

高強度콘크리트의 耐久性에 관한 研究

A Study on Durability of High Strength Concrete

金 生 彬*
Kim, Saeng Bin

Abstract

Using superplasticizer or the methods of autoclave curing is the most typical and practical of the ways to make high strength concrete.

In this study the high strength concrete piles by way of centrifugal forming and hand compacting, are put to the freezing and thawing test after the process of autoclave curing, water curing after steam curing, or stand water curing.

And the relation of such piles to durability, the rate of strength decrease, and the rate of weight variation is shown.

The durability of those test piles throughout freezing and thawing test proves to be comparatively sufficient in the above-mentioned curings when the piles contain a proper quantity of air. But it is also acknowledged that without A.E agent, the high strength concrete piles of autoclave curing is higher than those of the other curing in strength, but lower in modulus of dynamic elasticity and their durability factor after the test is much lower.

要 旨

高強度콘크리트의 製造方法中 가장 代表的이고 實用的인 것으로 高性能減水劑와 高溫高壓養生에 依한 方法等이 있다.

本研究에서는 이와같은 高強度콘크리트로 간함 콘크리트 Pile을 遠心力成形과 손다짐으로 만들어 各各에 對하여 Autoclave 養生, Steam 養生後 水中 14日 養生 및 標準水中養生하여 凍結融解試驗을 하였으며 各種에 對하여 耐久性의 相類的인 關係를 규명하였다.

이들 供試體들의 凍結融解에 對한 耐久성은 一般적으로 適當量の 空氣量을 含有하고 있을 때 上記 여러가지 養生에 對하여 比較的 充分한 耐久性이 있는 것으로 判明되었으나 AE劑를 使用하지 않은 경우에는 Autoclave 養生한 高強度콘크리트는 他養生한 高強度콘크리트보다 強度面에서는 높았으나 動彈性係數가 著 낮았고 試驗後의 耐久性係數도 極히 弱하였다. 그러나 遠心力成形한 non AE 콘크리트 Pile은 標準養生하였을 때 耐久性係數가 100 以上이었으며 重量減少도 없었다는 사실로 미루워 타 공시체보다 耐久性이 우수함을 알 수 있었다.

1. 序 論

1.1 高強度콘크리트

高強度콘크리트의 研究⁽¹⁾는 오래 前부터 外國에

서 實施하여 왔으며, 예로서 Prottot의 研究나 吉田의 研究⁽²⁾에서는 約 $1,000 \text{ kg/cm}^2$ 以上の 壓縮強度를 얻을 수 있는 것으로 報告되고 있다.

또 보통의 포틀랜드시멘트에 실리카質의 粉末을 加하여 비린콘크리트를 高溫高壓下에서 養生

* 正會員·東國大學校 工科大學 教授

함으로써 高强度를 얻을 수 있는 實驗이 C.A. Menzel⁽³⁾에 의하여 研究發表되었으며 近年에 와서는 이와같은 方法으로 壓縮強度 800~1,000 kg/cm²의 高强度콘크리트 Pile^{(6),(7),(8)}이 製造되어 實用化되고 있다.

또한 外國에서는 混和材料의 開發研究가 活發히 進行되어 있고 特別히 高性能減少劑^{(9),(10),(11)}를 콘크리트를 비벌 때 첨가하면 單位水量을 크게 減少시킬 수 있으므로 強度를 크게 올릴 수 있으며 아울러 시멘트粒子表面에 吸着되어 粒子表面에 電氣二重層이라 불리는 帶電層⁽¹⁸⁾이 생기므로 粒子相互間에 靜電의 相互反撥力에 의한 表面活性作用에 의하여 시멘트粒子가 高分散하여 粒子間的 마찰을 감소시키므로써 콘크리트의 流動性 특히 Workability를 改善^{(33),(34)}시킬 수 있다.

1.2 콘크리트의 耐久性

콘크리트構造物은 그 構造物이 노출되는 環境이나 콘크리트 自體의 內的 原因에 의하여 耐久性^{(15),(16)}이 문제된다.

특히 우리나라 中部以北地方에는 冬期の 기온 降下가 크므로 콘크리트構造物에 凍害⁽¹⁹⁾를 주는 事例가 많다. 가장 보편적인 것은 콘크리트 表面에서의 Scale⁽²⁸⁾이나 Popout 現狀⁽³⁰⁾ 및 凍上이 原因이 되어 일어나는 Crack 등을 들 수 있다. 시멘트풀의 凍結融解에 의한 崩壞機構는 아직 完全하게 解明되어 있지 않지만 주로 毛細管水가 氷結할 때 體積增加에 의한 水壓이 原因이 된다. T.C. Power⁽³⁰⁾⁽³²⁾는 1945년에 凍害가 直接的인 水晶壓에 原因이 된다는 從來의 生覺에 對하여 水晶의 體積팽창에 따른 水移動의 壓力에 起因한다는 水壓說을 제안하여 많은 實驗에 依하여 그의 타당성이 認定되었다. 물의 凝固點과 壓力과의 관계는 Clapeyron-Clausius의 式으로 表示하면 다음과 같다.

$$\frac{dP}{dT} = \frac{L_f}{(V_l - V_s)T} \quad (1)$$

여기서 L_f : 1 gram 分子의 融解熱(cal/mol).

V_l : 1 gram 分子의 液體로서의 體積

T : 溫度(°K)

(cm³/mol),

V_s : 1 gram 分子의 固體로서의 體積
(cm³/mol)

여기에 各數値를 넣어 整理하면 다음과 같이 된다.

$$\frac{dT}{dP} = -0.0075^\circ\text{K/atom} \quad (2)$$

따라서 -3°C에서는 400 氣壓의 壓力이 생길때까지 氷結이 進行하게 된다.

또 콘크리트中の 물이 凍結할때는 부피가 約 9% 증가되며 이의 惡影響을 완전히 제거시키기 위해서는 높은 強度(-10°C 1,000 kg/cm²)를 必要로 하는데 普通의 콘크리트強度로서는 이를 막을 수 없고 또 이와같은 높은 體積增加⁽²¹⁾를 콘크리트의 彈性變形에 의해 완화시키는 것도 무리한 일이다.

本研究에서는 上記에 열거한 高强度콘크리트^{(18),(33)}로 만든 콘크리트 Pile을 遠心力成形시킨 遠心力 콘크리트 Pile(사진 1.1)과 막대형 振動機로서 成形시킨 손다짐 콘크리트 Pile(사진 1.2)을 養生條件을 달리하고 또 AE劑를 쓴 경우와 쓰지 않은 경우에 對하여 凍結融解試驗을 하였고, 이로부터 空氣量, 強度, 動彈性係數, 強度低下率 및 耐久性등의 相關關係를 규명하였다.

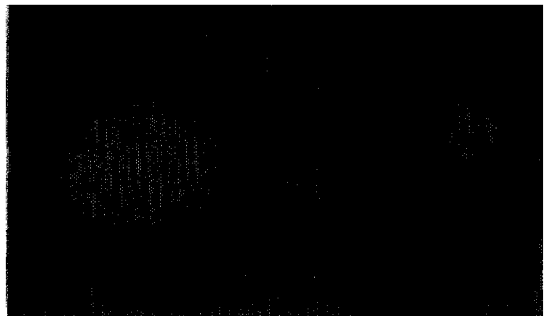


사진 1.1 원심력 콘크리트파일

2. 使用材料 및 콘크리트配合

2.1 使用材料

本研究에서 사용한 시멘트는 보통 포플랜드시멘트로서 物理的인 값과 化學成分은 표 2.1과 같다.

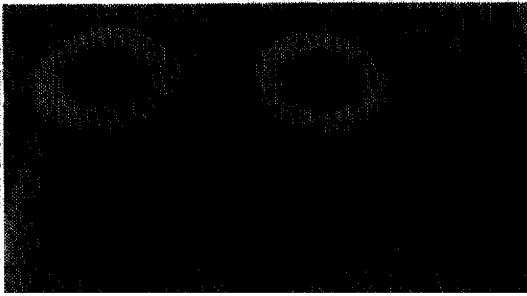


사진 1.2 손다짐 콘크리트파일

骨材는 잔骨材로서 富士川産의 모래를 사용하고, 굵은骨材로서는 西多摩産의 부순돌을 썼다. 여기서 강모래는 No. 4체에 남은 것은 버렸고, 부순돌은 굵은骨材의 最大치수 19 mm로 하여 No. 4체에 通過하는 것은 버렸다. 골재의 物理的 性質은 표 2.2와 같다.

또 高性能減水劑⁽²⁴⁾,⁽²⁵⁾로서는 花王石鹼(株)의 Mighty 150을, AE劑로서는 山嶺化學(株)의 빈 줄을 사용하였으며 표 2.3과 같다.

표 2.1 시멘트의 시험성적표

(a) 物理試驗結果							(b) 化學成分(%)													
比 重	比 表 積 (cm ³ /g)	응 결		安 定 性	플 로 (m)	필 장 도 (kg/cm ²)			압 축 강 도 (kg/cm ²)			강 열 잔 량	不 溶 殘 分	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	合 計
		시 (시, 분)	발 (시, 분)			3 日	7 日	28 日	3 日	7 日	28 日									
3.15	3350	2-20	3-30	良	268	34	46	67	148	245	402	0.5	0.1	21.8	5.3	3.0	65.2	1.2	2.1	99.2

표 2.2 骨材의 物理的 性質

종 류	표견비중	조립울 흡수율
잔 골재	2.62	3.06
굵은골재	2.65	6.62

표 2.3 高性能減水劑 및 AE劑

명 칭	주 요 성 분	비 중	상 태	略기호
Mighty 150	β -나프다린 縮合物	1.221	액 체	MT
Vinsol	天然樹脂酸鹽	1.06	"	VS

2.2 콘크리트의 配合과 비비기

本研究에서의 配合⁽¹⁷⁾은 試驗비비기⁽²⁰⁾에 의해 配合設計하였으며 空氣를 連行시키지 않을 때는 高性能減水劑만 投入하고, 空氣를 連行시킬 경우에는 高性能減水劑와 AE劑⁽²²⁾를 同時投入하

였으며 配合表는 표 2-4와 같다.

또 콘크리트의 비비기는 容量 100 l의 強制式 믹서를 썼으며 空비빔 1분에 注水와 同時에 高性能減水劑 또는 AE劑를 첨가한 후 3分間 비웠고 비빈 즉시 슬럼프시험(KS F 2402)⁽²¹⁾과 공

표 2.4 콘크리트의 配合

종 류	굵은골재 최대치수 (mm)	슬럼프 표값 (cm)	공기량 표값 (%)	W/C (%)	S/a (%)	단 위 량 (kg/m ³)						
						C	W	S	G ₁ No4~13mm	G ₂ 13~19mm	MT (%) c×0.5	VS(%) c×0.047
Non AE 콘크리트	19	8±1	1.5	34	38	450	153	681	548	548	2.25kg	
AE 콘크리트	19	8±1	4.5	34	38	450	153	681	548	548	2.25kg	211.5g

※ MT: Mighty 150으로 42%의 水溶液임.

기량 시험(KSF 2421)을 하였으며 비비진 후의 콘크리트의 온도는 18±2°C를 목표로 하였다.

표 3.1 원심력 성형조건

속도	低 速	中 速	高 速
다짐시간(分)	1.0	2.0	4.0
거푸집회전수 (r.p.m)	149	334	528
원심력(g)	2	10	25

3. 供試體의 製作과 實驗方法

3.1 供試體의 製作

(1) 遠心力 콘크리트파일⁽⁷⁾,⁽⁸⁾의 공시체는 겉 지름 20 cm, 높이 30 cm, 두께 4 cm의 圓筒形

의 것으로 콘크리트를 비빈 즉시 다음 조건(표

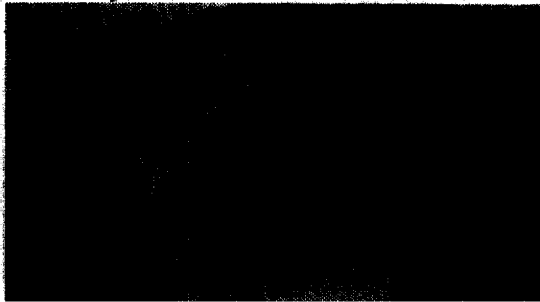


사진 3.1 원심력 성형기

3.1참고) 下에서 원심력성형기(사진 3.1참고)에 의하여 제작하였다.

(2) 손다짐 콘크리트파일의 공시체(사진 1.2참고)는 원심력 콘크리트파일과 같은 치수이고, 성형방법은 2층으로 콘크리트를 채우고 각층에 대하여 棒狀振動機로서 材料分離가 일어나지 않을 정도로 다졌다.

(3) 壓縮強度와 動彈性係數 測定用으로 $\phi 10 \times 20$ cm의 圓柱供試體를 各試驗에 對하여 6個씩 棒狀振動機로 만들었다. 이中 3個는 養生即時의 試驗用이고 나머지 3個는 標準養生(水中 28日)

표 3.2 공시체의 종류와 동결용해시험 전의 여러 값

종류	供試體記號	養生方法	감수제 MT C(%)	AE제 VS C(%)	슬럼프 (cm)	공기량 (%)	$\phi 10 \times 20$ cm (kg/cm ²)				콘크리트파일(kg/cm ²)		
							양생 즉시		표준양생후		양생 즉시		
							σ_c	E_c	σ_{28}	E_{28}	σ_c	E_c	중량 (kg)
원심력콘크리트파일	C-1	SC-AC	0.5		7.0	1.8	755	478633	653	554772	765	547518	15.054
	C-2	SC-AC	0.5	0.047	9.0	4.8	632	426067	632	502904	721	468407	14.496
	C-3	SC-WC	0.5		8.5	1.2	523	517922	687	533369	520	521671	12.658
	C-4	SC-WC	0.5	0.049	10.0	5.5	504	458150	587	487472	512	527177	13.724
	C-5	WC	0.5		8.5	1.2	687	533369	687	533369	710	564462	13.224
	C-6	WC	0.5	0.047	7.8	5.2	589	502758	589	502728	576	552114	14.894
손다짐콘크리트파일	H-1	SC-AC	0.5		4.5	1.6	763	463174	672	542012	763	491288	14.572
	H-2	SC-AC	0.5	0.047	10.0	4.8	694	419601	605	509460	694	437484	14.080
	H-3	SC-WC	0.5		7.5	1.9	500	512260	646	546486	500	512260	14.774
	H-4	SC-WC	0.5	0.049	10.0	5.5	504	458150	587	487472	504	475028	14.006
	H-5	WC	0.5		8.5	1.2	687	533369	687	533369	687	554758	14.610
	H-6	WC	0.5	0.047	7.8	5.2	589	502758	589	502758	589	510801	14.350

시의 試驗用이다.

3.2 供試體의 養生

공시체를 성형한 후 養生方法⁽⁵⁾은 다음의 3方法에 의하여 하였다.

- (1) 蒸氣養生 후 Autoclave 養生 (SC-AC 라 略함)
- (2) 蒸氣養生 후 水中 14日 養生(SC-WC라 略함)
- (3) 標準養生(水中 28日 養生)(WC 라 略함)

以上の 養生方法을 그림으로 表示한 것이 그림 3.1 이고 좀더 구체적으로 설명하면 다음과 같다.

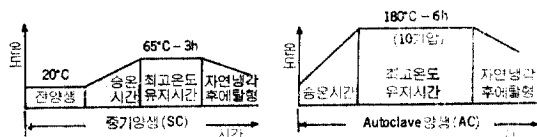


그림 3.1 증기양생과 Autoclave 양생

SC-AC; 供試體 성형 후 20°C에서 3時間 放置 (전양생)한 다음 蒸氣養生槽에 넣어 昇溫速度 時間當 20°C(20°C/h)로 하여 65°C까지 올리 고난 다음 이 溫度에서 3時間維持(65°C-3h)

시킨 후 自然冷却시킴. 그후 供試體를 脫型하여 다시 Autoclave(고온고압솥)에 넣고 昇溫速度 時間當 60°C(60°C/h)로 하여 180°C 까지 올리며(이때 솥 내부의 기압은 10 kg/cm² 정도가 됨)이 溫度에서 6時間維持(180°C-6h)시킨 후 自然 냉각시킴.

SC-WC; 증기양생 방법은 앞의 것과 같으나 그 후 脫型하여 水中에서 14日間 養生시킴
WC; 一般的인 標準水中養生과 같음. 즉 콘크리트를 거푸집에 친 후 24시간 지나 脫型하여 水中에서 27日間 養生시킴.

3.3 實驗方法

上記의 콘크리트配合와 供試體製作方法에 의하여 시험할 高强度 콘크리트파일을 만들고 養生한다. 이때 한 배치에서 供試體 2個 以上을 만들며 이中 한 供試體는 凍結融解시험전에 壓縮强度시험을 하였으며, 다른 供試體는 凍結融解試驗을 실시하여 規定 300 Cycle(300 cycle 까지 못가는 공시체는 相對動彈性係數 60에서 정지시킴)까지 작동시킨 후 역시 動彈性係數 및 壓縮强度 등을 측정하여 耐久性和 强度低下관계 등을 알아보았다. 표 3.2는 각종 供試體의 종류와 이들의 試驗前의 여러 값들이다.

凍結融解시험은 ASTM C 666-77⁽¹⁵⁾,⁽³⁰⁾의 方法(水中急速 凍結融解試驗)에 따라서 各供試體마다 처음에는 10 cycle에서 動彈性係數를 測定하고 變化가 없는 곳에서는 20 cycle마다에 對하여 測定하였다. 凍結融解 cycle은 -17.8°C~+4.4°C의 溫度범위에서 1 cycle의 所要時間 約 3時間으로 하여 시험하였으며 代表的으로 各 cycle에 대한 블라인덱과 공시체온도의 온도경

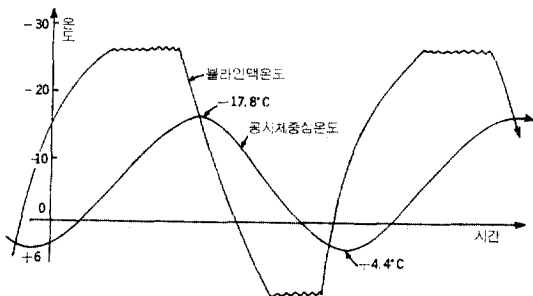


그림 3.2 공시체중심온도와 블라인덱 온도

력을 나타낸 것이 그림 3.2이다. 시험에 사용된 시험기는 丸井會社製의 全自動水中凍結融解試驗機(사진 3.2참고)를 사용하였고 動彈性係數의 測定은 同社製品의 Ultra-Sonoscope를 사용하였다(사진 3.3참고).

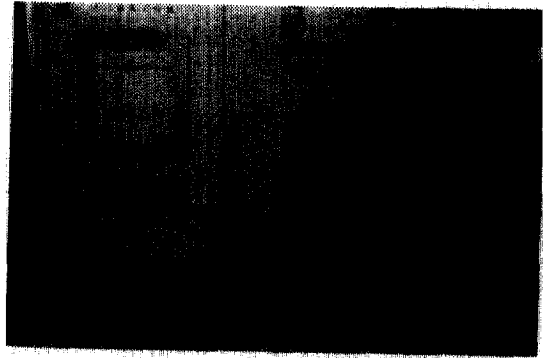


사진 3.2 自動水中凍結融解試驗機



사진 3.3 Ultra-Sonoscope

이 때 耐久性係數(DF)는 다음 식으로 산출한다.

$$DF = \frac{PN}{M} (\%) \quad (3)$$

여기서 P: N cycle에서의 상대동탄성계수(%)
N: P의 값이 특정값이 될 때까지의 cycle 수 또는 시험이 끝났을 때의 cycle 수
M: 시험이 끝난 특정의 cycle 수

4. 實驗結果 및 考察

實驗結果(표 4.1참고)로서 얻어진 高强度콘

표 4.1 콘크리트파일의 동탄성력 시험결과

수정별 종류	供試體記號	동탄성계수 (kg/cm ²)	회 중 cycle 수	상대동탄성 계 (%)	耐久性계수 (%)	중 량 (kg)	압 축 강 도 (kg/cm ²)	중량감소 율 (%)	강도비 율 (%)
원상생콘크리트파일	C-1	328,511	27	60	5	14.470	444	-3.9	58
	C-2	461,259	300	99	99	12.756	368	-12.0	51
	C-3	312,103	240	60	48	11.208	289	-11.5	56
	C-4	502,081	300	95	95	13.434	436	-2.1	85
	C-5	581,223	300	103	103	13.234	635	+0.1	89
	C-6	499,868	300	91	91	14.700	519	-1.3	90
수단생콘크리트파일	H-1	294,773	9	60	2	14.589	666	+0.1	87
	H-2	417,774	300	96	96	13.752	558	-2.3	80
	H-3	306,774	58	60	12	14.563	455	-1.4	91
	H-4	472,722	300	100	100	13.938	464	-0.5	92
	H-5	326,855	110	60	22	14.624	572	+0.5	83
	H-6	447,657	300	88	88	14.080	486	-1.9	83

콘크리트파일의 空氣量과 強度, 動彈性係數, 耐久性관계 그리고 相對動彈性係數, 重量減少率 및 強度低下率 등에 관하여 고찰해 본다⁽²⁵⁾⁽²⁶⁾.

4.1 壓縮強度에 미치는 空氣量과 動彈性係數

標準養生 후의 $\phi 10 \times 20$ cm의 供試體의 압축강도는 그림 4.1에서와 같이 공기량이 증가함에 따라서 저하되며 공기량 1~5% 전후에서 공기량 1% 증가함에 따라 壓縮強度 저하율은 3% 정도였다.

動彈性係數는 $\phi 10 \times 20$ cm 공시체와 콘크리트 Pile 공시체에 대하여 Ultra·Soniscope에 의해 측정하였다. 우선 $\phi 10 \times 20$ cm 공시체에 대하여는

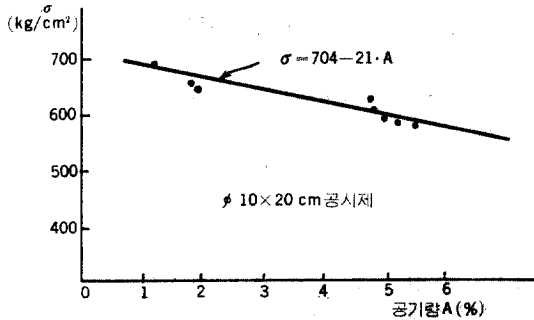


그림 4.1 공기량과 압축강도

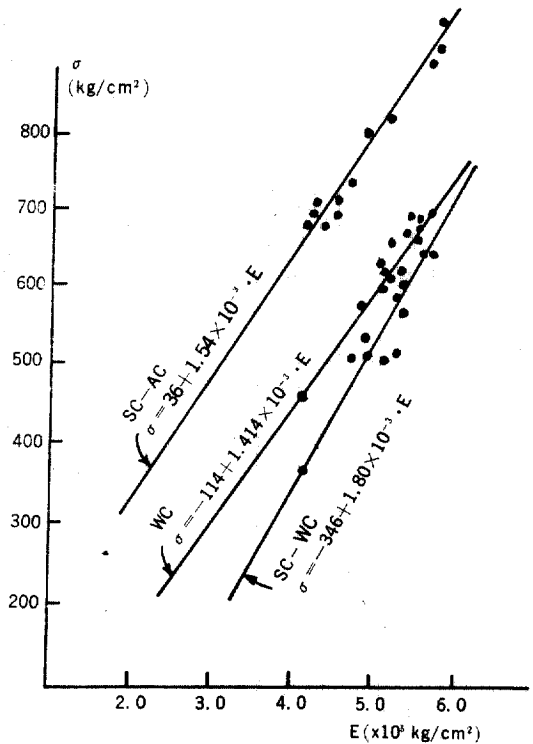


그림 4.2 동탄성계수와 압축강도

그림 4.2에서 보는 바와 같이 각 養生별 모두가 동탄성계수가 클수록 壓縮強度도 비례하였으며 각 養生간의 이들 관계는 配合設計條件이 같을

때 動彈性係數의 값이 같은 경우 壓縮強度의 값은 Autoclave 養生(SC-AC)에서 제일 큰 값으로 되었고 다음이 WC이며 제일 작은 값은 SC-WC의 경우였다. 이것은 역으로 설명한다면 壓縮強度의 값이 같은 點에서의 동탄성계수의 값은 Autoclave 養生에서 제일 작은 값으로 되었음을 의미하고, 凍結融解시험결과(표 4.1참고)에서 耐久性係數를 비교할 때 실사 초기강도가 높다 하더라도 동탄성계수가 낮은 콘크리트는 耐久性⁽²⁴⁾이 저하됨을 알 수 있다. 따라서 耐久的인 콘크리트를 만들려면 non AE 콘크리트에서는 초기강도와 동탄성계수가 높아야 한다는 것이다. Autoclave 養生에서 동탄성계수가 떨어지는 이유중의 하나로서 고온고압하에서 양생하는 경우 콘크리트 内部에 극히 미세한 균열이 생기며 이것이 동결융해시험시에 빨리 발전되어 내구성이 떨어지는 것으로 본다.

한편 콘크리트 Pile 공시체에 대해서도 이와같은 경향이 있고 특히 遠心力 成形파일과 손다짐 콘크리트파일을 比較할 때 같은 配合조건이라면 遠心力 콘크리트파일의 경우가 동탄성계수 및 압축강도 兩面에서 좀 큰 값을 보여주고 있다.

이것은 遠心力 다짐을 하면 回轉中에 공시체

가 원심력에 의하여 짜여져서 물이 배출되기 때문에 물·시멘트비가 좀 작아지며 아울러 압축강도가 증가하기 때문이다.

4.2 相對動彈性係數

표 4.1을 참고하여 각 養生에 따른 遠心力 콘크리트파일과 손다짐 콘크리트파일의 凍結融解 cycle 數와 相對動彈性係數와의 관계를 20cycle 마다 측정하여 表示한 것이 그림 4.3 (a), (b), (c)이다.

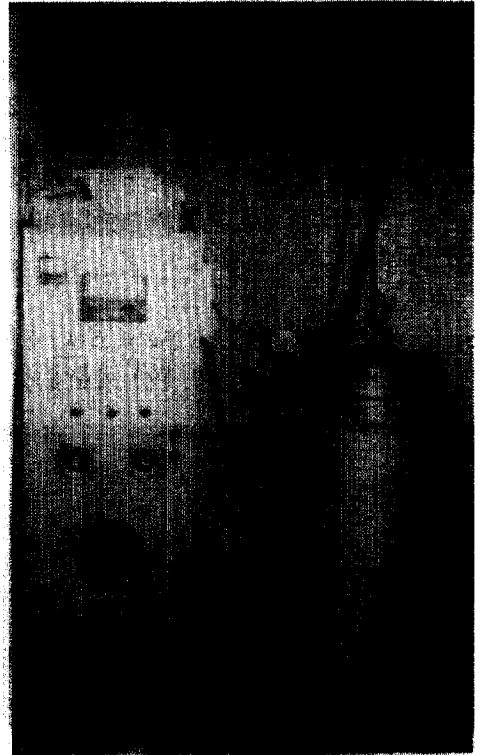


사진 4.1 Autoclave 양생조

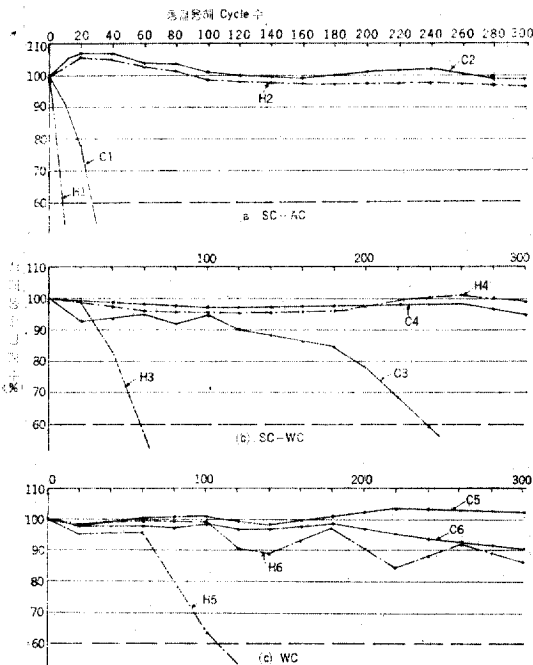


그림 4.3 凍結融解 cycle 수와 相對動彈性係數

(1) Autoclave 養生(SC-AC)

그림 4.3(a)에서 보는 바와 같이 공기량 4.8 %인 경우는 원심력 콘크리트파일이나 손다짐 콘크리트파일 모두가 300cycle에서 耐久性係數는 95% 이상으로 상당히 좋은 상태였으나 공기량 1.7% 정도에서는 遠心力 콘크리트파일인 경우 耐久性係數 5%(27 cycle)이고 손다짐 콘크리트파일에서는 2%(9 cycle)로서 극히 耐久性이 뒤 떨어졌다. 즉 Autoclave 양생시에는 앞에서 설명한 바와 같이 強度자세는 커지지만 공기량이 작은 경우 動彈性係數가 강도증가에 따라 상승

하지 않기 때문인 것으로 본다.

(2) 증기養生후 14일 水中養生(SC-WC)

그림 4.3(b)에서 보는 바와 같이 공기량 5.5%에서 원심력 콘크리트파일이나 손다짐 콘크리트파일 모두가 95% 이상으로 좋았으나 공기량 1.2%인 원심력 콘크리트파일은 240 cycle에서 耐久性係數 48%이고 공기량 1.9%의 손다짐 콘크리트파일은 58 cycle에서 耐久性係數 12%로서 역시 저조하였다.

(3) 標準水中養生(WC)

고강도콘크리트파일을 표준水中양생한 경우 그림 4.3(C)에서와 같이 공기량 1.2%의 손다짐 콘크리트파일은 110 cycle에서 耐久性係數 22%로 낮았다. 기타 다른 콘크리트파일에서는 300 cycle에서 88% 이상으로 좋은 상태였다. 특히 주목할만한 것은 원심력 콘크리트파일에서 공기량이 1.2% 정도라도 내구성계수가 제일 큰 값으로 103%였다(사진 4.4 참고).

以上을 간추려 설명하면 AE 콘크리트인 경우는 전반적으로 耐久性이 좋으며 특히 거푸집의 사



사진 4.2 동결융해 시험직전의 공시체준비

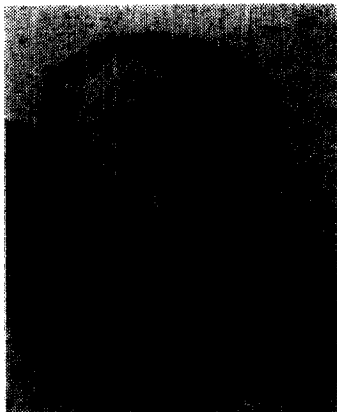


사진 4.3 40 cycle 후의 H-3 공시체

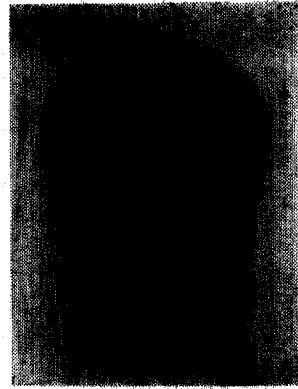


사진 4.4 300 cycle 후의 C-5 공시체

용회전율을 높이기 위해 Autoclave 양생이 바람직하며 non AE 콘크리트에서는 Autoclave 양생시 耐久性係數가 제일 작았으며 다음이 SC-WC이고 WC의 경우는 AE 콘크리트보다도 耐久性係數가 큰 것으로 미루워 高强度콘크리트構造物에서 특히 凍害의 염려가 있는 곳에서는 標準水中養生으로 해야 할 것이다.

4.3 重量變化率과 強度低下率과의 관계

凍結融解에 따른 콘크리트의 劣化는 重量變化率이나 強度低下率관계로서 대략 알 수 있으며, 콘크리트의 파괴상태를 예측할 수 있는 유력한 자료가 된다.

本實驗에서 얻어진 結果로서 300 cycle을 기준으로 한 공시체들의 이들의 관계를 알아보면 다음과 같다.

(1) 遠心力 콘크리트파일

Autoclave 養生인 경우 C-2 공시체가 300cycle에서 증량감소를 12%로 제일 컸고, 강도저하율도 49%로 제일 많았다. C-1 공시체도 역시 많은 것으로 본다. 원심력성형인 경우에는 원심력에 의하여 콘크리트파일 내측으로 물이 배출하면서 내측에 묶은 반죽의 모르터층이 생기고 층경계의 양측 모르터의 물·시멘트비 차가 생기며 고온고압養生時 양쪽의 팽창이 相異함으로 이 경계면에 더욱 많은 미세균열이 생긴다고 생각된다. 따라서 凍結融解과정에서 이 경계면에 균열이 발전하여 모르터층이 박리됨으로서 重量減少가 크게 생긴다(사진 4.5와 사진 4.6 참고).

다음에 SC-WC 養生인데 C-4 供試體에서는 重量減少率 2%, 強度低下率 15%로 그다지 떨어지지 않았으나 C-3 供試體에서는 240 cycle에서

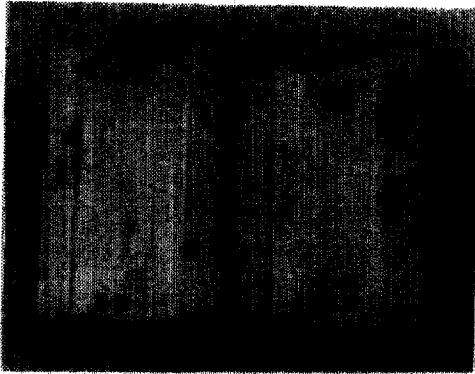


사진 4.5 원심력콘크리트 파일의 모르터층

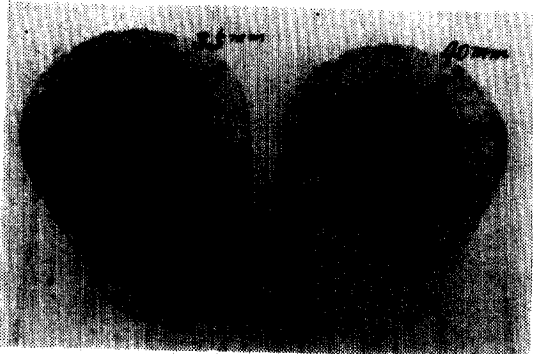


사진 4.6 300 cycle 후의 C-2, H-2 공시체

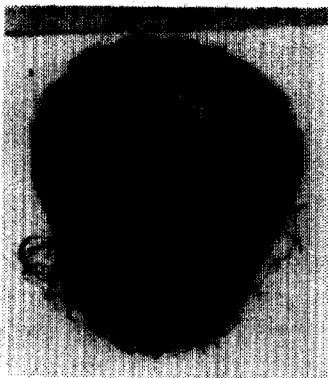


사진 4.7 C-3 공시체

중량감소를 12%, 강도저하율 44%였고, 동결융해에 의한 凍害를 가장 심하게 받은 것으로 파일상면에서 하부로 10 cm 정도의 균열이 일어났

다(사진 4.7 참고).

標準水中養生에서는 C-6 供試體的인 경우 300 cycle에서 중량감소를 1%, 강도저하율 10%로 양호한 상태였으며 내부의 모르터층 박리가 생기지 않았고, 특히 C-5 공시체에서는 사진 4.4에서 보는 바와 같이 300 cycle에서 중량이 0.1% 증가하고 있다. 즉 원심력성형이라도 Non AE 콘크리트인 경우 水中養生을 하면 耐久性⁽¹⁶⁾이 좋은 콘크리트가 된다.

(2) 손다짐 콘크리트파일

Autoclave 養生인 경우 H-2 공시체(사진 4.6 참고)가 300 cycle에서 중량감소를 2%이고 강도저하율 20%로 제일 컸으나 파일 내부에서의 모르터 박리는 일어나지 않았다. 다음이 標準養生으로 H-6인 경우인데 중량감소를 2%, 강도저하율 17%였다. 손다짐콘크리트파일에서는 SC-WC 養生이 중량감소를 1%, 강도저하율 8%로 비교적 좋은 결과를 얻었다.

5. 結 論

以上에서 論한 바와 같이 AE 콘크리트와 Non AE 콘크리트에 高性能減水劑를 사용한 高强度콘크리트 Pile을 SC-AC 養生, SC-WC 養生, WC 養生시키고 凍結融解시험한 結果에 對하여 다음과 같은 事實을 밝힐 수가 있다.

(1) 高强度콘크리트에서도 普通强度콘크리트와 마찬가지로 空氣함유량증가에 따라 壓縮强度가 감소하였으며 本實驗에서는 공기량 1% 증가에 대하여 대략 壓縮强度 3% 정도 저하하였다.

(2) 一般的으로 적당량의 AE 공기를 함유하고 있을 때(本實驗에서는 4% 이상) 本研究實驗에서 行한 養生方法(SC-AC, SC-WC, WC)에 對하여 初期强度가 높은 高强度콘크리트는 耐久性에 별문제가 없는 것으로 판단한다.

(3) Autoclave 養生한 Non AE 고강도콘크리트는 他養生(SC-WC 및 WC)한 것보다 養生同時의 壓縮强度는 높았으나 動彈性係數가 낮았고 이에 따른 耐久性係數도 극히 저조하였다.

(4) Non AE 고강도콘크리트라도 遠心成形에 의하고 標準水中養生을 할 때 AE 고강도콘크리트와 마찬가지로 耐久性이 극히 좋았다.

(5) 遠心力 고강도콘크리트파일은 손다짐 고

강도콘크리트파일보다 전반적인 養生方法에 대하여 強度가 좀 컸고 耐久性에서도 좋았음을 보여 주었다.

以上の 결과에서 耐久性이 좋은 高強度콘크리트를 만들려면 養生後の 壓縮強度와 動彈性係數가 큰 콘크리트를 만들어야 하며, 적당량의 공기량을 함유하고 있거나, Non AE 콘크리트에서는 遠心力成形하여 標準水中養生하면 耐久性이 좋은 콘크리트가 될 수 있는 것으로 본다.

謝 辭

本 研究는 IBRD 海外派遣研究教授로 日本東京工業大學 工學部 土木工學科 長瀧研究室에서 遂行하였음을 알리고, 아울러 文教部 및 學校當局과 研究에 協助하여 주신 長瀧重義 教授 그리고 同研究室 여러분께 感謝를 드리는 바이다.

參 考 文 獻

1. L.J.Parrot; "The Properties of High Strength Concrete: Technical Report TPA/417, Cement and Concrete Association, May 1969.
2. 吉田徳次郎; "最高強度コンクリート製造について", 日本土木學會誌, 第26卷, 第11號, Nov. 1930, pp. 997-1006.
3. C.A. Menzel; "Strength and Volume Change of Steam-Cured Portland Cement Mortar and Concrete," Journal of ACI, Proceedings, Vol. 31, Nov-Dec. 1934, pp.125-148.
4. 富山勝三, 丸山武彦; "オートクレーブ養生による高強度 콘크리트의 製造", コンクリート工學, Vol.14, No.3, Mar.1976, pp.50-53.
5. 藤井健太郎; "加壓成形による高強度콘크리트의 製造", コンクリート工學, Vol.14, No.3, Mar 1976. pp.54-57.
6. 西晴哉, 大鹽明, 福澤公夫; "オートクレー브養生した高強度콘크리트파일", セメント・コンクリート, No.299, Jan.1972, pp.22-29.
7. 杉木六郎; "最近の遠心力콘크리트製造に關する技術", セメント・コンクリート, No. 316, June 1973, pp.2-10.
8. 福澤公夫, 遠藤博; "高強度콘크리트くい", コンクリート工學, Vol. 14, No. 3, Mar. 1976, pp 86-90.
9. 福土勲, 嵩英雄; "高性能減水劑", コンクリート工

- 學, Vol. 16, No. 3, Mar. 1978, pp.32-37.
10. 徳光喜治; "高性能減水劑の活用", 日本土木學會誌, Vol. 65, 増刊 Annual'80, pp.44-51.
11. 宮坂廣男; "特殊減水劑による高強度コン크리트の製造", コンクリート工學, Vol. 14, No. 3, Mar. 1976, pp.47-49.
12. C. Macinnis, D.V. Thomson; "Special Techniques for Producing High Strength Concrete", Journal of ACI, Proceedings, Vol. 67, No. 12, Dec. 1970, pp.996-1002.
13. B. Mather; "How strong can Concrete Be", Journal of ACI, Vol. 61, No. 11, Nov. 1964, News Leter. pp.122.
14. Tentative Interim Report on High Strength Concrete, Journal of ACI, Proceedings, Vol. 64, No. 9, Sep. 1967, pp.556-557.
15. Guide to Durable Concrete Reported by ACI Committee 201, Journal of ACI, Vol. 74, No. 12, Dec. 1977, pp.573-609.
16. 齋藤, 大鹽, 後藤, 大森, "高強度コンクリートの物性及び耐久性", セメント技術年報, XXIX 1975, pp.232-234.
17. 高山, 西元, 江本; "高強度コンクリートの配合設計について", 第30回土木學會年次學術講演會講演概要集, 第5部, Oct. 1975, pp.75-76.
18. 重瀧重義; "高強度コンクリートの諸性質", Concrete Journal, JCI Vol. 14, No. 3, Mar. 1976, pp.38-41.
19. 金武漢, 鄭秀永; "韓國의 氣象條件下의 寒中콘크리트施工에 關한 基礎的 研究", 土木學會, 第27卷 第1號, Feb. 1979, pp.73-81.
20. 高山, 出光, 石橋, 猿渡, "高強度コンクリートの配合に關する基礎研究", セメント技術年報, XXIX 1975, pp.235-238.
21. 小林正九, 田中弘; "高強度コンクリートの凍結融解にたいする抵抗性について", セメント技術年報, XXVIII 1974, pp.295-297.
22. 大和竹史, 山下友, 江本幸雄; "コンクリート凍害の機構に關する一實驗", 第33回土木學會年次學術講演會講演集, 第5部, Sep. 1978, pp. 25-26.
23. 石田宏; "コンクリートの凍害の機構に關する問題點", 第33回土木學會年次學術講演會講演集, 第5部, Sep. 1978, pp.27-28.
24. 後藤幸正, 三浦尚, 鈴木達郎, "高性能減水劑を使用したコンクリートの耐久性について", 第34回 セ

メント技術年報, Dec. 1980, pp.326-328.

25. 服部健一, 岡山英三郎, 飛坂基木, 柳 啓; “高性能減水剤を使用した高強度コンクリートの耐凍結融解性”, 第34回 セメント技術年報 Dec. 1980, pp.329-332.
26. 石田宏; “コンクリートの薄片供試體による凍結融解試験”, 第3回 コンクリート工學年次講演會講演論文集, Apr. 1981, pp.153-156.
27. Kennedy, B. Thomas, Mather, Katharine; “Correlation Between Laboratory Accelerated Freezing and Thawing and Weathering at Treat Island, Marine”, journal of ACI, *Proceedings* Vol. 50, No. 2, Oct. 1953, pp.141-172.
28. P.K. Mehta; “Durability of Concrete in Marine Environment”, *Performance of Concrete in Marine Environment*, ACI Publication SP-65, 1980, pp.1-20.
29. M. Schupack; “Behavior of 20 Post-tensioned Test Beams Subject to up to 2200 Cycles of Freezing and Thawing in the Tidal Zone at Treat Island, Marine”, *Performance of Concrete in Marine Environment*, ACI Publication SP-65, 1980, pp.133-152.
30. *ACI Monograph No. 3; Freezing and Thawing of Concrete-Mechanisms and Control*, 1967, pp. 23-42.
31. 建設部, *콘크리트포준시방서*, 1977.
32. *ACI Publication*, ACI Manual of Concrete Practice 1979, Part I, pp.212-265.
33. 川村俊部, 長瀧重義; “高強度コンクリート”, *Concrete Journal*, JCI Vol, 18, No. 7, July. 1980, pp.8-11.
34. 杉木六郎, 丸山武彦; “高強度コンクリートの應用例”, *Concrete Journal*, JCI Vol, 18, No. 7, July. 1980, pp.19-36.

(接受: 1981. 10. 21)