

콘크리트의 現場養生效果에 관한 研究

A Study on the Curing of Concrete in field

尹 忠 燮* · 趙 炳 辰*
Yoon, Choong Sup · Cho, Byung Jin

Summary

This study was carried out to investigate the compressive strength and the other effects varying to seasons and curing days on the wet curing conditions of the plain concrete.

The results obtained are summarized as follows;

1. The longer the wet curing days and the higher the temperature, the greater the compressive strength was expected.
2. σ_{28} , compressive strength of concrete at 28 days under the dry curing conditions showed a range in 64-76% of that under the wet curing conditions.
3. The seasonal variations in the compressive strength under the wet curing showed in order of summer > spring = autumn > winter, and that under the dry curing were in order of spring = autumn > summer > winter.
4. In order to obtain 90% of the design compressive strength, 7 days in spring or autumn and 2 weeks of the wet curing in summer were required.
5. The compressive strength of concrete under the wet curing by using wet straw bag cover was almost the same as that of water curing method.
6. Under the wet curing conditions, the higher the temperature, the greater the effect of the curing of concrete was obtained, however, the compressive strength of concrete was decreased under relatively higher (over 15°C) and lower temperature (below 4°C).
7. Freezing damage was occurred when temperature was below 0°C and humidity was relatively high.
8. A considerable difference between estimation of σ_{28} from σ_7 and measured one was appeared in case of the dry curing conditions. Oregon formula was appeared to be acceptable under the wet curing conditions.
9. In relationship between σ_{28} and σ_7 , $\sigma_{28} = 1.52 \sigma_7$ under the wet curing conditions except winter season, and $\sigma_{28} = (1.39-1.48) \sigma_7$ under the dry curing conditions were shown.

*慶尙大學校 農科大學

I. 緒 論

各種 建設工事中서 콘크리트가 차지하는 比重은 莫重한것으로서 土木工事中에서는 흙과 더불어 基本이 되는 建設材料가 되며 鐵筋콘크리트 構造物 築造를 爲해서는 가장 重要한 材料인 것이다.

따라서 建設産業의 急進的인 發展과 더불어 콘크리트에 對한 많은 研究와 技術發展이 이루어지면서 보다 強度가 크고 經濟的인 콘크리트 構造物을 만들 고저 努力하고 있다.

이러한 콘크리트는 주로 시멘트, 骨材, 굵은 骨材 및 混和材料의 結合體로서 良質의 콘크리트를 만들기 위해서는 良好한 시멘트의 使用은 물론 骨材의 選定, 各 材料의 配合比率, 現場配合, 打設, 養生등의 諸般 過程中에서 어느 하나만이라도 不良해서는 안된다. 이 中에서 養生은 콘크리트 製造過程 中 最後의 段階로서 콘크리트의 硬化作用을 促進시키기 위하여 外部에서 水分을 供給해주던지 또는 內部로부터의 水分의 蒸發을 防止하는 同時에 乾燥에 의한 收縮과 龜裂을 防제 하기 위한 作業으로 이 養生이 콘크리트 強度에 미치는 影響은 大端히 重要한 것이다¹⁾

특히 氣溫이 높아 乾燥 收縮이 심한 여름철이나 氣溫이 낮아 凍結의 被害가 있는 겨울철에는 養生에 對한 特別한 注意를 하지 않으면 諸般 過程이 아무리 좋은 條件下에서 이루어진 콘크리트라도 強度가 높은 良質의 콘크리트를 期待하기는 어려운 것이다.^{2), 3)}

그러므로 各種 콘크리트 構造物 築造를 위한 示方書에서는 콘크리트를 打設하여 硬化가 이루어지고 있는 동안에는 어느 一定期間 直射光線, 바람등을 피하고 적당한 方法으로 콘크리트面을 덮던지, 撒水를 하여 濕潤狀態를 維持해야 한다고 되어있으며 이를 위하여 濕潤養生, 被覆養生, 蒸氣養生등의 여러가지 養生方法이 施行되고 있다^{4), 5), 23)}.

그러나 실제로 現場에서 콘크리트를 打設時에는 構造物의 種類와 크기, 現場條件 및 打設時期 등에 따라서 養生方法과 期間을 달리해야하므로 現場條件에 맞는 完備한 養生을 實施하기는 大端히 어려운 것이며 특히 農業土木 構造物과 같이 小規模의 콘크리트 構造物이 넓은 地域에 散在되어 있으며 콘크리트의 澈底한 品質管理를 하기 어려운 곳에서 良好한 養生을 實施하기는 더욱 困難한 것이다. 그

리고 道路의 콘크리트 鋪裝이나 水路의 콘크리트 라이닝에서는 養生의 必要性은 더욱 커서 澈底한 養生이 要求되고 있다.

그러나 이와같이 打設時期와 構造物의 種類가 多様な 現場條件에서 工事示方書에다 適合한 養生方法과 養生期間을 明示한 規定은 별로 없으며 따라서 現場技術者는 現場條件에 맞는 適合한 養生方法에 對한 技術과 認識不足으로 좋은 콘크리트를 만들지 못하고 있는 例가 많다. 특히 콘크리트의 養生은 콘크리트의 硬化가 활발히 이루어지고 있는 初期가 大端히 重要한 것으로서 이는 溫度와 濕度에 따라서 다르므로 실제로 現場에서는 季節別로 그 養生期間을 달리하지 않으면 안된다^{6), 8), 23)}.

그러므로 本 研究에서는 季節別로 養生期間을 달리한 콘크리트의 壓縮強度를 測定하여 다음의 諸般事項을 研究코저 하였다.

① 現場初期의 養生이 콘크리트 強度에 미치는 影響

② 季節別로 養生條件(期間)에 따른 콘크리트 強度의 變化

③ 大氣中에서 乾燥時와 濕潤養生時의 콘크리트의 強度

④ 現場養生 溫度와 콘크리트 強度와의 關係

⑤ 콘크리트의 7日壓縮強度(σ_7)와 28日壓縮強度(σ_{28})와의 關係

⑥ σ_7 로부터 σ_{28} 을 推定함에 따른 問題點

그런데 이러한 콘크리트의 強度에 對한 研究를 위해서는 大端히 많은 數의 供試體로 試驗을 해야 하나 本 試驗에서는 試驗期間이 짧고 同時에 많은 供試體를 製作할 만큼 試驗器具가 充分치 못하여 研究結果에 末備點이 있으나 本 研究에서 얻은 結果는 現場技術者에게 도움이 될 수 있으며 現場養生에 對한 研究를 하는데 參考資料로서 利用할 수 있을 것으로 생각된다.

II. 研究史

콘크리트는 1824年 Joseph Aspidino이 Portland Cement를 發明한 以來 가장 重要한 建設材料로서 用途에 따라 早強시멘트, 中庸熱시멘트등의 여러 種類가 生産되고 1933年 以來 各種 混和材料가 開發되어 콘크리트의 強度, 水密性, 耐久性等 콘크리트 製品의 諸性質을 크게 改善시키고 있다.^{1), 5)}

이러한 性質中에서 콘크리트 強度에 影響을 미치

는 因子는 材料의 性質, 물-시멘트比, 配合設計, 施工方法 그리고 養生方法等的 여러가지가 있으며^{7,28)} 이 中에서 養生은 콘크리트 作業의 最後의 段階로서 콘크리트 強度에 미치는 영향이 大端히 크며 특히 콘크리트 打設後 初期의 養生이 더욱 重要하여 施工時에는 이의 必要性이 大端히 強調되고 있다.^{4,7,9,28,29)}

이러한 養生은 溫度와 濕도에 密接한 關係를 가지고 있어 竹本(1969)는 充分한 濕度下에서는 콘크리트의 養生溫度는 初期 24時間이 가장 重要하며 콘크리트 打設時와 養生初期에는 高溫보다 底溫이 콘크리트의 後期強度가 增加된다고 하였으며 이러한 現象은 1977년에 Barnes와 Orndorff의 試驗에서도 立證되었다.^{4,27)}

1973年 山根의 研究에서는 濕度 85%의 空中養生은 水中養生에 比하여 強度가 20~30% 低下되었으며³⁰⁾ 後藤(1979) 등은 콘크리트의 強度는 含水比(w)가 클수록 增加되며 그 關係는 $\Delta\sigma_c = 1.07w$ 가 된다고 하였다.¹⁵⁾

그러므로 콘크리트의 養生은 可及의 水中養生이 가장 좋다고 하였으나^{7,9,19,26,28)} 콘크리트 標準示方書나 Concrete Manual에서는 水中養生이 곤란한 現場에서는 乾은 가마니로 덮어 主도록 規定하고 있다.^{7,20)}

또한 Fenfress (1977)는 太陽熱이 높은 경우에 白色顔料를 使用한 被膜養生을 하여 溫度를 4°C 정도 낮추어 乾燥를 어느정도 막을수 있다고 하였다.⁹⁾ 그리고 Shoya(1982)는 養生期間 8~24 시간이 콘크리트 收縮에 가장 큰 영향을 주므로 이 期間에는 水分의 逸散을 防止해야 한다고 하여 初期養生의 重要性을 強調하고 있다.²⁸⁾

콘크리트 示方書나 Concrete Manual에서는 콘크리트 打設에 適當한 溫度는 4~30°C로 規定하였으나^{7,20)} 1983년에 發行된 최신콘크리트工法 핸드북과 土木工學 핸드북에서는 氣溫이 30°C이던 콘크리트面의 溫度는 이보다 훨씬 높아지므로 1日平均溫度가 25°C 以上이면 暑中콘크리트로 取扱해서 澈底한 濕潤養生을 強調하였다.^{5,8)}

그리고 -3°C 以下の 氣溫에서는 콘크리트가 凍害를 받으므로 이때는 콘크리트 施工을 禁止하고 있으며^{16,29)} 콘크리트 標準示方書나 日本農業土木 Hand Book(1979)에서도 -0.5~-2°C에서 24時間동안은 凍結에 特別한 保護를 要求하고 있으며^{7,9)} Scanlon(1978) 後藤(1979), 金(1981) 및 權(1979) 등

많은 사람들이 冬季콘크리트에 대한 많은 研究를 하였다.^{13,15,17,21)}

이와같이 콘크리트의 養生은 콘크리트 硬化에 必要한 溫度와 濕도를 調節하기 위하여 꼭 必要한 것으로 養生方法과 그 期間에 대한 많은 研究가 되었으며^{2,4,17,23,26,27,30)} 鳥田(1967)와 竹本(1969) 및 Merritt(1976)는 養生期間이 相異함에 따른 콘크리트 強度에 對한 試驗을 通해서 初期養生이 不良함으로서 強度가 크게 低下되었으며^{20,23,27)} 특히 養生을 하지않고 乾燥시켰을 경우에는 強度가 濕潤養生 強度의 50~60% 밖에 안됨을 보여주고 있다.

그리고 콘크리트의 基準強度는 材令 28日에 對한 것으로서 이를 求하기 위해서 많은 時間이 所要되므로 初期의 強度로부터 28日 強度를 求하고자 하는 여러가지 公式이 考案되었으나²⁸⁾ Shoji(1978)는 養生期間 1.5時間에의 물-시멘트比와 強度로부터 28日強度(σ_{28})를 求하는 式을 提案하였으나 一般적으로 7日強度(σ_7)로 부터 σ_{28} 을 推定하며 이를 위하여 Slater 式($\sigma_{28} = \sigma_7 + 8\sqrt{\sigma_7}$), Graf 式($\sigma_{28} = (1.4 \sim 1.7)\sigma_7 + (10 \sim 60)$) 및 Oregon State High Way 式($\sigma_{28} = 1.51\sigma_7 + 3.43$)이 提案되고 있다.^{28,29,27)}

한편 季節別로 養生의 效果를 試驗한 宮南(1972) 등은 大氣中에서는 봄철의 壓縮濕도가 여름철의 強度보다 크게 되므로 여름철의 高溫으로 因한 乾燥 狀態가 強度를 低下시킴을 말해주고 있다.

그러므로 本 研究에서도 季節別로 養生期間을 달리하여 콘크리트의 強度變化를 調査 研究하였다.

Ⅲ. 材料 및 試驗方法

1. 材料

가. 시멘트

本 試驗에 使用한 시멘트는 國內에서 生産된 보통 포틀랜드 시멘트로서 그 性質은 Table-1과 같으며 試驗結果 諸般性質이 K.S. 規格의 範圍內에 있는 良好한 狀態이었다.

나. 잔骨材

本 試驗에 使用한 잔骨材는 南江댐 上流에 位置한 晉陽郡 大坪面에서 採取한 것으로 그 性質은 Table-2와 같이 吸收率이 적고 不純物이 없는 良好한 狀態이며 粒度分布는 Fig. 1과 같이 粒度 限界內에 있는 良粒度의 狀態이다.

Table-1. Quality of Normal Portland Cement

Physical properties				Chemical properties			
Property	Item	Result	K.S.	Compound	Item	Result	K.S.
Fineness	Specific gravity	3.14	—	Heat of hydration (Cal/g)	7 days	—	—
	Blainess cm ² /gr	3.225	>2800		28 days	—	—
	Standard sieve 44 μ residue (%)	—	—	Drying Shrinkage (%)		—	—
	Standard sieve 149 μ residue (%)	—	—	Ignition loss (%)		1.30	<3.0
Time of Setting	Normal (%) consistency	24	—	Insoluble residue (%)		3.2	<9.75
	Initial (min)	137	>60	SO ₃ (%)	1.9	<3.0	
	Final (hr)	5.50	<10	MgO (%)	2.8	<6.0	
Soundness		0.11	<0.80	SiO ₂ (%)	20.9	—	
Water Requirement (%)		—	—	Al ₂ O ₃ (%)	5.8	—	
Strength (kg/cm ²)	Compression ages	1 day	—	—	Fe ₂ O ₃ (%)	3.2	—
		3 days	1.37	>127	CaO (%)	64.4	—
		7 days	219	>197	S (%)	—	—
		28 days	—	>281	Na ₂ O K ₂ O (%)	—	—
	Tension ages	1 day	—	—	3CaO Al ₂ O ₃ (%)	10.0	—
		3 days	25.2	>10	C ₃ S+C ₂ S (%)	—	—
		7 days	31.5	>20	Free CaO (%)	1.0	—
		28 days	—	>25	Air content of mortar	—	—

Table-2. Quality of Fine Aggregate

Item	Specific Gravity	Absorption	Unit weight	Ratio of Void	Fineness Modulus	Soundness	Clay lump	Organic Material Content
Results	2.591	1.42%	g/cm ³ 1.599	38.4%	2.63	good	None	None

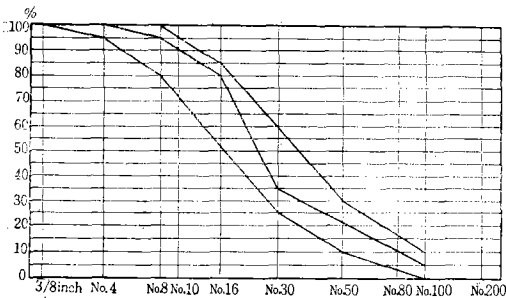


Fig. 1. Gradation Curve of Fine Aggregate

다. 굵은 骨材

試驗에 使用한 굵은 骨材는 잔 骨材와 同一한 場所에서 採取한 것으로 Table-3 및 Fig.2와 같다.

試驗表에서 보는바와 같이 본 굵은 骨材는 吸收率과 磨耗率이 적고 耐久性이 크며 粘土나 有機不純物이 없는 大端히 良好한 骨材로서 骨材의 粒度는 Fig.2와 같이 規定된 範圍內에 들도록 調整하여 使用하였다.

Table-3. Quality of Coarse Aggregate

tem	Specific gravity	Absorption	Unit weight	Soundness	Abrasion grade	Fineness Modulus	Clay lump	Organic Material Content
Results	2.674	1.42%	g/cm ³ 1.704	good	18.3%	7.48	None	None

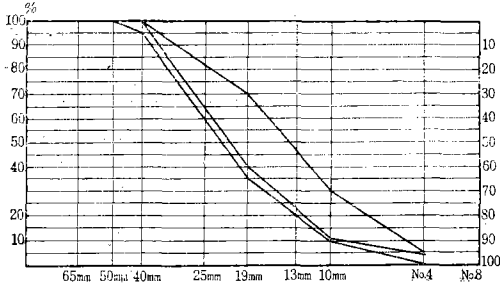


Fig. 2. Gradation Curve of Coarse Aggregate

2. 供試體 製作

가. 配合設計

콘크리트의 配合強度는 設計基準強度 構造物의

種類 및 現場條件 등에 따라서 定하나 本 試驗에서는 現在 一般土木工에서 많이 採擇되고 있는 基準壓縮強度인 200kg/cm²으로 하였으며 淸은 骨材의 最大치수는 40mm로 하였다. 그리고 물-시멘트比는 28日 壓縮強度와의 關係式 (1)을 使用하여 52%로 定하였다.

$$\sigma_{28} = -210 + 215 \frac{C}{W} \text{ (kg/cm}^2\text{)} \dots\dots\dots (1)$$

即 200 = -210 + 215 $\frac{C}{W}$ 에서 W/C = 52%

그리고 單位 시멘트量은 $\sigma_{28} = 200\text{kg/cm}^2$ 일때 一般的으로 많이 使用하는 320kg으로, 그리고 單位 骨材率은 36%로 하여 單位骨材量을 計算하였으며 各 材料의 配合設計量은 Table-4와 같다.

Table-4. Mixing Design

Max. Size of Gravel	Slump	Cement	Water	W/C	Sand	Gravel	S/A
40mm	7.5 ± 1cm	320kg	166kg	52%	684kg	1,251kg	36%

나. 供試體 製作

壓縮強度用 供試體는 지름이 1.5cm이고 높이가 30cm인 圓柱로 製作하였으며 供試體數는 每季節別로 σ_7 測定用 25個(水中養生 5조건 × 3개 + 非복양생 5조건 × 2개), σ_{14} 測定用 12個(水中養生 6조건 × 2개) 그리고 σ_{28} 測定用 21個(水中養生 7조건 × 3개)로 一時에 58個씩 製作하였다. 그리고 供試體는 製作成型後 24時間(겨울철은 48시간)이 지나서 脫型하여 材齡 28日까지 各 養生方法에 따라 養生하였다.

3. 養生 및 壓縮強度 試驗

가. 養生方法

콘크리트의 養生은 初期에 效果가 가장 크므로 Table-5와 같이 所要 日數 만큼 初期에 水中 및 被覆養生을 한뒤 28日까지 大氣中에서 乾燥시켰다. 水中養生은 室內의 水槽를 利用하였으며 이때 水溫은 平均氣溫과 비슷하였다. 그리고 被覆養生은 可及的 現場에서 施行이 간편한 方法인 젖은 가마니로 덮고 1日, 3~4日씩 撤水하여 水中養生 日數와 同一한 期間 濕潤狀態로 만들었으며 大氣中에서 乾

燥時 降雨가 있을 경우에는 Vynyl로 덮어서 콘크리트가 비에 젖지 않도록 하였다.

Table-5. Curing Condition

Curing condition		Curing day		Remark
Water	Wet Matt	Water (Wet)	dry	(Wet/Dry)
A-1	A-2	0	28	A (0/28)
B-1	B-2	1	27	B (1/27)
C-1	C-2	2	26	C (2/26)
D-1	D-2	4	24	D (4/24)
E-1	E-2	7	21	E (7/21)
F-1	F-2	14	14	F (14/14)
G-1	G-2	28	—	G (28/ 0)

나. 壓縮強度 試驗

壓縮強度 試驗은 Table-5와 같은 條件에 대하여 材齡 7日, 14日 및 28日의 強度를 測定하였으며 試驗方法은 KSF 2405에 準하였다. 그리고 供試體는 加壓面을 硫黃으로 Capping 하여 加壓荷重이 均一하게 作用하도록 하였다.

4. 試驗時期 및 氣象條件

本 試驗은 봄, 여름, 가을, 겨울의 4季節을 擇하였으며 各 季節別 試驗期間은 Table-6과 같다.

Table-6. 季節別 試驗 期間

季 節	試驗 期間 (28日間)
Spring	83. 4. 16 ~ 5. 14
Summer	83. 8. 3 ~ 8. 28
Autumn	83. 10. 11 ~ 11. 8
Winter	83. 12. 10 ~ 84. 1. 7

本 試驗은 現場에서 濕潤養生이 不良하였을 경우에 콘크리트 強度에 미치는 影響을 主로 調查키 위 한것이므로 여름철은 雨期가 지나고 氣溫이 가장 높은 季節을 擇하였으며, 봄 가을철은 乾期를, 그리고 겨울철은 실제로 工事が 可能한 最後期間을 擇하였다.

그리고 各 季節別로 試驗期間의 氣象條件은 부표와 같으며 4週間の 平均 氣象條件은 Table-7과 같다.

Table-7에서 보면 여름철의 平均기온은 24~27°C로서 高溫이었으며 1일의 最高氣溫은 30°C를 넘는다.

Table-7. Seasonal Weather (mean value)

Season	Item	Week			
		1	2	3	4
Spring	Temperature (°C)	12.9	15.3	14.8	18.6
	Solar Radiation (HJ/m ²)	18.3	14.7	20.5	24.0
	Humidity (%)	69.4	79.7	70.7	74.9
Summer	Temperature	27.5	27.2	23.7	25.2
	Solar Radiation	19.5	17.4	15.5	12.5
	Humidity	83.4	76.6	80.7	87.9
Autumn	Temperature	16.7	15.2	10.4	10.8
	Solar Radiation	10.0	13.6	13.8	11.0
	Humidity	80.5	67.0	81.4	80.4
Winter	Temperature	1.84	0.99	-3.1	-3.4
	Solar Radiation	9.6	10.0	10.1	9.9
	Humidity	59.3	65.9	57.1	67.0

경우도 많았다. 그리고 봄과 가을철은 溫度가 10~18°C로 여름철과 10°C 이상 낮았고 濕度도 70~80%로 여름철의 80~90%보다 10%정도 乾燥하였다. 또한 겨울철 氣溫은 初期 2週間은 1.8~1°C이었으나 後期 2週間은 -3°C 以下の 추운날씨로서 콘크리트의 凍害를 줄 수 있는 氣溫이었다.

cm²로서 養生條件에 따라서 크게 變化됨을 알수있다.

그리고 28日間 濕潤養生時는 여름철의 強度가 最大이나 濕潤養生日數가 작을수록 특히 養生初期의 養生이 不良할수록 여름의 強度가 봄, 가을철보다 低下됨을 알수있다.

IV. 試驗結果 및 考察

1. 試驗結果

各 季節別로 實施한 材齡 7日, 14日 및 28日에 대한 壓縮強度 ($\sigma_7, \sigma_{14}, \sigma_{28}$)는 Table-8과 같다.

試驗結果에서 보면 겨울철에는 다른 季節에 比하여 약 2/3程度의 強度밖에 안되며 봄, 여름, 가을 3季節에 대한 壓縮強度는 대략 σ_7 을 94~18kg/cm², σ_{14} 는 113~163kg/cm², 그리고 σ_{28} 은 131~198kg/cm²

2. 考察

가. 濕潤養生과 乾燥時의 壓縮強度

供試體를 大氣中에서 28日間 乾燥시켰을 경우와 濕潤養生시켰을 경우의 σ_7, σ_{14} 및 σ_{28} 의 값과 σ_{28} 에 대한 σ_7 과 σ_{14} 의 比率을 나타내던 Table-9와 같으며 Fig.3은 乾燥時와 濕潤時의 季節別 強度를 나타낸 것이다.

Table-9에서 보던 乾燥時의 σ_{28} 은 濕潤時의 強度의 64~76%밖에 안됨을 알 수 있다.

Table-8. Compressive Strength

(kg/cm²)

Season	Age	Condition							Remark
		A-1 (0/28)	B-1 (1/27) (B-2)	C-1 (2/26) (C-2)	D-1 (4/24) (D-2)	E-1 (7/21) (E-2)	F-1 (14/14) (F-2)	G-1 (28/0) (G-2)	
Spring	σ_7	103.8	108.2 (110.3)	115.3 (114.9)	121.2 (121.2)	123.8 (125.1)	—	—	(): Strength by wet matt curing
	σ_{14}	125.1	135.9	141.8	146.9	150.7	156.3	—	
	σ_{28}	144.4	152.6	160.8	167.8	172.0	180.9	190.0	
Summer	σ_7	94.0	103.7 (104.2)	109.7 (110.1)	118.9 (121.6)	128.3 (132.7)	—	—	
	σ_{14}	113.3	124.6	133.2	141.6	150.6	162.6	—	
	σ_{28}	130.9	141.6	146.4	156.8	162.5	178.1	198.4	
Autumn	σ_7	99.1	106.5 (105.8)	112.8 (114.4)	118.5 (123.9)	125.0 (126.0)	—	—	
	σ_{14}	125.1	131.0	138.1	146.0	151.6	158.0	—	
	σ_{28}	146.9	154.0	162.8	171.0	175.9	186.8	194.9	
Winter	σ_7	—	68.4	72.1	75.5	80.1	—	—	
	σ_{14}	—	93.6	104.9	114.2	121.0	125.9	—	
	σ_{28}	—	92.3	99.1	103.6	117.8	125.9	144.1	

Table-9. Compressive Strength of σ_7 , σ_{14} and σ_{28}

Season	Age	Dry Condition			Wet Condition		
		σ_7	σ_{14}	σ_{28-1}	σ_7	σ_{14}	σ_{28-2}
Spring	Strength	103.8	125.1	144.4	125.1	156.3	190.0
	$\frac{\sigma}{\sigma_{28-1}}$	71.9	86.6	100	65.8	82.3	100
	$\frac{\sigma}{\sigma_{28-2}}$	54.6	65.8	76.0	—	—	—
Summer	Strength	94.0	113.3	133.0	132.7	162.6	198.4
	$\frac{\sigma}{\sigma_{28-1}}$	70.7	85.2	100	69.6	82.0	100
	$\frac{\sigma}{\sigma_{28-2}}$	47.4	57.1	67.0	—	—	—
Autumn	Strength	99.1	125.1	146.9	126.6	158.0	193.1
	$\frac{\sigma}{\sigma_{28-1}}$	67.5	85.2	100	65.6	81.8	100
	$\frac{\sigma}{\sigma_{28-2}}$	51.3	64.9	76.1	—	—	—
Winter	Strength	68.4	93.6	92.6	84.1	135.9	144.1
	$\frac{\sigma}{\sigma_{28-1}}$	73.9	101.1	100	55.5	78.6	100
	$\frac{\sigma}{\sigma_{28-2}}$	47.5	65.0	64.0	—	—	—

그리고 濕潤時에는 여름 > 가을, 봄 > 겨울의 순서로 強度가 크게 나타나지만 乾燥時에는 봄, 가을 > 여름 > 겨울의 순서로 나타나고 初期強度는 봄철이 가을철보다 多少 크게 되지만 後期強度는 가을철이 다소 크게 나타나는 것으로 보아 乾燥時는 온도가 높은 季節일 수록 強度가 低下됨을 알 수 있으며 이러한 現象은 宮蔭(1972)이 4 季節別로 野外에서 試驗한 결과 春秋强度 > 夏季强度 > 冬季强度로 나

타난것과 一致되는 現象이다²²⁾.

또한 乾燥時의 σ_{28} 이 濕潤時에 比하여 봄, 가을철에는 76%이나 여름철에는 67% 밖에 안되는 것은 높은 溫度에 의한 水分의 蒸發로 強度가 低下됨이며 이러한 現象은 Merritt의 試驗에서 51% 보다는 크고²⁰⁾ 烏田의 試驗結果인 68.5%와 비슷한 것으로서 여름철과 같이 溫度가 높은 경우일수록 養生을 철저히 實施해야함을 말해 주고 있다.

콘크리트의 現場養生效果에 관한 研究

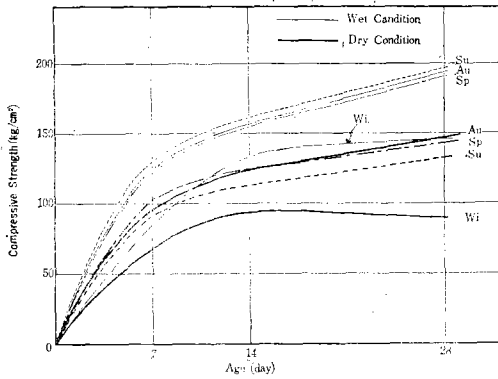


Fig. 3. The Relationship between Age and Strength

그리고 겨울철에는 濕潤養生時는 가마니로 溫度를 보호하므로 強度가 다소 增大되지만 大氣中에서는 氣溫이 零下로 내려감으로서 強度가 增加안되는 것으로 생각된다. 또 Table-9에서 보면 濕潤時는 σ_7 은 σ_{28} 의 66~67% 이나 乾燥時에는 68~72%로서 濕潤養生을 하지 않으면 後期強度가 濕潤만큼 增加되지 않음을 알 수 있다.

나. 養生期間과 壓縮強度와의 關係

養生期間을 달리한 養生條件別 28日 壓縮強度(σ_{28}) 및 濕潤養生強度에 대한 比率을 나타내면 Table-10과 같다. Table-10에서 σ_A/σ_B 는 各季節別로 최대 壓縮強度에 대한 各條件別 強度比이며 σ_A/σ_C 는 여름철 最大強度(습윤시의 σ_{28})에 대한 各條件別

Table-10. Compressive Strength Ratio

Season	Condition	Strength							비고 (습윤양생일수 건조일수)
		A-1 (0/28)	B-1 (1/27)	C-1 (2/26)	D-1 (4/24)	E-1 (7/21)	F-1 (14/14)	G-1 (28/0)	
Spring	Strength kg/cm ²	144.4	152.6	160.8	167.8	172.0	180.9	190.0	σ_A : 各조건別 σ_{28} σ_B : 계절별 Max σ_{28} σ_C : 여름철 Max σ_{28}
	σ_A/σ_B %	76.0	80.3	84.6	88.3	90.5	95.2	100	
	σ_A/σ_C %	72.8	76.9	81.0	84.5	86.7	91.2	95.8	
Summer	Strength kg/cm ²	133.0	141.6	144.4	150.8	162.5	178.1	198.4	
	σ_A/σ_B %	67.0	71.4	72.8	76.0	81.9	89.8	100	
	σ_A/σ_C %	67.0	71.4	72.8	76.0	81.9	89.8	100	
Autumn	Strength kg/cm ²	146.9	154.0	162.8	171.0	175.9	186.8	194.9	
	σ_A/σ_B %	75.4	79.0	83.5	87.8	90.3	95.8	100	
	σ_A/σ_C %	74.0	77.6	82.1	86.2	88.2	94.2	98.2	
Winter	Strength kg/cm ²	—	92.3	99.1	103.6	117.8	125.9	144.1	
	σ_A/σ_B %	—	64.0	67.8	71.9	81.7	87.4	100	
	σ_A/σ_C %	—	49.9	50.0	52.2	59.4	63.5	72.6	

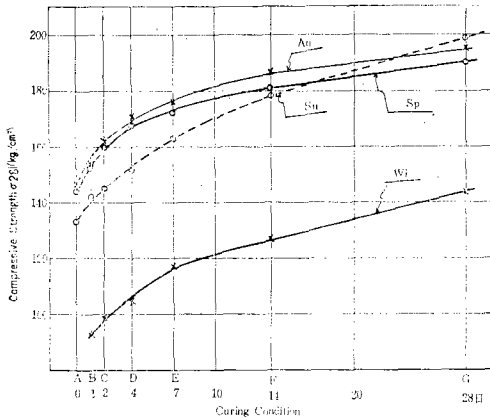


Fig. 4. The Relationship between Curing Condition & Strength

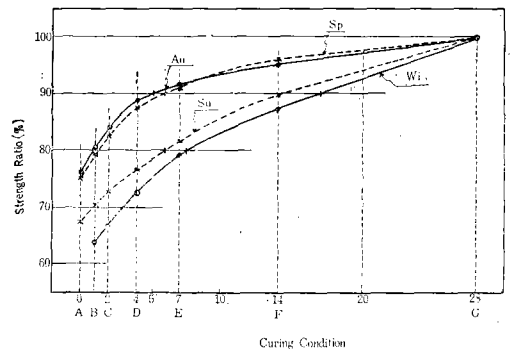


Fig. 5. The Relationship between Curing Condition and Comp. Strength Ratio

強度比를 나타낸 것이다. 그리고 Fig. 4와 Fig. 5는 각 條件別 28日強度 및 각 條件別 最大強度에 대한 比率를 나타낸 것이다.

Table-10 및 Fig.4에서 보면 濕潤養生期間이 길 수록 強度가 커지며 養生期間이 짧은 경우에는 봄 가을철이 여름철보다 強度가 크나 28日 水中養生時는 여름철이 가장 크다. 그리고 Table-10 및 Fig. 5에서 보면 봄 가을철에는 7日 養生時(E-1)의 σ_{28} 가 28日 濕潤養生強度(G-1)의 90%가 되지만 여름철에는 약 82% 밖에 안되며 14日間 濕潤養生時의 σ_{28} 은 봄 가을철은 약 96%이고 여름철에는 90%이다.

1969년에 烏田가 水中에 실시한 試驗에서 7日間 濕潤養生時의 σ_{28} 은 28日間 濕潤養生 強度의 약 88%가 되고 14日間 養生時는 거의 100%의 強度를 얻을 수 있었다²³⁾ 이러한 試驗結果와 比較하여 볼 때 어느 程度의 滿足한 強度를 얻기 위해서는 여름철에는 14日間은 濕潤養生을 해야하며 이는 Adams (1980)의 研究結果에서도 같은 현상을 나타내고 있다²⁾.

다. 濕潤被覆養生과 水中養生의 效果

供試驗를 젖은 가마니로 被覆하고 撒水한 경우와 水中에서 養生한 경우의 7日 壓縮強度(σ_7)는 Fig. 6과 같다.

試驗結果 水中養生時의 強度가 젖은 가마니로 被

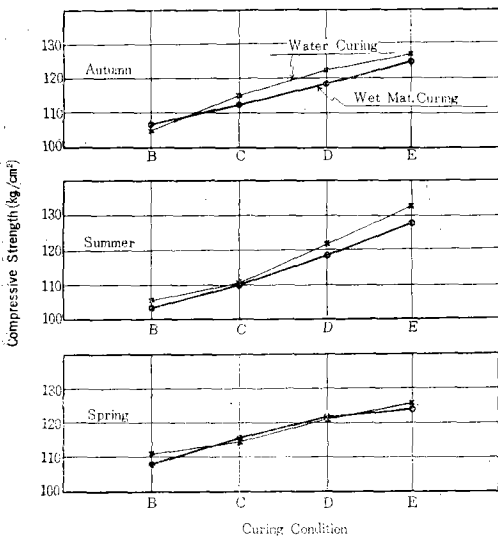


Fig. 6. The Relationship between Curing Methods and Compressive Strength (σ_7)

覆時보다 약간 크나 그 差異는 작으므로 現場에서는 젖은 가마니로 被覆養生을 하면 養生에 좋은 效果를 얻을 수 있을 것으로 생각된다.

라. 氣溫과 壓縮強度와의 關係

現場養生中の 大略의인 平均氣溫과 壓縮強度와의 關係는 Fig.7과 같다.

Fig. 7에서 알수 있는 것은 水中養生時는 溫度가 높을수록 強度가 커져서 대략 25°C때의 σ_{28} 와 比較하여 2°C, 10°C, 18°C 에서 각각 약 70%, 86%, 96%의 強度를 나타내고 있다.

1969년에 竹本의 試驗에서는 25°C 때의 σ_{28} 에 比較하여 2°C, 11°C 17°C 때의 強度는 각각 68%, 76%, 82% 로서 本 試驗結果와는 다소의 差異가 있었고²⁷⁾ Merritt(1976)의 研究結果에서는²⁰⁾ 21°C 때 強度에 比較하여 4°C, 10°C 에서 약 68%, 96%의 強度를 얻을 수 있었다. 이러한 結果를 檢討하여 볼때 水中養生溫度는 可及의 높아서 可能하면 10°C 以上 하는것이 바람직하다 그리고 乾燥時에는 溫度가 어느정도 上昇할 수록 強度가 增加되나 15°C 以上되면 溫度가 높을수록 오히려 強度가 떨어진다.

한편 0°C 부근의 氣溫에서는 強度가 크게 떨어져 여름強度의 64% 밖에 안되며 이와같은 현상은

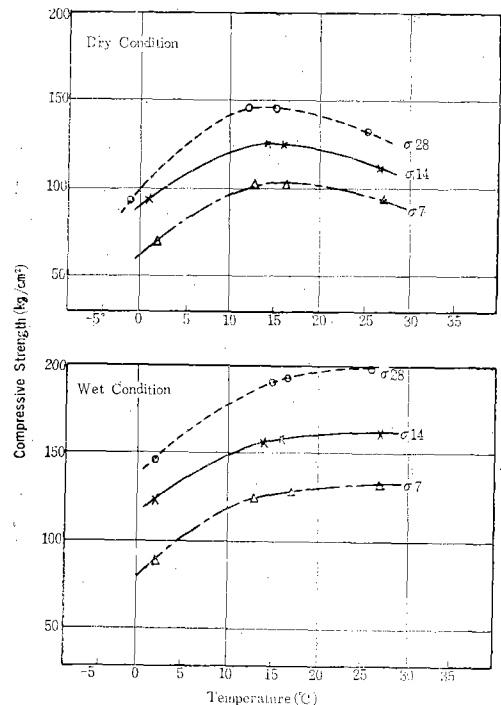


Fig. 7. The Relationship between Temperature & Strength

Table-11. The Relationship between σ_7 and σ_{28}

Condition	Season	Observed Value			Calculated Value	
		σ_7	σ_{28}	$\sigma_{28}=a\sigma_7$	Slater Equ. $\sigma_{28}=\sigma_7+8\sqrt{\sigma_7}$	Oregon Equ. $\sigma_{28}=1.5/\sigma_7+3.43$
		kg/cm ²	kg/cm ² (%)		kg/cm ² (%)	kg/cm ² (%)
Dry	Spring	103.8	144.4 (100)	$\sigma_{28}=1.39\sigma_7$	185.3 (128.3)	160.7 (110.9)
	Summer	94.0	133.0 (100)	1.41 σ_7	171.6 (129.3)	145.4 (109.3)
	Autumn	99.0	146.9 (100)	1.48 σ_7	178.6 (121.6)	152.9 (104.1)
	Winter	68.4	92.3 (100)	1.35 σ_7	134.6 (145.7)	106.7 (115.6)
Wet	Spring	125.1	190.0 (100)	1.52 σ_7	210.9 (111.0)	192.3 (101.2)
	Summer	132.7	198.4 (100)	1.51 σ_7	224.8 (113.3)	203.8 (102.7)
	Autumn	126.6	193.1 (100)	1.52 σ_7	216.6 (112.2)	194.6 (100.3)
	Winter	80.1	144.1 (100)	1.80 σ_7	151.7 (105.3)	124.4 (86.3)

日本에서 행한 試驗에서 1月の 强度가 5月强度의 63%가 된 結果와 비슷하다. 그러므로 大單位農業開發 現場施工에서는 冬季工事에는 2週以上 凍害保護를 하도록 規定하고 있으며¹³⁾ 특히 初期材齡에서 凍害가 크므로 초기 凍結保護에 유의해야 한다^{2,10)}. 그러므로 冬季工事에서 Adams는 σ_{28} 의 70% 强度가 될때까지 養生을 해야한다고 하였고²⁾ 一般的으로는 强度가 40~50kg/cm² 이되면 凍傷被害가 적다고 하였으나^{7,9,17)} 最新콘크리트工法핸드북에서는 물의 影響이 있는 寒冷條件이 심한 경우에는 100~150kg/cm² 以上 되어야 凍害가 적다고 하였다⁵⁾.

이와같은 현상은 本 研究에서도 겨울철에 大氣中에 露出時는 σ_{14} 보다 σ_{28} 이 다소 적어져 90kg/cm² 以上の 强度에서도 凍害를 입을수 있다는것을 立證하고 있어 冬季工事에서는 溫度保護의 必要性이 더욱 強調된다.

마. 7日 壓縮强度와 28日 壓縮强度의 關係

一般的으로 콘크리트의 强度는 28日 强度(σ_{28})로써 나타내므로 이를 設計强度와 比較하여 콘크리트의 品質을 評價하기에는 많은 時日이 要하므로 이를 可及의 빨리 判斷하고 콘크리트의 品質을 改善하기 위하여 Shoji(1978)는 1.5時間의 强度로부터 28日 强度를 推定코져 하였으나²⁴⁾ 一般的으로 7日 强度(σ_7)로부터 σ_{28} 을 推定하며 이를 위해 많은式이 提案되고 있다.

이러한 式中에서 Slater 式과 Oregon 式을 使用하여 求한 推定强度와 實測值와의 關係는 Table-11과 같다.

Table에서 凍害를 받은 겨울철을 除外한 3季節에 대하여 볼때 一般的으로 乾燥時에는 推定值가

實測值보다 4~30% 크며 濕潤時에는 Slater 式의 推定强度는 약 11~13% 크나 Oregon 式의 推定值는 實測值와 거의 同一하다.

이러한 現象은 乾燥時에는 後期强度가 크게 增加되지 않기때문으로서 現場에서 코어를 採取하여 σ_7 로서 σ_{28} 을 推定한다면 問題가 있다고 생각된다. 또한 現場에서 供試體를 試驗室에서 水中 養生하여 σ_7 을 求해서 σ_{28} 을 계산하고 現場 콘크리트 構造物의 强度를 判斷하는 것도 잘못된 것이다.

그리고 σ_{28} 推定式에서는 Slater 式을 使用하는 것보다 Oregon 式을 利用하는 것이 좋을 것이다.

V. 結 論

本 研究는 季節別로 濕潤養生日數를 달리하여 콘크리트의 壓縮强度와 養生의 效果를 求한 것으로 그 結果를 要約하면 다음과 같다.

- ① 濕潤養生 期間이 길수록 壓縮强度가 크며 이는 물의 溫度가 높을수록 效果가 크다.
- ② 大氣中에서 乾燥時의 28日 强度는 水中養生强度의 64~76%이다.
- ③ 季節別 强度의 크기는 濕潤養生時에는 여름> 봄·가을> 겨울의 순서로되나 乾燥時에는 봄·가을> 여름> 겨울의 순서로 된다.
- ④ 一般的으로 기준강도의 90%의 强度를 얻기 위해서는 봄, 가을철에는 적어도 7일, 그리고 여름철에는 2週以上の 濕潤養生이 必要하다.
- ⑤ 젖은 가마니로 被覆한 濕潤養生의 效果는 水中養生 效果와 거의 同一하다.
- ⑥ 濕潤養生時는 氣溫이 높을수록 養生效果가 크지만 乾燥時는 溫度가 15°C 以上 너무 높거나 너

무 낮으면(4°C 以下) 오히려 강도가 低下된다.

⑦ 겨울철에는 溫度가 零下로 되고 濕氣가 많으면 σ_{14} 以後에도 凍害를 입는다.

⑧ 公式를 사용한 σ_7 로부터 σ_{28} 의 推定値는 乾燥時에는 實際와는 차이가 많으며 濕潤時는 Oregon 式을 사용함이 옳다.

⑨ σ_7 과 σ_{28} 의 關係는 습윤양생시는 大略 $\sigma_{28} = 1.52\sigma_7$ 의 關係로, 그리고 乾燥時는 $\sigma_{28} = (1.39 \sim 1.48)\sigma_7$ 의 關係가 된다.

本 研究는 1983年度 文教部 學術研究助成費에 依하여 遂行된 것임.

參 考 文 獻

1. A.C.I. Committee (1980) : Accelerated Curing of Concrete at Atmospheric Pressure, Journal of the A.C.I. 1980/No. 6.
2. Adams, R.F., T.E. Howell and C.J. Olsen (1980) : Recommended Practice for Curing Concrete, A.C.I. Manual of Concrete Practice (Part 2), pp.308-1~308-11.
3. 萩原銀藏 (1969) : 建築のプレハブ部材, センソトコンクリート. No. 271.
4. Barnes, B.D., R.L. Orndorff and J.E. Roten (1977) : Low Initial Curing Temperature Improves the Strength of Concrete Test Cylinder, Journal of the A.C.I., 1977/No. 12
5. 最新콘크리트 工法 핸드북 編集委員會(1983) : 最新 콘크리트 工法 핸드북, 正林出版社, pp.6, 3~613.
6. 鄭寅陵 (1962) : 粗骨材로서 碎石과 自然石을 사용한 콘크리트의 壓縮強度, 大韓土木學會誌, 第10卷 第2號.
7. 大韓土木學會 (1978) : 콘크리트 표준 시방서 해설, pp. 355~357, 389~406.
8. 大韓土木學會 (1983) : 土木工學 핸드북, pp. 7-9~7-12.
9. Fenfress, L.B. (1977) : Hot Weather Concrete, Journal of A.C.I. Aug. 1977, pp. 305-12~305-13.
10. 全賢雨, 林鍾國 (1972) : 混和劑인 鹽化칼슘이 콘크리트 強度에 미치는 영향에 관한 研究, 한국농공학회지 제13권 제4호.
11. 近藤泰夫, 坂靜雄 (1978) : 콘크리트 工學 핸드북 朝倉書店. pp. 745.
12. 阪田憲次, 藏本修 (1981) : 乾燥に伴う 콘크리트中の水分의 逸散と 乾燥收縮에 關する 研究, 日本土木學會論文報告集 第316號
13. 金生彬 (1981) : 高強度 콘크리트의 耐久性에 關한 研究 大韓土木學會論文集, 第1卷 第1號.
14. 高在君 (1971) : 混和劑가 콘크리트의 耐酸性과 物理的 性質에 미치는 影響에 關한 實驗的 研究, 한국농공학회지 第13卷 2號 및 3號.
15. 后藤幸正, 三浦尚 (1979) : 極低溫下における 鐵筋 콘크리트 部材의 性質에 關する 研究, 日本土木學會論文報告集 第285號.
16. 구봉근 (1982) : 토목 재료학. 선진문화사, pp. 117~131, 169~175.
17. 權奇泰 (1982) : 施工計劃과 管理(上), 集文社, pp. 301~313.
18. 農水産部 (1973) : Kyongju Tourism Project Irrigation Works, Particular Specification (B), 농림진흥공사, pp. S-52~S-53.
19. 農業土木學會 (1979) : 農業土木 핸드북 (改訂四版), 日本丸善株式會社, pp. 1233~1245.
20. Merritt (1976) : Standard Handbook for Civil Engineering (2nd Edition), McGraw-Hill Book Company, pp. 5-10~5-13.
21. Scanlon, J.M. and L.H. Tuthill (1978) : Cold Weather Concreting Journal of A.C.I. May 1978/No. 5.
22. 宮南紘, 加藤紘一 (1972) : 超早 콘크리트의 施工에 關する一實驗, 세멘트. 콘크리트. No. 307, Sept. 1972.
23. 烏田專右 (1969) : 建築工事における 暑中 콘크리트의 養生, 세멘트 콘크리트. No. 271. pp. 62~67.
24. Shoji Ikeda (1978) : Study of a Method of Immediate Estimation of Concrete Strength, Journal of the A.C.I. 1978/No. 12.
25. Shoya masami and Tokuda Hiroshi (1982) : Study on the Moisture Loss and Drying Shrinkage of Concrete due to Wind Action, 日本土木學會論文報告集. 第328號.
26. 成基泰 (1982) : 養生條件이 콘크리트 強度에

콘크리트의 現場養生效果에 관한 研究

- 미치는 影響에 관한 研究, 忠州工專論文集, pp. 304~308.
27. 竹本國博, 內川浩 (1969): 常壓養生, セメント, コンクリート, No. 271.
28. 土聯農業土木研究所 (1964): 콘크리트의 施工과 試驗, 技術覺書 第39號 pp. 77~117.
29. U.S. Bureau of Reclamation (1975): Concrete Manual (Eighth Edition) pp. 375~391.
- 470~474.
30. 山根昭, 嵩英雄 (1973): 콘크리트強度におよぼす供試體, 養生および試驗方法の影響, セメントコンクリート, No. 313.
31. 吉田徳次郎 (1963): 콘크리트及 鐵筋 콘크리트 施工法, 日本丸善株式會社, pp. 365~372.

부 록

氣 象 觀 測 表

○ : 맑음
 ◐ : 흐림
 ● : 비

Spring

양 생 일	타설일	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
월 일	4/16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
평균 온도	18.0	19.5	13.1	7.9	10.4	11.9	14.0	13.8	14.6	14.6	15.7	16.2	14.9	15.2	15.6
총 일사량	19.87	22.95	1.70	6.53	22.94	24.22	24.09	25.40	23.16	11.94	12.83	—	13.16	5.43	21.80
습도%	75.0	74.0	91.3	72.8	53.8	61.0	64.3	68.8	69.8	76.8	82.5	72.5	83.0	91.0	82.3
일 기 도	○	○	●	◐	○	○	○	○	○	◐	○	○	○	●	○

양 생 일		15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28
월 일		5/1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
평균 온도		13.6	13.1	14.6	14.7	14.5	16.2	16.7	17.6	18.3	17.5	18.3	21.9	20.0	17.9
총 일사량		22.90	25.84	22.59	12.05	13.32	—	26.27	26.45	24.77	24.29	23.46	24.39	23.03	21.78
습도%		64.8	66.8	75.5	75.8	80.5	71.0	60.3	66.0	64.8	71.5	81.0	81.0	84.3	76.0
일 기 도		○	○	○	◐	◐	○	○	○	○	○	○	○	○	○

Summer

양 생 일	타설일	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
월 일	8/3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
평균 온도	30.0	29.7	29.4	27.6	27.2	26.7	25.5	26.3	26.4	26.4	27.3	27.5	27.6	27.0	28.0
총 일사량	21.06	25.90	25.57	22.14	22.98	12.92	11.15	16.05	16.92	12.00	21.90	15.09	23.84	12.94	18.79
습도%	83.0	77	81	84	81	86	90	85	86	85	78	69	65	72	81
일 기 도	○	○	○	○	○	○	○	○	●	●	○	◐	○	●	○

양 생 일		15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28
월 일		18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
평균 온도		26.1	24.6	23.7	24.1	23.2	22.1	22.1	24.0	25.1	25.6	26.4	25.5	25.5	24.3
총 일사량		15.88	25.40	22.72	19.98	13.25	6.72	4.71	12.07	12.46	3.41	12.06	21.53	14.25	11.66
습도%		83	71	74	77	81	85	94	87	84	92	90	85	87	90
일 기 도		○	○	○	○	○	●	●	○	●	●	●	○	●	●

Autumn

양 생 일	타설일	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
월 일	10/11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
평균기온°C	18.6	17.7	16.1	15.7	17.0	16.3	16.5	17.3	16.5	18.0	16.4	16.5	11.9	19.2	7.6
총일사량 HJ/m ²	16.33	8.12	4.97	10.82	9.53	14.79	10.37	11.61	10.32	12.35	12.18	16.24	14.35	16.19	13.80
습도%	73.3	84.8	83.8	79.0	81.5	82.0	78.5	74.0	85.0	75.5	84.3	54.8	43.8	56.2	69.5
일 기 도	○	●	●	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○

양 생 일	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28
월 일	10/26	27	28	29	03	31	11/1	2	3	4	5	6	7	8
평균기온°C	9.6	9.9	9.6	10.8	11.8	10.6	10.4	9.1	10.0	11.9	13.2	10.6	10.4	10.4
총일사량 HJ/m ²	11.98	15.03	14.4	15.0	14.13	13.42	12.99	14.65	9.66	8.97	12.27	12.13	12.13	74.5
습도%	93.0	84.0	80.0	79.5	78.8	79.1	75.5	76.3	78.8	88.88	82.5	79.5	77.3	79.5
일 기 도	●	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○

Winter

양 생 일	타설일	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
월 일	12/10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
평균기온°C	0.0	4.1	1.3	2.2	4.5	3.0	-0.5	-1.7	-3.2	0.6	-1.1	0.9	4.0	-2.4	-5.7
총일사량 HJ/m ²	3.52	7.55	11.57	7.25	10.70	7.60	11.21	11.46	11.56	11.02	11.77	9.27	7.04	11.49	8.13
습도%	95.0	54	73	89	47	43	56	53	60	67	74	80	71	39	70
일 기 도	●	●	○	○	○	●	○	○	○	○	○	○	○	○	○

양 생 일	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28
월 일	25	26	27	28	29	30	31	1/1	2	3	4	5	6	7
평균기온°C	-3.5	-5.3	-2.4	-1.2	-2.5	-4.8	-2.1	-2.5	-2.0	0.1	-2.5	-4.4	-5.7	-3.3
총일사량 HJ/m ²	11.45	11.36	11.19	11.09	8.71	6.10	11.10	11.40	8.70	9.19	11.37	11.62	6.69	10.11
습도%	42	71	57	49	49	68	64	77	76	70	61	53	65	67
일 기 도	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○