

콘크리트 혼화재인 Fly Ash의 세계 표준규격 비교

Comparison on International Standards of Fly Ash as Admixture in Concrete

임남웅*

조영임**

Lim, Nam Woong Cho, Young Im

ABSTRACT

This study reviews the internationally existing standards for fly ash and the other pozzolanic materials. The standards reviewed for this report covers the thirteen countries around the world including USA.

It is found that the comparison of standards appeared to be different for technical test requirements from the country to country. This may be due to the different composition of fly ash produced in each different country as by-product. It is importantly shown that the four countries, including USA have standardized to compose the total 70% of $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$. The other countries have required to have the individual chemical composition, such as 45% SiO_2 in Japan. The loss on ignition is generally in the range of 5-6%, but the maximum 12% was allowed in some countries. This depends on the quality of fly ash. The moisture content is generally less than 3% in all countries except India. India allows up to 12%. The pozzolanic activity (as the compression) has been standardized that the 28 days curing in compression was subjected in all countries but 91 days curing in compression was tested in Japan. It is shown that KS L 5405 is almost identical to JIS A 6201.

1. 서론

Fly Ash란 석탄을 원료로 하는 화력발전소에서 미분탄을 약 1,400°C-1,500°C의 고온으로 소각시켰을 때 용해되어 연소가스와 함께 공기중으로 올라가다가 급격히 냉각되면서 생성되는 미세한 분말이다. 이는 전기석 또는 기계석 집진장치를 사용하여 수집된다. 그 주성분으로는 SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 등이며 미량의 K, P, B, Co, Mo, Mg 등도 함유되어 있는 포졸란(pozzolan) 물질이다. 포졸란이란 무정형(amorphous)의 silica로서 그 자체로는 수경성(hardening)이 없으나 수분 존재하에 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 와 반응하여 calcium silicate hydrate를 활발하게

형성할 수 있는 물질을 말한다.⁽¹⁾

포졸란 물질을 시멘트와 섞어서 사용하게 되면 시멘트의 workability가 개선되고, 수분요구량이 감소하고, 수화열의 발생이 낮아지며, 초기 강도는 떨어지나 장기재령의 경우는 강도가 증진된다. 또한 수밀성과 부식(corrosion)에 대한 저항성이 향상되는 등의 기술적인 장점뿐만 아니라, 경제적이고 환경보호측면에서도 효과적이다.⁽²⁾ 포졸란 활성을 가지는 물질로는 Fly Ash 이외에 화산재나 응회암등의 자연산도 있다.

Fly Ash를 콘크리트에 사용하기 위한 착상은 1914년 미국에서 시작되어 댐이나 수리구조물 등에 콘크리트 혼화제로 Fly Ash를 이용하게 되었다.⁽³⁾ 그 이후 외국의 Fly Ash 활용을 위한 연구는 꾸준히 진행되어 오고 있으며, 각 나라 별로 차이는 있겠지만 약 30-50% 이상을 현재 활용하고 있다.⁽¹⁾ 활용 용도는 콘크리트 혼화제

* 중앙대학교 건설대학원 환경공학과 교수

** 중앙대학교 건설산업기술연구소 연구원

이외에도 시멘트 원료, 토질개량제, 경량골재, 건축재료분야, 토목분야, 농수산분야 등이다.

국내의 Fly Ash 활용실적은 1994년 현재 총 발생량의 14.3%이고 대부분은 매립하고 있는 실정으로 외국에 비해 저조한 편이다.⁽¹⁾ 그 이유는 여러 가지가 있겠지만, Fly Ash의 품질 불균일, 인식 부족이 주요인이다. 국내 Fly Ash는 무연탄계와 유연탄계로 대별할 수 있다. 무연탄계 Fly Ash는 서진, 부산, 영동 및 영월 화력발전소에서 발생하며 국내 무연탄을 사용한다. 유연탄계 Fly Ash는 보령, 호남 및 삼진포 화력발전소에서 발생되고 있다. 주로 수입유연탄을 사용하기 때문에 사용탄종이 바뀔 때마다 Fly Ash의 품질이 변화하게 된다. 현 추세는 유연탄의 사용이 급증하므로 품질이 불균일한 유연탄계 Fly Ash가 증가할 전망이다.

본 조사에서는 Fly Ash에 대한 세계 표준규격들을 비교하므로써 국내의 Fly Ash 품질관리를 향상시켜 그 활용량을 증대시키는 정보를 제공하는데 그 목적이 있다.

2. 세계 각국의 콘크리트 혼화제 구분

세계의 많은 나라들에서는 콘크리트 혼화제에 대한 규정을 운영하고 있다. 콘크리트 혼화제로서는 Fly Ash와 Granulated Blast Furnace Slag(GGBS)로 대별할 수 있다. 미국, 캐나다 등 몇몇 나라는 Fly Ash와 GGBS의 규정을 모두 가지고 있으나 남아프리카에서는 물질의 활용 용도에 따라 어느 한가지의 규정만 가지고 있다.⁽⁴⁾

Condensed Silica Fume(CSF)도 콘크리트 혼화제로 널리 쓰이고 있지만, 이에 대한 기준을 정한 나라는 거의 없고 단지 캐나다에서만 규정에 놓았다.⁽⁴⁾

다음 표 1에서는 콘크리트 혼화제의 구분은 11개 나라에 대해 나타낸 것이다.⁽⁵⁾

3. Fly Ash의 분류

표 1은 대부분의 나라에서 기준으로 하는 Fly Ash에 대한 규정이다.⁽⁵⁾

표 1. 콘크리트 혼화제

나 라	규 격 번 호	포졸란 물질		Granulated Slag
		Fly Ash	다른 것	
Australia	DR 87242, AS 3582.1 DR 87243	○		○
Austria	Norm B3320-1982 Norm B3318-1980	○		○
Canada	CAN/CSA-A23.5-M86	○	○	○
Germany	TGL 36859/04 June 1980	○		
India	IS : 3812-1981 IS : 1344-1981	○	○	
Japan	JIS A 6201-1977	○		
Korea	KS L 5404-82	○		
Netherlands	N4 88-1932		○	
Turkey	TS 639-1975	○		
USA	C 618-85 C 989-879	○	○	○
UK	BS 3892 : Part 1 : 1982 BS 6699 : 1986	○		○

미국과 캐나다는 Fly Ash를 포졸란 물질에 포함시키며, 포졸란 물질을 다음 3가지로 분류하고 있다.^(6,7)

첫째, Class N는 가공하지 않은 그대로이거나 소성시킨 천연 포졸란 물질이며, 둘째로 Class F는 무연탄(anthracite)이나 유연탄(bituminous coal)의 연소부산물로서 포졸란 성질을 가지는 것이며, 셋째로 Class C는 갈탄(lignite)이나 아역청탄(sub-bituminous coal)의 연소부산물로서 포졸란 성질과 결합성(cementitious property)을 가지며, 석회(lime) 함유량이 10%이상인 것이다. Class F에 비해 Class C는 높은 포졸란 성질과 결합성을 가지고 있어 강도발현이 우수하다.⁽⁸⁾

호주에서는 Fly Ash를 분쇄된 석탄을 가열하여 발생된 가스로부터 포집된 고체물질이라고 정의하며, Fine, Medium, Coarse로 구분하였다.⁽⁹⁾ 이러한 구분은 다음 표 2에 제시된 조건에 맞아야 한다.

그 외 다른 나라에서는 특별히 세분하지 않고 있다.

표 2. 콘크리트 혼화재로 사용시 Fly Ash의 화학·물리적 성분

나 라		Australia			Austria	Canada			E.G** [W.G]**	India
분류번호		AS 3582.1			B3320	A23.5-M86			36859/04	IS:3812
		Fine	Medium	Coarse		N	F	C		
화학적 성분	SiO ₂ + Al ₂ O ₃ + Fe ₂ O ₃ (min %)									70
	SiO ₂ (min %)				42.60	3.0	5.0	5.0		
	SO ₃ (max %)		3.0		3.5				10 [4.0]	2.75
	수분함량 (max %)		1.0		3.0	3.0'	3.0'	3.0'		12
	강일감량 (max %)	4.0	6.0	12.0	5.0	10.0	12.0	6.0	10 [5.0]	
	MgO (max %)		4.0		5.0				6.5	
	활용가능한 알칼리 (Na ₂ O) (max %)								3	1.5
	CaO (max %)									
	Free CaO (max %)				2.0				8	
	Cl ⁻ (max %)				0.1				[0.1]	
물리적 성분	입도 - 45 μm (No.325) 체의 통과잔류물 (max %) - 비표면적 (Blaine 법) (min cm ² /g)	25.0	40.0	60.0		34	34	34	[50] 70 (90 μm체)	
	강도발성지수 - 시멘트 사용 7일 (min %) 28일 (min %) - 석회 사용 7일 (min MPa)				80	75	75	75	[70]	4.0
	압축강도비 - 28일 (max %) - 91일 (min %)									80
	수분요구량 (max %)									
	안정도 - 고압팽창 (max %) - Le Chatelier 팽창 (max mm)									
	비중 (min)									
	알칼리 반응성 - 팽창감소율 (min %) : 14일					75	60	60		
	건조수축증가율 (max %) : 28일					0.03	0.03	0.03		
	응결시간 - 초기 (min 분) - 최종 (max 시간)								[60] [12]	
	비중변동량 (max %)					5	5	5		
	입도변동량 : 45 μm (No.325) 체 (max %)					5	5	5		

* 선택조건

** E.G(East Germany), W.G(West Germany), 1988년 자료^(4,5)

(표계속)

나 라		Japan	Korea	Denmark	Sweden	Turkey	USA			U.K	USSR
분류번호		A6201	I.5405			TS 639	ASTM C618			BS3892	
							N	F	C	Part 1	
화학적 성분	SiO ₂ + Al ₂ O ₃ + Fe ₂ O ₃ (min %)				70	70	70.0	70.0	50.0		
	SiO ₂ (min %)	45	45								25
	SO ₃ (max %)			4.0	4.0	5.0	4.0	5.0	5.0	2.0	3.0
	수분함량 (max %)	1	1.0	1.5		3	3.0	3.0	3.0	0.5	2.0
	강열감량 (max %)	5	5.0	5.0	5.0	10	10.0	6.0	6.0	6.0	5.0
	MgO (max %)			5.0	5.0						
	환용가능한 알칼리 (Na ₂ O) (max %)			1.5	1.5		1.5*	1.5*	1.5*		
	CaO (max %)									10.0	
	Free CaO (max %)					6					
Cl ⁻ (max %)				0.1	0.1					0.1	
물리적 성분	입도 - 45 μm (No.325) 체의 통과잔류물 (max %) - 비표면적 (Blaine 법) (min cm ² /g)	2400	2400	40			34	34	34	12.0	25 (90 μm 체)
	강도활성지수 - 시멘트 사용 7일 (min %) 28일 (min %) - 석회사용 7일 (min MPa)				70	70	75	75	75	80	85
	압축강도비 - 28일 (max %) - 91일 (min %)	60	60								
	수분요구량 (max %)	102	102				115	105	105	95	105
	안정도 - 고압팽창 (max %) - Le Chatelier 팽창 (max mm)									10	
	비중 (min)	1.95	1.95							2	
	알칼리 반응성 - 팽창감소율 (min %) : 14일						75*				
	건조수축증가율 (max %) : 28일						0.03*	0.03*	0.03*		
	응결시간 - 초기 (min 분) - 최종 (max 시간)										15 4
	비중변동량 (max %) 입도변동량 : 45 μm (No.325) 체 (max %)						5	5	5		
							5	5	5		

* 선택조건

4. Fly Ash의 세계 표준규격 비교

표 2에서는 콘크리트 혼화재로 사용시 세계 각국(13개국)의 Fly Ash 표준들을 화학적 성분 및 물리적 성분에 입각하여 비교하였다.⁽⁴⁻¹²⁾

4.1 화학적 성분

(1) $SiO_2 + Al_2O_3 + Fe_2O_3$

Fly Ash 중의 가용성 SiO_2 는 시멘트 수화시 생성되는 수산화칼슘($Ca(OH)_2$)과 상온에서 서서히 화합하여 불용성의 안정된 규산칼슘($CaOSiO_2 \cdot nH_2O$)을 생성시켜 장기적으로 콘크리트의 압축강도를 증진시킨다.⁽¹⁾

그러므로 Fly Ash에 대한 미국의 초기 ASTM 규정에서는 SiO_2 최소치를 40%로 규제하였으나 현재는 $SiO_2 + Al_2O_3 + Fe_2O_3$ 함유량의 최소치를 70%로 규제하고 있다.

(2) 무수황산 (SO_3)

황산염의 양이 많으면 Ettringite의 형성에 의해 콘크리트 팽창을 야기시켜 균열을 일으킨다. 대부분의 나라에서는 4-5%로 제한하고 있다.

(3) 수분함량

수분함량이 많게 되면 포졸란 활성을 잃어 강도가 약해지므로 대부분 1-3%로 제한하고 있으나 인도에서는 12%로 규정하고 있는 것이 이채롭다.

(4) 강열감량

강열감량은 미연탄소 함량으로 간주할 수 있다. 미연탄소 함량이 많을수록 다공질이고 비건정으로서 AE제(Air Entraining Agent)의 주입량을 증가시키게 되므로 낮을수록 유리하다.⁽¹³⁾ 강열감량이 크게 되면 강도의 감소를 초래하기 때문에 국내 규격에서는 Fly Ash의 강열감량 한계치를 5%이하로 규정하고 있다. 미국에서는 C급 및 F급에 대해 각각 6%씩, 일본 및 영국에서는 6% 이하로 규정하였다. Fly Ash에 대한 강열감량을 대부분 6% 범위내로 제한하고 있으며 호주와 캐나다에서는 등급에 따라 12%까지도 허용하고 있다.

(5) 산화마그네슘 (MgO)

Fly Ash에 함유된 산화마그네슘은 콘크리트 내에서 반응하여 수산화마그네슘($Mg(OH)_2$)을 생성시킨다. 이것은 콘크리트의 팽창과 균열을 일으키므로 그 최대함량을 5%로 규제하고 있다. 하지만 미국에서는 고려하고 있지 않는데 MgO 함량과 팽창과의 관계가 명확히 규명되지 않았기 때문이다.⁽¹⁾

4.2 물리적 성분

(1) 입도

입도는 포졸란 활성도와 콘크리트의 workability에 영향을 주므로 매우 중요하다. 일반적으로 분말도가 크면 분말도가 작은 경우보다 콘크리트 배합시 단위수량의 증가를 초래하지만, 입자가 미세하다. 따라서 콘크리트 내에서 골재사이의 공극을 충전시켜 수밀성을 증대시킨다.⁽¹⁾

대부분의 나라에서 입도를 45 μm (No.325)체의 잔류량(34% 이하)으로 측정하는데, 이 측정방법으로 전체 입자의 크기를 알 수 있는 것은 아니지만 큰 입자의 양을 결정해 준다. 큰 입자가 많을수록 콘크리트 강도에 기여하는 수화물의 생성이 어렵고 탄소 함량도 증가하게 되므로 바람직하지 않다. 비표면적 측정방법은 탄소함량에 따라 다소 차이가 있기 때문에 적용시키기 어렵지만 우리 나라와 일본에서는 이 방법을 채택하여 2400 cm^2/g 이상으로 규제하고 있다.

입도는 비표면적의 값이 크거나 45 μm 체 잔류량이 적을수록 높아지며 입도가 클수록 포졸란 활성도가 커지고 Fly Ash를 혼합한 콘크리트의 workability가 향상된다.

(2) 강도활성지수

강도활성지수는 control mortar의 강도와 시멘트를 Fly Ash로 대체한 것과의 비로 나타낸다.⁽¹³⁾ 일반적으로 입도가 작고 강열감량이 적은 Fly Ash 일수록 강도활성지수가 크다. 보통 제령 28일을 기준으로 측정하며, 미국은 제령 7일, 28일 모두 측정한다.

(3) 압축강도비

대부분의 나라에서는 강도평가를 강도활성지수로 측정하지만 일본과 우리 나라에서는 압축

강도비로 측정하며, 특히 일본에서는 재령 91일 강도측정도 규정에 포함시키고 있어 관심의 대상이 된다.

(4) 수분요구량

순수한 시멘트의 필요수량을 100으로 했을 때, Fly Ash 시멘트는 보통 100 이하의 수분이 필요하다.⁽¹¹⁾ 이것은 Fly Ash가 천연 포졸란 물질과 달리 거의 완전한 구형이기 때문이다. 영국에서는 95%, 그 외의 나라에서는 수분요구량을 102 -105% 범위로 규정해 놓았다.

(5) 비중

비중은 강도에 영향을 주며 비중이 높으면 수밀성 증대 등 Fly Ash의 공학적 특성이 향상된다.⁽¹³⁾ 국내 규격에서나 일본에서는 비중을 1.95 이상으로 규제하나 그외 다른 나라에서는 특별히 규제하고 있지 않다.

(6) 비중 · 입도변동량

미국과 캐나다에서만 비중, 입도 각각에 대한 변동량을 최대 5%로 제한한다.

5. 결론

(1) Fly Ash에 대한 각 나라별 규정이 동일하지 않고 다소 차이가 있는 것은 산업부산물로 발생하는 Fly Ash의 성분이 나라별로 차이가 있기 때문이다.

(2) Fly Ash에 대한 세계표준중 화학적 성분 에 대한 조건중 $SiO_2+Al_2O_3+Fe_2O_3$ 함유량 70% 이상, 강열감량 5-6% 이하, 수분함량 1-3% 이하 등이 중요하다. 특히 인도에서는 수분함량을 12% 이하로 규정하고 있다.

(3) 강도측정기준은 강도환성지수와 재령 28일 압축강도비로 정한다. 일본에서는 재령 91일의 압축강도비도 측정한다.

(4) 우리 나라의 Fly Ash에 대한 KS L 5405 규정은 일본 규격인 JIS A 6201과 거의 유사하다.

참 고 문 헌

1. 한국전력공사, "석탄회", 1994
2. I.Ahmed, "Use of Waste Materials in Highway Construction", Noyes Data

- Corporation, U.S.A., 1992
3. V.M.Malhotra, "Use of Fly Ash, Slag and Condensed Silica Fume in North America and Europe", Concrete Workshop, Australia, 1988
4. R.N.Swamy, "Siliceous Byproducts - European Standards", Concrete Workshop, Australia, 1988
5. W.B.Butler, "A Review of Some Existing Standards for Supplementary Cementing Materials & Possible Deficiencies in Them", Construction Materials Division, Amatek Limited, Villawood, Australia, 1989
6. American Society for Testing and Materials, "Standard Specification for Fly Ash and Raw or Calcined Natural Pozzolan for Use as a Mineral Admixture in Portland Cement Concrete", ASTM C 618, 1992
7. Canadian Standards Association, "Supplementary Cementing Materials", CAN/CSA -A23.5-M86, 1992
8. W.B.Butler, "Fly Ash and Fly Ash Concrete in England", U.S.A. and Australia, Concrete Workshop, Australia, 1988
9. Standards Association of Australia, "Supplementary Cementitious Materials for Use with Portland Cement", AS 3582.1, 1991
10. British Standard Association, "Pulverized - Fuel Ash", BS 3892 : Part 1, 1993
11. Japanese Standards Association, "Fly Ash", JIS A 6201, 1991
12. P.L.Pratt, "The Use of Fly Ash in Concrete - A European View", Materials Research Society Symposium Proceedings, U.S.A., Vol.178, 1989
13. 한국전력공사, "Fly Ash 이용기술 Workshop 참석보고서", 1990