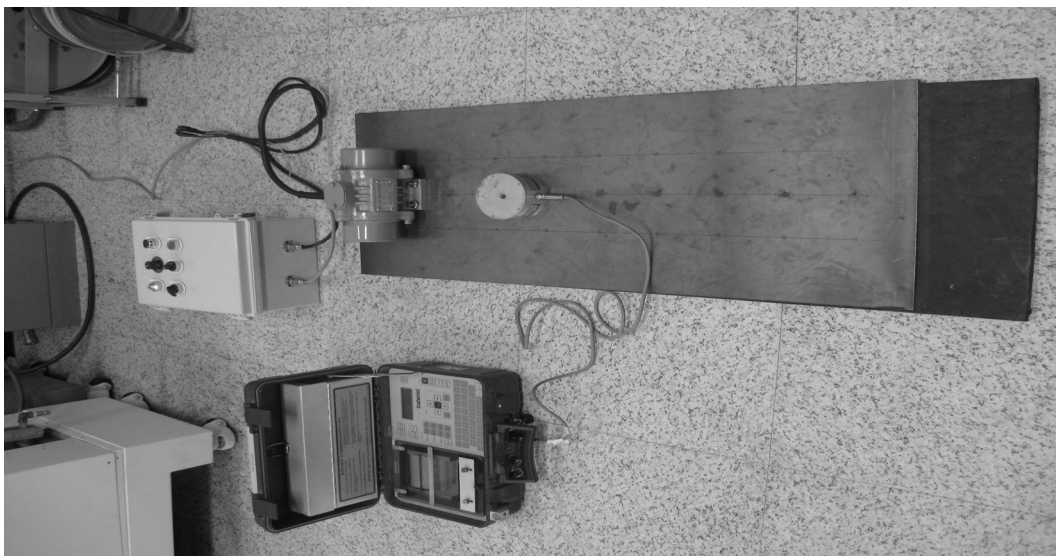


그림 8. 진동장치 및 진동측정장치 전체 세팅사진

표 7. 실험변수

단위중량(kN/m ³)	진동속도(cm/s)	진동가력시점(hour)	비고	
6, 8, 10	0.25	-, 0, 1, 2, 4, 6, 12	0=T0	4=T4
	0.50		1=T1	6=T6
	2.50		2=T2	12=T12
	4.20			

*진동을 가하지 않은 기준 공시체로써, 진동을 가하는 시험 공시체의 비교군이 됨.

이들 위에 올려놓은 상태에서 진행되었다. 표 7은 각 실험 변수를 정리한 것이다.

3. 시험결과 및 분석

제작된 경량기포토 공시체는 양생 14일과 28일 강도를 측정하였다. 일축압축강도는 진동을 가하지 않은 기준 공시체에 대한 시험 공시체의 강도감소율 또는 강도증가율의 백분율로 나타내었다.

$$\text{강도감소(증가)율(\%)} = \frac{q_u(T) - q_u(S)}{q_u(S)} \times 100,$$

$q_u(T)$: 시험공시체의 일축압축강도

$q_u(S)$: 기준공시체의 일축압축강도

시험결과는 그림 10, 11, 12에서와 같이 단위중량에 따른 진동가력시점-강도감소(증가)율의 관계와 진동속도-강도감소(증가)율의 관계 그래프를 통하여 나타내었다. 결과는 공시체의 외형변화 및 단위중량(배합비), 진동속도, 진동가력

시점 등을 나누어 분석을 실시하였다.

3.1 진동에 따른 공시체의 외형변화

그림 9는 진동속도 및 진동가력시점에 따른 공시체의 외형변화사진이다. 그림 9(a)는 진동을 가하지 않은 공시체로써 외부표면이 상당히 매끈하고 균질한 것을 알 수 있다. 공시체에 중간크기의 진동, 혹은 약간 굵은 슬러리상태에서 진동을 가하였을 때는 그림 9(b)처럼 외부표면에 흰색의 물결무늬자국이 발생한 것을 알 수 있다. 또한 큰 크기의 진동 혹은 거의 굵지 않은 슬러리상태에서 진동을 가하였을 때는 그림 9(c)와 같이 커다란 균열이나 크랙, 소포의 흔적이 보이며 하부층과 중상부층에 재료분리현상이 나타나는 것을 알 수 있다. 이것은 진동이 가해졌을 때 중상층의 기포는 소포되어 외부로 방출되지만 하부층의 기포는 mold 안에서 외부로 빠져나가지 못했기 때문으로 판단된다.

3.2 단위중량(배합비)

본 연구에서는 실험변수 중 하나로 3가지 배합비(시멘트-모래 = 1-0, 1-1, 1-2)를 설정하여 6kN/m³, 8kN/m³, 10kN/m³



(a) 진동을 가하지 않은 공시체



(b) 중간크기의 진동 (약간 굵은 슬러리상태)



(c) 큰크기의 진동 (거의 굵지 않은 슬러리상태)

그림 9. 진동속도 및 진동가력시점에 따른 공시체의 외형변화

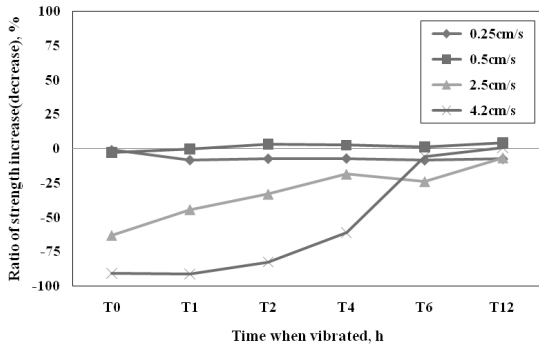
단위중량을 갖는 공시체를 제작하여 진동시험을 실시하였다.

모래를 포함하지 않는 6kN/m³ 배합의 공시체에서 약한 진동에서는 거의 강도의 변화가 없는 것을 알 수 있다. 반면 모래를 포함하는 8kN/m³ 배합의 공시체에서 0.50cm/s 이하의 약한 진동에서는 압축강도가 소폭 상승하는 것을 알 수 있다. 이것은 경량기포토의 골격역할을 하는 모래 때문으로 판단된다. 하지만 이러한 효과로 인한 강도의 상승은 0.50cm/s 이하의 약한 진동속도 범위에 제한되고, 그 이상의 진동에서는 골격의 재배열 및 소포 등의 현상으로 강도가 오히려 저하된다. 또한 특이한 점으로 그림 10(e)에서 T0~T2의 경우 강도의 저하가 그림 10(a)나 (c)의 경우보다 큰 것을 알 수 있는데 이것은 진동시험에서 기포의 영향보다는 골격역할을 하는 모래의 영향이 더 크기 때문이라고 사료된다. 전

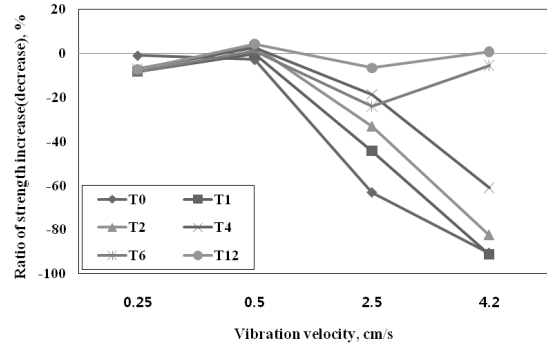
체 실험결과를 분석해 볼 때, 진동 시 경량기포토의 특성에 가장 두드러지는 영향을 미치는 배합인자는 모래인 것으로 판단된다.

3.3 진동속도

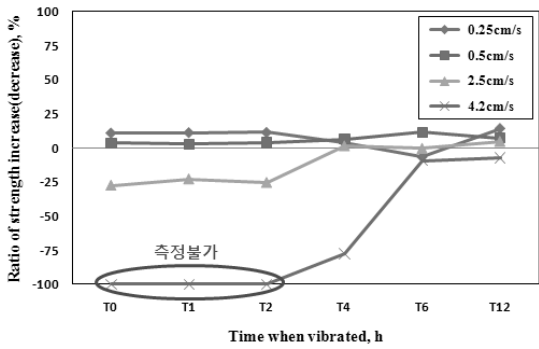
본 연구에서는 현장에서 발생하는 진동을 재현하기 위하여 모터가 장착된 진동장치를 제작하였고, 모터의 분당회전수와 모터와의 이격거리로부터 0.25cm/s~4.20cm/s의 진동속도를 찾을 수 있었다. 그림 8에서 진동속도 0.25cm/s와 0.50cm/s의 경우에는 진동의 영향을 거의 받지 않는 것으로 나타난 반면 2.50cm/s 이상의 진동속도에서는 압축강도의 감소율이 현저하게 증가하는 것을 알 수 있다. 기본적으로 세 가지 배합비에 대한 진동속도의 변화경향은 비슷하다.



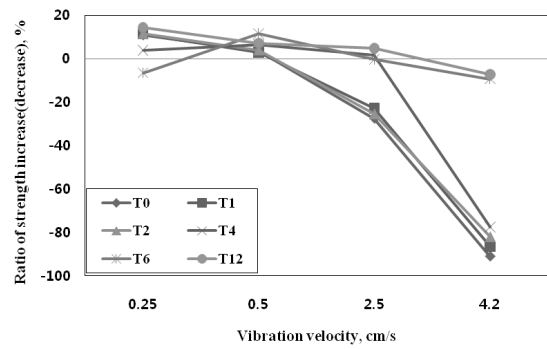
(a) 진동가력시점과 강도감소(증가)율과의 관계(단위중량 6kN/m³)



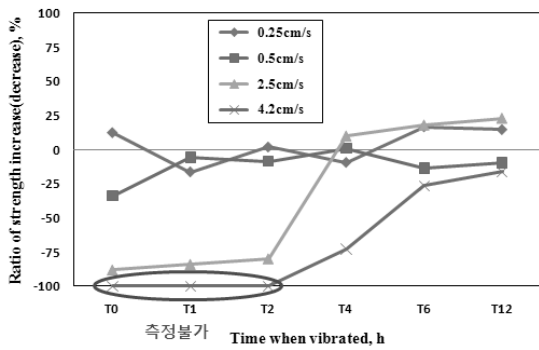
(b) 진동속도와 강도감소(증가)율과의 관계(단위중량 6kN/m³)



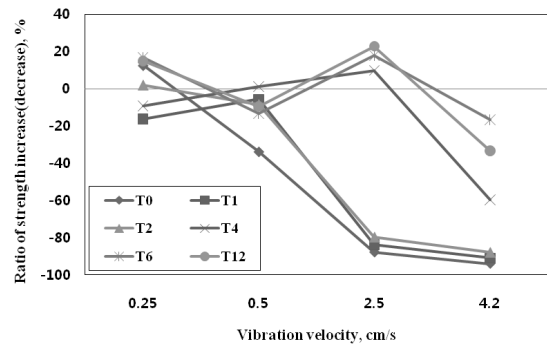
(c) 진동가력시점과 강도감소(증가)율과의 관계(단위중량 8kN/m³)



(d) 진동속도와 강도감소(증가)율과의 관계(단위중량 8kN/m³)



(e) 진동가력시점과 강도감소(증가)율과의 관계(단위중량 10kN/m³)



(f) 진동속도와 강도감소(증가)율과의 관계(단위중량 10kN/m³)

그림 10. 실험변수와 강도감소(증가)율과의 관계(양생 14일 공시체)

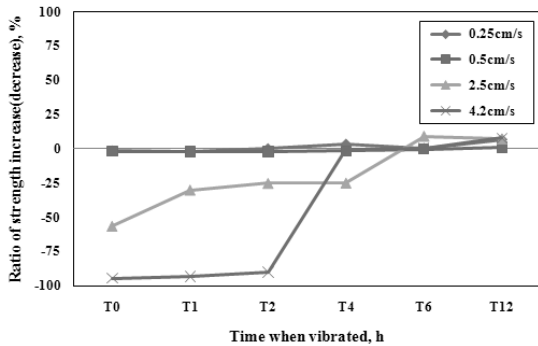
0.25cm/s와 0.50cm/s의 진동속도를 볼 때, 6kN/m³의 공시체는 거의 변화를 찾아볼 수 없고, 8kN/m³공시체는 강도가 소폭 상승된 것을 알 수 있으며, 10kN/m³공시체에서는 강도 감소율 값이 다소 불안정한 값을 가지는 것을 알 수 있다.

3.4 진동가력시점

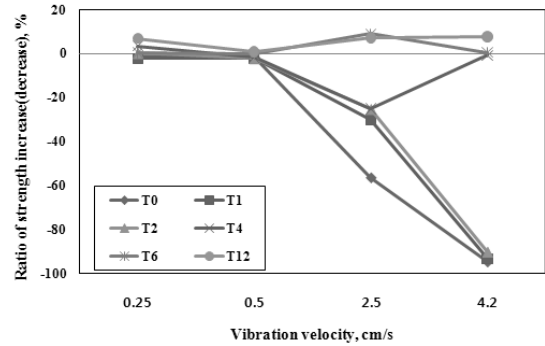
본 연구에서는 경량기포토의 양생 시 진동이 가해지는 시점이 미치는 영향을 파악하기 위하여 T0, T1, T2, T4, T6, T12 등 6가지 진동가력시점을 설정하여 시험을 진행하였다. 경량기포토의 진동가력시점을 고려한 진동시험결과 세 가지 단위중량의 경우 모두 비슷한 결과를 나타내었다.

0.25cm/s와 0.50cm/s의 진동속도는 공시체가 양생될 때 별다른 영향을 미치지 않기 때문에 진동가력시점에 대한 영

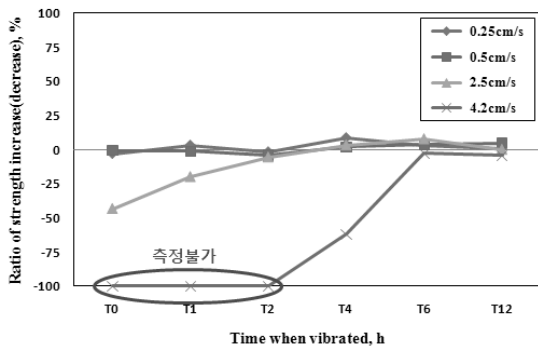
향 또한 별다른 의미가 없다고 할 수 있다. 2.50cm/s이상의 진동속도에서 공시체 제작 직후부터 2시간까지는 고화가 제대로 이루어지지 않고 많은 양의 기포가 소포되어 강도가 발현되지 않는 것을 알 수 있다. 이로써 경량기포토는 슬러리상태에서 4시간 정도 후에 시멘트의 고화가 빠르게 시작되어 이후엔 진동의 영향을 거의 받지 않는다고 판단된다. 특이한 점으로 단위중량 10kN/m³공시체의 경우 6, 8kN/m³공시체의 경우보다 강도감소(증가)율값이 다소 불안정한 값이 나타나는 것을 알 수 있다. 이것은 경량기포토의 각 재료 중에서 비중이 가장 큰 모래의 영향일 것으로 판단된다. 진동을 가하였을 때 소포와는 별개로 무거운 비중의 모래가 가라앉는 현상이 두드러질 것이다. 모래가 가라앉을 때 가라앉는 속도나 모래의 다양한 입자 형상에 따른 배열은 다



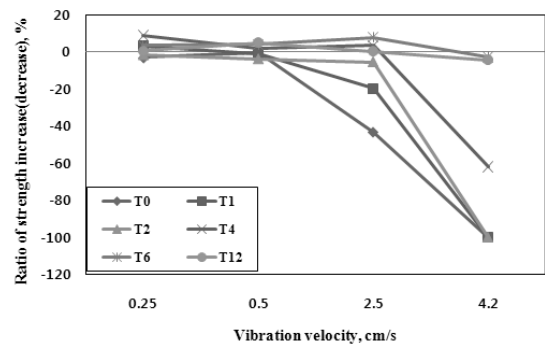
(a) 진동가력시점과 강도감소(증가)율과의 관계(단위중량 6kN/m³)



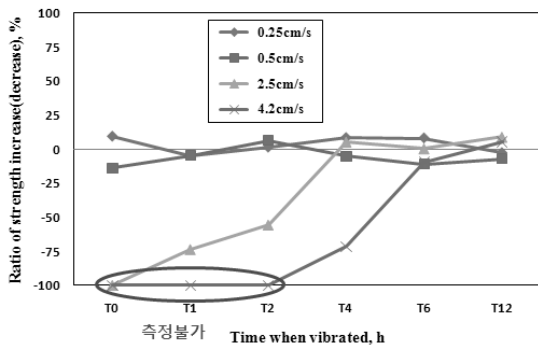
(b) 진동속도와 강도감소(증가)율과의 관계(단위중량 6kN/m³)



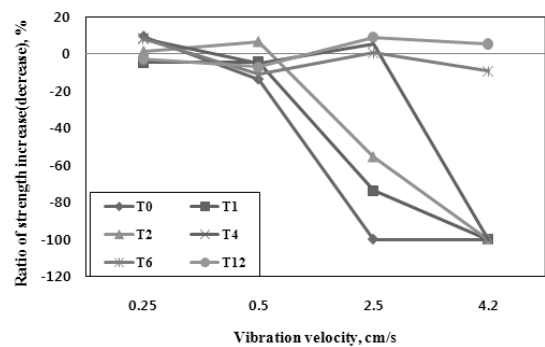
(c) 진동가력시점과 강도감소(증가)율과의 관계(단위중량 8kN/m³)



(d) 진동속도와 강도감소(증가)율과의 관계(단위중량 8kN/m³)

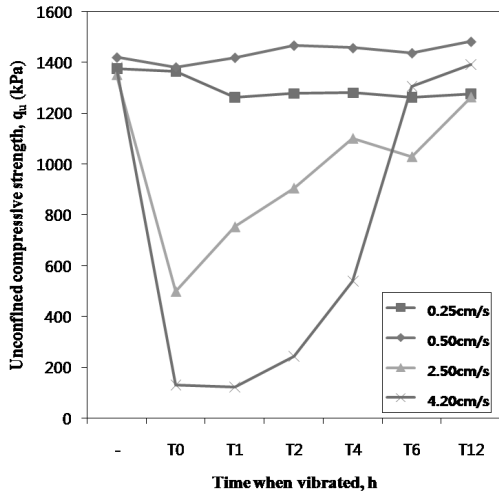


(e) 진동가력시점과 강도감소(증가)율과의 관계(단위중량 10kN/m³)

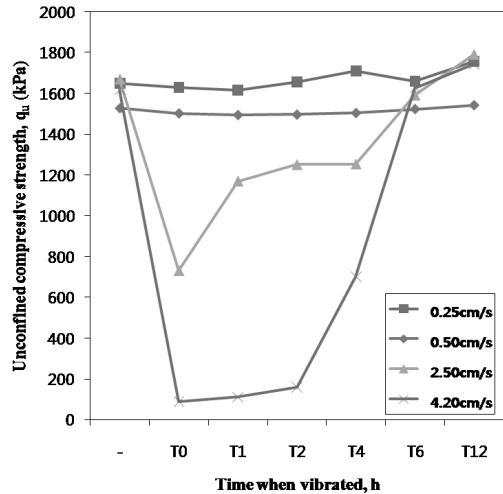


(f) 진동속도와 강도감소(증가)율과의 관계(단위중량 10kN/m³)

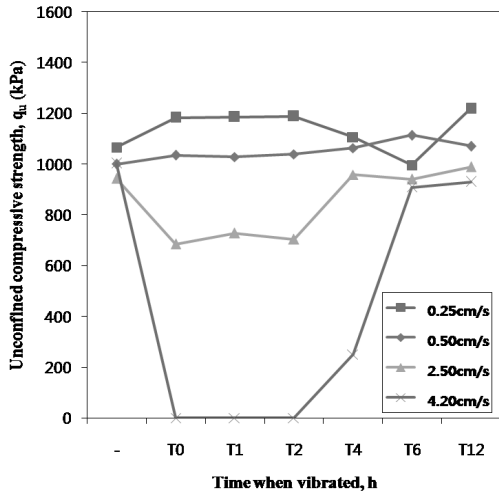
그림 11. 실험변수와 강도감소(증가)율과의 관계(양생 28일 공시체)



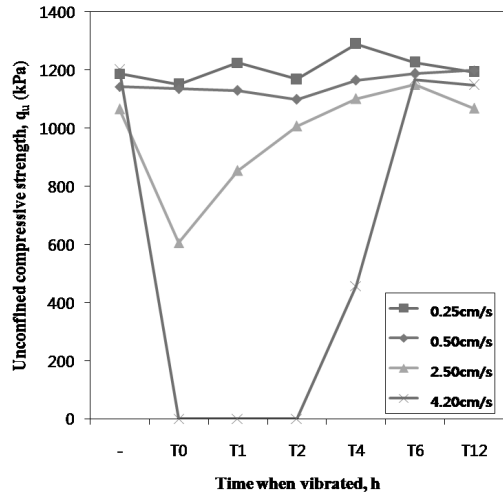
(a) 각 진동속도에 따른 진동가력시점과 일축압축강도와의 관계(6kN/m³)(14일 강도)



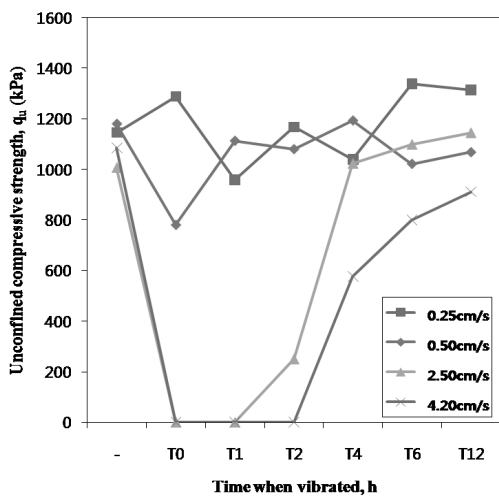
(b) 각 진동속도에 따른 진동가력시점과 일축압축강도와의 관계(6kN/m³)(28일 강도)



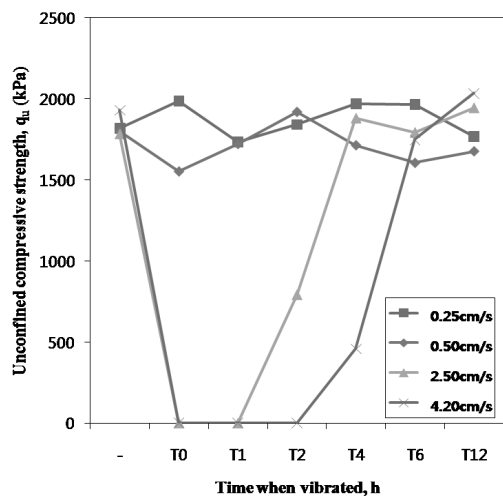
(c) 각 진동속도에 따른 진동가력시점과 일축압축강도와의 관계(8kN/m³)(14일 강도)



(d) 각 진동속도에 따른 진동가력시점과 일축압축강도와의 관계(8kN/m³)(28일 강도)



(e) 각 진동속도에 따른 진동가력시점과 일축압축강도와의 관계(10kN/m³)(14일 강도)



(f) 각 진동속도에 따른 진동가력시점과 일축압축강도와의 관계(10kN/m³)(28일 강도)

그림 12. 실험변수와 일축압축강도와의 관계

를 것으로 판단되기 때문에 이로써 불안정한 강도감소율이 나타나는 것으로 사료된다.

3.5 양생일수

본 연구에서는 진동시험 결과에 대한 신뢰성을 높이기 위하여 양생 14일 지난 공시체와 28일 지난 공시체에 대하여 일축압축시험을 실시하였다. 14일 공시체의 일축압축강도는 28일 공시체의 80% 정도로 나타났으며, 양생일수에 따른 강도의 차이는 있지만 14일과 28일의 대부분 경우에서 비슷한 경향을 나타내었다.

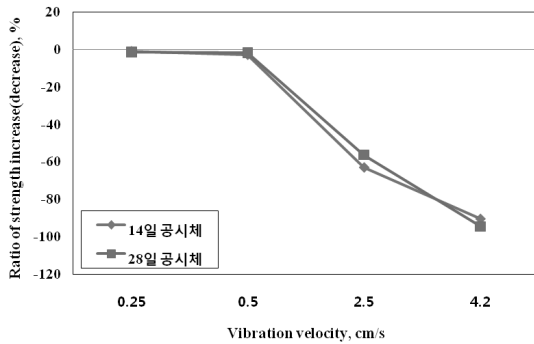
14일 공시체와 28일 공시체의 강도감소율에 대한 정확한 비교를 위하여 T0에 대하여 다시 한 번 비교하여 분석해 보았다. T0 공시체는 시멘트슬러리와 발포되어진 기포를 혼

합한 직후 바로 진동을 가하여 강도변화가 가장 크다고 할 수 있다. 각각의 경우에 대하여 강도의 변화는 가장 크지만 양생일수에 따른 변화양상은 거의 비슷한 것을 알 수 있다. 단위중량 8, 10kN/m³공시체는 약간의 차이가 발생하지만 20% 이내이고, 비슷한 변화양상을 보이기 때문에 시험결과에 대한 신뢰성을 인정받을 수 있다고 판단된다.

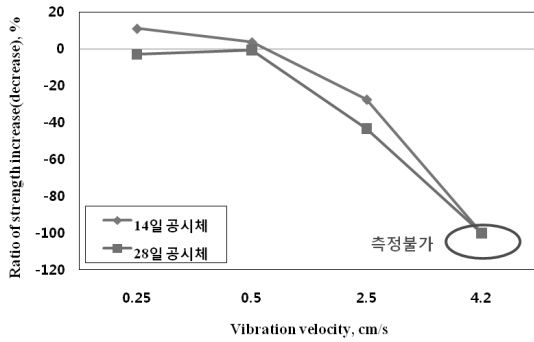
4. 결 론

본 연구는 공사 중 주변에서의 파일향타, 발파 및 공용 중인 장비 등으로 인한 영향과 기존 도로상의 차량진행으로 인한 진동이 경량기포토의 품질저하에 미치는 영향을 파악하기 위하여 실시되었다. 즉, 진동이 경량기포토의 양생에 미치는 영향을 연구하기 위하여 실험변수를 진동속도(vibration velocity), 진동가력시점(time when vibrated), 배합비(mixing ratio) 등으로 나누어 경량기포토의 일축압축강도 등을 측정하였으며, 그 결과는 다음과 같다.

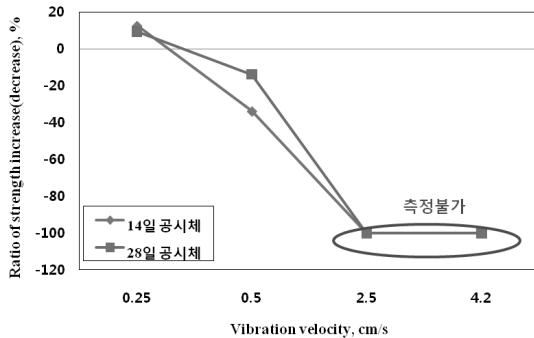
- (1) 진동을 가하지 않은 공시체는 외부표면이 매끈하고 균질하지만 큰 크기의 진동 혹은 거의 균질 않은 슬러리 상태에서 진동을 가하였을 때는 커다란 균열이나 크랙, 소포의 흔적이 보이며 하부층과 중상부층에 재료분리 현상이 나타나는 것을 알 수 있었다. 이것은 진동이 가해졌을 때 중상층의 기포는 소포되어 외부로 방출되지만 하부층의 기포는 외부로 빠져나가지 못했기 때문으로 판단된다.
- (2) 진동속도 0.25cm/s와 0.50cm/s의 경우에는 진동의 영향을 거의 받지 않는 것으로 나타난 반면 2.50cm/s 이상의 진동속도에서는 압축강도의 감소율이 현저하게 증가하는 것을 알 수 있다. 이것은 2.50cm/s이상의 진동속도에서 공시체 제작 직후부터 2시간까지는 고화가 제대로 이루어지지 않은 상태에서 진동으로 많은 양의 기포가 소포되었기 때문이다. 경량기포토는 슬러리상태에서 4시간 정도 후에는 시멘트의 고화가 빠르게 시작되어 이후엔 진동의 영향을 거의 받지 않는 것으로 나타났다.
- (3) 모래를 포함하는 배합의 공시체는 0.50cm/s 이하의 약한 진동에서 압축강도가 소폭 상승하는 것을 알 수 있고, 이것은 경량기포토의 골격역할을 하는 모래 때문으로 판단되며, 그 이상의 진동에서는 골격의 재배열 및 소포 등의 현상으로 강도가 저하되는 것을 알 수 있다. 단위중량 10kN/m³의 시멘토-모래 비율이 1-2로 진동가력시점 2시간 이전에 강도의 저하가 다른 단위중량에 비해 큰 것을 알 수 있는데 이것은 경량기포토의 진동



(a) 단위중량 6kN/m³



(b) 단위중량 8kN/m³



(c) 단위중량 10kN/m³

그림 13. T0 공시체의 양생일수에 대한 강도감소율 비교

실험에서 기포의 영향보다는 골격역할을 하는 모래의 영향이 더 크기 때문이라고 판단된다.

- (4) 14일 공시체와 28일 공시체의 강도감소율에 대하여 비교해 보았을 때 각 단위중량에 대하여 강도차이는 존재하지만 양생일수에 따른 변화양상은 거의 비슷한 것을 알 수 있다. 단위중량 8, 10kN/m³공시체는 약간의 차이가 발생하지만 20% 이내이고, 비슷한 변화양상을 보이기 때문에 시험결과에 대한 신뢰성을 인정받을 수 있다고 판단된다.

감사의 글

본 연구는 교육과학기술부와 한국산업기술진흥원의 지역혁신인력양성사업으로 수행된 연구결과임.

참고 문헌

1. 김흥기(2004), *건설진동 영향평가 기법에 관한 연구*, 석사학위논문, 전남대학교, pp. 1~4.
2. 이지은, 권영웅(2000), 가력진동이 양생중인 콘크리트에 미치는 역학적 특성, *구조물진단학회지*, Vol. 2000, No. 1, pp. 243~248.
3. 황중호(2009), *경량기포토의 역학적 특성에 관한 연구*, 석사학위논문, 한국해양대학교, pp. 48~49.
4. 송혜금(1998), *진동이 양생중인 콘크리트에 미치는 영향에 관한 연구*, 석사학위논문, 서울대학교, pp. 10~12.
5. 이수형(2004), *석분을 혼입한 경량기포혼합토의 역학적특성에 관한 연구*, 석사학위논문, 건국대학교, pp. 25.
6. 이영준, 김성원, 박이근, 김태형(2010), 경량기포토의 압축 및 인장특성, *한국지반공학회 논문집*, Vol. 26, No. 9, pp. 59~69.
7. 일본도로공단(1996), *기포혼합경량토를 이용한 경량 성토공법의 설계·시공 지침서*, pp. 6~10.
8. 土田孝, 長井興治, 湯川雅之, 岸田滄夫, 山本實(1996), *岸壁の裏込め材として打設された軽量混合処理土の土質特性*, 運輸省港湾技術研究所, 港湾技研資料, No. 835.

(접수일: 2010. 10. 22 심사일: 2010. 11. 16 심사완료일: 2011. 3. 14)