

No-fines Concrete의 工學的 特性

Engineering Properties of No-fines Concrete

閔 正 基* · 成 瓚 鏞* · 金 成 完*
Min, Jeong Ki · Sung, Chan Yong · Kim, Seong Wan

Summary

This study was carried out to investigate the engineering properties of no-fines concrete, consisting only of coarse aggregate, cement and water. The used coarse aggregates were two, one is natural coarse aggregate grading 4.75~10mm, the other is synthetic lightweight coarse aggregate grading 3~8mm.

The results of this study are summarized as follows;

1. The W/C ratio of each type was increased with increase of additional amount of coarse aggregate.
2. The unit weight of used natural coarse aggregate was shown 1.762~2.184g/cm³, and synthetic lightweight coarse aggregate was shown 0.756~1.348g/cm³.
3. The absorption rate of used natural coarse aggregate was shown 8.4~9.4%, and synthetic lightweight coarse aggregate was shown 17.0~42.4%.
4. The compressive, tensile and bending strength was decreased with increase of coarse aggregate, respectively. The compressive strength of natural coarse aggregate 1:3 was shown 309kg/cm².
5. The ultrasonic pulse velocity and dynamic modulus of elasticity of each type was decreased with increase coarse aggregate, respectively. Also, the decreasing rate of the natural aggregate was larger than that of the synthetic lightweight coarse aggregate.

I. 緒 論

최근 콘크리트 구조물은 급속한 경제성장과 건설기술의 발달 등으로 대형화, 고층화 되어 가고 있다. 그러나 콘크리트는 자중이 크기 때문에 구조물의 사하중을 증대시키는 결함을

가지고 있다. 이러한 결함을 개선함과 동시에 여러가지 우수한 성능을 부여할 목적으로 제조된 것이 경량콘크리트이다.¹⁾

경량콘크리트는 기건비중이 2.0이하의 콘크리트를 말하며,¹⁾ 이의 종류에는 비중이 작은 다공질의 경량골재를 사용한 경량골재콘크

* 忠南大學校 農科大學

키워드 : No-fines concrete, 人工輕量骨材, 吸收率, 單位重量, 強度, 動彈性係數, 超音波振動速度

리트와, 콘크리트 자체내에 기포를 발생시켜 공극을 크게한 기포콘크리트, 그리고 No-fines concrete 등이 있다.⁴⁾

이 가운데, No-fines concrete는 세골재를 사용하지 않고 시멘트와 조골재 그리고 물을 주성분으로 하여, 시멘트풀이 조골재의 표면을 둘러싸서 함께 굳어진 다공질의 콘크리트 제품이다.¹¹⁾

이는 1852년 영국에서 두 채의 가옥을 축조한 것이 최초의 기록이며, 이후 유럽지역으로 보급되었고,⁶⁾ 1923년 영국에서 2층 가옥 50여 채가 시공됨으로써, 본격적으로 Liverpool, Manchester, London, Willesdon 등지에 800여 채의 가옥이 건설되었다.⁸⁾

또한, 제2차 세계대전 이후 폐허가 된 유럽 지역에서 건축자재의 부족에도 불구하고 다량의 구조물을 축조해야만 되었는데, 이때 여러 학자들의 새로운 건축기술에 대한 연구로 관심을 가지게 된 것이 No-fines concrete이다. 이후 비교적 작은 규모에 국한되었던 것이 5층이상의 건물에까지 확대 사용되었으며, 북미지역에서도 이에 대한 관심을 가지고 연구가 진행되어 큰 진전을 보았다.¹⁰⁾

최근 선진각국에서는 19세기말부터 콘크리트구조물의 경량화에 대한 연구를 시작하면서 다시 No-fines concrete에 대한 관심이 고조되고 있다. 이는 단층이나 고층빌딩의 하중지지 재료로 사용할 수 있으며,⁷⁾ 특히 거푸집 제거 시간이 빠르므로 거푸집을 반복적으로 사용할 수 있는 현장타설 외부벽 시공에 대해서는 경제적이고, 지하수의 배출을 요구하는 구조물의 기초와 인건비가 비싸고 골재의 반입이 어려운 장소에서의 시공에도 적합하기 때문이다.¹⁰⁾

그러나 국내에서는 아직 No-fines concrete에 대한 관심이 미흡한 관계로, 이에 대한 연구 및 시공실적이 거의 없는 상태이다. 따라서 본 연구는 경량콘크리트의 일종인 No-fines concrete의 효과적인 활용을 위하여 사용재

에 대한 각 배합비별 특성을 구명함으로써, 이에 대한 기초자료를 마련코자 수행하였다.

II. 材料 및 方法

1. 使用材料

가. 시멘트

본 실험에 사용된 시멘트는 보통포틀랜드시멘트이며, 그 화학성분은 Table-1과 같다.

Table-1. Chemical composition of normal cement(%)

SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	K ₂ O	Na ₂ O	Fe ₂ O ₃
21.09	4.84	63.85	3.32	3.09	1.13	0.29	2.39

나. 骨 材

사용된 조골재는 입도가 4.75~10mm인 하천자갈과 입도가 3~8mm로 조절된 인공경량골재를 사용하였으며, 이의 물리적 성질은 Table-2와 같다.

Table-2. Physical properties of coarse aggregate

Type	Specific gravity	Size (mm)	Absorption ratio (%)	Fineness modulus	Unit weight (g/cm ³)
Natural	2.63	4.75~10	2.15	6.00	1.55
Synthetic	0.68	3~8	21	5.60	0.386

다. 混和劑

혼화제는 고성능감수제를 사용하였으며, 이의 물리적 성질은 Table-3과 같다.

Table-3. Physical properties of superplasticizer

Specific gravity (20℃)	PH	Color	Freezing point (℃)	Principal ingredient
1.20	9.5	Dark brown liquid	-2	Naphthalene formaldehyde

2. 供試體 製作

가. 콘크리트 配合

본 실험을 위하여 제작된 콘크리트의 배합비 중, 하나는 강자갈을 사용하여 시멘트와 조골재의 배합비를 중량비 1:3, 1:4, 1:6, 1:8로 하였으며, 인공경량골재를 사용한 경우는 Table-2에 나타났듯이, 강자갈이 인공경량골재의 단위중량보다 약4배 정도 크기 때문에 골재의 체적을 같게 하기 위하여 시멘트와 인공경량골재와의 배합비를 중량비 1:0.75, 1:1, 1:1.5, 1:2로 하였고, 여기에 강도증진을 위하여 고성능감수제를 시멘트 중량의 1%를 첨가시켰다.

본 실험의 배합설계는 Table-4와 같고, Fig.에서는 강자갈과 인공경량골재의 중량에 대한 체적비인 1:3, 1:4, 1:6, 1:8로 표기하였다.

Table-4. Mix design of No-fines concrete (wt. ratio)

Type	Cement/natural	Cement/synthetic	Super-plasticizer (%)	W/C ratio (%)
G1	1:3	—	—	40
G2	1:4	—	—	43
G3	1:6	—	— </td <td>46</td>	46
G4	1:8	—	—	49
E1	—	1:0.75	—	40
E2	—	1:1	—	43
E3	—	1:1.5	—	47
E4	—	1:2	—	57
ES1	—	1:0.75	1	32
ES2	—	1:1	1	34
ES3	—	1:1.5	1	35
ES4	—	1:2	1	45

나. 供試體 製作 및 養生

압축과 인장강도 및 단위중량시험용 공시체는 $\phi 7.5 \times 15\text{cm}$, 동탄성계수와 초음파진동속도 및 휨강도용 공시체는 $6 \times 6 \times 24\text{cm}$ 로 제작하였으며, 몰드에 타설된 콘크리트는 양생상자(20°C , 습도 $96 \pm 2\%$)에서 24시간 정치 후

탈형하여 소정의 재령까지 수증양생($20 \pm 1^\circ\text{C}$)을 실시하였다.

3. 試驗方法

가. Consistency 測定

No-fines concrete에 대한 적당한 워커빌리티 측정법이 없어서 이전엔 시각으로 판단하였으나, 본 실험에서는 다음과 같은 방법으로 consistency를 측정하였다.

즉, 적합한 consistency는 Fig. 1과 같은 시험기를 제작하여 bucket의 밑바닥으로 부터 높이 1.37m에서 혼합을 끝낸 No-fines concrete를 낙하시켜 반정도 채운 후 1분 동안 시멘트 풀이 흘러 내리지 않을 때의 물-시멘트비로 하였다.⁹⁾

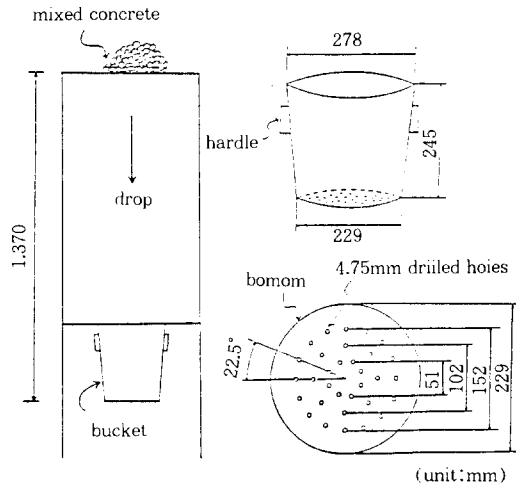


Fig. 1. Bucket for measuring consistency of no-fines concrete

나. 單位重量 및 吸水率

각 배합비별 단위중량은 재령 28일까지 수증에서 양생시킨 공시체의 표면건조포화상태의 중량과 체적을 비교하여 구하였으며, 흡수율은 표면건조포화상태의 중량과 절건상태의 중량을 측정하여 다음과 같이 산출하였다.

$$U.W = \frac{W}{V}$$

여기서, $U.W$ = 단위중량 (g/cm^3)

W = 표면건조포화상태의 중량(g)

V = 공시체 체적(cm^3)

$$A.R = \frac{B-A}{A} \times 100$$

여기서, $A.R$ = 흡수율 (%)

A = 건조기에서 건조시킨 공시체
의 공기중 중량(g)

B = 표면건조포화상태의 중량(g)

다. 強度

소정의 재령에서 압축강도시험은 KS F-2405, 인장강도시험은 KS F-2423, 휨강도 시험은 BS 1881⁵⁾에 준하여 실시하였다.

라. 動彈性 및 超音波振動速度

동탄성시험은 BS 1881,⁵⁾ 초음파진동속도는 BS 4408¹²⁾에 준하여 실시하였다.

Table-5. Test results of No-fines concrete

Treatment	Mix(wt. ratio)				W/C (%)	Unit weight (g/cm^3)	Absorption rate (%)	Strength(kg/cm^2)			Ultrasonic pulse velocity ($\times 10^3 m/sec$)	Dynamic modulus of elasticity ($\times 10^3 kg/cm^2$)
	Cement	Gravel		Super-plasticity (%)				Compressive	Tensile	Bending		
		Natural	Synthetic									
G1	1	3	—	—	40	2.184	8.4	309	39.9	74.5	4.1	39.8
G2	1	4	—	—	43	2.051	8.7	175	30.1	45.2	4.0	26.2
G3	1	6	—	—	46	1.802	8.9	90	13.8	24.6	3.5	12.9
G4	1	8	—	—	49	1.762	9.4	38	6.1	15.3	3.0	8.4
E1	1	—	0.75	—	40	1.155	26.5	39	14.7	31.0	3.2	4.2
E2	1	—	1	—	43	0.906	35.5	31	10.6	22.6	2.5	3.3
E3	1	—	1.5	—	47	0.830	38.4	28	7.3	17.0	2.4	2.8
E4	1	—	2	—	57	0.756	42.4	23	6.7	12.1	2.2	2.5
ES1	1	—	0.75	1	32	1.348	17.0	123	17.0	39.1	3.4	5.2
ES2	1	—	1	1	34	0.894	28.0	71	12.3	19.4	2.8	4.1
ES3	1	—	1.5	1	35	0.835	37.2	38	9.2	11.2	2.5	3.3
ES4	1	—	2	1	45	0.758	40.0	27	7.8	9.9	2.3	3.1

III. 結果 및 考察

실험을 통하여 얻어진 결과를 나타내면 Table-5와 같다.

1. 물-시멘트 比

No-fines concrete의 물-시멘트비는 시멘트 풀이 골재 표면을 충분히 피복할 정도의 유동성만 있으면 되며, consistency측정에 의하여 얻어진 각 배합비별 물-시멘트비를 나타내면 Table-5와 같고, 그림으로 도시하면 Fig. 2와 같다.

이 결과에서 알 수 있듯이 각 Type별 물-시멘트비는 조골재의 첨가량이 증가할수록 모두 증가하는 경향을 보였는데, 이는 조골재의

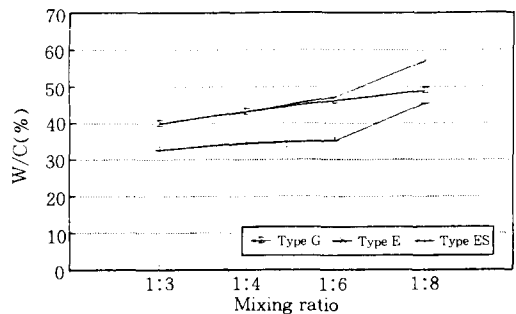


Fig. 2. Relation between mixing ratio and W/C

첨가량이 증가할수록 시멘트풀이 피복해야 할 조골재의 표면적이 증가함으로써 나타나는 현상이라 생각된다.

물-시멘트비는 강자갈과 인공경량골재를 사용한 Type G와 E의 경우 모두 유사한 결과를 보였으나, 인공경량골재에 고성능감수제를 첨가한 Type ES에서는 약 20% 정도 작게 나타났는데, 이는 첨가된 고성능감수제의 영향인 것으로 생각된다.

2. 單位重量 및 吸水率

No-fines concrete는 내부에 다량의 공극을 내포하고 있는 경량콘크리트의 일종으로 실험 결과를 나타내면 Table-5와 같고, 그림으로 도시하면 Fig. 3, 4와 같다.

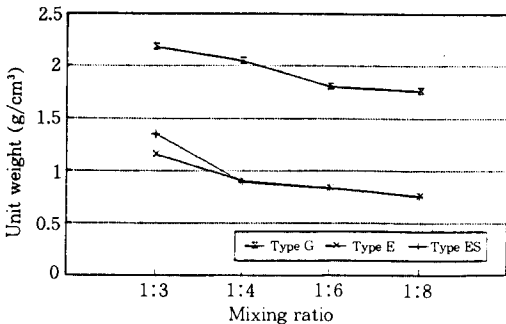


Fig. 3. Relation between mixing ratio and unit weight

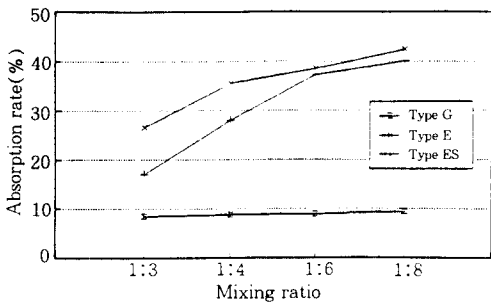


Fig. 4. Relation between mixing ratio and absorption rate

여기서 보는 바와 같이 단위중량은 조골재의 첨가량이 증가할수록 다 같이 감소하는 경향을 보였는데, 이는 조골재의 첨가량이 증가할수록 단위체적당 공극이 증가하기 때문으로 생각되며, 강자갈을 사용한 Type G가 1.762~2.184g/cm³로 가장 크게 나타났고, 인공경량골재를 사용한 Type E는 0.756~1.155g/cm³, 인공경량골재에 고성능감수제를 첨가한 Type ES는 0.758~1.348g/cm³로 거의 동일하게 나타났다.

또한, 강자갈을 사용한 Type G의 경우 배합비 1:4이후에서 단위중량이 2.0g/cm³이하로 나타났고, Type E와 ES의 단위중량은 1.5g/cm³보다 작게 나타났으며, 특히, 배합비 1:1 이후에서는 1.0g/cm³이하로 상당히 작게 나타나 경량성이 큰 것으로 나타났는데, 이는 사용한 인공경량골재의 단위중량이 0.386g/cm³으로 매우 작기 때문인 것으로 생각된다.

한편, 흡수율은 조골재의 첨가량이 증가할수록 다 같이 증가하는 경향을 보였으며, 강자갈을 사용한 Type G의 경우 흡수율이 10%이하로 배합비에 따른 증가율이 거의 없는 것으로 나타난 반면, 인공경량골재를 사용한 Type E와 ES의 흡수율은 20~40% 정도로 크게 나타났고, 배합비에 따른 증가폭도 크게 나타났는데, 이는 사용된 인공경량골재가 내부에 다량의 공극을 갖고 있어서 흡수율이 크고, 또 배합비가 증가할수록 공시체 내의 공극형성이 많이 생겼기 때문인 것으로 생각된다.

3. 強 度

No-fines concrete의 강도는 골재를 피복하고 있는 시멘트풀의 두께에 좌우되므로 적절한 물-시멘트비를 결정하는 것이 중요하다. 즉, 물-시멘트비가 크면 유동성이 증가하여 시멘트풀이 골재를 피복하고 흘러내려 그만큼 골재의 피복두께가 얇아져서 강도의 저하가

있는 반면, 물-시멘트비가 작으면 시멘트풀의 유동성이 감소하여 골재를 충분히 피복하지 못하므로 강도가 감소하는 결과를 가져온다.

이에, 실험결과를 나타내면 Table-5와 같고, 그림으로 도시하면 Fig. 5, 6, 7과 같다.

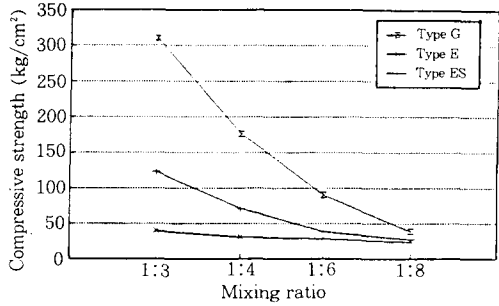


Fig. 5. Relation between mixing ratio and compressive strength

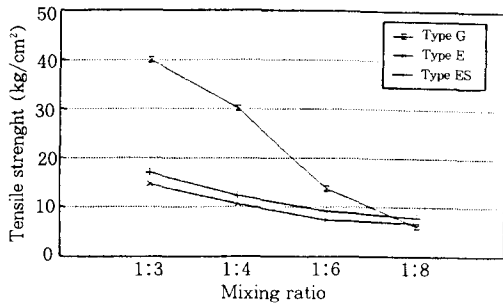


Fig. 6. Relation between mixing ratio and tensile strength

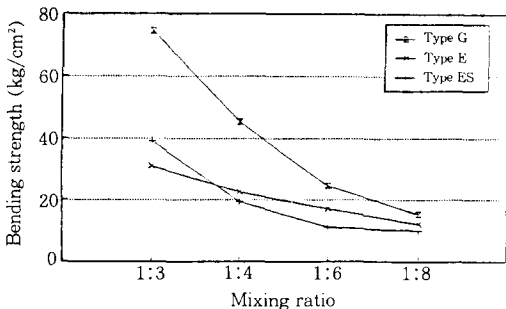


Fig. 7. Relation between mixing ratio and bending strength

이 결과에서 알 수 있듯이, no-fines con-

crete의 강도는 조골재의 첨가량이 증가함에 따라서 모두 감소하는 경향을 보였는데, 이는 골재 첨가량이 증가할수록 상대적으로 시멘트풀이 피복해야 할 골재의 표면적이 증가함에 따른 것으로, 그만큼 피복두께가 얇아졌기 때문이라 생각된다. 즉, No-fines concrete의 강도는 골재와 골재를 피복하여 굳어진 시멘트풀의 강도에 좌우됨을 알 수 있다.

압축강도는 강자갈을 사용한 Type G의 경우 시멘트와 조골재의 배합비 1:3에서 최고 309kg/cm²까지 발현이 되었으나, 배합비가 증가할수록 감소하여 1:8에서는 50kg/cm²이하의 아주 작은 강도를 나타내어, 조골재의 첨가량이 증가함에 따라 강도 감소율이 상당히 크게 나타났다.

한편, 인공경량골재를 사용한 경우는 고성능감수제를 첨가한 Type ES1과 ES2를 제외한 모든 배합비에서 50kg/cm²이하의 작은 강도를 나타냈고, 천연자갈을 사용한 경우보다 배합비 증가에 따른 강도 감소율은 작게 나타났으며, 고성능감수제의 첨가에 의한 강도증진의 효과는 인정되었다. 특히, 인공경량골재에 고성능감수제를 첨가한 Type ES1에서는 123kg/cm²로 인공경량골재를 사용한 Type E1의 39kg/cm²보다 약 3배 정도의 강도 크기를 보였다.

또한, 압축강도 실험시 파괴형태는 배합비의 변화에 따라서 전단과 활렬파괴의 조합과 파괴 형태와 골재간의 결합력 파괴에 의한 공시체 중앙부에서의 파괴형태를 나타내었다. 즉, 골재피복면에 대해서 시멘트풀이 과다한 부배합의 경우는, 파괴시 공시체 내부가 시멘트풀로 거의 충전되어 있어서 파괴시에 골재와 시멘트풀이 함께 파괴되는 현상을 보였으나, 빈 배합으로 갈 수록 골재파괴보다는 개개의 골재를 피복하고 있는 시멘트풀의 결합력 파괴가 주종을 이루었으며, 내부에 공극이 상당히 많이 존재함을 알 수 있었다.

한편, 강자갈과 인공경량골재를 사용한 경우의 강도 차이는 부배합일수록 크게 나타났고, 조골재의 첨가량이 증가할수록 그 차이는 감소하였는데, 이는 no-fines concrete의 강도는 조골재의 첨가량이 증가할수록 골재의 강도에 관계없이 시멘트풀과 골재의 부착력에 의존한다는 것을 의미한다.

아울러, 인장 및 휨강도도 압축강도와 유사한 경향을 보였으며, 각 Type별 강도비를 나타내면 Table-6과 같다. 여기서 보는 바와 같이 압축에 대한 인장강도의 비는 강자갈을 사용한 Type G의 경우 0.13~0.17, 인공경량골재를 사용한 Type E의 경우 0.26~0.38, 인공경량골재에 고성능감수제를 첨가한 Type ES의 경우는 0.14~0.29로 나타나, 인공경량골재를 사용한 Type E가 가장 크게 나타났다.

Table-6. Comparison of strength ratio

Treatment	σ_t/σ_c	σ_w/σ_c	σ_f/σ_b
G1	0.13	0.24	0.54
G2	0.17	0.26	0.67
G3	0.15	0.27	0.56
G4	0.16	0.40	0.40
E1	0.38	0.79	0.47
E2	0.34	0.73	0.47
E3	0.26	0.61	0.43
E4	0.29	0.53	0.55
ES1	0.14	0.32	0.43
ES2	0.17	0.27	0.63
ES3	0.24	0.29	0.82
ES4	0.29	0.37	0.79

4. 超音波振動速度 및 動彈性係數

실험결과를 나타내면 Table-5와 같고, 그림으로 도시하면 Fig. 8, 9와 같다.

여기서 보는 바와 같이 초음파진동속도는 조골재의 첨가량이 증가할수록 다 같이 감소하는 경향을 보였는데, 이는 조골재 첨가량의 증가에 따른 내부공극의 증가로 공시체내 독

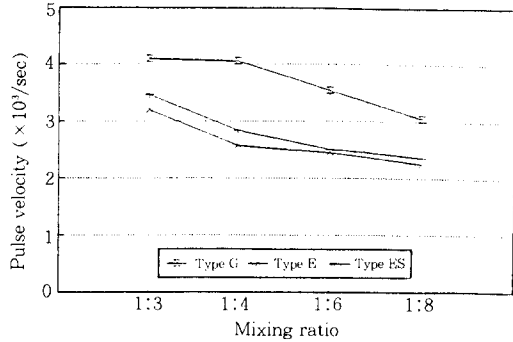


Fig. 8. Relation between mixing ratio and pulse velocity

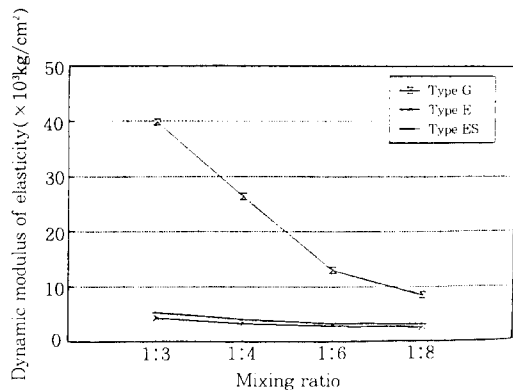


Fig. 9. Relation between mixing ratio and dynamic modulus of elasticity

립기공을 통과할 때의 변화에 기인한 것으로 생각된다.

인공경량골재를 사용한 Type E와 ES가 강자갈을 사용한 Type G보다 초음파진동속도가 20~30% 정도 작게 나타났는데, 이는 인공경량골재가 내부에 다량의 미세한 공극을 형성하고 있다는 것을 입증하는 것이라 하겠다.

한편, 동탄성계수도 각 Type별 조골재의 첨가량이 증가할수록 감소하는 경향을 보였으며, 강자갈을 사용한 Type G의 경우는 $8.4 \times 10^3 \sim 39.8 \times 10^3 \text{kg/cm}^2$ 로 조골재의 첨가량이 증가할수록 감소폭이 상당히 크게 나타났고, 인공경량골재를 사용한 Type E는 $2.5 \times 10^3 \sim 4.2 \times 10^3 \text{kg/cm}^2$, 인공경량골재에 고성능감수제를 첨가한 Type ES는 $3.1 \times 10^3 \sim 5.2 \times 10^3 \text{kg/cm}^2$ 로 나타났으며, 조골재의 첨가량에 대

한 동탄성계수의 감소폭은 상당히 작게 나타났다.

또한, 초음파진동속도와 동탄성계수는 단위중량이 클수록, 압축강도가 클수록 크게 나타났다.

IV. 結 論

이 연구는 No-fines concrete의 공학적 특성을 구명한 것으로서, 이 연구를 통해 얻어진 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 물-시멘트비는 조골재의 첨가량이 증가할수록 증가하는 경향을 보였으며, 인공경량골재에 고성능감수제를 첨가한 경우가 가장 작게 나타났다.

2. 단위중량은 강자갈을 사용한 경우 1.762~2.184g/cm³으로 나타난 반면, 인공경량골재를 사용한 경우는 0.756~1.155g/cm³, 인공경량골재에 고성능감수제를 첨가한 경우는 0.758~1.348g/cm³로 나타나 상당한 경량성이 있는 것으로 인정되었다.

3. 흡수율은 강자갈을 사용한 경우 8.4~9.4%로 배합비에 따른 변화가 거의 없는 것으로 나타났으며, 인공경량골재를 사용한 경우는 조골재의 배합비에 따라서 26.5~42.4%, 인공경량골재에 고성능감수제를 첨가한 경우는 17.0~40.0%로 크게 나타났다.

4. 각 배합비별 압축, 인장 및 휨강도는 조골재의 첨가량이 증가할수록 감소하는 경향을 보였으며, 압축강도는 강자갈을 사용한 경우 38~309kg/cm², 인공경량골재를 사용한 경우는 23~39kg/cm², 인공경량골재에 고성능감수제를 첨가한 경우는 27~123kg/cm²으로 나타났다.

5. 각 배합비별 초음파진동속도와 동탄성계수는 조골재의 첨가량이 증가할수록 감소하는 경향을 보였으며, 강자갈을 사용한 경우가 인공경량골재를 사용한 경우보다 크게 나타났고, 단위중량이 클수록, 압축강도가 클수록 크게 나타났다.

參 考 文 獻

1. 건설부, 1989, 콘크리트 표준 시방서, 대한토목학회.
2. 민정기, 1988, No-fines Concrete의 강도 특성에 관한 실험적 연구, 충남대학교 대학원 석사논문.
3. 성찬용, 김성완, 민정기, 1993, 養生條件이 輕量骨材 콘크리트의 ASR에 미치는 影響, 한국농공학회지, 35 (4) : 38-46
4. Andrew Short, 1978, Lightweight Concrete, Applied Science Publishers, LTD.
5. BS 1881, 1970, Methods of testing hardened concrete for other strength, British Standard Institution, (Part 5) : 38.
6. Francis, A., M., 1965, Early Concrete Buildings in Britain, Concrete and Constructional Engineering (London), Vol. 60, No. 2, Feb. : 73-75.
7. Giddens, Joseph J., 1972, No-fines Concrete, Paper Presented at the two-day Annual Seminal of the Canadian Capital Chapter, ACI, Ottawa, Nov., : 29-30.
8. Maclutosh, Ronald H., Bolton, John D. and Huir Colin H. D., 1956, No-fines Concrete as a Structural Material, Proceedings, The Institution of Civil Engineerings (London), Vol. 5, Part 1, : 673-694.
9. Malhotra, V. M., 1974, Mechanical Properties and Freeze-thaw Resistance of No-fines Concrete, Mines Branch Investigation Report No. IR 74-21, Department of Energy, Mines, and Resources, Ottawa, April.
10. Malhotra, V. M., 1976, No-fines Concrete-Its Properties and Applications, Journal of the ACI, Vol. 73, No. 11, Nov., : 628-644.
11. Neville, 1981, Properties of Concrete, 3rd Edition, Pitman Publishing Limited, London, : 605-632.
12. Swamy, R. N. and Al-Hamed, 1984, The use of pulse velocity measurements to estimate strength of air-dried cubes and hence in situ strength concrete, Journal of the ACI, 81(2) : 247-276.