

## 페스티로폼의 가공 형태에 따른 기포콘크리트의 물리적 특성 변화

오세출<sup>1)\*</sup> · 서치호<sup>1)</sup> · 신상태<sup>2)</sup> · 지석원<sup>1)</sup> · 김봉주<sup>3)</sup>

<sup>1)</sup>건국대학교 건축공학과 <sup>2)</sup>수원과학대학 건축과 <sup>3)</sup>천안공업대학 건축과  
(2001년 9월 10일 원고접수, 2002년 1월 22일 심사완료)

### Physical Properties of Foamed Concrete up to the Manufacturing Waste Expanded Poly-Styrene

Se-Chul Oh<sup>1)\*</sup>, Chee-Ho Seo<sup>1)</sup>, Sang-Tae Shin<sup>2)</sup>, Suk-Won Ji<sup>1)</sup>, and Bong-Ju Kim<sup>3)</sup>

<sup>1)</sup> Dept. of Architectural Engineering, Konkuk University, Seoul, 143-701, Korea

<sup>2)</sup> Dept. of Architecture, Suwon Science College, Suwon, 445-960, Korea

<sup>3)</sup> Dept. of Architecture, Chonan National Technical College, Chonan, 330-717, Korea

(Received September 10, 2001, Accepted January 22, 2002)

#### ABSTRACT

This study is focusing on mixing the foamed concrete incorporated by waste expanded polystyrene(W-EPS), investigating the physical properties and offering a proper quality control method to the field engineers. Two types of W-EPS (type A and type B) were studied : Type A (B) had globular (crushed) shape and diameter of 3-5 (1-2) mm. The results show that the flow was suddenly reduced with increasing mixing quantity of two types, but it satisfies KS F 4039 until 60 % of mixing rate. In general, the absorption rate was suddenly reduced with increasing mixing quantity of two types especially, in type A. Apparent specific gravity was 0.36~0.53 and reduced with increasing mixing quantity of type A. But it increased in case of type B. Compressive strength and heat conduction rate increased with mixing with W-EPS than non-mixing W-EPS but reduced with mixing too much W-EPS. Based on the results, it is believed that mixing with W-EPS can improve the recycle of industrial wastes and produce the high quality foamed concrete.

**Keyword : foamed concrete, waste expanded poly-styrene, foamed ratio, bulk specific gravity**

#### 1. 서 론

현장타설 기포콘크리트는 열전도율이 낮은 재료로 단열 성능이 우수하여 건물의 에너지 절약 효과를 기대할 수 있을 뿐만 아니라, 복잡한 형상을 가지는 공간에 골고루 압입할 수 있는 시공상의 이점이 있어 최근 수년간 공동 주택의 급속한 양적 팽창과 더불어 그 사용이 급속히 증가하고 있는 실정이다.

그러나 이러한 현장타설 기포콘크리트는 그 동안의 체계적인 연구가 미미하여 현장 품질관리에 많은 어려움을 겪고 있으며, 적용이 확대되는 과정에서 사용재료, 시공방법, 제조 및 타설 장비, 배합에 따른 역학적 특성 등에 관한 실험적 자료가 부족하여 최근에는 낮은 압축강도, 경화 후의 과대한 흡수율, 초기의 수축변형, 불확실한 배합 등으로 온돌층 시공하자의 주된 요인으로 지목되고 있다.

최근에는 이러한 문제점을 해결하기 위하여 기포콘크리

트의 기초적인 특성 및 기존 기포콘크리트에 여러 가지 첨가제를 혼입하여 성능을 향상시키기 위한 연구가 일부에서 진행되고 있다<sup>1-3)</sup>. 본 연구의 선행연구로서 재활용율이 낮아 환경오염을 가중시키고 있는 산업폐기물의 일종인 페스티로폼<sup>4)</sup>을 적용하여 현장타설 기포콘크리트의 물리적 특성을 향상시키기 위한 기초적 실험을 진행한 바 있으며, 페스티로폼을 기포 대체제로 적당량 혼입할 경우 압축강도 및 흡수율, 겉보기 비중 등의 물리적 특성을 개선시킬 수 있는 것으로 조사되었다<sup>5)</sup>.

그러나 페스티로폼의 가공 공장에서는 시공자가 요구하는 형태의 가공이 가능하나, 실제 시공자의 경우 어떤 형태의 페스티로폼으로 가공하여 기포콘크리트에 혼입할 것인지에 대한 판단의 근거는 매우 빈약하거나 경험에 의존할 수밖에 없는 것이 현실이며, 이러한 사항에 대하여 적당히 참고할 만한 정량적인 실험 자료도 부족한 실정이다.

따라서 본 연구에서는 페스티로폼의 가공형태를 달리하여 기포콘크리트를 제조해 그 물리적인 특성의 변화를 고찰함으로써 현장타설 기포콘크리트의 효과적인 품질관리를 위한 자료를 축적하고, 현장 작업자에게 필요한 실험값

\* Corresponding author

Tel : 02-3436-7898 Fax : 02-3436-7897

E-mail : soha1998@dreamwiz.com

을 제공하는 것을 목적으로 한다.

## 2. 실험

### 2.1 사용재료

#### 2.1.1 시멘트

KS L 5201의 규정에 적합한 H사의 보통포틀랜드 시멘트를 사용하였다.

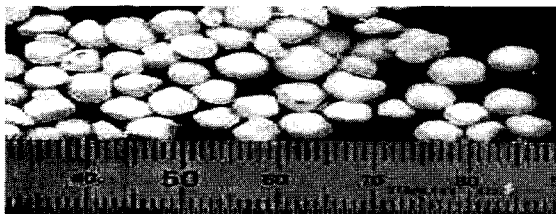
#### 2.1.2 페스티로폼

페스티로폼(wasted expanded poly-styrene ; 이하 W-EPS)은 국내 S사에서 생산되는 것으로 단열재나 포장재용으로 사용되는 발포폴리스티렌을 분쇄기를 통하여 파쇄한 것으로 본 실험에서는 그 가공 형태를 달리하여 혼합함으로써 기포콘크리트의 물리적인 특성 변화를 고찰하고자 하였다.

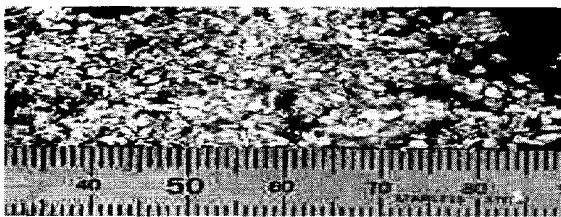
본 실험에 사용한 페스티로폼의 가공 형태는 Fig. 1에 나타낸 것과 같이 3~5 mm 정도의 크기를 가진 비교적 둥근 형태를 유지하고 있는 것(Type A)과 1~2 mm 정도의 크기로 일정한 형태를 나타내지 않는 모가 난 형태의 것(Type B)으로 그 물리적 성질은 Table 1과 같다.

#### 2.1.3 기포제

기포제는 국내 S사에서 생산되는 동물성 단백질계 기



<Type A>



<Type B>

Fig. 1 Shape and mixture state of W-EPS

Table 4 Experimental factors and levels

Item	Shape of W-EPS	Cement content (kg/m <sup>3</sup> )	W/C (%)	Mixing ratio of W-EPS (%)	Dilution ratio of agent (%)
Factor	Type A, Type B	280, 320	60	0, 20, 40, 60, 80, 100	2.5
Level	2	2	1	6	1
Symbol	A, B	a, b	-	1,2,3,4,5,6	-

포제로 다른 기포제에 비하여 탄력이 좋고 발생된 기포의 안정성도 우수하여 많이 사용되고 있으며, 그 물리적 성질 및 화학적 성분은 Table 2, 3과 같다.

### 2.2 배합계획

본 연구는 선행 연구결과를 바탕으로 현장 시공업체에 서 주로 사용하고 있는 배합의 범위에서 이루어지도록 배합계획을 결정하였으며, 단위시멘트량을 280, 320 kg/m<sup>3</sup>의 2개 수준으로 하고, 물시멘트비는 60%로 하였다.

페스티로폼은 두 가지 타입별로 동일하게 기포콘크리트 전체의 용적에서 20%단위로 기포의 용적에 대체하여 혼합하는 방법으로 페스티로폼을 혼합하지 않은 배합으로부터 기포의 용적을 페스티로폼으로 100%대체한 것까지 단계적으로 혼합량을 증가시킨 6수준으로 실험을 진행하였다.

기포제의 회석비율은 제조회사의 시방과 시험비율을 통하여 물과의 회석비가 2.5%가 되도록 하여 사용하였으며, 기포발생기를 통해 발생된 기포의 상태가 균일하도록 하였다<sup>6)</sup>. 배합인자 및 수준은 Table 4와 같다.

### 2.3 실험방법

#### 2.3.1 기포콘크리트의 제조

페스티로폼을 혼합한 경량기포콘크리트는 Fig. 2와 같이

Table 1 Physical properties of W-EPS

Density (g/cm <sup>3</sup> )	Thermal condition (kcal/mh °C)	Absorption (%)
0.033	0.03	0.3

Table 2 Physical properties of animal protein foaming agent

Color	Viscosity (CPS)	pH	Sulfate (%)	Freezing point (°C)	Specific gravity
Dark brown	20~50	7	0.01~0.1	-18	1.2~1.26

Table 3 Chemical ingredients of animal protein foaming agent (%)

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

이 시멘트와 물을 믹서에 투입하여 1차 혼합한 슬러리를 제조하고, 기포희석액을 기포발생기를 통하여 설정된 범위에 적합하도록 기포를 발생시킨 후, 제조된 기포와 페스티로폼을 혼합된 시멘트 슬러리에 혼입하여 균일하게 혼합되도록 약 2분간 강제식 믹서를 이용하여 혼합하였다.

### 2.3.2 측정항목

혼합이 완료된 기포콘크리트에 대하여 KS F 4039에 따

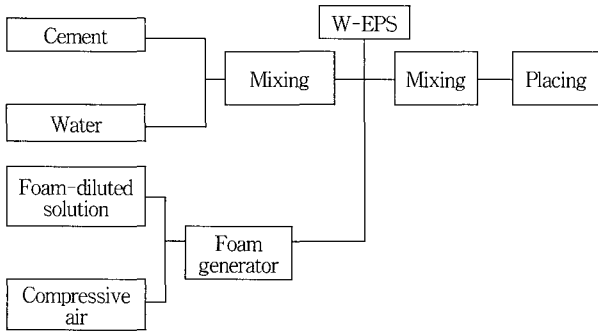


Fig. 2 Manufacture process of foamed concrete

Table 5 Test results

Specimen	Shape of W-EPS	Cement content (kg/m <sup>3</sup> )	W/C (%)	W-EPS (%)	Gravity of slurry	Flow (mm)	Bulk specific gravity	Absorption (%)	Comp. strength (kgf/cm <sup>2</sup> )		Thermal conductivity (kcal/mh °C)	
									7 days	28 days		
A-a-1	Type A	280	60	0	0.47	236	0.44	41.8	3.8	8.0	0.089	
A-a-2				20	0.46	235	0.41	25.0	4.5	7.5	0.081	
A-a-3				40	0.45	225	0.37	12.9	5.1	8.7	0.079	
A-a-4				60	0.44	180	0.36	14.8	5.2	8.4	0.075	
A-a-5				80	0.43	102	0.37	11.3	5.1	7.6	0.075	
A-a-6				100	0.41	80	0.38	14.3	2.7	4.3	0.077	
A-b-1		320		320	0	0.53	252	0.44	37.8	5.9	9.2	0.088
A-b-2					20	0.49	242	0.41	25.9	6.9	10.8	0.083
A-b-3					40	0.50	218	0.39	16.4	6.8	11.5	0.078
A-b-4					60	0.47	173	0.38	13.2	5.6	12.4	0.074
A-b-5					80	0.46	105	0.39	12.8	5.4	8.5	0.073
A-b-6					100	0.43	80	0.36	12.2	3.0	6.1	0.080
B-a-1	Type B	280	60	0	0.48	232	0.44	41.9	4.0	9.6	0.086	
B-a-2				20	0.46	215	0.48	35.1	8.4	11.4	0.085	
B-a-3				40	0.46	188	0.48	29.6	11.1	14.3	0.082	
B-a-4				60	0.43	135	0.46	19.8	10.9	17.9	0.084	
B-a-5				80	0.44	96	0.48	17.1	9.7	17.5	0.079	
B-a-6				100	0.42	80	0.49	17.8	9.3	16.3	0.081	
B-b-1		320		320	0	0.52	264	0.46	39.1	5.8	9.6	0.086
B-b-2					20	0.49	226	0.50	29.6	9.7	16.7	0.083
B-b-3					40	0.50	172	0.48	18.3	12.7	19.5	0.082
B-b-4					60	0.49	123	0.53	16.7	12.5	22.0	0.083
B-b-5					80	0.47	80	0.51	15.9	12.5	19.2	0.086
B-b-6					100	0.45	80	0.52	13.4	11.4	17.9	0.085

라 플로우 및 기포슬러리 비중을 측정하였으며, 경화된 기포콘크리트에 대하여 KS F 2459에 따라 겉보기 비중 및 흡수율, 재령별 압축강도를 측정하였다. 압축강도의 측정 재령은 7일, 28일로 2회에 걸쳐 측정하였다. 또한 KS L 9016에 의한 열전도율을 측정하여 페스티로폼의 가공형태 및 혼입율에 따른 단열성능을 고찰하고자 하였다.

## 3. 실험결과 및 분석

페스티로폼의 가공형태를 달리하여 혼입한 기포콘크리트에 대한 일련의 실험을 통하여 Table 5와 같은 결과를 도출하였으며, 각각의 실험 및 분석결과는 다음과 같다.

### 3.1 플로우

플로우값은 Fig. 3에서와 같이 80~264 mm의 범위를 나타내었으며, 페스티로폼의 혼입율이 증가할수록 플로우값이 급속하게 저하하는 경향을 나타내었다.

페스티로폼의 혼입량이 증가할수록 시멘트슬러리와

점착력이 증가하고 기포를 대체하여 혼입하였으므로 상대적으로 기포의 양이 줄어들어 유동성에 좋지 않은 영향을 미치기 때문에 플로값이 급격히 저하하는 것으로 판단된다.

페스티로폼의 가공형태에 따라서는 Type A를 혼입하였을 경우가 Type B를 혼입하였을 경우보다 양호한 유동성을 나타내었으며, KS F 4039에 제시되어 있는 플로값 180 mm 이상의 규정에도 Type A의 경우 혼입을 60%까지, Type B의 경우 40%까지 만족하는 것으로 나타났다.

Type B의 경우 Type A의 경우보다 크기가 작아 시멘트슬러리와 부착면이 넓고 슬러리내에서의 저항도 상대적으로 크기 때문에 유동성이 저하하는 것으로 판단된다.

따라서 현장에서의 기포콘크리트 제조시에는 요구되는 성능 및 반입된 재료의 형태에 따라 이와 같은 유동특성을 고려하여 배합설계에 반영해야 하며, 시방에 맞는 페스티로폼의 가공형태를 공장과 사전에 협의하여 품질관리에 만전을 기할 필요가 있을 것으로 판단된다.

### 3.2 겉보기 비중

겉보기 비중의 범위는 Fig. 4에서와 같이 0.36~0.53의 범위를 나타내었다. 단위시멘트량이 증가할수록 겉보기 비중도 증가하는 것으로 나타났으나, 페스티로폼의 혼입율이 증가함에 따라서는 가공형태에 따라 서로 상이한 결과를 나타내었다. Fig. 4에서와 같이 Type A를 혼입한 경우는 혼입율이 증가할수록 저하하는 경향을 나타내었으나, Type B의 경우는 혼입율이 증가함에 따라 겉보기 비중도 증가하는 경향을 나타내었다.

Type A의 경우에는 페스티로폼의 혼입량이 증가할수록 상대적으로 기포의 양이 줄어들어 공시체의 성형중이나 양생중에 나타나는 기포의 소포현상이 감소되는데 기인하는 것이며, 기포슬러리 내부에 페스티로폼이 존재함으로써 기포군의 부착력이 증가하여 기포 도입시의 미세한 기포조직이 기포콘크리트의 초기 강도발현 시점까지 안정적으로 유지되었기 때문으로 판단된다.

반면, 기포의 혼입량이 증가할 경우 비례적으로 기포의 소포작용이 일어날 수 있는 확률이 크게 되고, 소포가 되면 공극으로 존재해야 할 부분이 시멘트슬러리로 채워지므로 겉보기 비중이 증가하게 된다.

그러나 Type B를 혼입한 경우에는 혼입량이 증가할수록 겉보기 비중이 증가하는 경향을 나타내는데, 이것은 페스티로폼의 입도가 작고 형상이 불규칙하며 모가난 형태를 가지므로 기포와 혼합하는 과정에서 Type A의 경우보다 기포의 소포량이 증가하기 때문인 것으로 판단된다.

이러한 현상은 비빔이 끝난 직후의 기포슬러리 비중과 겉보기 비중을 비교한 Fig. 5에 나타나는 바와 같이 Type A의 경우는 페스티로폼의 혼입량의 증가에 따라 두 값이

모두 감소하는 경향을 보였지만 Type B의 경우에는 기포슬러리 비중은 감소하였지만 겉보기 비중은 오히려 증가하는 경향을 나타내고 있다.

따라서, 현장 시공시에 페스티로폼의 형태에 따른 영향을 고려하여 기포의 투입량을 보정하는 등의 조치를 취하는 것이 현장 품질관리에 효과적인 것이다.

### 3.3 흡수율

본 연구에서 나타난 흡수율의 범위는 Type A의 경우 단위시멘트량에 따라 11.3~41.8%, Type B의 경우 13.4~41.9%의 범위를 나타내어 페스티로폼의 혼입율이 증가할수록 흡수율이 현저하게 감소하는 것으로 나타났다. 이것은 선행 연구결과와 유사한 경향으로 페스티로폼을 적당량 혼입함으로써 기포콘크리트의 문제점인 높은 흡수율을 효과적으로 개선시킬 수 있음을 보여주고 있다고 할 수 있다.

페스티로폼의 가공형태에 따라서는 Fig. 6에서와 같이 같은 배합조건에서 Type A를 혼입했을 경우가 Type B를 혼입하는 경우보다 낮은값을 나타내었으나 흡수율 개선이라는 측면에서는 서로 유사한 경향을 나타내었다고 할 수 있다. 특히 혼입을 40%까지는 급속한 흡수율 저하를 보이

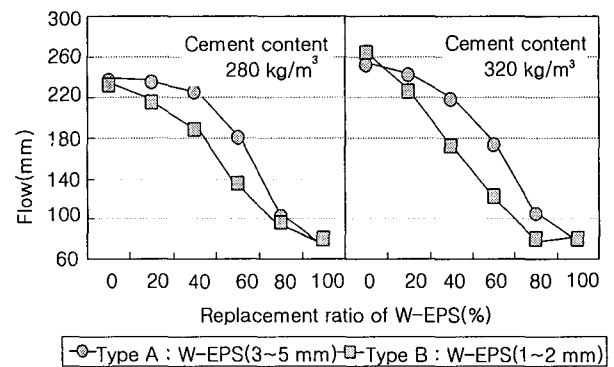


Fig. 3 Flow values vs. the replacement of W-EPS

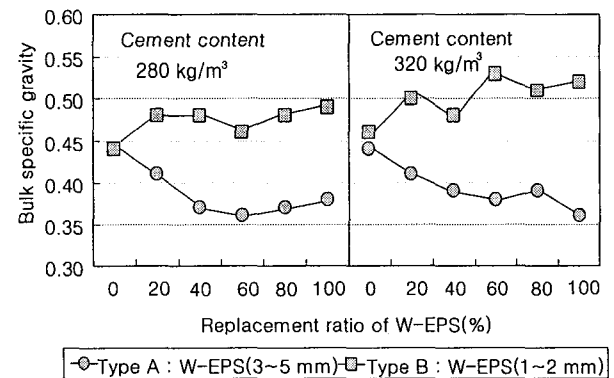


Fig. 4 Bulk specific gravity vs. the replacement ratio of W-EPS

나 그 이상의 혼입율에서는 감소 정도가 미미하였다.

### 3.4 압축강도

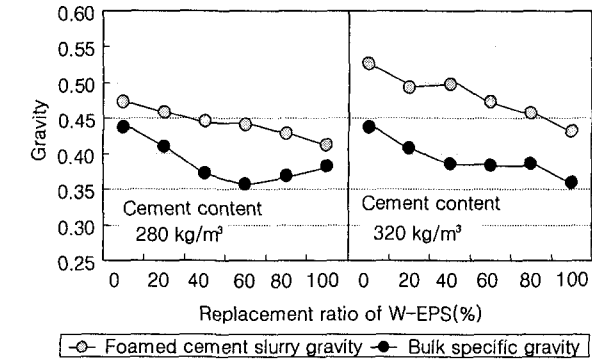
페스티로폼의 가공형태를 달리하여 혼입한 기포콘크리트의 재령 7일과 28일의 압축강도는 혼입율에 따라 Type A의 경우 재령 7일에서 2.7~6.9 kgf/cm<sup>2</sup>, 재령 28일의 경우 4.3~12.4 kgf/cm<sup>2</sup>의 범위를 나타내었고, Type B의 경우 재령 7일에서 8.4~12.7 kgf/cm<sup>2</sup>, 재령 28일에서 11.4~

22.0 kgf/cm<sup>2</sup>의 범위를 나타내어 전체적으로 Type B의 경우가 높은 압축강도를 나타내었다.

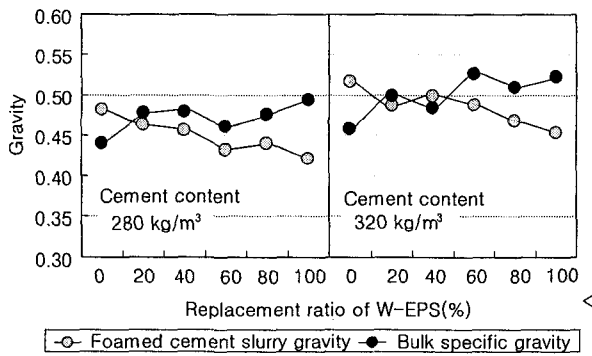
#### 3.4.1 페스티로폼 혼입율에 따른 압축강도

Fig. 7에서 보는 바와 같이 페스티로폼의 혼입율이 증가할수록 압축강도도 증가하는 경향을 나타내었으나, 혼입율이 60%이상으로 그 양이 많아지면 오히려 강도가 감소하는 것으로 나타나 압축강도를 증진시킬 수 있는 최적의 혼입량이 존재함을 나타내었다. 이와 같은 현상은 선행 연구를 통하여 밝혀진 기포 대체 혼입율 40%까지의 압축강도 증가 현상과 맥락을 같이 하는 것으로 혼입량이 많아질수록 상대적으로 기포의 양이 줄어들고, 줄어든 기포의 양만큼을 페스티로폼이 차지하여 경화후의 기포공극의 감소에 기인하는 결과로 판단되며, 페스티로폼 자체의 내충격성과 페스티로폼의 표면과 기포슬러리와와의 부착력 증진에도 그 원인이 있는 것으로 보인다.

Fig. 8은 가공형태별 페스티로폼의 혼입율에 따른 경화한 기포콘크리트의 단면 형상을 보여주는 것으로 Type A의 경우 혼입율 60%까지는 무혼입에 비하여 기포의 조직



<Type A>



<Type B>

Fig. 5 The gravity vs. replacement ratio of W-EPS

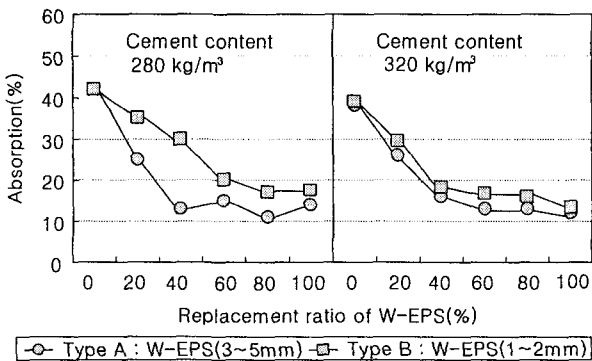
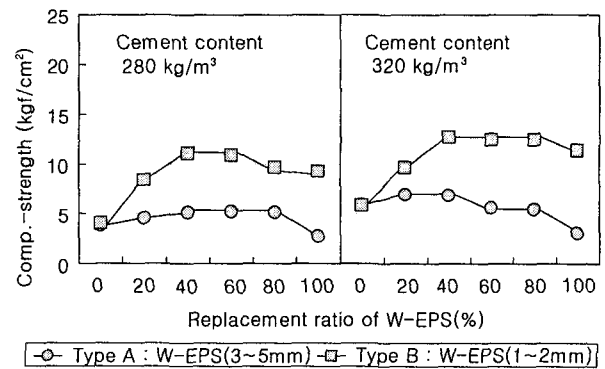
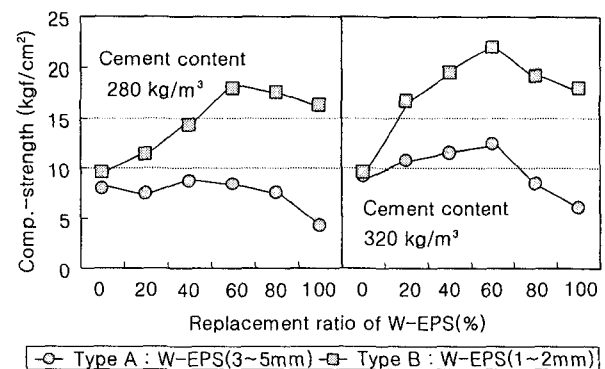


Fig. 6 The absorption ratio vs. replacement ratio of W-EPS



<Curing time : 7 days>



<Curing time : 28 days>

Fig. 7 The compressive strength vs. replacement ratio of W-EPS

이 조밀하고 페스티로폼도 잘 분산되어 있는 것을 볼 수 있으나, 그 이상의 혼입율에서는 기포제에 의해 연행된 공

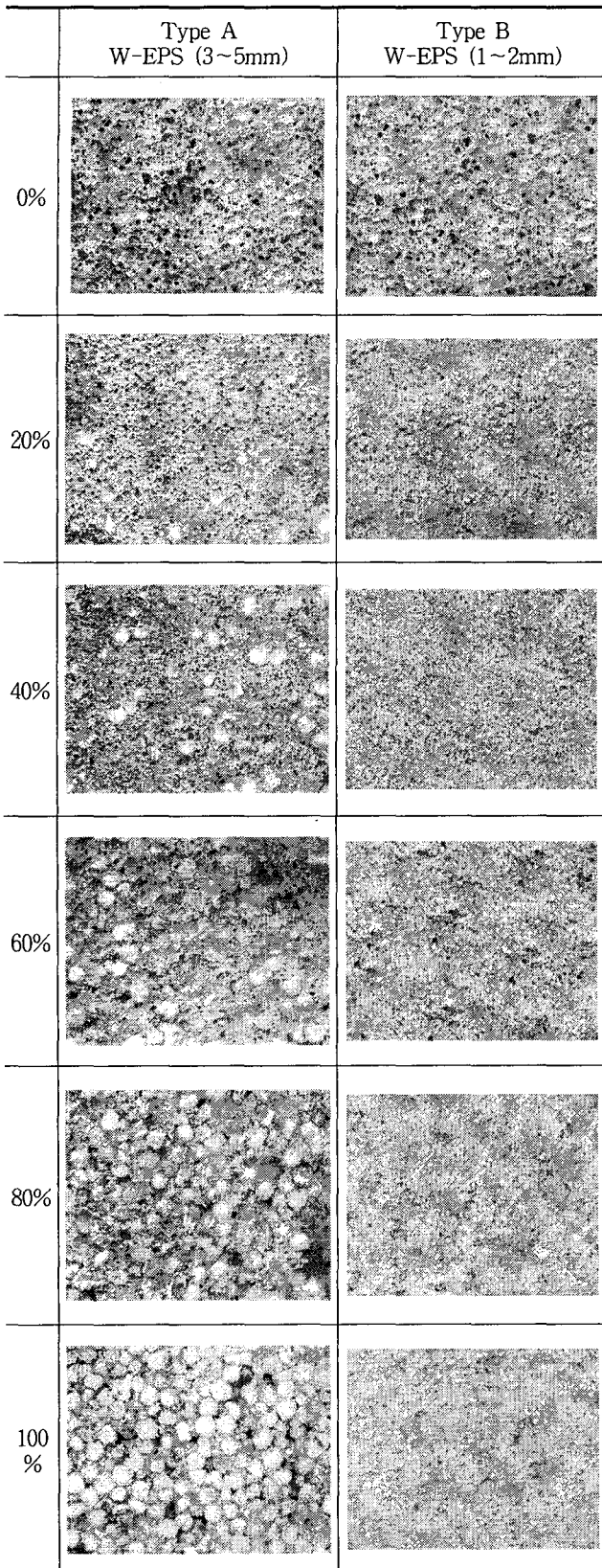


Fig. 8 Section shape of W-EPS

극이 거의 보이지 않음을 알 수 있다.

또한 Type B의 경우에는 혼입율이 증가할수록 Type A의 경우보다 연행된 기포의 크기가 더욱 작고 조밀하여 위와 같은 높은 압축강도를 발현하는 것으로 판단된다. 이러한 현상으로 미루어 볼 때, 페스티로폼을 혼입한 기포 콘크리트의 최적의 압축강도는 혼합한 기포에 의해 생성되는 미세한 독립기포와 페스티로폼이 적절하게 혼합되어 있을 경우에 발현되는 것으로 볼 수 있으며, 향후 이러한 기포공극의 크기나 분포형태에 따른 압축강도와의 연관성을 밝힐 수 있는 연구가 진행되어야 할 것으로 판단된다.

### 3.4.2 페스티로폼의 가공형태에 따른 압축강도

페스티로폼의 형태에 따라서는 Type B와 같은 분쇄한 페스티로폼을 혼입한 경우에 높은 압축강도를 발현하는 것으로 나타났다. 배합에 따라서는 최소 15배에서 최대 23배까지 증가하는 것으로 조사되었으며, 페스티로폼의 혼입율이 증가할수록 증진율이 커지는 경향을 나타내었다.

Fig. 9는 페스티로폼의 형태에 따른 재령 28일 압축강도를 막대그래프로 표현하고, 같은 배합에서 높은 압축강도를 나타내는 Type B의 페스티로폼을 사용했을 경우의 압축강도를 100%로 보았을 때의 Type A의 페스티로폼을 사용한 경우의 압축강도 발현율을 꺾은선 그래프로 표현한 것으로 혼입율이 높아질수록 압축강도의 차이도 크게 벌어짐을 알 수 있다.

따라서 입자가 큰 형태의 페스티로폼보다는 입자의 크기를 작게 분쇄하여 사용하는 것이 높은 압축강도의 발현에 유리한 것으로 판단된다. 이러한 현상은 페스티로폼을 작게 분쇄할 경우 시멘트슬러리와 접착면이 증가함에 따라 페스티로폼의 부착강도가 증가하며, Type A의 경우와 같이 입자가 비교적 클 경우에 자체의 압축강도 저항성이 매우 낮아지는 것을 방지할 수 있기 때문으로 판단된다.

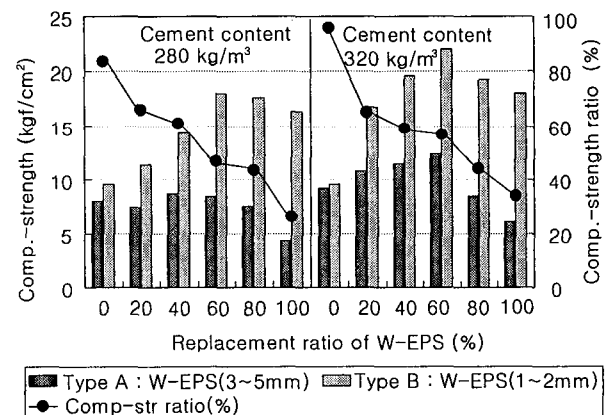


Fig. 9 Compressive strength and ratio vs. shape of W-EPS

이러한 현상은 앞에서 살펴본 플로우값의 변화에서도 알 수 있는 것으로 페스티로폼을 작게 가공할수록 표면적이 증대하고, 페스티로폼 표면과 기포슬러리와와의 마찰저항이 증가되므로 플로우값이 더욱 저하되기 때문인 것으로 사료된다.

### 3.4.3 단위시멘트량에 따른 압축강도

Fig. 10에서 보듯이 단위시멘트량이 증가하면 압축강도도 증가하는 경향을 나타내었으며, 이는 결합제인 단위시멘트량이 증가하면서 경량기포콘크리트의 기포율이 감소하는데 따른 것으로 일반적인 기포콘크리트의 특성과 일치하는 경향을 나타낸다<sup>7-8)</sup>.

단위시멘트량이 280 kg/m<sup>3</sup>에서 320 kg/m<sup>3</sup>으로 증가함에 따라 재령 28일의 경우 평균 26%의 압축강도가 증가하는 것으로 조사되었다.

### 3.4.4 겔보기 비중과 압축강도

경량기포콘크리트의 겔보기 비중은 압축강도와 매우 밀접한 상관성이 있는 항목으로 간주되고 있으며, 본 실험에서도 전체적으로는 Fig. 11에 보는 바와 같이 비례적인 관계가 성립하는 것으로 나타났다.

그러나 페스티로폼의 가공형태에 따라서는 Fig. 12에 나타난 것같이 Type A의 경우는 대체율이 60%까지는 겔보기 비중이 감소하면서 압축강도는 증가하는 경향을 보이나, Type B의 경우는 겔보기 비중의 증가와 함께 압축강도도 급격히 증가하는 경향을 나타내었다. 이와 같은 현상은 앞에서 언급한 바와 같이 Type A의 경우 기포의 소포량이 적으면서 안정된 공극을 형성했기 때문이며, Type B의 경우는 혼입량의 증가에 따라 기포의 소포량이 증가하므로 겔보기 비중도 증가하며 압축강도의 경우도 작고 미세하게 가공하였으므로 슬러리와와의 부착력 증진과 Type A의 경우와 같은 페스티로폼 자체의 극히 낮은 압축강도의 영향을 방지할 수 있으므로 결과적으로 높은 압축강도가 발현된 것으로 볼 수 있다.

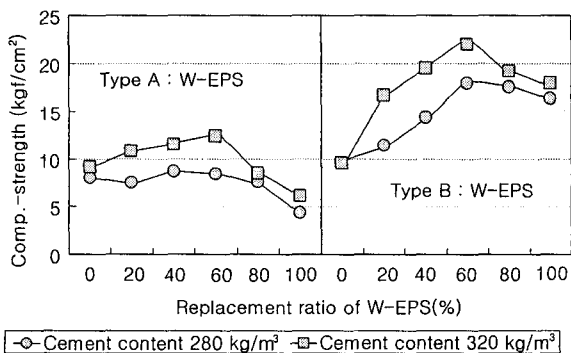


Fig. 10 Compressive strength vs. cement content

Type A의 경우 KS F 4039에 따르면 무혼입과 100% 대체한 배합을 제외하면 0.4품의 성능을 만족하고 있으며, Type B의 경우도 혼입량에 따라 0.5품의 성능을 대부분 만족하고 있는 것으로 나타났다.

### 3.4.5 재령에 따른 압축강도

Fig. 13과 같이 재령별 압축강도의 경우 페스티로폼의 가공 형태에 따라 Type A를 사용했을 경우 재령 7일에서 2.7~6.9 kgf/cm<sup>2</sup>, 재령 28일에서 4.3~12.4 kgf/cm<sup>2</sup>의 범위를 나타내었으며, Type B를 사용했을 경우 재령 7일에서 4.0~12.7 kgf/cm<sup>2</sup>, 재령 28일에서 9.6~22.0 kgf/cm<sup>2</sup>의 범

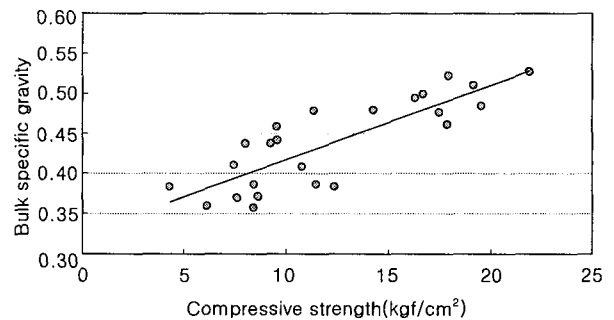
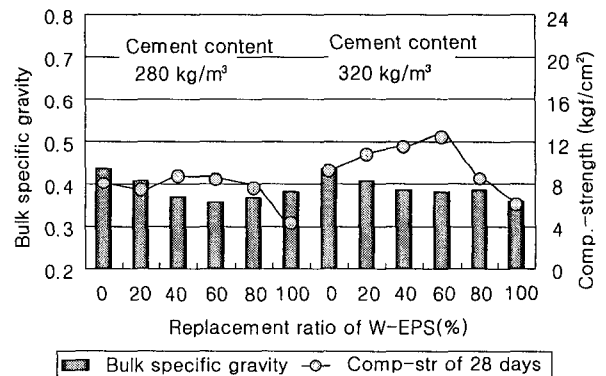
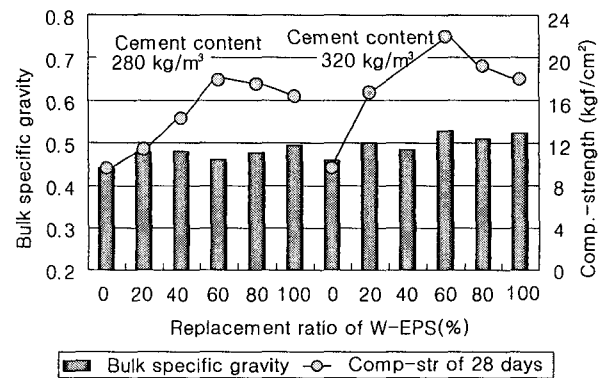


Fig. 11 Bulk specific gravity vs. replacement ratio of W-EPS



<Type A>



<Type B>

Fig. 12 Bulk specific gravity and compressive strength us, replacement ratio of W-EPS

위를 나타내었다.

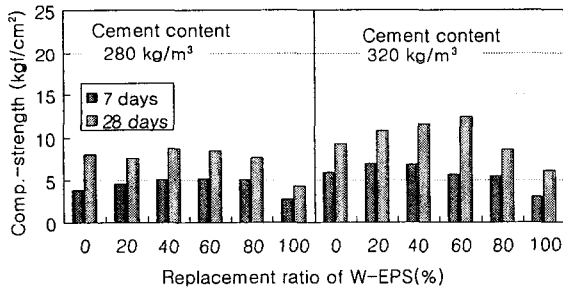
또한 재령 28일 압축강도에 대한 재령 7일 압축강도의 발현율은 등근형태의 페스티로폼을 사용했을 경우 평균 58 %, 분쇄한 페스티로폼을 사용했을 경우 평균 61 %로 조사되었다.

### 3.5 열전도율

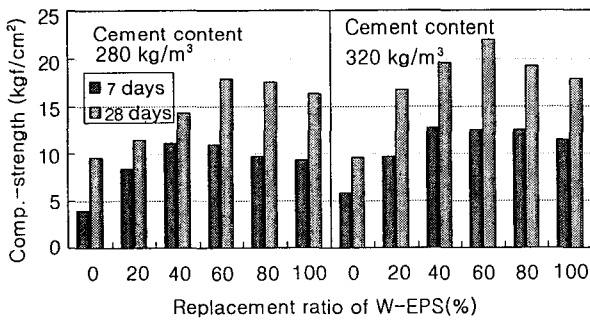
페스티로폼을 사용한 기포콘크리트의 단열특성을 파악하기 위하여 열전도율 시험을 실시한 결과 Type A의 페스티로폼을 사용한 경우 단위시멘트량에 따라 0.073~0.089 kcal/mh°C의 범위를 나타내었으며, Type B의 페스티로폼을 사용한 경우 단위시멘트량에 따라 0.079~0.086 kcal/mh°C의 범위를 나타내었다.

페스티로폼 혼입율에 따라서는 Fig. 14에서 보는바와 같이 혼입율이 증가할수록 감소하는 경향을 나타내다가, 혼입율 40~60%정도 이후에서는 오히려 다시 증가하는 경향을 보였다. 따라서 본 실험 결과 페스티로폼의 혼입율을 60%정도까지 혼입하는 것은 단열성능을 향상시킬 수 있으나 그 이상의 혼입량일 경우에는 단열특성 뿐만 아니라 시공성이나 마감성능 등을 고려하여 배합량을 결정하는 것이 효과적일 것으로 판단된다.

또한 페스티로폼의 형태에 따라서는 같은 배합에서 Type B의 경우보다 Type A의 경우가 낮은 열전도율값을 나타내었으며, 이는 Fig. 15에서의 겉보기 비중과 열전도



<Type A>



<Type B>

Fig. 13 Compressive strength at age of 7 and 28days

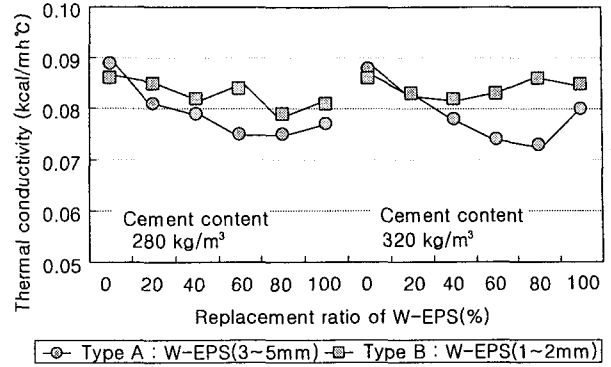


Fig. 14 Thermal conductivity vs. replacement ratio of W-EPS

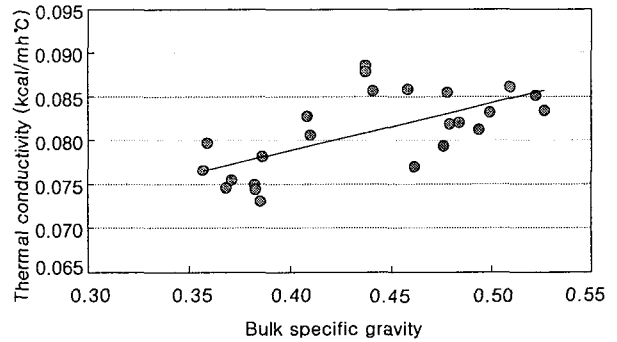


Fig. 15 Thermal conductivity vs. bulk specific gravity

율과의 비례적인 관계에서 보여지듯이 분쇄한 페스티로폼을 혼입할 경우 겉보기 비중이 증가하여 열전도율과 밀접한 관련이 있는 재료의 밀도가 높아지기 때문인 것으로 판단된다.

따라서 Type B와 같은 형태의 페스티로폼을 사용할 경우에는 겉보기 비중과 압축강도 측면에서 효과적이며, Type A와 같은 형태의 페스티로폼을 사용할 경우에는 플로우나 단열성 측면에서 유리하므로 사용 용도에 따라 그 형태를 분류하여 활용하는 것이 효과적이라고 할 수 있다.

## 4. 결 론

페스티로폼의 가공형태를 달리하여 혼입한 경량기포콘크리트의 물리적 특성에 관한 실험을 진행한 결과, 다음과 같은 결과를 도출하였다.

- 1) 페스티로폼의 혼입율이 증가할수록 플로우값이 저하하는 경향을 나타내었으며, 가공형태에 따라서는 1~2mm로 파쇄한 Type B의 경우가 3~5mm의 크기로 가공한 Type A를 혼입하였을 경우보다 감소율이 큰 것으로 나타났다. KS F 4039에 제시된 플로우값은 180mm이상으로 혼입율 60%까지 만족하는 것으로 나타났다.



2) 흡수율은 12~42 %의 범위로 페스티로폼의 혼입율이 증가할수록 흡수율이 현저하게 감소하는 것으로 나타났다. 페스티로폼의 가공형태에 따라서는 Type A의 경우가 흡수율 감소에 더욱 효과적인 것으로 나타났다.

3) 겉보기 비중은 0.36~0.53의 범위로 단위시멘트량이 증가할수록 증가하는 것으로 나타났다. 그러나 페스티로폼의 가공형태에 따라서는 Type A의 경우 혼입율이 증가할수록 약간씩 저하하는 경향을 나타내었으나, Type B의 경우 혼입을 증가에 따라 증가하는 경향을 나타내었다.

4) 페스티로폼의 혼입율에 따른 압축강도는 혼입율 60 %까지는 혼입을 증가에 따라 압축강도도 증가하였으나, 그 이상의 혼입율에서는 오히려 강도가 감소하는 것으로 나타났다. 따라서 최적의 압축강도를 나타내는 혼입율의 범위가 존재하는 것으로 보이며, 다른 물리적 특성을 고려하여 혼입율을 결정해야 할 것으로 판단된다.

5) 페스티로폼의 가공형태에 따른 압축강도의 경우 Type B의 것이 압축강도 증진에 더욱 효과적인 것으로 나타났다. 페스티로폼의 입경을 작게 분쇄할 경우 시멘트 슬러리와외의 접촉면이 증가하고, 스티로폼 자체의 낮은 강도의 영향을 감소시킬 수 있기 때문으로 판단된다.

6) 열전도율의 경우에는 혼입율 40~60 %의 범위까지는 열전도율이 낮아지나, 그 이상 혼입할 경우에는 오히려 높아지는 결과를 나타내었다. 따라서 단열특성 및 시공성, 경제성 등을 종합적으로 고려하여 용도에 맞는 배합을 선택하는 것이 효과적인 것으로 사료된다.

이상과 같은 결과를 종합할 때, 본 연구의 범위에서 Type A의 경우 혼입율 60%까지, Type B의 경우 혼입율 40%까지 혼입할 경우 KS F 4039의 규정을 만족할 수 있는 것으로 나타났다.

## 참고문헌

1. 건설교통부, "경량기포콘크리트 재료개발 연구," 1996.
2. 대한주택공사, "온돌채움용 경량기포콘크리트의 품질관리 방안 개선 연구," 1999.
3. 이도현외 2인, "플라이애쉬를 혼입한 현장타설 경량기포콘크리트의 물리적 특성 및 품질관리," 한국콘크리트학회 논문집, 제13권 1호, 2001, pp.69~76.
4. 한국 발포폴리스티렌 재활용협회, "스티로폼 포장재와 재활용에 대하여," 1999.
5. 오세출외 3인, "페스티로폼을 혼입한 경량기포콘크리트의 역학적 특성," 한국콘크리트학회 논문집, 제13권 3호, 2001, pp.285~293.
6. ASTM C 796-87, "Standard Test Method for Foaming Agents Use in Producing Cellular Using Preformed Foam."
7. 구해식, "경량기포콘크리트의 압축강도에 관한 실험적 연구," 대한건축학회 논문집, 제14권 1호, 1998, pp.383~390.
8. 박상순, "고분자 기포제를 이용한 기포콘크리트의 개발과 역학적 특성," 연세대학교 대학원 석사학위논문, 1996.

## 요 약

본 연구는 기존 경량기포콘크리트의 문제점 및 역학적 성질의 개선을 위하여 산업폐기물인 페스티로폼의 가공형태를 달리하여 기포콘크리트를 제조하고 그 역학적 특성의 변화를 구명해 봄으로써 현장타설 기포콘크리트의 효과적인 품질관리를 위한 자료를 제공하고, 현장 작업자에게 필요한 실험값을 제공하는 것을 목적으로 한다. 페스티로폼은 지름이 3~5 mm의 둥근형태를 유지한 것(Type A)과 1~2mm의 작게 파쇄한 것(Type B)을 사용하여 그 역학적 특성 변화를 고찰하였으며, 연구결과 Type A의 경우 흡수율의 개선과 경량성 및 단열성 향상에 유리한 것으로 나타났으며, Type B의 경우는 높은 압축강도를 나타내나 겉보기 비중이 증가하고 Type A에 비하여 플로우, 흡수율, 단열성에서 Type A보다 낮은 성능을 나타냈다.

그러나 이러한 결과로부터 페스티로폼의 가공형태에 따른 것으로 페스티로폼을 사용하지 않은 것보다는 적당량을 혼입하여 사용하는 것이 현장타설 기포콘크리트의 물리적 성능을 향상시키는데 효과적임을 알 수 있었다.

결과적으로 페스티로폼을 사용하여 현장타설 기포콘크리트를 제조할 경우 산업폐기물의 재활용이라는 측면과 함께 보다 우수한 성능의 기포콘크리트 생산이 가능함을 확인하였다.

**핵심용어** : 현장타설 기포콘크리트, 페스티로폼, 기포율, 겉보기비중