

急 結 劑

柳 鉉 好(譯)

〈現代시멘트丹陽工場 教育課長〉

1. 序 言

急結劑는 콘크리트의 凝結・硬化速度를 조절하는 混和材料의 일종으로 吹付콘크리트에 사용되고 있다.

吹付콘크리트는 dry mix 된 콘크리트 材料나 미리 플랜트에서 混煉된 生콘크리트를 특수한 吹付機械를 사용하여 壓縮空氣로 호스內를 壓送시켜 시공하는 특수 콘크리트이다. 따라서 急結劑로서 요구되는 가장 중요한 성능은 吹付된 콘크리트를 所定の 장소에서 순간적으로 凝結・硬化시키는 작용이다. JIS A 0203 (콘크리트用語)에 「急結劑는 시멘트의 水和反應을 빠르게, 凝結時間을 현저히 짧게 하기 위하여 사용하는 混和劑로 정의되어 있다. 그리고 1986년에 制定된 일본 土木學會 示方書에 急結劑는 土木學會 規準 「吹付콘크리트用 急結劑 品質規格(案)」에 적합한 것으로 정하고 몰탈試驗體의 凝結時間과 壓縮強度로 <表-1>의 規格値를 설정하고 있다.

吹付콘크리트用 急結劑 品質規格(案)
(JSCE-1986)

<表-1>

項 目	凝結時間(min)		壓縮強度 (kgf/cm ²)		
	初結	終結	12時間	24時間	28日
品質規格	5以內	15以內	10以上	90以上	75%以上*

註:*急結劑를 첨가하지 않은 몰탈에 대한 強度比率

더우기 같은 瞬結性的 混和劑에 있어서도 緊急補修工事 등에서 몰탈이나 콘크리트에 혼합하여 사용하는 것을 急結劑, 터널工事 등에서湧水나 漏水를 막는 목적으로 사용하는 것을 止水劑라 稱하여 吹付콘크리트用的 急結劑와 구별하고 있다.

최근 道路나 鐵道터널 혹은 지하철, 지하주차장, 지하발전소 등의 공사에 NATM工法(New Austrian Tunneling Method)이 急速히 보급되고 있고 吹付콘크리트의 施工量 증대와 함께 急結劑의 소비량도 많아지고 있다. 吹付工法도 乾式에서 시작되어 점차 濕式으로 바뀌고 있으며 SEC 吹付工法¹⁾ 遠心力으로 吹付하는 工法, 壓着工法 등의 특수한 공법이 실용화되어 吹付工法의 다양화가 進行되고 있다.

이에 따라 急結劑에 요구되는 성능도 다양해지고 있으나 기본적인 要件으로서 리바운드量, 粉塵發生量이 적고 乾式・濕式 공히 적용 가능하고 더구나 耐湧水性이 우수한 것이 요구되고 있다. 市販되고 있는 각종 急結劑의 특성을 엄격히 파악하여 吹付工法에 부합되는 急結劑를 選定하는 일은 均質하고 耐久인 吹付콘크리트를 경제적으로 시공하는데 있어서 중요하다.

이상의 관점에서 개개의 急結劑를 적정하게 사용하기 위한 急結劑의 종류와 急結機構, 사용량과 凝結速度의 關係, 凝結速度에 미치는 각종 要因의 영향 및 사용상의 주의사항에 관하여 기술해 보고자 한다.

2. 急結劑의 종류와 특징

시멘트의 水和反應을 極度로 빠르게 瞬結시키는 無機物質로서 珪酸나트륨($\text{Na}_2\text{O} \cdot n\text{SiO}_2$, $n: 2-3$), 炭酸鹽(Na_2CO_3 , K_2CO_3 등), 알루미늄酸鹽($n\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$, $n\text{K}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$, $n: 1-3$), 假燒明礬石(K_2SO_4 , $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$, Al_2O_3 의 混和物), 칼슘알루미늄베이트類($12\text{CaO} \cdot 7\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{C}_{12}\text{A}_7$, $11\text{CaO} \cdot 7\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{CaF}_2 \cdot \text{C}_{11}\text{A}_7\text{CaF}_2$), 칼슘설포알루미늄베이트($4\text{CaO} \cdot 3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{SO}_3 \cdot \text{C}_4\text{A}_3\text{S}$) 등이 있다.

有機物質로는 글리세린²⁾이나 에탄올아민에 瞬結작용이 나타나고 있으나 高價이며 無機系보다 성능이 떨어지기 때문에 단독으로는 사용되지 않는다. 일본에서 시판되는 急結劑는 上記의 急結成分을 여러가지로 組合시킨 組成物로 되어 있고 急結效果를 높일 목적으로 수산화칼슘과 石膏를 배합하여 제품화되고 있다.

<表-2>는 中川氏³⁾의 分類表로서 天然鑛物系 急結劑에 type F를 추가시켜 작성한 것이다. <表-2>에 無機鹽系로 분류되고 있는 A, B, C는 대부분이 알루미늄酸鹽과 炭酸鹽의 複合系로 되어 있다. 이것들은 乾式工法에 사용되고 있으며 A는 비교적 적은 사용량으로도 우수한 急結效果를 나타내는 경제적인 장점을 갖고 있으나 湧水箇所나 濕式工法에는 적합하지 않다.

B는 A의 성능을 개량하여 低알칼리性으로 한 것이다. D로 분류된 液體急結劑는 濕砂를 사용한 경우에도 우수한 急結性을 발휘하여 濕式工法에서의 적용도 검토되고 있다.⁴⁾

시멘트鑛物系 急結劑 C의 특징은 自硬性을 갖

는 칼슘알루미늄베이트 鑛物이 배합되어 있다는 점이다. 이 때문에 사용량의 증가에 따라 急結效果가 커지는 특성을 가지며 湧水箇所에 대해서도 우수한 急結效果를 나타내어 濕式工法에서의 적용도 가능하게 되었다. 현재 NATM工法の 濕式工法에 사용되고 있는 急結劑는 주로 시멘트鑛物系의 것들이다. 이러한 사용량과 急結效果의 관계는 常溫 및 低溫 環境下에서 인정되고 있어 無機鹽系나 天然鑛物系의 急結劑와는 다른 특징으로 되어 있다.

C로 분류된 急結劑가 갖는 하나의 특징으로는 비교적 알칼리 함유량이 적다는 점을 들 수 있다. 이것은 無機鹽系에 비해 알칼리골재반응을 유발하는 위험도가 적고 그밖에 長期材壽에 있어서 強度發現이 양호한 성질로 나타나고 있다.

칼슘설포알루미늄베이트는 CSA系 시멘트의 混和材料로 개발된 것으로서 사용목적에 따라서 ① 膨脹性 ② 急硬性 ③ 早強性과 膨脹性으로 나뉘어 사용되고 있다.⁵⁾ E로 분류된 急結劑에는 急硬性을 목적으로 하는 組成物이 배합되어 있고 시멘트에 대하여 10~15%의 사용량으로 濕式工法에 있어서 우수한 急結性과 장기강도의 발현성을 나타낸다.⁶⁾

天然鑛物系 急結劑는 假燒明礬石에 炭酸鹽, 알루미늄酸鹽 등을 배합시킨 것으로서 低溫에서의 急結效果가 크고 장기강도의 저하가 적다.⁷⁾

3. 急結機構

실용적인 急結劑는 전체가 複合成分으로 구성

市販 콘크리트用 急結劑의 분류

<表-2>

類型	成分	特徵	겉보기 比重	容比重	粉末度 (cm^2/g)	標準添加量 (%)	使用範圍 (%)
A	無機鹽系	低添加 高알칼리	0.7-0.9	2.4	1,000-2,400	3	3-5
B	改良無機鹽系	低 알 칼 리	0.7-0.9	2.4	1,000-4,200	5	4-6
C	시멘트鑛物系	湧水에 強함	0.8	2.6	4,200	5	4-10
D	無機鹽系液狀	濕砂에 強함	액상	1.3	-	5	4-6
E	칼슘설포알루미늄베이트	高強度 濕式用	1.0	2.9	5,400	10	10-30
F	天然鑛物系	強度低下가 적음	0.8-1.0	2.4	7,500	5	4-7

되어 있고 急結機構는 각각 다르며 복잡하다. 개개의 急結劑의 작용에 대해서는 명확하지 않으나 구성하고 있는 素材에 관한 笠井氏⁸⁾의 詳說에 따라 急結劑의 凝結促進 機構를 類推하는 것은 가능하다.

無機鹽系, 시멘트鑛物系에 있어서 시판되고 있는 대부분의 急結劑는 炭酸鹽과 알루미나酸鹽이 배합되어 있다. 炭酸나트륨은 시멘트의 수화반응에서 생성된 水酸化칼슘과 반응하여 難溶性의 炭酸칼슘과 水酸化나트륨을 生成한다. 이 반응은 순간적으로 일어나고 水酸化칼슘의 소비속도를 빠르게 하여 C_3A 나 C_4AF 의 수화를 촉진시켜 시멘트를 急結시킨다. 그리고 동시에 C_3S 나 $\beta-C_2S$ 등의 水和도 촉진시켜 初期強度를 증진시킨다.

알루미나酸鹽을 시멘트에 혼합시키면 水酸化알루미늄과 水酸化나트륨에는 급속한 加水分解가 일어난다. 水酸化알루미늄은 수산화칼슘과 반응하여 칼슘알루미늄에이트 水和物($3CaO \cdot Al_2O_3 \cdot 6H_2O$)을 생성하고 시멘트를 急結시킨다.

칼슘알루미늄에이트鑛物은 急硬 시멘트로하여 高速道路 路床의 보수나 鐵道の 橋脚보수 등의 緊急工事に 사용할 목적으로 개발된 材料로서 물과 접촉되면 急結·硬化하는 특성을 갖고 있다. $C_{12}A_7$ 을 시멘트에 혼합하면 순간적으로 水和物($2CaO \cdot Al_2O_3 \cdot 8H_2O$, $4CaO \cdot Al_2O_3 \cdot 19H_2O$)을 형성하여 급결한다. 市販品에는 石膏가 배합되어 있기 때문에 에트링가이트($3CaO \cdot Al_2O_3 \cdot 3CaSO_4 \cdot 32H_2O$)가 생겨 初期強度의 증대에 관여한다. 또한 $C_{11}A_7 \cdot CaF_2$ 도 이와 같은 급결작용을 나타낸다.

칼슘설포알루미늄에이트는 시멘트와의 반응에서 여러 종류의 칼슘알루미늄에이트 水和物($2CaO \cdot Al_2O_3 \cdot 8H_2O$, $3CaO \cdot Al_2O_3 \cdot 6H_2O$, $4CaO \cdot Al_2O_3 \cdot 19H_2O$ 등)과 에트링가이트를 생성하여 시멘트를 급결시킨다.

假燒明礬石은 天然鑛物로 존재하는 明礬石 [$K_2SO_4 \cdot Al_2(SO_4)_3 \cdot 4Al(OH)_3$]을 500~700℃로 소성하여 얻어지는 鑛物로서 황산칼슘, 황산알루미늄, 산화알루미늄의 혼합물이다. 이것을 시멘트에 혼합하면 수산화칼슘과 반응하여 시멘트를 瞬結시키며 칼슘알루미늄에이트 水和物, 에

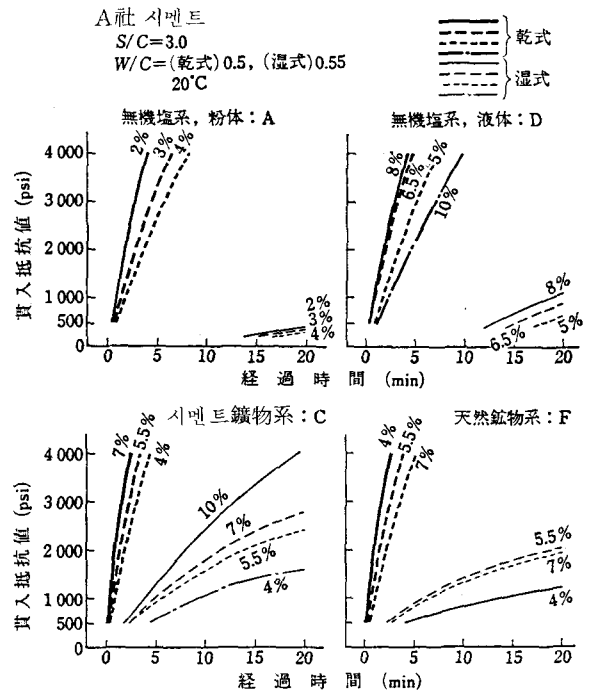
트링가이트 등의 생성이 확인되고 있다.

4. 急結劑의 효과와 영향요인

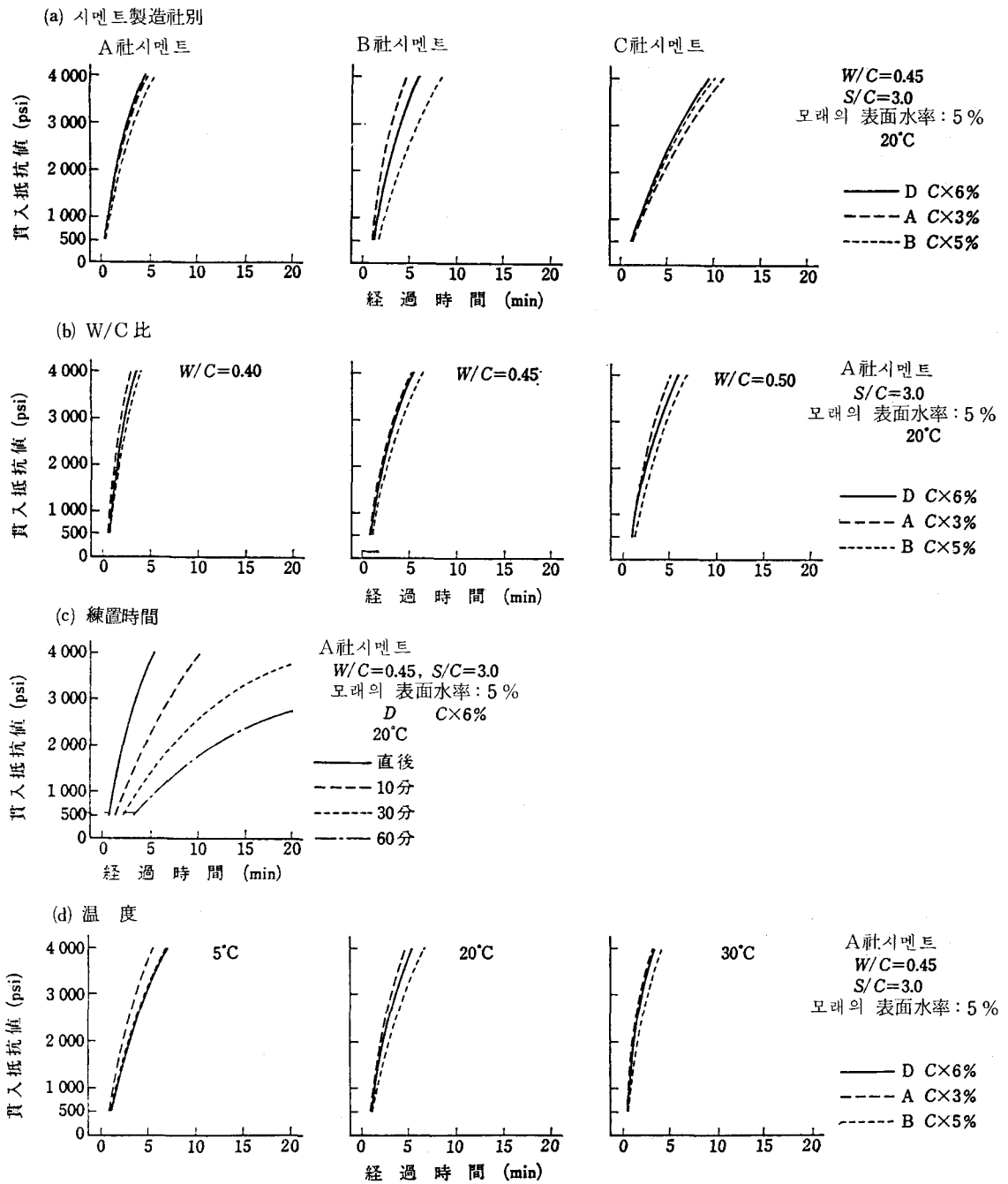
콘크리트를 壓縮空氣로 吹付하는 방법으로서 乾式工法, 濕式工法, 半濕式工法이 있다. 최근 일본에서는 1984년 建設省 建設技術評價規程에 基準 告示된 연구과제인 「高效率 低粉塵型의 吹付콘크리트工法의 개발」과 관련하여 여러 종류의 새로운 吹付工法이 실용화되고 있다. 따라서 개개의 急結劑 효과를 정확히 파악하여 각각의 吹付工法에 알맞는 종류와 사용량을 선택하는 일이 필요하다.

<그림-1>은 일본에서 시판되고 있는 대표적인 急結劑의 사용량과 凝結速度의 관계로서 試驗은 乾式과 濕式の 混煉方法으로 하였다. 즉 乾式은 土木學會 規準에 準하고, 濕式은 W/C 55%의 몰탈을 3분간 믹서에서 混煉시켜 그 상태로 30분간 放置後에 急結劑를 첨가하여 15초간 빠르게 손으로 混煉한 것이다.

急結劑 A, D, F에는 凝結速度를 가장 빠르게



<그림-1> 각종 急結劑의 사용량과 凝結速度의 관계



〈그림-2〉 無機鹽系 急結劑의 凝結特性에 미치는 각종 요인의 영향

하는 사용량이 존재하여 A는 2%, D는 8%, F는 4%가 최적 사용량으로 되어 있다. 그러나 실제의 현장 시공시에는 모래의 표면수량이나 건

조 혼합시킬 때부터 吹付施工 될때까지의 대기 시간의 영향을 받아 이들의 사용량은 1~2% 많게 하는 것이 通例이다.

시멘트 鑛物系는 사용량이 많은 만큼 凝結速度도 빠르고 4% 이상에서 5분 이내에 종결이 완료된다. 乾式과 濕式을 비교할 경우 시멘트 鑛物系만으로 濕式工法에서의 적합성이 관계된다.

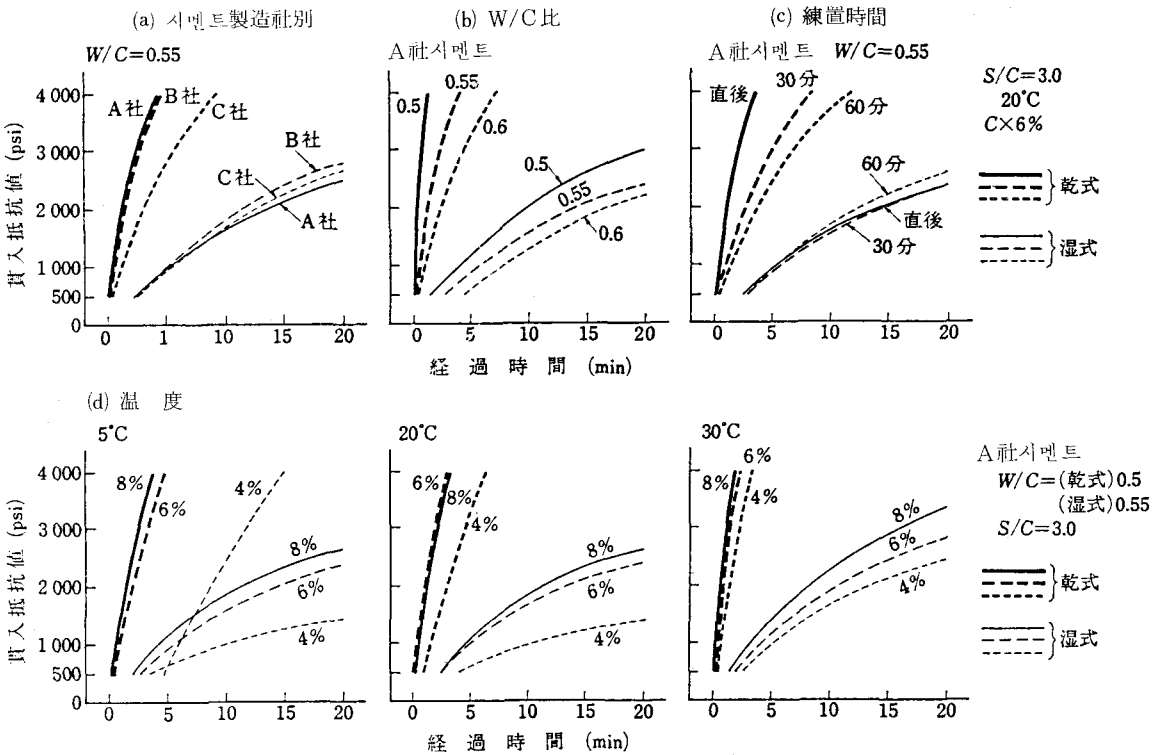
또한 急結劑의 성능은 ① 시멘트제조회사 및 신선도 ② W/C比 ③ 細骨材의 表面水量 ④ 混煉定置時間 ⑤ 콘크리트의 溫度와 기온의 영향을 받는다.⁹⁾

<그림-2>에 3 종류의 乾式用 急結劑에 관하여 上記 요인의 영향도를 시험한 결과를 나타내었다. 急結劑는 표준사용량, 細骨材의 表面水率을 5%로 조정하여 시험하였다. 그림에서 보는 바와같이 시멘트제조사별로 急結效果의 차이가 있고 A社 시멘트에서는 어느 急結劑도 양호한 急結性을 나타내고 있으나 C社 시멘트에서는 그렇지 못하다. B社 시멘트에 대해서는 急結劑의 종류에 따라 효과가 달리 나타나고 있다.

W/C比가 클수록, 온도가 낮을수록 混煉定置時間이 길어질수록 急結效果는 나빠진다.

<그림-3>은 최근 시판된 시멘트 鑛物系 急結劑를 사용하여 같은 방법으로 시험한 결과이다. 시멘트 鑛物系에 있어서도 시멘트 제조사별로 차이가 생기고 있다. 기타 요인에 관해서도 다른 急結劑의 경우와 같은 경향을 나타내나 영향을 받는 정도는 전체적으로 적다. 乾式으로 하면 W/C比가 60%에서도 양호한 急結性을 나타낸다.

터널공사의 주류가 NATM 工法이며 吹付콘크리트가 주요한 支保材料로 되는 관계상 강도와 내구성은 중요한 것이다. <表-3>에 無機鹽系 急結劑를 添加한 콘크리트의 壓縮強度와 길이 변화율에 관하여 실내시험에서 얻어진 결과의 一例¹⁰⁾를 나타내었다. 사용한 急結劑는 <表-2>의 분류에서 A, B, D에 상당한다. 그리고 試驗體의 제작은 100/ Fan型 므서에서 강제 混煉시킨 콘크리트를 10×10×42 cm의 형틀내에 2層으로 넣고 振動機로 다졌다. 콘크리트의 강도는 材畵에 따라 높아지는데 基準 콘크리트에



<그림-3> 시멘트 鑛物系 急結劑의 凝結特性에 미치는 각종 요인의 영향

콘크리트의 壓縮強度와 길이變化率

<表-3>

急結劑 類型	急結劑 使用量 (Cx%)	W/C (%)	s/a (%)	單位量(kg/m ³)				슬럼프 (cm)	空氣量 (%)	壓縮強度 (kgf/cm ²)					길이變化率	
				C	W	S	G			1日	3日	7日	28日	91日	材令 3個月	材令 6個月
基準	0							4.0	2.1	98	231	332	498	574	0.076	0.086
D	6	47	60	391	184	1,058	708	-	-	164	249	291	387	438	0.062	0.080
A	3							-	-	151	222	268	349	430	0.041	0.061
B	5							-	-	169	242	295	363	472	0.056	0.076

대하여 材令 28 일에 70~78%, 材令 91 일에 75~82%로 나타나고 있다. 길이 변화율은 基準 콘크리트에 비해 크지는 않다.

<表-4>는 NATM에서 많이 사용되고 있는 시멘트 鑛物系 急結劑의 強度發現性을 나타낸 것이다. 사용한 急結劑는 시판되고 있는 2종류로 공히 C로 분류된다. 試驗體의 제작은 15×15×53cm의 金屬製형틀내에 吹付機械를 사용하여 콘크리트를 吹付하는 방법에 의하였다. 이에 따라 乾式, 濕式의 어느 공법에도 吹付된 콘크리트는 材令이 증가할수록 강도가 증가함을 알 수 있다. 急結劑 C-1에서 보면 6시간 강도는 乾式에서 145 kgf/cm², 濕式에서 62.0 kgf/cm², 28일 강도는 각각 393, 344 kgf/cm²로 나타나 있다.

5. 使用上の 주의

실제 시공에 있어서 急結劑의 성능은 다른 콘크리트 材料의 品質이나 吹付工法, 환경조건 따위 외에 吹付機械의 종류, 急結劑의 공급장치나

공급위치, 壓送호스의 길이, 시간당 吹付速度 등의 影響을 받기 때문에 미리 시험시공을 실시하여 확인하지 않으면 안된다.

그리고 터널内の 환경위생면에서 粉塵低減劑와 병용하는 경우가 많아지고 있다. 粉塵低減劑에는 메틸셀룰로오스, PVA 등의 水溶性 高分子類가 사용되고 있고 素材의 종류에 따라 急結劑의 急結性이나 강도발현성을 저하시키는 경우가 있기 때문에 사전에 시험으로 확인할 필요가 있다.

急結劑를 저장하는 경우에 液體急結劑는 冬期에 凝結되어 有效成分이 析出되는 경우가 있기 때문에 屋外에 방치하지 않도록 주의하여야 한다. 粉體急結劑는 일반적으로 吸濕性이 강해 固結되기 쉬운 성질을 갖고 있다. 이러한 성질은 시멘트 鑛物系에서 현저하다. 따라서 저장장소는 屋上의 어떤 장소로 하고 密封한 것은 당일로 사용하는 것이 좋다.

急結劑에는 알칼리 성분이 배합된 것이 많다. 計量이나 운반 작업중에 직접 인체에 접촉되지 않도록 장갑이나 보호안경을 착용하는 것이 좋

吹付콘크리트의 壓縮強度

<表-4>

吹付 工法	急結劑		W/C (%)	s/a (%)	單位量(kg/m ³)				슬럼프 (cm)	空氣量 (%)	콘크리트 溫度(°C)	壓縮強度(kgf/cm ²)				
	類型	使用量 (Cx%)			C	W	S	G				6 時間	1日	3日	7日	28日
乾式	C-1	5.1	48	60	360	165	1,142	744	-	-	29.5	145	230	304	341	393
	C-2	5.2	48			172	1,131	737	-	-	31.0	98.7	216	292	353	361
濕式	C-1	6.4	59			212	1,004	654	11.0	3.5	32.5	62.0	159	224	264	344
	C-2	6.4				11.5	3.5	29.0	55.3	148	216	269	344			

<表-5>

品名	主成分	性質	初結-終結	使用量 %/ce	價格	主用途	製造社
T.ROCK	急硬性鑛物	比重 2.45 粉末狀 pH=13	瞬結	4-7	250円/kg	NATM	小野田
덴카나트믹 Type 3,5,10	無機鹽系 시멘트鑛物	比重 2.4-2.9 粉末狀 pH=11~14	30초~4분	3-10	250円/kg	吹付工法	電氣化學
아사노 스파나름	시멘트鑛物	比重 0.8-1.0 粉末狀	1~5분	4-10	250円/kg	吹付工法	日本시멘트
코믹코타이트	硅酸 나트륨	比重 1.23 液狀 pH=11	30초~50분		300円/ℓ	急結防水	日本시멘트

으며 혹시 다량이 피부에 묻거나 눈에 들어갔을 때에는 즉시 세척하고 專門醫의 치료를 받지 않으면 안된다.

6. 結 論

急結劑가 본격적으로 사용되기 시작하여 20여년에 이르고 있고 그 유용성은 충분히 실증되고 있다. 그러나 壓縮空氣를 이용한 공법에 있어서의 한계, 리바운드나 粉塵의 발생은 피하기 어렵고 이들의 低減을 急結劑의 性能向上으로 解結하는데에도 한도가 있다.

壓着工法 혹은 押付工法이라고 불리우고 있는 新工法은 특수한 슬라이드式 壓着型틀을 사용하여 生콘크리트를 地山面과의 사이에 타설하고 押付로부터 型틀을 이용시켜 平滑한 一次覆工 콘크리트를 構築하는 방법으로서 리바운드나 粉塵發生이 전혀없는 공법인데 이러한 新工法에 적합한 急結劑의 개발도 행해지고 있다.

실용적인 急結劑에는 얼마간의 알칼리 성분이 배합되어 있다. 인체에 대한 안전성 및 알칼리 骨材反應을 防止하는 의미로 가능한한 低알칼리 型으로 개량하는 것이 필요하다.

그리고 현재로서는 急結劑의 성능을 실내 규모에서 평가할 만한 적절한 방법이 없고 현장에서 시험시공한 경우에도 吹付直後로부터 數時間까지의 凝結·硬化速度를 定量的으로 파악할 방법이 없다. 急結劑의 성능을 정확히 평가하고

性能向上을 도모하기 위하여 현장과 附合되는 시공방법의 確立이 要望된다.

<參 考 文 獻>

- 1) 加賀秀治·山本康弘·伊東靖郎: S.E.C. 方式による大容量自動吹付けコンクリート工法, セメント・コンクリート, No. 404, pp. 16~25, 1980
- 2) 車田則充·檜垣一夫: 瞬結劑についての一實驗, セメント技術年報, Vol. 24, pp. 71~75, 1970
- 3) 中川晃次·平野健吉: 急結劑, セメント・コンクリート, No. 427, pp. 95~100, 1982
- 4) 竹内恒夫·島山 修·木川田一弥: 低粉じん型の濕式吹付けコンクリートに関する研究, コンクリート工學年次論文報告集, Vol. 9, No. 1, pp. 319~322, 1987
- 5) 三宅信雄·中川晃次·磯貝 純: カルシウムサルホアルミネート系セメント混合物の基礎性狀, セメント技術年報, Vol. 29, pp. 121~126, 1975
- 6) 松垣光威·竹内恒夫·島山 修: あるセメント系吹付け材の性質に関する研究, 間組研究年報, pp. 127~132, 1982
- 7) 菊地正恒ほか: セメント用急結劑, 公開特許公報, 昭 62-46943
- 8) 笠井順一: セメントを急硬させるメカニズム, セメント・コンクリート, No. 406, pp. 40~43, 1980
- 9) 中原 康: 吹付けコンクリートにおける材料の現狀と問題點, コンクリート工學, Vol. 19, No. 4, pp. 20~28, 1981. 4
- 10) 岡沢 智·能町 宏: 乾式吹付けコンクリート用液狀急結劑 QP-500 L について, 日曹マスタービルダーズ研究所報, No. 5, pp. 67~76, 1982 ♣

<資料: 콘크리트工學 '88/3 Vol. 26, No. 3>