減水劑가 콘크리트에 미치는 影響

Effects of the Water Reducing Agent on the Concrete

金 鍾 千* · 都 德 鉉**
Jong Cheon Kim, Duk Hyun Doh

Summary

A study on the effect of water reducing agent on the various characteristics of concrete has been conducted. The experimental results of the study are summarized as follows.

1. Slump test for the concrete added water reducing setretarding agent in proper quantity have been conducted. According to the test result, the decreasing rate of slump value become bigger than plain concrete with increase of the unit weight of cement and elapse of time
2. In case the proper quantity content of maximum compressive strength in Fig. 5 of water reducing set retarding agent is added, unit weight of water is decreased about 15% or so as compared with plain concrete. with the increase of water reducing set acclerating agent content unit weight of water is decreased much more. And other hand, amount of air entraining shows the increasing tendency with the increase of water reducing agent content.
3. The adding rate of water reducing agent which produce maximum strength shows that WR-CH and WR-SA which is water reducing set-starding agent is 0.2% and WR-CO is 0.5% and that WS-PO which is water reducing set accelerating agent is 0.5
4. Compressive strength of the concrete made of sulfate resistant cement shows less than the strength of normal portland cement at initial strength but the strength of both cement shows almost same at curing age of 28 days.
5. when proper quantity of water reducing set retarding agent is used, boned strength is increased about 15% at curing age of 28days.
6. According to the result of durability test, dynamic young's mudulus of elasticity at plain concrete is decreased about 50% as compared with initial step at 300 cycle of freezing and thawing after curing age of days. on the contarary the concrete used water reducing agent is decreased less than 7%.

* 建設部 道路局
** 建國大學校 農科大學

Ⅰ. 緒 論

콘크리트는 建設工事의 基礎材料로써 종래 國民生活의 向上과 풍요한 환경의 創造 및 産業의 發達에 크게 기여하여 왔다.

더우기 우리나라는 原料나 施設面에서 시멘트의 主要 生産國으로, 國內 需要의 충당은 물론이고 輸出國으로서의 면모를 갖추었을 뿐만아니라 今後 88올림픽高速道路. 올림픽 경기장의 建設等 콘크리트를 主體로한 工事가 활발해질 추세에 비추어 建設材料로서 콘크리트는 그 수요량이 날로 增加될 것으로 예상된다. 따라서 質的인 面에서 高强度와 耐久性을 갖는 동시에 經濟的으로 만족스러운 良質의 콘크리트를 개발하는 것이 當面 과제라고 생각된다.

이와 같은 良質의 콘크리트를 얻기 위한 시도 중에서 획기적인 발전을 가져온 것이 混和劑의 開發이며 우리나라에서도 이의 開發 및 利用에 관한 硏究와 더불어 現地工事에 適用한 사례가 많이 있다.

그러나 混和劑는 적재적소에 適量을 使用해야 기대했던 效果를 얻을 수 있는 것으로 이에 관련된 文獻을 調査한 바 Tuhtill[11], 藤木[2] 等은 減水劑를 過剩 添加하면 凝結이 異常的으로 遲延되여 硬化 不良現狀을 일으키는 例가 있으므로 減水劑 혼입량의 선택에 유의할 必要가 있다고 한바 있다.

岡田[8]는 포조리스 No5를 使用하면 單位水量이 普通콘크리트에 比하여 平均 14% 정도 減少된다고 하였으며,

村田[6]는 포조리스 No5는 普通콘크리트에 比하여 初期材齡에서 40—50%, 長期材齡에서는 10% 정도의 强度가 增加되었다고 하였다.

또 張[3]은 化學性 混和劑의 混入으로오는 AE 空氣量은 굳지 않은 콘크리트의 單位水量을 減少시키고 굳은 콘크리트의 鐵筋과 콘크리트 사이의 附着强度를 減少시킨다고 하였으며,

柳[9]는 混和劑를 使用한 콘크리트는 普通콘크리트에 比하여 附着强度가 材齡 28日에서 24% 높게 나타났다고 하였고, 関[5], 成[10] 등은 콘크리트의 壓縮强度가 增加되면 附着强度도 增加된다고 하였다.

그러나 國內外에서 다양한 混和劑가 生産되고 있으며 특히 外國에서는 混和劑를 使用한 콘크리트의 이용율이 날로 增加되고 있는 실정임에 반하여 우리나라에서는 극히 制限된 製品에 국한해서 使用되어 왔으며 보다 우수한 性能의 混和劑가 도입 또는 개발되었다하여도 실제에는 그 使用法의 미숙 또는 부작용을 우려한 나머지 이의 利用을 회피하는 사례를 흔히 볼 수 있다.

따라서 本 硏究는 콘크리트 性質 개선의 일환으로 國內外에서 使用되고 있는 混和劑 중에서 우리나라에서 入手가 용이하면서도 이의 性質과 效果가 체계적으로 구명되어 있지 않기 때문에 현지에서의 使用이 보편화 되지 못하고 있는 WR-CO, WR-CH WR-SA 等 3種類의 減水遲延劑와 減水早强劑인 WS-PO를 선정, 보통 콘크리트에 이의 添加量을 變化시키면서 壓縮强度, 附着强度 等의 試驗을 실시하고 아울러 最近 國內에서 生産되기 시작한 내황산염 시멘트에 상기 減水劑의 添加量을 變化시키면서 壓縮强度 試驗을 실시해서, 이들 減水劑의 效果를 相互比較 分析하고 그 特性을 究明하여 현지 이용에 도움을 주고자 시도한 것이다.

Ⅱ. 材料 및 方法

1. 使用材料

本 試驗에 使用된 材料는 다음과 같다.

1) 시멘트

시멘트는 國內에서 生産 市販되는 普通포틀랜드 시멘트와 내황산염시멘트이며 이들의 物理的性質과 化學 成分은 Table-1 및 Table-2와 같다.

Table-1. Physical properties of Cement used

Item	Specific gravity	Setting time		Fineness	soundness	Compressive strength (kg/cm²)		
		Initial (min)	Final (hrs:min)	Blaines (cm²/g)	Auto clave (%)	3days	7days	28days
Normal portland cement	3.14	165	5:55	2960	0.25	139	206	265
Sulfate resistant cement	3.14	270	7:10	3100	0.1	110	180	262

Table-2. Chemical component of cement used(%)

Item	Sio_2	SO_3	Mgo	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	Ig·loss	Insol resid
Normal portland cement	21.5	1.62	3.70	5.25	3.80	62.1	1.83	0.20
Sulfate resistant cement	22.1	1.11	3.54	4.60	4.30	62.79	1.34	0.22

2) 骨材

骨材는 漢江에서 採取한 모래와 자갈을 使用하였으며 이들의 粒度 分布는 Fig. 1과 같으며 物理的 性質은 Table-3과 같다.

Table-3. Physical properties of fine & coarse aggregate used

Item	specific gravity	Absorption (%)	Fineness modulus	Unit weight(t/m²)	Abrasion ratio(%)	Soundness (%)	organic impurity
Fine agg.	2.63	2.00	2.60	1.57	—	2.59	good
Coarse agg.	2.68	1.81	7.11	1.67	32.5	1.05	good

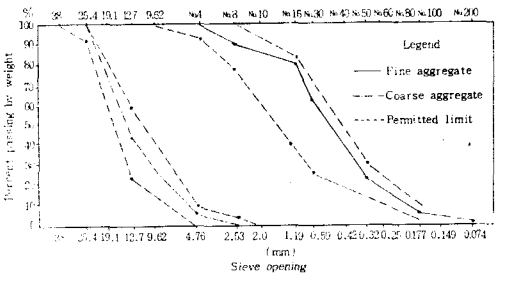


Fig. 1. Graduation curve of fine & course aggregate

3) 鐵 筋

鐵筋은 直徑 19m/m(SBD 30)의 異形鐵筋으로서 이의 力學的 性質은 Table-4와 같다.

Table-4. Mechanical properties of steel bar

Classification	Standard (m/m)	Yielding point (kg/mm^2)	Tensile strength (kg/mm^2)	Elongation (%)
Deformed bar	D-19	31.4	40.8	33.3

4) 混和劑

混和劑는 減水遲延劑인 WR-CO, WR-CH, WR-SA 등 3種類와 減水早强劑인 WS-PO를 使用하였으며 이들 混和劑의 性狀은 Table-5와 같다.

Table-5. Character of water reducing

Itom / class:	Type	The principal in gredivct	form of material	specific gravity
WR-CO	water reducing set-retarding agent	Ligno sulphonates	dark brown liquid	1.2
WR-CH	〃	poly oxethylene Alkyl. Arylethor	red brown liquid	1.12
WR-SA	〃	Lignin sulfan	light roass powder	1.15
WS-PO	water reducing set acclerating agent	〃	light brown powder	1.02

2. 試驗 方法

1) 콘크리트의 配合設計

本 試驗에 使用된 콘크리트는 單位시멘트量 300 kg/m³, 슬럼프치 7.5±1cm에 該當하는 W/C를 定하고 이에 減水劑의 添加量을 變化시키면서 試驗하였다.

이때 잔骨材와 굵은骨材의 量은 보통 콘크리트와 同一하게 하고 單位水量만을 變化시켜 試驗하였으며,

굵은骨材의 最大値數는 25m/m를 使用하였다.

Table-6은 混和劑 使用量別 配合設計를 나타낸 것이다.

Table-6. Design of mix proportion in concrete

Item / Classi	Cement (kg/m³)	Admix (%)	W/C (%)	Slump (cm)	Air (%)	S/A (%)	Weight per unit (kg/m³)		
							Water	Sand	Gravel
Pl	300	0	65	9.5	1.6	41	195	765	1130
			60	7.5	1.8		178		
			55	3.0	2.1		165		
WR-CO	300	0.1	54.3	8	2.7	41	163	765	1130
		0.2	52.7	7.5	3.8		158		
		0.5	49.3	7.5	4.3		148		
WR-CH	300	0.1	55	7	2.4	41	165	765	1130
		0.2	53	7.5	3.5		159		
		0.5	48.3	7.5	4.5		145		
WR-SA	300	0.1	55.3	8	3.1	41	166	765	1130
		0.2	52	7.5	3.5		157		
		0.5	49.7	7	4.0		149		
WS-PO	300	0.1	57.5	7.5	3.2	41	172	765	1130
		0.5	52.3	8	4.3		157		
		1	47.7	7.5	4.9		143		

2) 슬럼프

KS F-2402의 規定에 準하여 슬럼프 試驗을 하였다. 이는 單位시멘트 量을 300kg/m³, 400kg/m³, 500/m³定하고 최적 減水劑 量을 添加하여 슬럼프値 20±1cm의 묽은 配合을 한 直後 15, 30, 60, 90, 120 分 後의 슬럼프 値를 測定하였다.

3) 空氣量 試驗

KS F-2421 規定에 準하여 空氣量을 測定하였다.

4) 壓縮强度 試驗

KS F-2405의 規定에 準하여 壓縮强度 試驗을 하였다. 壓縮强度試驗用 供試體는 直徑 10cm, 높이 20cm의 圓柱形으로 제작하여 材齡 3,7,28일 後 만능시험기에 의하여 壓縮强度를 測定하였다.

5) 附着强度 試驗

KS F-2441의 規定에 準하여 直徑 19m/m의 異形鐵筋의 埋入 길이를 15cm로 한 15×15×15cm의 콘크리트 供試體를 製作해서 材齡 3,7,28일 後의 附着强度 試驗을 하였다.

6) 凍結融解 試驗

KSF-2457의 規定에 準하여 3″×3″×14″의 角柱形 供試體를 製作·材齡 14日 後 凍結融解 시험기에 의해 供試體 溫度를 25°C에서 −16°C로 조작, 이를 1싸이클로 하여 50,100,150,200,250,300 싸이클 반복 後 KSF-2437 規定에 準한 sonometer를 使用해서 試驗하였다. 이때 動彈性係數는 다음 式에 의해서 구하였다.

動彈性係數 $E=cwn^2$

여기서 $C=0.00245\frac{L^3T}{bt^3}$ sec²/in²

L ; 공시체의 길이, T;圖表利用, b;가로

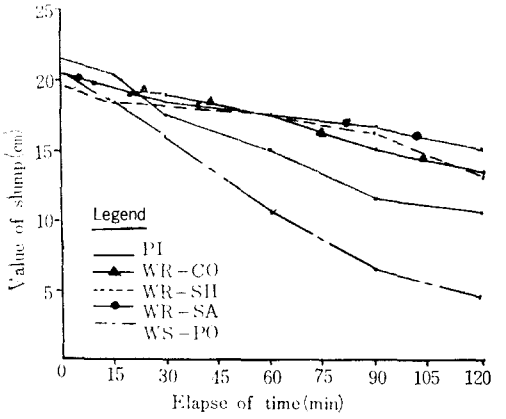
t ; 세로 w;중량, n; 振動數

Ⅲ. 結果 및 考察

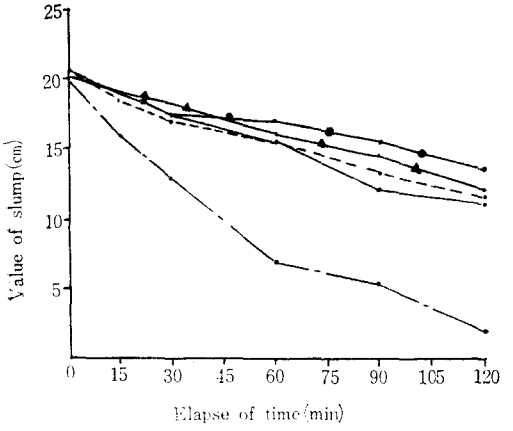
1. 減水劑에 의한 콘크리트의 物理的 性質의 變化

1) 슬럼프

시멘트에 물을 加하면 그 순간부터 水和作用이 시작되므로 時間이 經過됨에 따라 점차 流動性이 손실되며, 따라서 凝結 現象을 나타낸다.[3][4]이와 같은 流動性은 單位시멘트 量을 변화시키거나 減水劑의 使用에 의하여서도 크게 변화될 것으로 생각된다. Fig. 2는 굳지 않은 콘크리트의 流動性의 변화를 간접적으로 알아 보기 위하여 비빈 後 時間의 經過에 따른 슬럼프 치의 변화를 單位시멘트 量과 減水劑의 種類別로 나타낸 것으로 적량(後述 Fig. 5의 최대강도를 나타내는 첨가량, 이하 適量이라 한다)의 減水劑를 使用할 경우 Fig. 2의 a)와 같이 單位



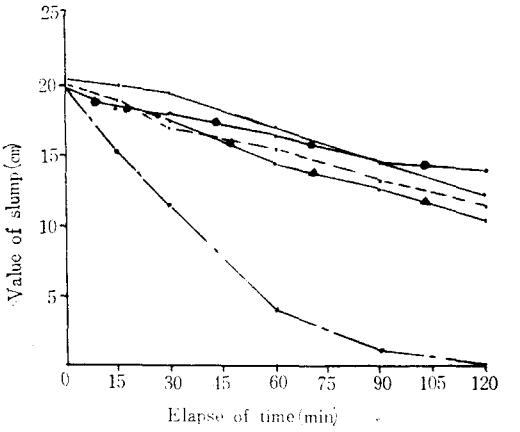
a) unit weight of cement=300kg/m³



b) unit weight of cement=400kg/m³

시멘트 量 300kg/m³에서는 콘크리트를 비빈 직후에는 슬럼프의 변화가 크지 않으나 30분 이상의 時間이 經過되면 減水遲延劑를 添加한 콘크리트의 경우 보통 콘크리트에 比하여 슬럼프 値의 減少率이 작으므로 슬럼프値는 큰 값을 나타내는 傾向을 보이고 있다.

그러나 Fig. 2의 b) 및 c)에서 보는 바와 같이 單位시멘트 量을 400kg/m³, 500kg/m³로 증가시키면 時間의 經過에 따라서 減水劑의 影響에 의한 슬럼프 値의 減水率이 점차 커져서 單位시멘트량 400kg/m³에서는 普通콘크리트와 거의 비슷한 값을 나타내며 單位시멘트 量 500kg/m³에서는 오히려 普通



c) unit weight of cement=500kg/m³

Fig. 2. Changing slump at the elapse of time

콘크리트에 비하여 작은 값을 나타내는 경향을 보이고 있다.

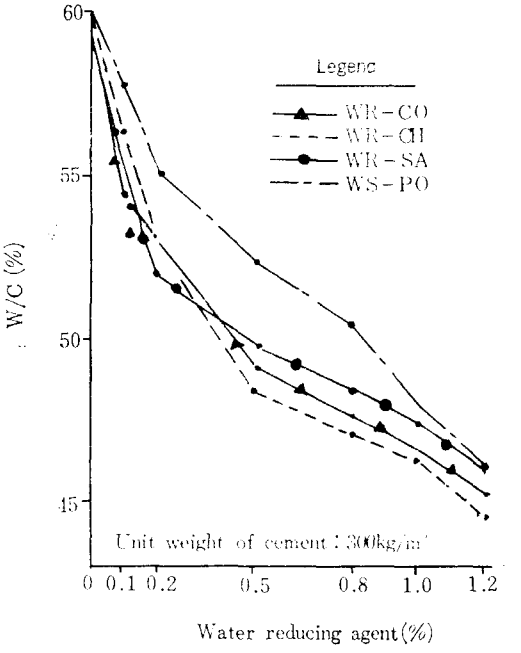


Fig. 3. Relationship between water reducing agent and water cement ratio(σ_{28})

한편 減水早强劑를 添加하였을 경우에는 時間이 經過될수록 普通콘크리트에 比하여 슬럼프 値의 減少率에 顯著하며 또單位시멘트量이 增加할수록 이 傾向은 더욱 뚜렷하게 나타났다.

Fig. 3은 單位시멘트 量 300kg/m³, 슬럼프値 7.5 cm에 해당하는 W/C를 기준으로 하였을때 減水劑 添加量의 變化에 따른 W/C의 變化를 나타낸 것으로 減水劑를 소량 添加하였을 경우에는 W/C가 급격히 減少되나 이의 添加量이 어느 한계 이상으로 되면 W/C의 減少는 완만한 傾向을 나타내었다. 그리고 一般的으로 減水遲延劑가 減水早强劑에 比하여 W/C은 작은 값을 나타내었다. 그리고 適量의 減水遲延劑를 使用시 W/C는 普通콘크리트에 비하여 15% 內外 減少되었으며 이는 岡田[6]의 硏究結果와 비슷한 傾向을 보였다.

이와 같이 減少劑를 使用하면 W/C가 減少되는 理由는 시멘트에 물이 接하면 시멘트 粒子의 表層은 電氣的 二重層이 되어 靜電氣的으로 시멘트 相互間에 반발이 일어나므로 시멘트가 水中으로 分散되어 콘크리트가 워어커블하여지고 單位水量을 減少시키기 때문이라고 한다.[7]

2) 空氣量

Fig. 4는 減水劑의 添加量을 3단계로 變化시켰을 때 空氣量의 變化를 보인 것으로 普通콘크리트에서는 單位시멘트 量 300kg/m³에서 1.8%이었으나 減少劑를 添加하면 공기량이 增加되며, 이의 添加量이 增加됨에 따라 더욱 많아져서 減水劑 0.2% 使用時 공기량은 대부분 4% 內外로 되었다.

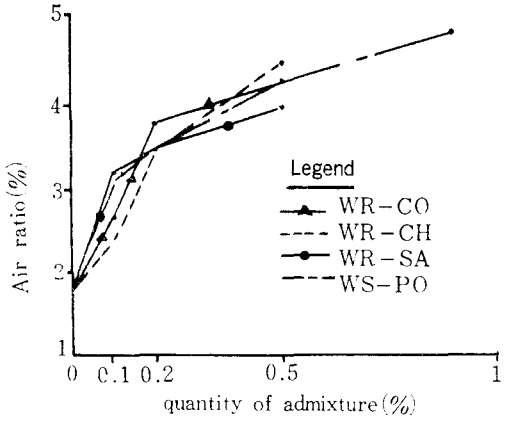


Fig. 4. Relationship between quantity of water reducing agent and air ratio

이상과 같이 減水劑는 W/C의 減少 效果와 관련하여 공기연행 효과도 있음을 알 수 있었다.

2. 減水劑에 의한 콘크리트의 壓縮强度의 變化

減水劑를 使用하면 前述한 바와 같이 콘크리트의 性質이 改善되므로 壓縮强度도 增加된다. Fig. 5는 減水劑의 添加量과 壓縮强度의 關係를 材齡 28일 대하여 나타낸 것으로 減水遲延劑의 경우 最大 壓縮强度를 나타내는 添加量은 WR-SA 및 WR-CH는 0.2%이었으나 WR-CO는 0.5%로 나타났으며 이때의 壓縮强度는 대부분 普通콘크리트에 比하여 15% 내외로 增加하였다. 그러나 最適添加量보다 2—3배 정도 過剩 使用하면 凝結이 遲延되거나 不硬化 現象이 일어나 壓縮强度의 급격한 저하를 초래함을 알 수 있었다. 한편 減水早强劑의 경우 最大壓縮强度를 나타내는 添加量은 0.2—1%의 범위로서 이 때 壓縮强度의 增加率은 6% 내외 이었다. 그러나 早强劑를 使用할 경우의 기준강도인 材齡 7일에는 이의 添加量 0.5%에서 가장 큰 값을 나타내었다.

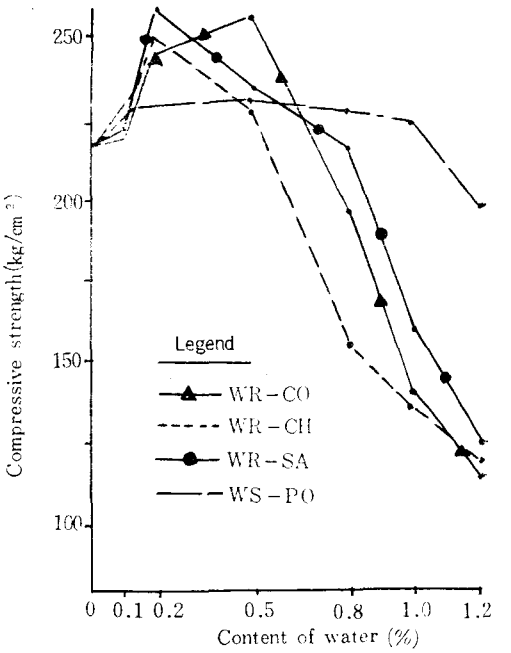


Fig. 5. Relationship between content of water reducing agent and compressive strength.

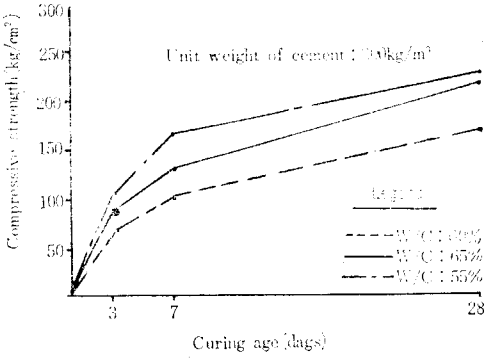
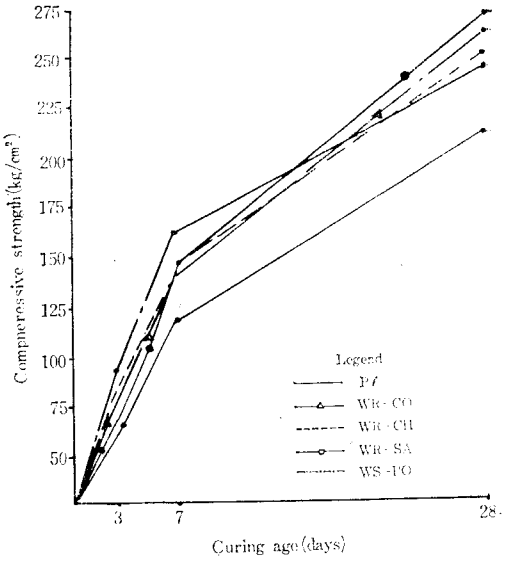


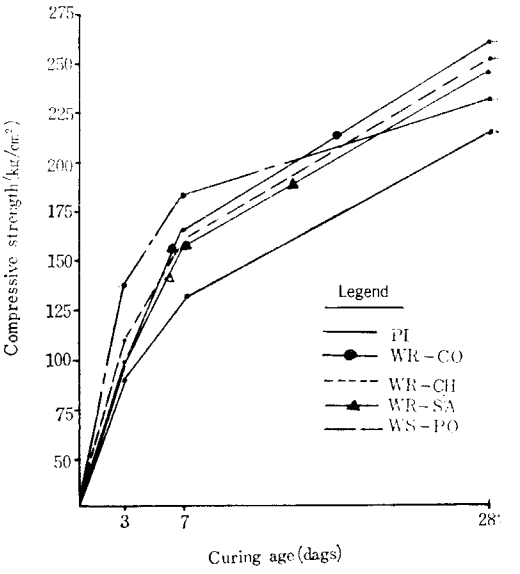
Fig. 6. Relationship between curing age and compressive strength.

Fig. 6은 材齡과 壓縮强度와의 關係를 W/C別로 나타낸 것으로 W/C가 적을수록 그리고 材齡이 커질수록 壓縮强度는 增大된다. Fig. 7은 材齡과 壓縮强度와의 관계를 使用시멘트 및 減水劑의 種類別로 나타낸 것으로 Fig. 7 a)의 普通포틀랜드 시멘트에 適量의 減水遲延劑를 添加하면 普通콘크리트에 比하여 壓縮强度는 20% 정도 큰 값을 나타냈으며 材齡 28일에 있어서도 15% 정도 큰 값을 나타내었다. 한편 減水早强劑의 경우 材齡 7일 壓縮强度는 普通콘크리트에 比하여 40% 정도 큰 값을 나타내었으며 이는 村田[6]의 硏究 結果와 거의 일치되는 값이다. 그러나 材齡 28日에의 壓縮强度 增加率은 6%로서 減水遲延劑의 증가율보다 약간 낮았다. 이와 같이 減水劑는 콘크리트 중에서 分散, 減水 등의 效果를 나타내므로 普通콘크리트에 比하여 壓縮强度가 커지는 것으로 생각된다.

한편 Fig. 7의 b)와 같이 내황산염 시멘트를 使用한 콘크리트의 경우 材齡 7일의 初期壓縮强度는 보통포틀랜드 시멘트를 使用한 콘크리트에 比하여 작은 값을 나타내었다. 材齡 28일에 있어서는 거의 비슷한 값을 나타내었으며 이에 減水遲延劑를 使用한 경우에는 普通포틀랜드 시멘트를 使用한 콘크리트에 比하여 强度增進效果가 약간 큰 傾向을 보이고 있으며 減水早强劑는 이와 반대현상을 나타내고 있다. 이는 使用 시멘트의 物理的 性質 및 化學 性分의 차이에 기인되는 것으로 생각된다.



a) Normal potland cement

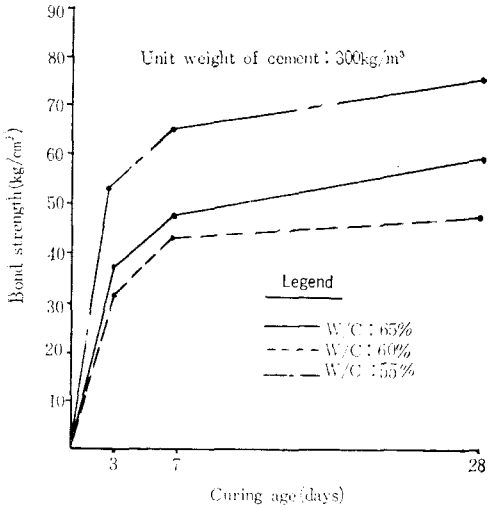


b) sufate resistant cement

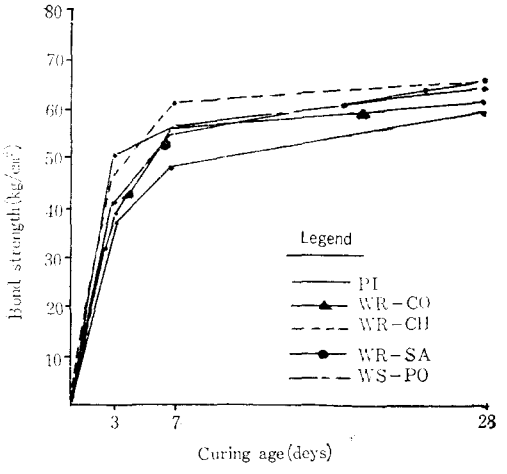
Fig. 7. Relationship between compressive strength and curing age

3. 減水劑에 의한 附着强度의 變化

鐵筋과 콘크리트 사이의 附着强度는 두 材料 사이의 粘着力과 摩擦抵抗에 依存되는 것으로[1] 普通콘크리트에 減水劑를 添加하면 壓縮强度의 增加와 더불어 附着强度에도 영향을 끼친다.[5][11]



a) plain concrete



b) concrete used water reducing agent

Fig. 8. Relationship between Bond strength and curing age (days)

Fig. 8은 材齡과 附着强度와의 關係를 混和劑의 種類別로 나타낸 것으로 Fig. 8의 a)와 같이 普通콘크리트의 경우 W/C 60%에서의 附着强度를 基準하였을때 W/C가 55%에서의 附着强度는 約 30% 增加되었으나 W/C가 65%로 커질 경우에는 約 20% 정도 減小되었다.

한편 Fig. 8의 b)에서 適量의 減水遲延劑를 添加한 콘크리트의 경우 材齡 7일 이내의 初期强度는 普通콘크리트에 比하여 20% 내외, 材齡 28일에는 10% 내외의 附着强度가 增加되었으며 特히 減水遲延劑 中에서도 WR-CH의 附着强度가 가장 컸고 WR-CO의 附着强度가 가장 작은 값을 나타내었으나 모두가 허용 범위에 들었다. 減水早强劑의 경우에는 材齡 7일에서는 15% 增加되었으며 28일 養生時는 10% 정도 增加되었다. 이와같이 減水劑를 添加하면 附着强度가 增加되는 이유는 壓縮强度가 增加되는 원리와 비슷할 것으로 추정된다.

4. 減水劑에 의한 耐久性의 變化

普通콘크리트와 減水劑를 使用한 콘크리트에 對한 耐久性을 檢討하기 위하여 KS F-2457에 準해서 凍結融解 사이클을 300회까지 반복시킨 후 動彈性係數를 求한 結果 Fig 10과 같이 普通콘크리트는 凍結融解 사이클 반복회수 100회에서 動彈性係數는 約 25% 減少되었으나 減水劑를 使用한 콘크리트의 減少量은 4% 以下이었으며 300사이클에서는 普通콘크리트의 경우 50% 정도 減少되었으나 減水劑를 使用한 콘크리트의 減少率은 7% 以下이었다. 이와 같이 減水劑 使用한 콘크리트는 壓縮强度, 附着强度等의 增加와 더불어 耐久性이 크게 增進되는 것을 알 수 있었다. 다만 減水早强劑는 減水遲延劑에 比

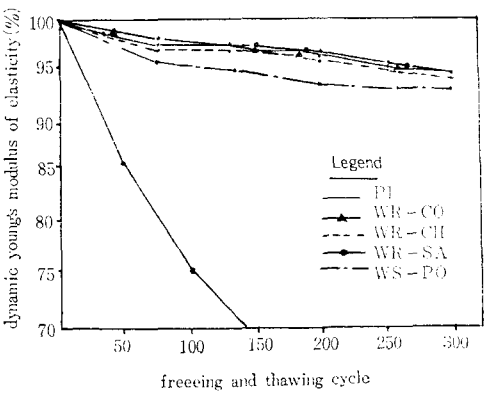


Fig. 10. Relationship between dynamic cycle

하여 耐久性 面에서 약간 效果가 낮은 것으로 나타났다.

Ⅳ. 結　論

減水劑가 콘크리트에 미치는 影響을 조사하기 위하여 실험 硏究한 結果를 요약하면 다음과 같다.

1. 適量(Fig. 5의 최대강도를 나타내는 첨가량)의 減水劑를 使用한 콘크리트에 대한 슬럼프 試驗을 한 結果 單位시멘트 量이 增加할수록 그리고 時間이 經過할수록 슬럼프치의 減少率이 普通콘크리트에 比하여 더 컸다.

2. 適量의 減水劑를 添加하면 普通콘크리트에 比하여 15% 내외의 單位水量이 減少되며 이의 添加量이 增加함에 따라 單位水量은 더욱 減少하였다.

한편 공기연행량은 減水劑의 添加量이 增加할수록 增加되는 傾向을 보였다.

3. 최대 강도를 나타내는 減水劑의 添加率은 減水遲延劑인 WR-CH와 WR-SA는 0.2%, WR-CO는 0.5% 減水早强劑인 WS-PO는 0.5%로 나타났다.

4. 내황산염시멘트를 使用한 콘크리트의 경우 初期强度는 普通포틀랜드 시멘트를 使用한 콘크리트에 比하여 壓縮强度가 작으나 材齡 28일에는 거의 비슷한 傾向을 보였다.

5. 減水遲延劑를 適量使用하면 材齡 28일에서 10% 내외의 附着强度가 增加 되었다.

6. 耐久性 試驗의 일환으로 凍結融解 싸이클을 300회 반복시 動彈性係數의 變化를 조사한바 普通콘크리트의 動彈性係數는 初期의 약 50%로 減少되었음에 반하여 減水劑를 使用한 콘크리트는 7% 이하 이었다.

參 考 文 獻

1. Brown C.B. and Z. S.: A study of Bond between steel and restrained expanting concrete Magazine of concrete Research Vol 20 No.62 pp.28-36 (1968)
2. 藤木洋一：リグニン系 減水遲延劑を 添加 したユンイトヤナント 凝結機構. 土木學會 論文 報告集 212號 pp.99-107 (1973)
3. 張東一：콘크리트 化學性 混和劑의 實驗的硏究 대한 토목지 VOL 17 No.4 pp.8-12 (1970)
4. 國立建設硏究所：콘크리트 混和劑의 性能에 관한 硏究 No.405 pp.1-39 (1980)
5. 閔彰東：콘크리트와 異形鐵筋의 種類에 따른 附着應力의 實驗的 硏究. 東國大學校 碩士學位請求論文(1978)
6. 村田二郎部：各種減水混和劑の 使用方法の 硏究 をいたコ 技術年報×× pp.127-253 (1966)
7. 農業振興公社：콘크리트 混和材料資料 第11集 pp.125-142 (1976)
8. 岡田清, 酉林辛藏：減水劑を用いたコンクリトの 減水と 强度に 關する硏究材料 技術圖書 VOL 16, No.16 pp.17-28 (1967)
9. 柳熙正：混和劑를 使用한 콘크리트가 異形 鐵筋과의 附着强度에 미치는 影響에 관한 硏究 安城農業專門大學 論文集 12輯 pp.467-493
10. 成基泰：人工輕量骨材 콘크리트의 附着强度에 관한 實驗的 硏究. 건국대 토목공학과 碩士學位 淸求論文(1980)
11. Tuthill L.H: A case of Abnormally slow Harding concrete for Tunnel Lining ACI Journel pp.1091 (1961)