

◎論 文

多空콘크리트의 特性에 관한 實驗的 研究

玉致律 * · 金宗周** · 玉致南***

(1990년 2월 17일 접수)

An Experimental Research on the Feature of the Porous Concrete

Chi-Youl Ok, Joung-Ju Kim, and Chi-Nam Ok

Key Words : Porous Concrete(多空콘크리트), Conventional Concrete(一般 콘크리트), Water Cement Ratio(물시멘트비), Cement Aggregate Ratio(시멘트 골재비), Compressive Strength(壓縮強度), Permeability Coefficient(透水係數), Unit Weight(單位重量)

Abstract

We experimented the physical property of the porous concrete by changing the water cement ratio, when the aggregate ratios are 1 : 5 and 1 : 7 separately.

And then we received the results as follows.

The bigger, the coarse grading of the porous concrete is, the more sensitive to the water cement ratio, the porous concrete becomes.

And if we think over its compressive strength, the coarse aggregate which has 5~15mm width is most appropriate.

So we concluded that when its compressive strength, permeability coefficient and its unit weight are $50kg/cm^2$ $3cm/sec$ and $1900kg/m^3$ respectively, the water cement ratio which has 35~37% width is most appropriate, too.

And its compressive strength and unit weight show that they are about a quarter and three quarters respectively about the conventional concrete.

* 정희원, 밀양농업전문대학 농업토목과

** 경남전문대학 토목과

*** 근대기술단 기술이사

1. 緒 論

各種 建設事業에 있어서 構造材料의 主軸을 이루고 있는 콘크리트도 최근에는 특수한 目的과 다양한 用途의 構造物의 必要性이 증대됨에 따라 이러한 目的에 符合할 뿐만 아니라 경제적이며 輕量化된 콘크리트가 계속 개발되고 있다. 이러한 특수콘크리트도 대부분 一般콘크리트의 特徵인 높은 強度, 耐久性, 水密性등에 關點을 두고 研究되어 왔다. 그러나 높이가 낮은 옹벽 및 排水를 必要로 하는 側溝, 돌제와 같은 해양구조물, 보, 물막이와 같은 하천구조물의 경우에는 一般콘크리트의 諸特徵이 요구되기 보다는 그 構造物이 파괴되지 않을 정도의 抵強度에 다른 材料의 절약과 경제성, 透水路에 의한 水壓과 土壓의 減少效果가 오히려 더 바람직하다.

이와같은 目的에 적당하다고 판단되는 콘크리트로서는 cellular concrete¹⁾, 氣泡콘크리트²⁾, 多空콘크리트(no-fine concrete)^{3) 4)} 등을 들 수 있으나 이 중에서 그 製造方法이 비교적 간단하며 별도의 특수시설 및 처리가 必要치 않아 現場에서의 活用도가 높고 잔골재를 使用하지 않기 때문에 天然資源을 보존할 수 있다는 측면에서 유리한 多空콘크리트의 特性을 糾明하고자 한다.

多空콘크리트는 1940년대 부터 研究가 시작되었으며 최초의 研究者 Petersen⁵⁾은 시멘트와 굵은 골재 粒度와의 關係 및 附着力을 糾明하였다. Boyd⁶⁾는 壓縮과 引張 및 비틀림 強度에 대해서, Sidwell⁷⁾은 장기간의 強度特性과 骨材의 種類에 따른 壓縮 強度를 조사하였다. 이로써 多空콘크리트가 뼈대 및 벽체구조물에 적용될 수 있는 길이 열렸으며 1950년대에는 5층 건물이 施工되었다.

Ashton과 Bigmore⁸⁾는 多空콘크리트 벽체의 耐火性 試驗을 행하였고 Simms⁹⁾는 철근콘크리트 프레임(frame)을 채운 판넬(panel)의 거동을 研究하였다. Short와 Kinniburgh¹⁰⁾는 흡수율, 單位重量, 건조수축에 대해 Neville¹¹⁾은 彈性係數와 열전도율을 조사하였으며 Malhotra¹²⁾는 물시멘트비(W/C)에 따른 동결융해의 기계적 성질을 糾明하였다.

따라서 本 研究에서는 아직도 糾明되어 있지 않은 多空콘크리트의 물시멘트비, 시멘트골재비(C/

A)에 의한 透水係數와 骨材粒度에 따른 單位重量 및 壓縮 強度를 조사하여 이들의 相關關係를 分析하고 同一材料를 使用한 一般콘크리트와 比較하고자 한다.

2. 實驗裝置와 方法

2.1 實驗裝置

本 研究에서 使用된 壓縮 強度 試驗機具는 日本 Tokyo Testing Machine Mfg. Co. 제품인 ACR-200-50P type의 UTM과 콘크리트믹서(용량 0.1m³), 壓縮 強度 試驗用모우드(φ15cm×H30cm) 및 항온수조, 캘핑장치 등이다. 透水 試驗用 機具로서는 透水 試驗用 모우드(100cm×100cm×50cm)¹³⁾와 수조A(200cm×200cm×30cm) 및 流量測定用 수조B(150cm×150cm×130cm)이며 그 裝置는 Fig. 1과 같다.

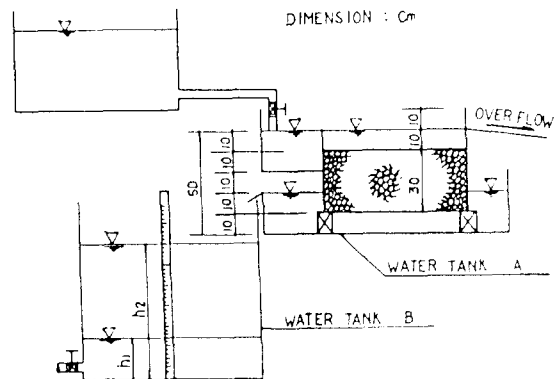


Fig. 1 Experimental apparatus of permeability test

2.2 實驗方法

2.2.1 使用材料 및 配合比

시멘트는 S사제품인 보통 포틀랜드시멘트로서 特性은 Table 1과 같다.

Table 1 Chemical composition of Portland cement

Chemical compound	Insoluble residue	SO ₃	MgO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	Glass CaO
Quantity (%)	0.65	1.86	1.97	20.21	5.68	3.02	65.98	0.63

使用骨材는 天然강자갈로서 비중 2.65이며 입도 조정된 체분석 결과는 Table 2와 같다.

Table 2 Sieve analysis of coarse aggregate

Aggregate	Sieve (mm)	Passing weight(%)
5~15mm	19	100
	16	97
	10	16
	5	3
5~25mm	30	100
	25	97
	19	15
	5	3

시멘트골재 配合比는

참고문헌 10), 12)에서 조사된 바와같이 적당한 시멘트골재비가 1:6~1:8의 범위이므로 이들의 중간값인 1:7과 약간 하향값인 1:5를 택하였다.

굵은골재 最大値數는 Canadian Standard Association¹⁴⁾에서 50mm, 25mm, 13mm로 規定하고 있으나 本研究에서는 25mm와 15mm로 제한하였으며 물시멘트비는 約 8% 정도 下向調定하여 Table 3과 같이 試驗配合한다.

Table 3 Mixing design of porous concrete

Sing of aggregate	Water cement ratio(%)	Cement aggregate ratio
5~15mm	30, 32, 35, 37, 40, 45	1:5
	30, 32, 35, 37, 40, 45	1:7
5~25mm	〃	1:5
	〃	1:7

2.2.2 壓縮強度 供試體 製作

多공콘크리트는 一般콘크리트와는 달리 시멘트의 분리를 방지하기 위하여 먼저 骨材와 물을 同時에 투입하여 骨材의 表面에 물이 充分히 묻도록 30초 정도 混合한 다음 시멘트를 투입하며 骨材의 表面에 시멘트가 均等하게 附着되도록 90초간 다

시 混合시켰다.

混合된 試料를 원주형모울드에 투입할 때는 램머(rammer)를 사용하지 않고 試料 자신의 무게와 다짐봉, 흡손등으로 가볍게 손다짐하여 다지며 특히 국부적으로 高溫度 現象이 일어나지 않도록 주의 한다. 기타 다짐의 세부사항은 KSF2405에 준한다.¹⁵⁾ 다짐이 끝난 供試體는 모울드의 상단을 흡손으로 고른 다음 습기함에서 24時間 養生後 모울드를 제거하고 캡핑(capping)을 하며 試驗前까지 21C의 溫度로 水生養生하였다.

Photo. 1은 모울드를 제거한 직후의 供試體모습이며 Photo. 2는 캡핑과정을 보여주고 있다.



Photo. 1 Specimen of porous concrete

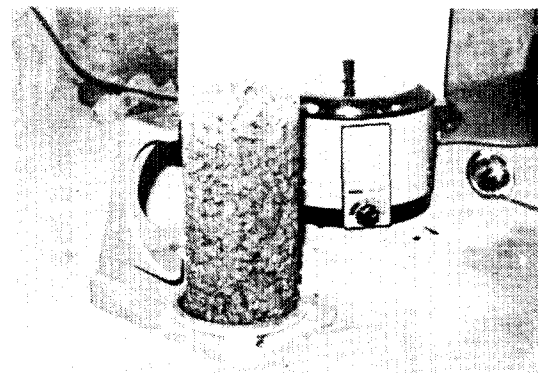


Photo. 2 Capping of specimen

2.2.3 透水試驗用 供試體 製作

壓力強度 試驗用 供試體 混合方法과 같이 充分히 混合된 試料를 모울드 低面에 附着된 넷트(NET)의 下部에 습윤상태의 合板을 깔고 試料두께가 30cm되게 10cm의 두께로 3회에 걸쳐 흙손, 다짐봉 등을 이용해 Photo. 3과 같이 고르게 다져 넣는다.

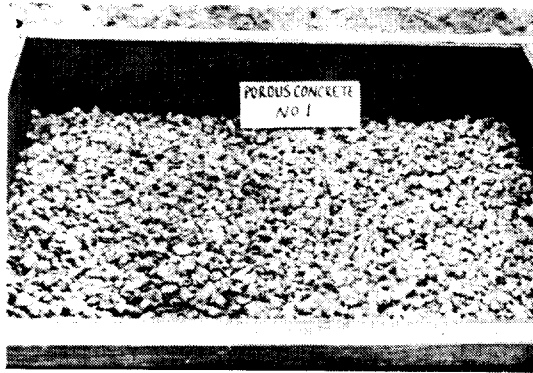


Photo. 3 Specimen for permeability test

특히 각층마다 상자주위를 손으로 충분히 눌러 流填시킨후 마감층은 흙손으로 木板이 完全히 평평하게 될 때까지 다듬질 한다. 다짐이 끝난 供試體는 24時間 濕潤布로 덮어 濕潤養生을 한후 넷트의 처짐에 의한 균열을 방지하기 위하여 下部에 깔아 놓은 合板과 함께 서서히 올린 다음 21°C의 수중에 넣어 1주일간 水中養生 하였다.

2.2.4 壓縮強度 및 透水試驗

壓力強度 試驗用 供試體는 1조당 3개를 原則으로 하여 4주 壓縮強度를 平均하며 平均值보다 ± 10% 以上の 偏差를 나타내는 것은 제외 시켰다.

多空콘크리트의 透水試驗은 Fig. 1에서 보는 바와 같이 모울드주위에 부착한 着水井에 물을 注入하여 모울드에 타설한 콘크리트 表面에서 항상 10cm의 一定한 水頭를 유지할 수 있게 모울드주위에 溢流口를 설치하고 下部수조 A의 한쪽은 모울드 低面에서 20cm의 上部에 溢流口를 설치하여 上部 모울드의 水頭와 30cm가 유지되게 한다.

수조 B의 流量測定用 수조 연직벽면에 스틸테이프(steel tape)를 수직으로 세워 透水量을 測定할 수 있도록 한다. 모울드상단의 水位와 수조 A의 水位가 一定하게 유지되었을때 수조 B의 水位를 h_1 이라하고 40초 후의 水位를 h_2 라 하면 水位差 $h_2 - h_1$ 으로 透水量을 測定하였으며 透水係數는 KSF 2322에 規定되어 있는 定水位 透水試驗方法에 準하여 算定하였다.¹⁶⁾

3. 實驗結果 및 考察

3.1 壓縮強度

壓縮強度 試驗結果는 Table 4와 같으며 굵은 골재 最大粒徑과 시멘트골재비 및 물시멘트비에 따른 壓縮強度의 關係를 圖示하면 Fig. 2~Fig. 5와 같다.

Table 4 Compressive strength of porous concrete for varying water cement and cement aggregate ratios

Size of aggregate	C/A	W/C (%)	σ_{28} (kgf/cm ²)	Size of aggregate	C/A	W/C (%)	σ_{28} (kgf/cm ²)
5~15mm	1:5	30	47	5~25mm	1:5	30	36
		32	52			32	46
		35	53			35	47
		37	50			37	43
		40	47			40	39
	1:7	45	45		1:7	45	36
		30	47			30	39
		32	50			32	43
		35	49			35	42
		37	46			37	39
	40	44		40	34		
	45	39		45	30		

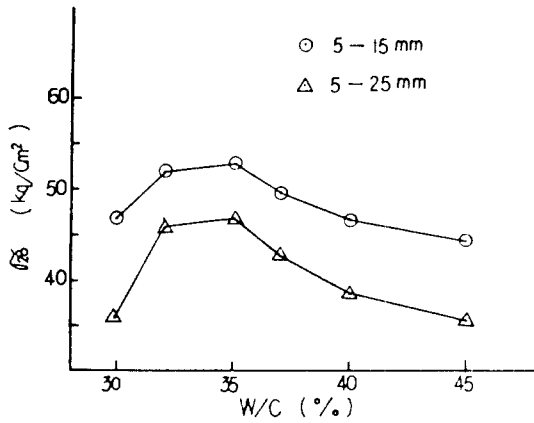


Fig. 2 Compressive strength for water cement ratios(Cement aggregate ratio 1 : 5)

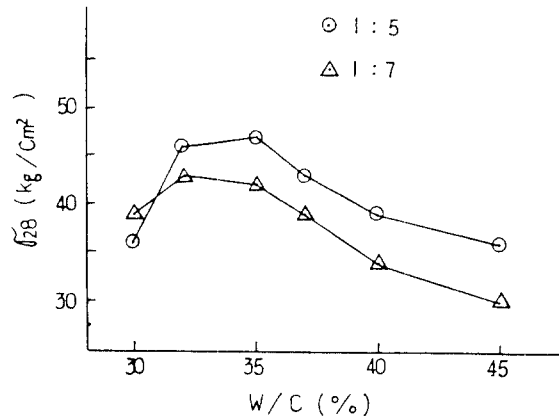


Fig. 5 Compressive strength for water cement ratios(Size of aggregate 5~25mm)

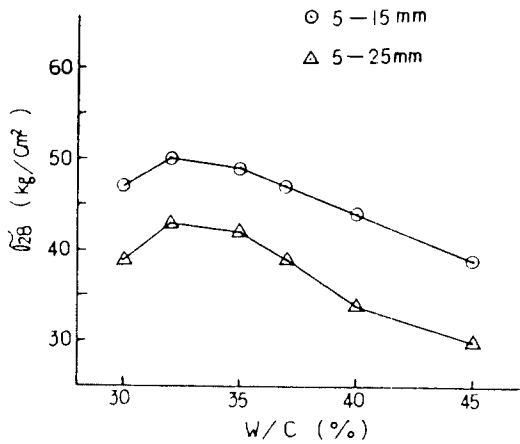


Fig. 3 Compressive strength for water cement ratios(Cement aggregate ratio 1 : 7)

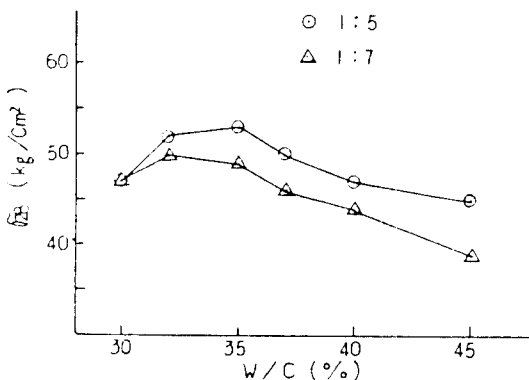


Fig. 4 Compressive strength for water cement ratios(Size of aggregate 5~15mm)

Table 4와 Fig. 2, 3에서 알수 있듯이 5~15mm의 骨材가 5~25mm의 骨材에 비해서, 시멘트골재비 1 : 5일 경우에는 6~11kg/cm², 1 : 7일 경우에는 7~10kg/cm²정도가 크므로 一般的인 觀點에서 이야기 한다면 同一한 시멘트골재비일 경우 비교적 작은 粒徑의 분포가 壓縮強度에서 유리하다고 판단된다. 이와같은 요인은 작은 粒徑일수록 공극의 크기가 작아지며 充填率이 좋아지는데 기인한다고 생각된다.

Fig. 4, 5에서 보듯이 富配合일수록 壓縮強度가 좋아진다는 예상대로 시멘트골재비 1 : 5 경우가 骨材의 最大粒徑 및 물시멘트비에 關係없이 전반적으로 壓縮強度가 크다. 그러나 물시멘트비가 30%일때 壓縮強度가 같아지거나 아니면 1 : 7일 경우가 커지는 현상은 骨材의 表面積과 作業性(workability)에 關係가 있는 것으로 판단되어 지나 확실한 原因을 규명하지 못하였으며 이에 대한 研究는 계속해 나갈 예정이다.

물시멘트비가 35%까지는 壓縮強度가 증가하다가 그 이후는 감소추세를 보이며 5~15mm 骨材의 35%, 5~25mm 骨材는 32% 일때 各各 最大壓縮強度를 나타내어 一般的인 물시멘트비의 범위 38%~52%는 다소 수정되어야 할 것으로 사료되고 粒徑이 5~25mm인 骨材가 물시멘트비에 따른 強度變化가 커, 굵은骨材 最大粒徑이 클수록 물시멘트비의 영향을 많이 받는 것으로 생각된다.

3.2 單位重量

굵은골재 最大粒徑 및 시멘트골재비에 따른 單位重量은 Table 5와 같다.

Table 5에서 알 수 있듯이 單位重量은 一般콘크리트보다 약간 가벼우며 그 범위는 1840~1913kgf/m³이다. 一般콘크리트의 單位重量을 示方書에서 규정한 값¹⁷⁾으로 사용한다면 實驗에서 구해진 多孔콘크리트의 重量은 一般콘크리트의 78~81%에 해당된다. 多孔콘크리트의 單位重量은 굵은골재 最大粒徑과 물시멘트비에 관계없이 랜덤(random)하게 變化하지만 시멘트골재비가 커질수록 單位重量은 減少하고 있다.

3.3 透水係數

透水試驗結果는 Table 6과 같으며 이를 굵은골재 最大粒徑과 시멘트골재비 및 물시멘트비에 따른 透水係數의 關係로 圖示하면 Fig. 6~Fig. 9와 같다.

一般콘크리트의 透水係數를 지배하는 最大의 要素는 물시멘트비이며 그 외에 配合의 貧富, 粗骨材의 最大値數, 다짐의 정도도 영향을 미친다.¹⁸⁾ 따라서 多孔콘크리트도 그 粗成成分이 一般콘크리트와 크게 다르지 않으므로 이러한 要因들에 影響을 받을 것으로 생각되었다.

Fig. 6, 7에서 보듯이 透水係數는 一般콘크리트

Table 5 Unit weight of porous concrete for varying water cement and cement aggregate ratios

Size of aggregate	C/A	W/C (%)	Unit weight (kgf/m ³)	Size of aggregate	C/A	W/C (%)	Unit weight (kgf/m ³)
5~15mm	1:5	30	1886	5~25mm	1:5	30	1876
		32	1887			32	1881
		35	1913			35	1896
		37	1865			37	1911
		40	1959			40	1889
		45	1857			45	1893
	1:7	30	1876		1:7	30	1874
		32	1874			32	1865
		35	1896			35	1899
		37	1854			37	1904
		40	1840			40	1872
		45	1845			45	1880

Table 6 Permeability coefficient of porous concrete for varying water cement and cement aggregate ratios

Size of aggregate	C/A	W/C (%)	Permeability coefficient (cm/sec)	Size of aggregate	C/A	W/C (%)	Permeability coefficient (cm/sec)	
5~15mm	1:5	30	3.07	5~25mm	1:7	45	2.60	
		32	3.04			1:5	32	3.28
		35	2.92				35	3.15
		37	2.80				37	2.90
		40	2.54				40	2.57
		45	2.08				45	1.71
	1:7	32	3.17		1:7		35	3.27
		35	3.07			37	3.07	
		37	3.01			40	2.84	
		40	2.86			45	2.41	

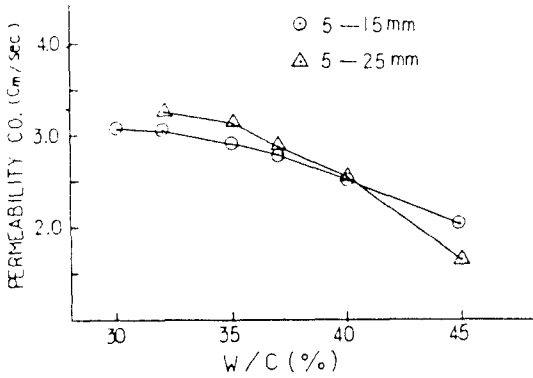


Fig. 6 Permeability coefficient for water cement ratios (Cement aggregate ratio 1 : 5)

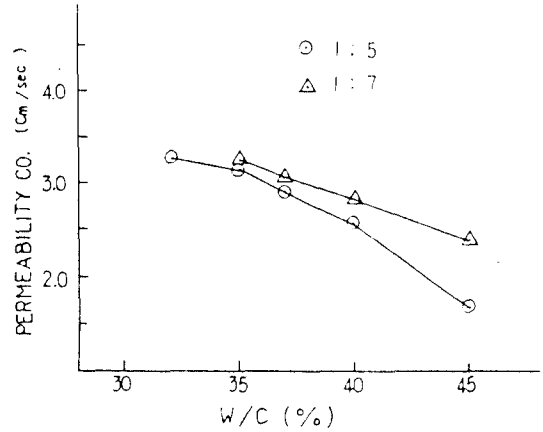


Fig. 9 Permeability coefficient for water cement ratios (Size of aggregate 5~25mm)

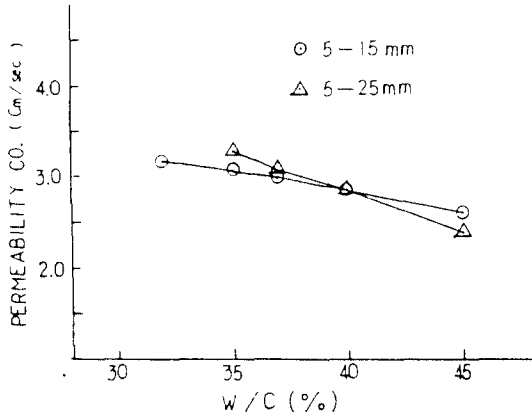


Fig. 7 Permeability coefficient for water cement ratios (Cement aggregate ratio 1 : 7)

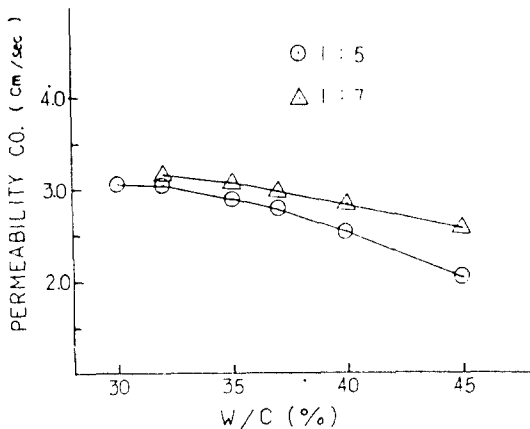


Fig. 8 Permeability coefficient for water cement ratios (Size of aggregate 5~15mm)

와는 달리 물시멘트비가 클수록 적어지며 5~15 mm 骨材보다는 5~25mm 骨材가, 시멘트골재비 1 : 7보다는 1 : 5의 쪽이 물시멘트비에 더욱 敏感하였다.

물시멘트비 40%를 境界로 40%以下인 경우에는 一般콘크리트와 같이 5~25mm 骨材의 透水係數가 크나 40%以上인 경우에는 5~15mm 骨材보다 작아져 相異한 結果를 보여주고 있다. 따라서 多空콘크리트에서 물시멘트비가 40%以上일 경우 粗骨材 最大値數가 클수록 下面의 水膜이 크기 때문에 透水係數가 커진다는 理論을 再考해야 할 것으로 생각된다.

Fig. 8, 9에서는 예상했던대로 透水係數는 물시멘트비가 同一할 경우 富配合인 1 : 5의 경우가 작고, 물시멘트비가 35% 以下인 경우에는 骨材의 大小에 관계없이 시멘트골재비에 의한 透水係數의 差異는 0.2cm/sec로 근소하나 37%에서 부터 점점 적으로 그 差가 增大되어, 물시멘트비가 45%일때 5~15mm骨材에서는 시멘트골재비가 1 : 7인 경우가 1 : 5의 경우 보다도 0.52cm/sec, 5~25mm骨材에서는 0.70cm/sec가 크다.

따라서 물시멘트비가 클수록 시멘트골재비가 큰 것이 敏感한 反應을 보인다고 판단된다.

시멘트골재비와 굵은골재 最大値數를 變化시켰을 때 물시멘트비에 따른 透水係數를 推定하기 위해 最小自乘法¹⁹⁾을 이용하여 數式으로 表現하면 Fig. 10~Fig. 13과 같다.

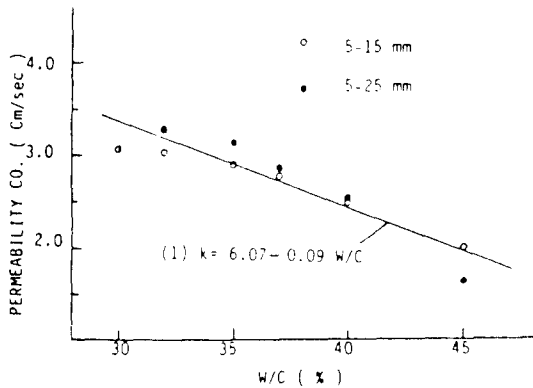


Fig. 10 Relationship between permeability coefficient and water cement ratios (Cement aggregate ratio 1 : 5)

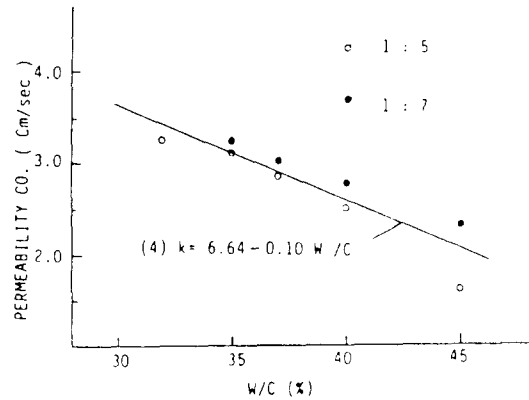


Fig. 13 Relationship between permeability coefficient and water cement ratios (Size of aggregate 5~25mm)

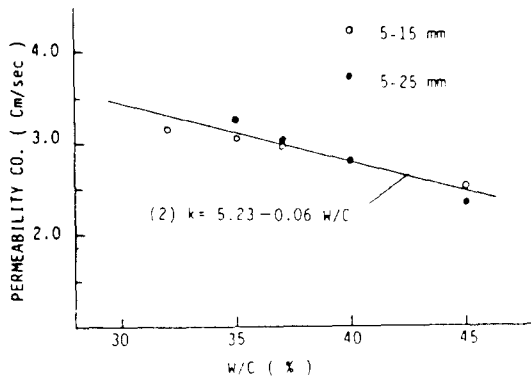


Fig. 11 Relationship between permeability coefficient and water cement ratios (Cement aggregate ratio 1 : 7)

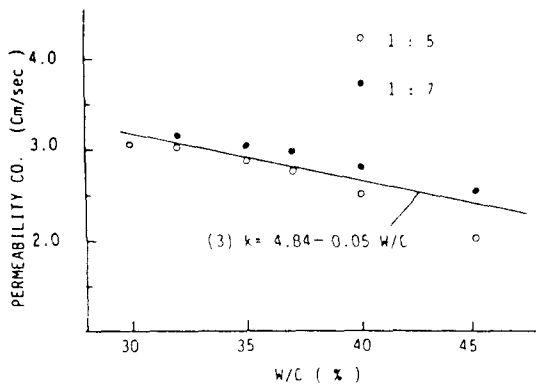


Fig. 12 Relationship between permeability coefficient and water cement ratios (Size of aggregate 5~15mm)

Fig. 10, 11에서의 (1)식과 (2)식의 相關係數는 각각 0.93과 0.95이고 Fig. 12, 13에서의 (3)식과 (4)식의 相關係數는 각각 0.86과 0.91이다. 따라서 透水係數의 推定式은 굵은골재 最大値數에 의해서 구하는 것 보다는 시멘트골재비에 의해서 算定하는 것이 보다 合理的이고 定確하다. 그러나 이 推定式을 一般化 하기 위해서는 굵은골재 最大値數, 粒度分布, 깬돌, 骨材의 材質에 대해서 계속적인 研究가 요망된다.

4. 一般콘크리트와의 比較

多空콘크리트는 一般콘크리트와는 달리 잔골재를 사용하지 않기 때문에 内部에 많은 공극이 생기고 이 공극으로 인해서 높은 透水力과 重量의 減少, 抵强度등의 特性이 생기게 된 것이다. 따라서 이러한 特性들을 一般콘크리트와 比較하기 위해서, 一般콘크리트는 設計基準强度가 $\sigma_{ck} = 210 \text{ kgf/cm}^2$ 되도록, 多空콘크리트는 强度面에서 가장 유리한 물시멘트비 35%를 基準으로 해서 配合設計 하였으며 配合比는 Table 7과 같다.

單位重量 및 壓縮强度 供試體는 10組(30個)를 製作해서 그 값들을 平均 하였으며 實驗結果는 Table 8과 같다.

Table 7에서 보는 바와 같이 多空콘크리트는 一般콘크리트에 비해서 單位시멘트량이 적게 所要되어 잔골재 뿐만 아니라 시멘트에서도 材料가 절약

Table 7 Mix design

Kind of concrete	Max size of aggregate (mm)	W/C (%)	C (kgf)	Aggregate (kgf)		Remarks
				Fine	Coarse	
Conventional concrete	25	58	335	750	1100	
Porous concrete	25	35	320		1601	1 : 5
	15	35	308		1540	1 : 5
	25	35	232		1624	1 : 7
	15	35	222		1556	1 : 7

Table 8 Results of test

Kind on concrete	Max size of aggregate (mm)	C/A	σ_{28} (kgf/cm ²)	Permeability coefficient (cm/sec)	Unit weight (kgf/m ³)
Conventional concrete	25	-	209	0.0	2341
Porous concrete	25	1 : 5	47	3.1	1935
	15	1 : 5	53	2.8	1927
	25	1 : 7	42	3.2	1912
	15	1 : 7	49	3.0	1906

된다.

Table 8에서 보듯이 多空콘크리트의 壓縮強度는 一般콘크리트의 約 1/4로 抵強度이며 透水係數가 상당히 커 構造材料의 特性上 상당히 不利하지만 오히려 地中の 配水層이나 湧水地域의 높이가 낮은 옹벽등에서는 유리해진다.

單位重量은 一般콘크리트와 比較해서 約 400kgf/m³ 정도가 가벼웠으며 이와 같은 輕量化는 地上 構造物 築造時 거푸집 및 동바리에 가해지는 壓力을 줄일수 있다는 잇점이 된다.

5. 結 論

多空콘크리트는 잔골재를 사용하지 않기 때문에 이로 인해 一般콘크리트와는 相異한 特性을 가지며 대부분의 特性은 構造材料로서 不利하였다. 그러나 경우에 따라서는 이러한 不利한 性質들을 앞에서 언급한 바와 같이 유리하게 이용할 수 있다는 점에 着眼하여 시멘트골재비 1 : 5와 1 : 7, 굵은골재 最大値數 15mm와 25mm의 天然강자갈을 대상으로 물시멘트비를 變化시켜 가면서 壓縮強度, 單位重量, 透水係數를 試驗하였으며 다음과 같은 結論을 얻었다.

1) 多空콘크리트의 물시멘트비는 壓縮強度와 作業성을 考慮하면 35~37%가 가장 適合한 것으로 판단된다.

2) 多空콘크리트의 單位重量은 一般콘크리트의 約 3/4로 400kgf/m³ 정도 가벼웠다.

3) 透水係數는 굵은골재 最大値數 및 시멘트골재비에 관계없이 물시멘트비가 클수록 작아진다.

4) 透水係數 推定式은 시멘트골재비에 의해서 算定하는 것이 바람직하며 시멘트골재비 1 : 5와 1 : 7일때의 一般推定式은 각각 다음과 같다.

시멘트골재비 1 : 5일 경우 $k=6.07-0.19W/C$

시멘트골재비 1 : 7일 경우 $k=5.23-0.06W/C$

附 記

本 研究는 1989年度 文敎部 學術研究 助成費에 依하여 研究되었음.

參 考 文 獻

- 1) Valore C., "Cellular Concrete", J. of ACI, pp. 773-796, May-June 1954
- 2) 白山和久, "氣泡コンクリート", 콘크리트エ

- 學ハンドブック, pp. 513-527, 1965
- 3) Neville A. M., "Properties of Concrete", Pitman, pp. 629-632, 1981
 - 4) Malhotra, V. M., "No-fine Concrete-It's Properties and Applications", J. of ACI, pp. 628-644, November 1976
 - 5) Petersen. Perry H., "Properties of a Porous Concrete of Cement and Uniform Sized Gravel", Report No. BMS 96, National Bureau of Standards, Superintendent of Documents, U. S. Government Printing Office, Washington D. C., p. 15, 1943
 - 6) Boyd, A. F., "Report on Test Carried Out on No-fine Concrete for Compressive, Transverse and Torsional Strength", Commonwealth Experimental Building Station, Sydney, p. 6, Dec. 1946
 - 7) Sidwell, Harold, "Long-Term Test on the Strength of No-fine Concrete", Civil Engineering and Public Works Review, London, Vol. 49, No. 579, pp. 939-940, Sep. 1954
 - 8) Ashton, L. A., and R. H., Bigmore, "The Fire-Resistance of No-fine Concrete Walls", Civil Engineering and Public Works Review, London, V. 49, No. 576, pp. 597-599, June 1954, No. 577, pp. 729-731, July 1954, No. 578, pp. 941-943, Aug. 1954
 - 9) Simms, L. G., "The Behavior of No-fine Concrete Panels as the Infill in Reinforced Concrete Frames", Civil Engineering and Public Works Review, London, Vol. 62, No. 736, pp. 1245-1250, Nov. 1967
 - 10) Short, Andrew and Kinniburgh, William, "Light-Weight Concrete", John Wiley and Son, New York, pp. 368, 1963
 - 11) Neville, A. M., "Properties of Concrete", John Wiley and Son, New York, pp. 686, 1973
 - 12) Malhotra, V. M., "Mechanical Properties and Freeze-Thaw Resistance of No-fine Concrete", Mines Branch Investigation Report NO. IR 74-21, Department of Energy, Mines, and Resources, Ottawa, April 1974
 - 13) 구봉근외 2인, "土木材料學", 創文閣, pp. 218-219, 1988
 - 14) "No-fine Concrete", CSA Standard A23.4, Canadian Standards Association, Rexdale, Ont., 1973.
 - 15) 장동일외 1인, "건설재료실험", 선진문화사, pp. 71-75, 1988
 - 16) 林炳祚외 1인, "土質試驗法", 螢雪出版社, pp. 103-110, 1987
 - 17) 대한토목학회, "도로교 표준시방서", p. 15, 1978
 - 18) U. S. Bureau of reclamation : Boulder Canyon Project Final Report, Part VII, Bull, 4, 1949
 - 19) 鄭英鎭, "近代統計學의 理論과 實際", 寶晉齋, pp. 174-184, 1980