

# 콘크리트 強度理論에 관한 實驗的 研究

姜 祥 奎

<서울대학교 大學院>

要素와 強度와의 관계를 조사하여 두는 것이 基本的으로 필요하다고 본다.

本 域研에서는 粗骨材의 粒徑과 콘크리트 強度와의 關係를 重點的으로 조사하고자 한다.

## 序 論

콘크리트는 多質의 構成體로서 되어 있다. 巨視的으로는 粗骨材가 시멘트 물탈에 包圍되어 있고 그 시멘트 물탈은 細骨材가 시멘트 paste 에 묻혀 있다. 微視的으로는 시멘트 paste 자체는 시멘트 질과 capillary pore 의 複合體이고 그 시멘트 질은 모두 針狀·箔狀의 分子로서 構成되어 있으므로 콘크리트의 性狀의 解明에는 각 構成要素에 관한 연구가 필요함과 동시에 構成要素 相互間의 關係를 明確히 해야 한다. 따라서 綜合的인 檢討를 위해서는 우선 콘크리트의 力學的 性質과 破壞機構가 明確하게 파악되어야 할 것이다. 콘크리트의 物理的 性質을 表示하는 壓縮強度는 巨視的으로는 water-cement ratio (W/C) 에 의하여 左右되겠으나 微視的으로는 콘크리트 중의 細·粗骨材의 量 및 粒徑에 따라서도 左右 될 수 있다.

本 研究는 콘크리트를 「물탈+粗骨材」로 나타내는 二相複合材料로 생각하여 細·粗骨材가 콘크리트의 諸性質에 어떠한 영향을 미치는가를 實驗的으로 알아 보고자 한다.

콘크리트의 W/C는 一般的으로 30~70%의 範圍에 있으며 鐵筋 콘크리트 現場치기 建築構造物에서는 55~75%, precast 콘크리트에서는 45~60%, prestressed 콘크리트 構造物에서는 30~50% 정도이다.

따라서 上記의 研究를 위해서는 필요한 用途에 알맞는 콘크리트를 얻을 수 있어야 하며 이를 위해서는 콘크리트의 強度에 영향을 미치는 諸

## 第1章 實驗計劃

### 1-1 配合比計劃

콘크리트의 強度와 粗骨材 粒徑과의 關係를 조사하기 위해 比較적 實用的으로 많이 使用되는 配合比를 採擇하였다.

W/C는 60%에서 40%까지 5% 간격으로 計劃하였고 물탈 配合比는 1:2.00, 1:1.75, 1:

<表-1>

No	물탈 配合比	W/C單位 (%)	시멘트 量 (kg/m <sup>3</sup> )	S/A (%)	配合比
A1	1:2.0	60%	C=325	35	1:1.990:3.700
A2			=350	40	1:2.041:3.061
A3			=375	45	1:2.071:2.527
B1	1:2.0	55%	C=325	35	1:2.035:3.785
B2			=350	40	1:2.092:3.137
B3			=375	45	1:2.130:2.599
C1	1:1.75	50%	C=350	30	1:1.616:3.764
C2			=375	35	1:1.702:3.165
C3			=400	40	1:1.770:2.655
D1	1:1.5	45%	C=375	30	1:1.504:3.504
D2			=400	35	1:1.596:2.969
D3			=425	40	1:1.668:2.503
E1	1:1.5	40%	C=400	30	1:1.412:3.290
E2			=425	35	1:1.506:2.803
E3			=450	40	1:1.584:2.376

<表-2>

粗骨材粒徑(mm)						
통합配合 비율 W/C	單位시 멘트 량 (kg)	5-10	10-15	15-20	*混合	**NULL
1 : 2.0	C=325	A1-1	A1-2	A1-3	A1-4	A1-5
	350	A2-1	A2-2	A2-3	A2-4	A2-5
	60% 375	A3-1	A3-2	A3-3	A3-4	A3-5
1 : 2.0	C=325	B1-1	B1-2	B1-3	B1-4	B1-5
	350	B2-1	B2-2	B2-3	B2-4	B2-5
	55% 375	B3-1	B3-2	B3-3	B3-4	B3-5
1 : 1.75	C=350	C1-1	C1-2	C1-3	C1-4	C1-5
	375	C2-1	C2-2	C2-3	C2-4	C2-5
	50% 400	C3-1	C3-2	C3-3	C3-4	C3-5
1 : 1.5	C=375	D1-1	D1-2	D1-3	D1-4	D1-5
	400	D2-1	D2-2	D2-3	D2-4	D2-5
	45% 425	D3-1	D3-2	D3-3	D3-4	D3-5
1 : 1.5	C=400	E1-1	E1-2	E1-3	E1-4	E1-5
	425	E2-1	E2-2	E2-3	E2-4	E2-5
	40% 450	E3-1	E3-2	E3-3	E3-4	E3-5

\*混合은 5-10 mm, 10-15 mm, 15-20 mm 의 3種類 粗骨材 1 : 1 : 1의 比率로 混合한 것임.

\*\*NULL은 粗骨材가 0임.

1.50 으로 하였으며 각 W/C 에 따라 單位 시멘트량을 325 kg/m<sup>3</sup> 에서 450 kg/m<sup>3</sup> 까지 사용하여 <表-1>과 같이 配合比를 計劃하였다.

이 配合比 計劃에 필요한 粗骨材는 5-10 mm, 10-15 mm, 15-20 mm 3種類로 分類하여 <表-2>와 같이 實驗計劃을 設計하였다.

### 1-2 實驗材料

本 實驗에 使用된 材料는 國內에서 生産된 製品를 使用하였다. 시멘트는 普通 포틀랜드 시멘트를 使用하였고 물은 學校 上水道 물을 使用하였다. 細骨材는 한강에서 採取한 天然 자갈을 채로 체가름하여 使用하였다. 粗骨材는 역시 한강에서 採取한 天然 자갈을 5-10 mm, 10-15 mm, 15-20 mm 의 粒徑으로 체가름하여 使用하였다.

本 實驗에 使用된 材料의 物理的 特性은 <表-3>과 같다. 試驗方法은 KSF 2503, 2504, 2505 에 의거하였다.

骨材의 粒徑曲線은, 粗骨材는 分類된 것을 그대로 使用하였고 細骨材의 粒徑曲線은 <表-4>와

<그림-1>과 같다.

<表-3>

種 類	比 重	吸 水 率
모 래	2.60	1.46%
자갈 5-10 mm	2.65	1.42%
10-15 mm	2.65	1.01%
15-20 mm	2.65	0.85%

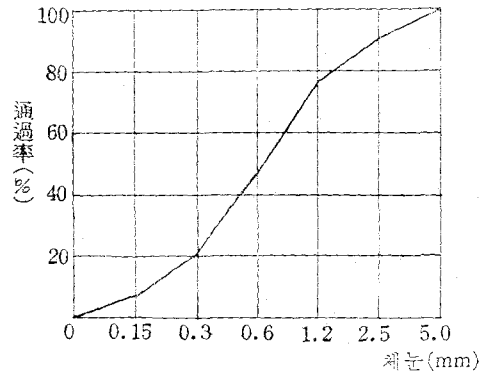
### Cement

Blaine	분 말 도	응 결 시간	비 중
cm <sup>2</sup> /g	+88μ	초결 종결	
2.920	2.6	3 : 00 7 : 10	3.16

\*위 試驗은 雙龍 레미콘 實驗室에서 했음.

<表-4>

체 (mm)	5.0	2.5	1.2	0.6	0.3	0.15	0.15 以下
各체殘留(g)	0	6.8	14.6	25.6	29.8	14.6	8.6
各체殘留(%)	0	6.8	14.6	25.6	29.8	14.6	8.6
累計殘留(%)	0	6.8	21.4	47.0	76.8	91.4	100
通 過 率(%)	100	93.2	78.6	53.0	23.2	8.6	0



<그림-1> 모래의 粒徑曲線

## 第2章 實驗方法

### 2-1 供試體 製作

實驗室 溫度는 여름철 室內溫度 平均 24°C 정도에서 實行하였다.

시멘트는 防濕用器에 넣어 보관하였고 모래는 完全 乾燥한 상태의 것으로 使用하였다. 자갈은 3種類로 分類한 것을 물로써 완전히 씻은 다음

다시 乾燥시켜서 사용하였다.

供試體 製作用 mold는 直徑이 10 cm, 높이 20 cm, 直徑 15 cm, 높이 30 cm, 二種類를 사용하였다. 콘크리트의 混合은 손비빔으로 하였고 기타 製作에 關係되는 모든 필요한 事項은 KSF 2403-68의 規定에 의거하였다.

實驗에 필요한 供試體數는 壓縮強度用 3個, 引張強度用 3個로 하였다.

實驗에 필요한 供試體는 다음 順序에 의하여 製作되었다.

- 1) 材料計量
- 2) 시멘트와 모래 混合
- 3) 水量 2/3를 加해서 비빔
- 4) 자갈을 넣고 다시 비빔
- 5) 나머지 水量 1/3을 넣고 다시 비빔
- 6) slump test(3回 測定한 平均値를 사용)
- 7) 供試體用 mold에 1/3을 채우고 25回 tamping rod로 다짐. 다시 1/3을 채우고 25回 다짐 후 나머지 1/3을 채워 25回 다짐.
- 8) 室內 大氣中에서 1日 養生한 후 capping
- 9) capping 1日 후 脫型 水中養生

### 2-2 養生

製作된 供試體는 水槽에 넣어서 28日間 水中養生하였고 이때 水溫은 19°C~22°C로 유지하였다

### 2-3 強度試驗

水槽에서 꺼낸 供試體는 꺼낸 후 彈性係數 測定을 위하여 表面乾燥 상태까지 大氣中에 乾燥시켜서 strain gage를 附着하였다.

裁荷方法은 0에서 2톤 간격으로 strain을 測定하여 12톤까지 測定한 후 最大壓縮強度를 測定하였다.

기타 事項은 KSF 2405의 規定에 의거하였다.

### 2-4 slump test

KSF 2402의 規定에 의거 測定하였으며 3回 測定한 平均値를 사용하였다.

## 第3章 實驗結果

### 3-1 壓縮強度

<表-1>과 <表-2>의 計劃 및 2章의 實驗方法에 의거 實驗한 結果는 <表-5, 6, 7, 8, 9>와 같다.

한 series에 필요한 材料의 量을 水, 시멘트, 모래(S), 자갈(G)의 重量으로 표시하였고 slump 値는 3回 測定한 값의 平均値를 소수 2째 자리에서 반올림하여 표시하였다. 壓縮強度는 最大強度를 소수 3째 자리에서 반올림한 값을 表示하고 아울러 그 平均値를 <表-5, 6, 7, 8, 9>에 表示하였다.

<表-5> A series 壓縮強度 試驗結果

No	水 시멘트 S G		slump (平均 値) (cm)	壓縮強度(kg/cm <sup>2</sup> )			平均 値
	(kg)	(kg)		(kg)	(kg)	(kg)	
A1-1			9.6	234.39	235.67	226.75	232.23
A1-2	4.29	7.15	15.6	236.31	185.99	233.76	218.73
A1-3	14.23	26.46	18.6*		165.61	165.61	165.61
A1-4			18.6	210.19	235.67	210.19	218.09
A1-5	8.58	14.30	19.6	231.21	273.89	216.56	240.51
	28.46	0					
A2-1			6.8	231.21	261.15	313.38	268.54
A2-2	4.60	7.70	14.9	238.85	242.04	265.61	248.79
A2-3	15.72	23.57	15.0	236.94	287.90	217.83	247.56
A2-4			11.2	267.52	246.50	254.78	256.26
A2-5	9.20	15.4	22.1	315.29	323.57	299.36	312.74
	31.44	0					
A3-1			7.3	273.89	254.78	267.52	265.35
A3-2	4.95	8.25	16.4	216.56	286.62*		251.16
A3-3	17.09	20.85	12.4	222.93	242.03	191.08	218.73
A3-4			13.0	224.84	261.15	261.51	249.04
A3-5	9.90	16.50	21.6	281.54	328.04	325.48	311.68
	34.18	0					

\*表한 곳은 實驗途中 失敗했거나 供試體를 製作지 못한 것임.

<表-6> B series 壓縮強度 試驗結果

No	水 시멘트 S G		slump (平均 値) (cm)	壓縮強度(kg/cm <sup>2</sup> )			平均 値
	(kg)	(kg)		(kg)	(kg)	(kg)	
B1-1			0.7	305.73	242.04	203.82	250.57
B1-2	3.93	7.15	1.7	221.02	254.78	267.52	247.78
B1-3	14.55	27.06	2.7	226.11	235.67	229.30	230.36
B1-4			2.2	246.50	261.15	267.52	258.39

B1-5	7.86 29.10	14.30 0	14.0	305.73	273.89	277.07	285.61
B2-1			0.8	280.25	280.25	274.52	278.34
B2-2	4.23 16.11	7.70 24.15	3.2	248.41	240.13	222.93	237.15
B2-3			5.9	208.28	242.04	197.45	215.92
B2-4			5.1	286.62	265.61	229.30	260.51
B2-5	8.46 32.22	15.40 0	9.2	356.69	296.18	353.50	335.46
B3-1			4.0	270.70	305.73	243.95	273.46
B3-2	4.54 17.57	8.25 21.44	6.1	248.41	165.61	292.99	235.67
B3-3			11.0	178.34	280.25	267.52	242.04
B3-4			9.1	286.62	287.45*		292.10
B3-5	9.08 35.14	16.50 0	11.0	340.71	323.26	311.50	325.16

<表-7> C series 壓縮強度 試驗結果

No	水 시멘트 S G		slump (平均 值)	壓縮強度(kg/cm <sup>2</sup> )			平均 值
	(kg)		(cm)				
C1-1			6.3	267.52	356.69	324.84	316.31
C1-2	3.85 12.44	7.70 28.98	*	267.52	286.62	331.21	295.16
C1-3			9.3	261.15	264.33	240.13	255.16
C1-4			8.1	356.69	350.32	278.39	327.01
C1-5	7.70 24.88	15.40 0	20.8	333.12	356.69	381.40	357.07
C2-1			*	356.69	378.98	318.47	351.38
C2-2	4.13 14.04	8.25 26.11	*	331.21	331.21	305.73	322.68
C2-3			*	254.78	305.73	270.70	277.07
C2-4			*	363.06	353.50	305.73	340.76
C2-5	8.26 28.08	16.50 0	*	391.72	420.38	375.80	395.92
C3-1			4.1	294.90	318.47	305.73	306.37
C3-2	4.40 15.58	8.80 23.36	6.0	293.00	302.55	318.47	304.71
C3-3			5.3	318.47	242.04	324.84	295.16
C3-4			13.17	299.36	331.21	318.47	316.31
C3-5	8.80 31.16	17.60 0	10.37	305.73*		318.47	312.10

粗骨材의 粒徑이 콘크리트의 強度에 미치는 영향을 좀더 具體的으로 알아 보기 위하여 W/C와 單位 시멘트量이 同一한 series 別로 그래프를 <그림-2>~<그림-16>과 같이 그려 보았다.

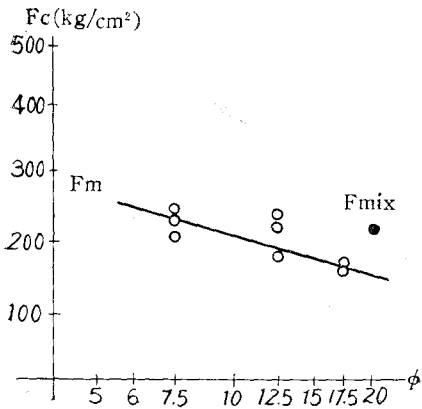
그래프의 縱軸은 壓縮強度(F<sub>c</sub>)를 표시하고 橫軸에는 粗骨材의 粒徑을 對數 scale 로 정하여 實驗의 結果를 圖示하였다. 또한 5-10 mm, 10-15 mm, 15-20 mm 의 粗骨材는 7.5 mm, 17.5 mm 의 單一粒徑의 粗骨材로 가정하여 사용하였다.

<表-8> D series 壓縮強度 試驗結果

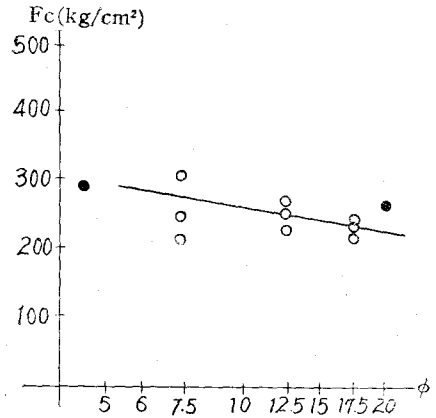
No	水 시멘트 S G		slump (平均 值)	壓縮強度(kg/cm <sup>2</sup> )			平均 值
	(kg)		(cm)				
D1-1			4.4	426.75	445.86	363.06	411.85
D1-2	3.72 12.41	8.25 28.90	11.0	353.50	369.43*		361.53
D1-3			12.2	242.04	286.62	312.10	280.25
D1-4			12.3	388.54	394.90	369.43	384.33
D1-5	7.44 24.82	16.50 0	18.5	464.01	470.38	452.23	462.21
D2-1	3.96 14.04	8.80 26.13	2.1	458.60	458.60*		458.60
D2-2			10.2	420.38	426.75*		423.67
D2-3			14.2	347.13	363.06	356.69	355.67
D2-4			7.3	382.17	375.80	433.12	397.07
D2-5	7.92 28.08	17.6 0	17.0	467.64	475.86	482.17	475.22
D3-1			6.4	452.23	471.34*		461.78
D3-2	4.21 15.60	9.35 23.40	10.1	433.12	401.27*		417.20
D3-3			11.2	331.21	398.09*		364.71
D3-4			12.3	394.90	401.27*		398.09
D3-5	8.42 31.20	18.70 0	12.8	483.12	474.01*		476.62

<表-9> E series 壓縮強度 試驗結果

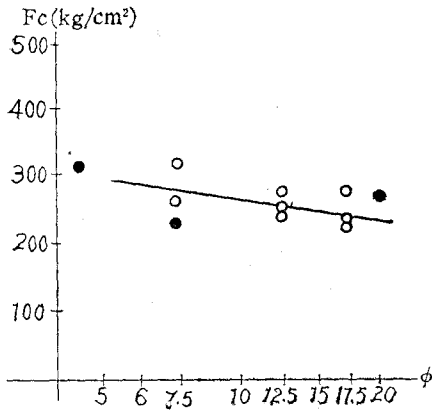
No	水 시멘트 S G		slump (平均 值)	壓縮強度(kg/cm <sup>2</sup> )			平均 值
	(kg)		(cm)				
E1-1			*	471.34	464.97*		468.15
E1-2	3.52 12.43	8.80 28.95	6.9	433.12	318.47*		375.80
E1-3			6.9	369.43	305.73*		337.58
E1-4			5.5	445.86	426.75*		436.31
E1-5	7.04 24.86	17.60 0	12.8	401.27	528.66*		464.97
E2-1			7.7	439.49	433.12*		436.31
E2-2	1.02 3.84	2.55 7.15	8.7	439.49	401.27*		420.38
E2-3			10.5	420.38	337.58*		378.98
E2-4			10.6	401.27	407.64*		404.46
E2-5	2.04 7.68	5.10 0	12.5	445.86	445.86*		445.86
E3-1			7.8	433.12	439.49*		436.31
E3-2	1.08 4.28	2.70 6.42	8.9	445.86	388.54*		417.20
E3-3			10.6	369.43	347.13*		358.34
E3-4			11.0	324.84	343.95*		334.39
E3-5	2.16 8.56	5.40 0	13.4	498.09	437.64*		467.87



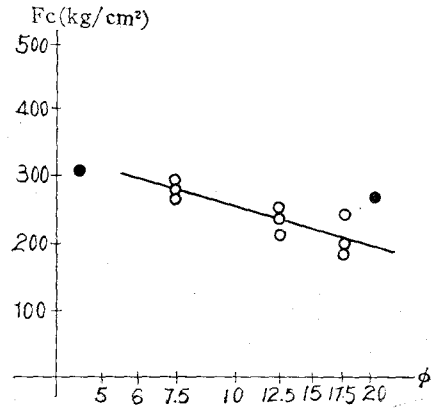
<그림-2> A1 series



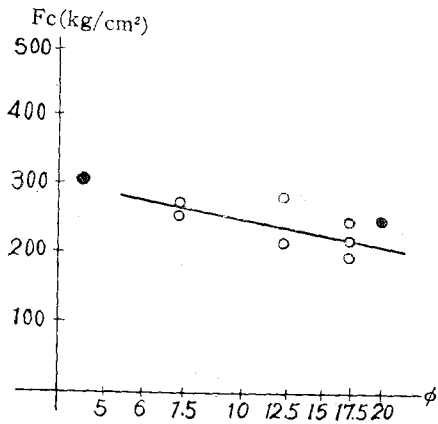
<그림-5> B1 series



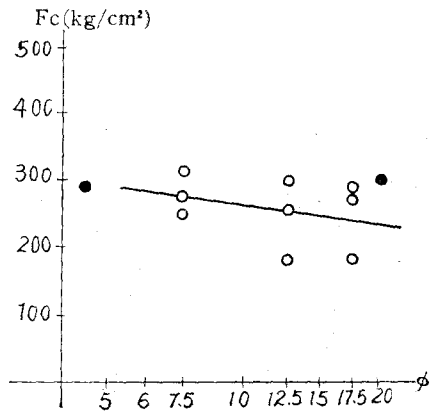
<그림-3> A2 series



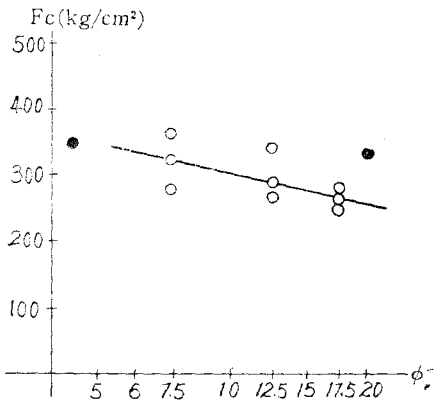
<그림-6> B2 series



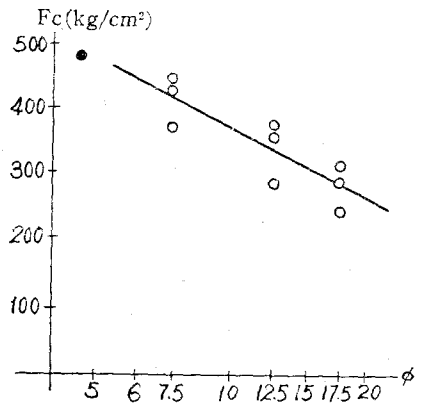
<그림-4> A3 series



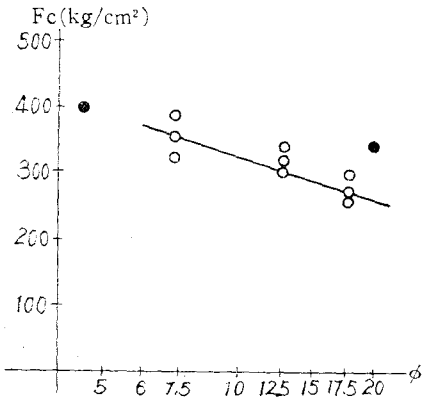
<그림-7> B3 series



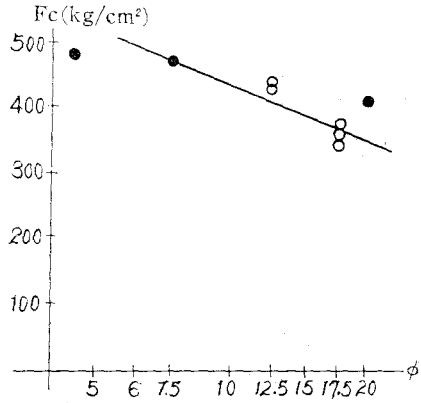
<그림-8> C1 series



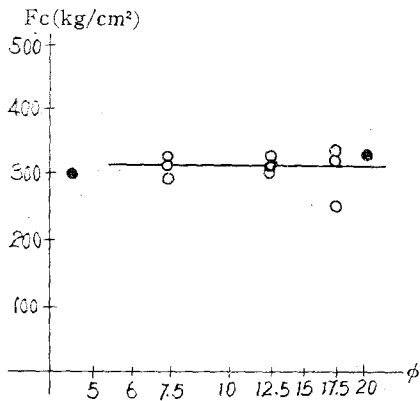
<그림-11> D1 series



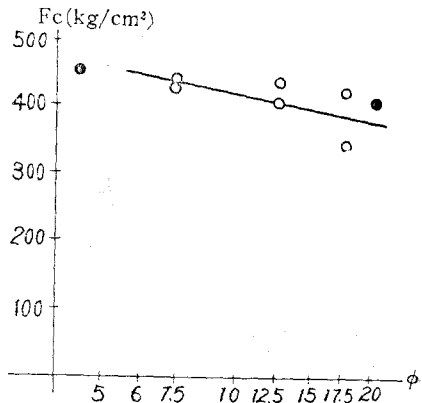
<그림-9> C2 series



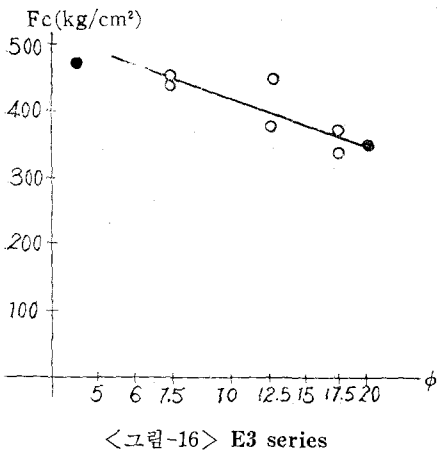
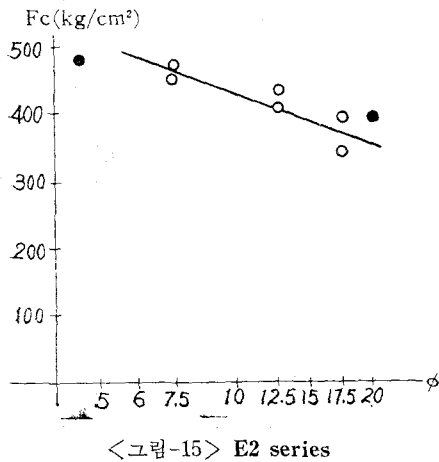
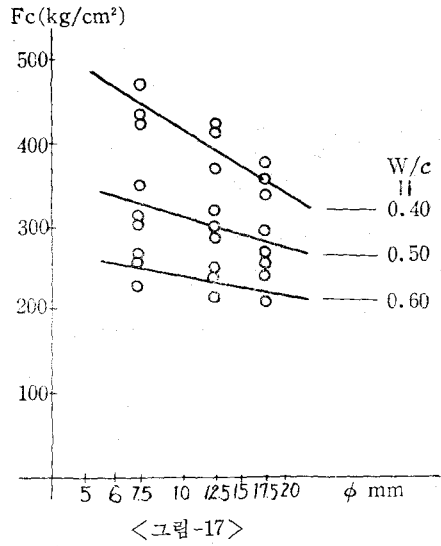
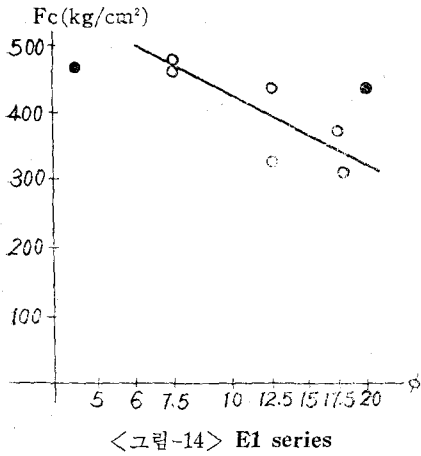
<그림-12> D2 series



<그림-10> C3 series



<그림-13> D3 series



이 실험 결과에 의하면 W/C가 낮을수록 콘크리트의 압축강도는 현저하게 증가하며 동일한 배합비의 경우에는 粗骨材의 粒徑이 커지면 顯著的 強度低下가 일어남을 알 수 있다. 또한 W/C가

낮아질수록 骨材 粒徑의 增大에 의한 壓縮強度의 低下가 보다 심하게 일어남을 알 수 있다.

slump 値는 대체로 W/C가 높을수록 커지고 同一한 W/C일 경우에는 粗骨材의 粒徑이 클수록 커지는 경향을 볼 수 있다.

이를 綜合하여 壓縮強度의 平均値를 사용하여 W/C=40%, 50%, 60%일 때의 경향을 <그림-17>에 圖示하였다.

### 3-2 引張強度

引張強度 試驗에 사용된 供試體도 壓縮強度의 경우와 마찬가지로 <表-1>, <表-2>의 配合計劃에 따라 2章의 實驗方法에 의거 實驗하였다.

實驗結果는 <表-10>과 같다.

3-1節에서 본 壓縮強度와 引張強度와의 關係를 조사하기 위하여 각 series에 해당되는 壓縮強度와 引張強度의 比( $F_t/F_c$ )를 구하였다. 그 값은 <表-11>에 나타난 바와 같다.

이 實驗結果로서는 粗骨材의 粒徑이 콘크리트의 引張強度에 어떠한 영향을 미치는지 正確히 파악할 수 없겠으나 壓縮強度에 대한 引張強度의 比( $F_t/F_c$ )는 一定치 않음을 알 수 있다.

즉 一般的으로 壓縮強度에 대한 引張強度의 比는 7%에서 10% 정도로 알려져 있고 W/C가 감소하여 壓縮強度가 증대하면 引張強度는 一定比로 증대하지 않고  $F_t/F_c$ 의 값은 차츰 감소하는 경향을 알 수 있다.

&lt;表-10&gt;

引張強度

NO.	引張強度(kg/cm <sup>2</sup> )			平均值	No.	引張強度(kg/cm <sup>2</sup> )			平均值
A1-1	25.48	24.06	26.23	23.59	C2-4	30.43	33.97	34.68	33.03
A1-2	26.19	25.48	23.50	25.06	C2-5	29.37	26.39	29.72	28.49
A1-3	21.94	23.00	19.82	21.59					
A1-4	24.06	22.08	24.06	23.40	C3-1	27.25	27.95	29.72	28.31
A1-5	26.54	38.00	27.60	30.71	C3-2	25.48	31.14	27.60	28.07
					C3-3	32.55	26.19	29.72	29.49
A2-1	26.89	28.31	26.54	27.25	C3-4	27.60	24.77	29.72	27.36
A2-2	20.88	21.59	23.71	22.06	C3-5	29.02	28.31	28.66	28.66
A2-3	25.48	25.48	22.65	24.77					
A2-4	25.27	24.06	21.94	23.76	D1-1	29.72	30.43	31.14	30.43
A2-5	29.02	29.02	28.31	28.78	D1-2	31.49	33.26	31.14	31.96
					D1-3	35.39	27.60	26.54	29.84
A3-1	32.55	26.19	24.06	27.60	D1-4	29.02	29.02	33.26	30.43
A3-2	24.06	25.48	26.19	25.24	D1-5	36.80	29.72	33.26	33.26
A3-3	21.23	21.94	23.00	22.06					
A3-4	26.89	24.06	23.14	24.70	D2-1	30.43	21.94	24.06	25.48
A3-5	34.04	29.37	30.50	31.30	D2-2	36.80	31.14	29.72	32.55
					D2-3	31.14	30.43	29.72	30.43
B1-1	26.54	23.21	23.43	24.39	D2-4	29.02	29.72	25.48	28.07
B1-2	27.95	26.89	25.97	26.94	D2-5	33.26	33.97	31.85	33.03
B1-3	26.19	29.37	27.60	27.72					
B1-4	28.66	24.77	25.97	26.47	D3-1	33.44			33.44
B1-5	21.59	34.68	29.72	28.66	D3-2	26.27			26.27
					D3-3	27.07			27.07
B2-1	23.50	21.94	30.57	25.34	D3-4	28.66			28.66
B2-2	24.98	21.23	29.23	25.15	D3-5	30.25			30.25
B2-3	25.48	27.95	27.60	26.68					
B2-4	29.79	31.85	27.60	29.75	E1-1	25.48			25.48
B2-5	34.68	35.39	35.03	35.03	E1-2	31.05			31.05
					E1-3	33.44			33.44
B3-1	28.31	28.31	27.60	28.07	E1-4	27.87			27.87
B3-2	31.14	24.06	28.31	27.84	E1-5	33.44			33.44
B3-3	28.66	28.31	28.31	28.43					
B3-4	29.72	30.43	26.89	29.01	E2-1	26.27			26.27
B3-5	31.14	30.08	31.14	30.79	E2-2	23.89			23.89
					E2-3	27.07			27.07
C1-1	36.09	34.32	29.72	33.38	E2-4	23.09			23.09
C1-2	29.72	29.72	26.89	28.78	E2-5	23.89			23.89
C1-3	25.48	28.31	29.02	27.60					
C1-4	35.39	33.12	32.55	33.69	E3-1	27.07			27.07
C1-5	24.06	33.97	36.80	31.61	E3-2	27.07			27.07
					E3-3	25.48			25.48
C2-1	33.97	36.80	36.59	35.79	E3-4	25.48			25.48
C2-2	29.72	37.51	36.80	34.68	E3-5	27.07			27.07
C2-3	33.26	29.02	29.02	30.43					



<表-11>

最大壓縮強度와 最大引張強度의 比率

No.	* Ft/Fc	No.	Ft/Fc	No.	Ft/Fc	No.	Ft/Fc	No.	Ft/Fc
A1-1	0.11	B1-1	0.10	C1-1	0.11	D1-1	0.07	E1-1	0.06
2	0.12	2	0.11	2	0.10	2	0.09	2	0.09
3	0.13	3	0.12	3	0.11	3	0.11	3	0.10
4	0.11	4	0.10	4	0.10	4	0.08	4	0.06
5	0.13	5	0.10	5	0.08	5	0.07	5	0.07
A2-1	0.10	B2-1	0.09	C2-1	0.10	D2-1	0.06	E2-1	0.06
2	0.09	2	0.11	2	0.11	2	0.08	2	0.06
3	0.10	3	0.12	3	0.11	3	0.09	3	0.07
4	0.09	4	0.12	4	0.10	4	0.07	4	0.06
5	0.09	5	0.11	5	0.07	5	0.07	5	0.05
A3-1	0.11	B3-1	0.10	C3-1	0.09	D3-1	0.07	E3-1	0.06
2	0.10	2	0.12	2	0.09	2	0.06	2	0.07
3	0.10	3	0.12	3	0.10	3	0.07	3	0.07
4	0.10	4	0.10	4	0.09	4	0.07	4	0.08
5	0.10	5	0.10	5	0.10	5	0.06	5	0.07
平均值	0.106		0.109		0.097		0.083		0.069

\*Ft: 最大引張強度

\*\*Fc: 最大壓縮強度

3-3 彈性係數(Ec)

2章의 實驗方法에 의하여 測定한 彈性係數는 <表-12>에 나타난 바와 같다.

이 測定方法은 最大荷重의 1/3 되는 점에서 tangent modulus 로서 測定하였다.

여기서 나타난 結果를 보면 大韓建築學會에서

<表-12>

No.	彈性係數 (kg/cm <sup>2</sup> )	No.	彈性係數 (kg/cm <sup>2</sup> )	No.	彈性係數 (kg/cm <sup>2</sup> )	No.	彈性係數 (kg/cm <sup>2</sup> )	No.	彈性係數 (kg/cm <sup>2</sup> )
A1-1	1.46 × 10 <sup>5</sup>	B1-1	2.49 × 10 <sup>5</sup>	C1-1	3.25 × 10 <sup>5</sup>	D1-1	2.84 × 10 <sup>5</sup>	E1-1	2.78 × 10 <sup>5</sup>
A1-2	4.47	B1-2	1.66	C1-2	3.70	D1-2	1.73	E1-2	2.96
A1-3	1.76	B1-3	2.08	C1-3	2.13	D1-3	1.56	E1-3	1.65
A1-4	2.76	B1-4	1.73	C1-4	3.65	D1-4	2.02	E1-4	3.29
A1-5	1.81	B1-5	2.07	C1-5	2.33	D1-5	1.51	E1-5	1.73
A2-1	4.51	B2-1	1.74	C2-1	2.08	D2-1	2.77	E2-1	2.05
A2-2	3.06	B2-2	1.42	C2-2	3.77	D2-2	2.47	E2-2	2.75
A2-3	2.38	B2-3	1.18	C2-3	2.14	D2-3	2.18	E2-3	2.46
A2-4	3.76	B2-4	1.83	C2-4	3.55	D2-4	3.06	E2-4	2.48
A2-5	2.40	B2-5	1.78	C2-5	2.31	D2-5	2.41	E2-5	3.93
A3-1	3.36	B3-1	3.60	C3-1	3.30	D3-1	2.29	E3-1	2.19
A3-2	4.06	B3-2	3.49	C3-2	3.76	D3-2	2.28	E3-2	1.84
A3-3	5.83	B3-3	6.31	C3-3	4.51	D3-3	2.45	E3-3	2.22
A3-4	6.60	B3-4	4.45	C3-4	2.64	D3-4	2.56	E3-4	3.05
A3-5	1.75	B3-5	1.58	C3-5	4.00	D3-5	1.88	E3-5	1.58

낸 鐵筋 콘크리트 構造計算基準에서 정한  $E_c = 1.4 \times 10^5 \text{ kg/cm}^2$  와는 상당한 차이가 있다. 그 正確한 原因은 알 수 없으나 사용한 壓縮試驗機械는 手動式 油壓 jack 였으며 測定過程 혹은 製作過程에 그 原因이 있었으리라 본다. 특히 콘크리트 材料 자체가 複合材料의 複雜性을 띠고 있는 만큼 正確한 試驗結果를 얻기 위해서는 보다 더

集中的인 實驗이 필요하다고 본다.

## 第 4 章 強度構成의 理論的 解析

### 4-1 理論的 考察

以上の 單一粒徑骨材의 實驗結果에 의하면 破壞面에 나타나는 骨材의 대부분은 骨材의 表面에서 벗겨지는 것이고 骨材가 파괴된 것은 적다. 이것은 파괴가 境界側面에서 附着破壞인 것을 나타낸 것으로 생각된다. 즉 이들의 경우에 壓縮強度는 骨材의 粒徑과 本質的 聯關性이 있는 것으로 간주되며 粒骨材를 넣으면 壓縮強度는 몰탈 強度보다 작아지는 것을 確認할 수 있고 이 關係를 다음 式과 같이 나타낼 수 있다.

$$F_c = F_m - f_c \dots\dots\dots ①$$

$F_c$ : 콘크리트의 壓縮強度

$F_m$ : 몰탈의 壓縮強度

$f_c$ : 強度減少值

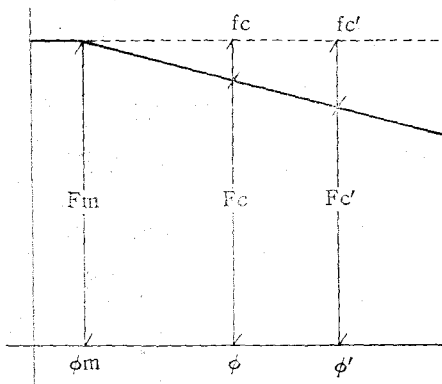
또한 粒徑과 壓縮強度의 關係는 <그림-2>에서 부터 <그림-17>까지 나타난 것을 보면 直線的 關係에 있다. 이것을 <그림-18>과 같이 單純化하면 다음과 같은 關係式을 얻을 수 있다.

$$-(F_c - F_c') / (\log \phi - \log \phi') = \alpha$$

$$\therefore -(F_c - F_c') = \alpha \cdot \log \left( \frac{\phi}{\phi'} \right) \dots\dots ②$$

$F_c, F_c'$ :  $\phi, \phi'$ 의 콘크리트 強度

$\alpha$ : 몰탈, 粗骨材의 岩質, 表面狀態에 따라 定해지는 定數



<그림-18>

즉 粗骨材의 粒徑을 작게 할수록 어느 粒徑에 가서는 몰탈과 같은 強度를 갖는 점이 存在한다는 것을 <그림-2>에서부터 <그림-17>에서 알 수 있다. 다시 말하면 粗骨材 混入에 의한 強度減少가 0이 되는 점의 粗骨材 粒徑이 粗骨材와 細骨材의 境界다. 이 값은 骨材의 表面組織이나 岩質에 따라서 差異가 있다.

앞의 事實로 미루어 보아 콘크리트의 破壞現象을 論할 때 콘크리트를 二相物質로 간주하면 몰탈과 粗骨材이며 시멘트 paste와 細 粗骨材 全體가 아님을 알 수 있다.

몰탈과 壓縮強度  $F_m$ 과 그 限界粒徑  $\phi_m$ 을 ② 式의  $F_c, \phi$ 에 代入하면

$$-(F_m - F_c) = \alpha \cdot \log \frac{\phi_m}{\phi}$$

$$-f_c = \alpha \cdot \log \frac{\phi_m}{\phi} \dots\dots\dots ②'$$

式②, ②'에 의하면 單一粒徑骨材의 田縮強度가 얻어지면 細骨材의 限界粒徑이 얻어지고 임의 粒徑, 粗骨材 콘크리트 壓縮 強度는 求解될 수 있다.

結果적으로 富配合 낮은 W/C의 콘크리트에서는 W/C와 壓縮強度 사이에 直線的 關係가 成立 하지 않고 壓縮強度의 增加에 브레이크가 걸리는 것을 알 수 있다.

여기서 앞의 式②, ②'에 의하여 限界粒徑을 計算해 보면 다음과 같다.

式②, ②'에서 다음 式이 얻어진다.

$$(F_c - F_c') / (\log \phi - \log \phi') = (F_m - F_c') / (\log \phi_m - \log \phi')$$

$$(F_c - F_c') \cdot (\log \phi_m - \log \phi') = (F_m - F_c') \cdot (\log \phi - \log \phi')$$

$$\therefore \log \phi_m = \log \phi' + \frac{(F_m - F_c') \cdot (\log \phi - \log \phi')}{(F_c - F_c')}$$

윗 式에 앞에서 얻은 데이터를 아래와 같은 方法으로 代入하여 구하였다.

(M-1) 方法	(M-2) 方法	(M-3) 方法
$F_m$	$F_m$	$F_m$
$F_c: F_1$	$F_c: F_1$	$F_c: F_2$
$F_c': F_2$	$F_c': F_3$	$F_c': F_3$
$\phi_m$	$\phi_m$	$\phi_m$
$\phi: \phi_1$	$\phi: \phi_1$	$\phi: \phi_2$
$\phi': \phi_2$	$\phi': \phi_3$	$\phi': \phi_3$

F<sub>m</sub>은 實驗에서 얻은 平均値를 사용하고 F<sub>c</sub>, F<sub>c</sub>', φ, φ' 대신에 F<sub>1</sub>, F<sub>2</sub>, F<sub>3</sub>, φ<sub>1</sub>, φ<sub>2</sub>, φ<sub>3</sub>을 用方法에 따라 代入하여 求한 φ<sub>m</sub>의 값은 <表-13>과 같다.

- 但 F<sub>1</sub>: 5~10 mm 粗骨材의 콘크리트 強度  
 F<sub>2</sub>: 10~15 mm " " "  
 F<sub>3</sub>: 15~20 mm " " "  
 φ<sub>1</sub>: 5~10 mm 粗骨材의 平均粒度 7.5mm  
 φ<sub>2</sub>: 10~15 mm " " 12.5mm  
 φ<sub>3</sub>: 15~20mm " " 17.5mm

<表-13>의 結果와 같이 한강에서 採取한 骨材의 限界粒度는 약 4.6 mm 임을 알 수 있다. 外國의 경우 日本은 5 mm, 獨逸은 7 mm, 美國은

<表-13>

No.	M-1 方法	M-2 方法	M-3 方法
A1	4.32		
A2	1.43		
A3	1.43	1.38	6.70
B1			6.03
B2	3.67	1.27	2.64
B3	3.67		
C1	2.79	1.83	7.41
C2	3.43	1.93	7.82
C3	1.27	2.34	9.64
D1	4.52	2.31	8.24
D2	5.82	2.80	9.68
D3	6.35	2.82	8.53
E1	7.67	3.29	5.70
E2	4.52	2.79	10.16
E3	3.20	2.28	9.35

3/10" 로 되어 있다. F<sub>c</sub>의 增大를 效果적으로 하기 위해서는 콘크리트 強度가 mortar 強度에 低下되지 않는 粗骨材 즉 限界 粒度粗骨材를 사용하거나 보다 큰 粗骨材를 사용하여도 強度低下가 적은 範圍의 粗骨材를 사용할 것을 시사한다.

또한 gap grade의 큰 粗骨材를 사용한 콘크리트 強度에 관해서도 粗骨材의 알맹이가 限界 粒度 以下の 것일 경우 그 채워진 粗骨材로 인한 強度低下는 없는 것으로 간주되기 때문에 간격을 粒度가 작은 粗骨材로 채우는 利點을 살릴 수 있다.

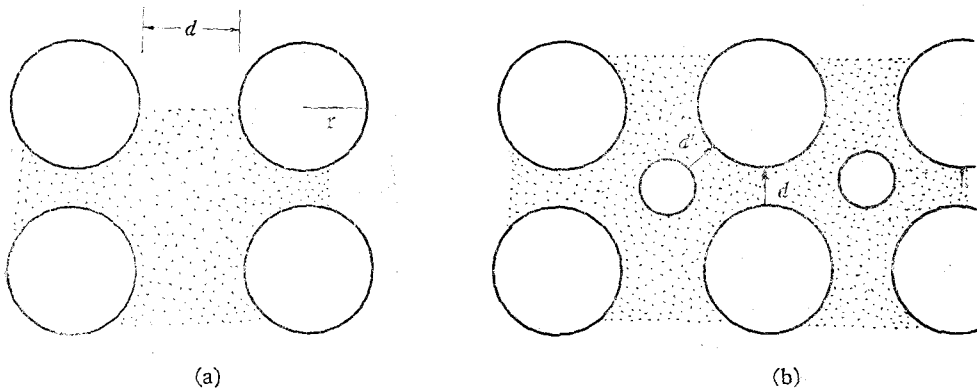
#### 4-2 混粒骨材 콘크리트의 強度

앞에서 얻어진 實驗結果와 그 理論的 考察에서 더 나아가서 여러가지 粒度가 混在하는 普通의 콘크리트에 대하여 理論的 展開를 해 보겠다.

粗骨材와 mortar의 境界層은 콘크리트의 弱點이라는 것과 그 缺陷은 粗骨材의 粒度에 따라 차이가 나는 것이 明白해졌다. 이렇게 볼 때 여러 粒度의 粗骨材가 混在하고 있는 一般의 경우에는 粒度에 따라 각기 정도의 차이가 나는 수많은 結合을 포함하고 있다고 볼 수 있다. 즉 콘크리트 強度는 mortar 強度로부터 여러가지 크기의 骨材粒에 따른 強度減少를 예측할 수 있다.

여기서 문제가 되는 것은 單一粒徑骨材로부터 얻은 強度減少를 그대로 混粒骨材에 適用하여도 좋은가 하는 점이다.

T.T.C. Hsu는 境界層의 bond crack에 관하여 mortar의 收縮에 의한 영향을 二次元的 모델 (<그



<그림-19> 粗骨材 모델

림-19-a)에 의해 解析하고 粗骨材半徑(r)과 粗骨材間隔에 관하여 相關關係를 구하고 있다. 이러한 見解에서 보면 單一粒徑骨材와 混粒骨材는 콘크리트中에서 채워지는 상태가 다르므로 (<그림-19-b>) 境界層의 附着強度도 다를 것이다. 그러나 混粒의 粒度分布가 다르면 骨材間의 거리가 변화하기 때문에 그 경우의 bond가 어떻게 변하는지는 밝혀지지 않고 있다. 특히 單一粒徑骨材이며 二次元的 解析에서는 이 點이 不充分하다. 따라서 普通 콘크리트에는 극단적인 gap grade를 사용하지 않는 것으로 간주하고 混粒에 의한 實積率의 差異 즉 콘크리트中의 粗骨材間距離의 차이가 境界層의 附着力에 미치는 영향을 무시한다. 그러면 콘크리트全體의 強度減少는 각 粒徑의 強度減少의 合計( $f_i \cdot \frac{V_i}{V_t}$ )로 생각할 수 있다.

$$F_c = F_m - \sum f_i \cdot X_i \dots\dots\dots ③$$

$f_i$ : 任意粒徑의 콘크리트의 強度減少

$X_i$ : 粗骨材 體積比( $V_i/V_t$ )

$V_i$ : 콘크리트中에 들어 있는 각 粒徑의 粗骨材體積

$V_t$ : 콘크리트中의 粗骨材 全體積

여기서  $\sum V_i = V_t$ ,  $\sum X_i = 1$  이므로 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$F_c = \sum F_m \cdot X_i - \sum f_i \cdot X_i \\ = \sum (F_m - f_i) \cdot X_i = \sum F_i \cdot X_i \dots\dots ④$$

$F_i$ : 粗骨材量  $V_t$ 를 가지고 있는 각 單一粒徑骨材 콘크리트의 強度

즉 混合粒徑 콘크리트의 強度는 各種의 單一粒徑骨材 콘크리트의 強度에 그 骨材體積比를 곱한 것의 合과 같다.

#### 4-3 콘크리트의 強度構成

지금까지의 考察結果는 式④에 나타난 바와 같이 함유하고 있는 粗骨材의 粒徑에 따라 W/C가 同一한 경우에도 獨自의인 強度構成을 가진다는 것을 確認하였다.

여기서는 실제로 理論에 의한 計算値와 實驗値를 前章에서 얻은 實驗資料로서 檢討하고자 한

<表-14>

No.	實驗値	理論値	No.	實驗値	理論値	No.	實驗値	理論値
A1	218.09	200.80	B1	258.39	242.90	C1	327.01	288.88
A2	256.26	254.96	B2	260.51	240.80	C2	340.76	317.05
A3	249.04	248.41	B3	292.10	250.43	C3	316.31	302.15
D1	384.33	351.12	E1	436.31	393.85			
D2	397.07	411.85	E2	404.46	411.90			
D3	398.09	414.24	E3	334.39	403.96			

다.

實驗用 供試體中에 3種類의 粗骨材를 重量比 1:1:1의 比로 混合한 混粒粗骨材 콘크리트 供試體를 式에 의해 強度를 計算하여 理論値로 하였다.

但, 三種類의 粗骨材의 平均粒徑을 7.5 mm, 12.5 mm, 17.5 mm로 가정하고 <表-5>~<表-9>까지의 壓縮強度의 平均値를 그 粒徑의 標準強度로 간주한다.

結果는 <表-14>와 같다.

만족할 만한 結果는 못되지만 近似한 값으로 接近하고 있음을 알 수 있다.

### 結 論

粗骨材의 크기가 콘크리트의 強度에 어떠한 영향을 미치는가를 實驗과 理論으로 檢討해 본 결과 다음과 같은 結論을 얻었다.

- 1) 粗骨材의 粒徑이 클수록 콘크리트의 壓縮強度는 低下한다.
- 2) 粗骨材의 粒徑增大에 대한 強度低下의 比率은 W/C가 작을수록 크다.
- 3) 粗骨材徑의 對數와 콘크리트 壓縮強度는 거의 直線의 關係에 있다.
- 4) 粗骨材徑이 작을수록 콘크리트의 強度低下가 작아지며 어느 程度에서 몰탈 強度와 같아지는 粗骨材徑이 存在하며 本實驗結果로는 4.6 mm 정도이다.

이와 같이 하여 粗骨材와 몰탈의 境界層이 콘크리트에 있어서 弱點인데 그 強度低下의 정도는 粗骨材量이 同一한 경우에도 粗骨材의 크기에 따라 차이가 나는 것이 明白하여졌다.

또한 이것은 普通 콘크리트에 一般化를 해본

結果 混粒粗骨材의 콘크리트 強度는 各種의 單一粒徑粗骨材強度에 그 콘크리트 中에 포함되어 있는 各 單一粒徑粗骨材의 含有率을 곱한 것의 合으로 나타나며 3種의 混合粗骨材 콘크리트에 대하여 實驗値와 理論値를 比較檢討한 結果 滿足할 만한 結果는 아니지만 近似한 값으로 接近함을 알았다. 이를 根據로 하여 骨材를 콘크리트

中的 單純한 充填材로서만 여기던 생각은 根本的으로 고쳐야 하겠다.

보다 正確한 것을 알기 위해서는 集中的인 研究와 實驗이 필요할 것이며 또한 將來의 高強度 콘크리트의 實現이나 粗骨材의 合理的 利用, 人工骨材의 開發을 위해서 이와 같은 基礎的 實驗 研究가 繼續되어야 할 것으로 생각한다.

[參考文獻]

- 1) 川上英男: 粗骨材とコンクリート強度に関する基礎的 研究, 日本建築学会論文報告集, 166號 昭和 44.3, 167號 昭和 45.1
- 2) K.Newman: Properties of Concrete, Report, 1965
- 3) Stanton Walker & Delmar L. Bloem: Effects of Aggregate size on Properties of Concrete, J. of A.C.I, Vol. 32 No.3 Sept. 1960
- 4) 吉本彰: 콘크리트의 變形에 關する 實驗, 土木学会誌, 40—9(昭和 30)
- 5) K.M.Alexander: Strength of Cement-Aggregate Bond, J.of A.C.I, proc. Vol.56 No.5 Mar. 1959
- 6) T.T.S.Hsu, F.O. Slate, G.M.Sturman & G. Winter: Microcracking of plain concrete and the shape of the stress strain curve, J.of A.C.I, Vol.60 No.2 Feb. 1963
- 7) 近藤泰夫, 坂靜雄: 콘크리트 핸드북
- 8) 盧熙潤: 콘크리트의 配合設計 1971

月刊 시멘트市場情報 第186號(77年 8月 25日字)

- 76年 Cembureau 의 實績
- 모로코의 76年 現況
- 1천만톤臺로 발돋움하는 臺灣의 시멘트業界
- 아프리카 36個國의 시멘트 産業 實態