

API시험법에 의한 국내 석탄회의 품질 평가

Evaluation of Domestic CCPs(Coal Combustion Products) Quality by API Test Method

유성원¹ · 유경근² · 조영근^{2*}

Sung-Won Yoo¹ · Kyung-Geun Yu² · Young-Keun Cho^{2*}

(Received May 14, 2013 / Revised June 10, 2013 / Accepted June 24, 2013)

Recently, recycling of industrial by-products and CO₂ reduction have been important issues in the world. In this reason, applications and reuse of Fly ash as a binder for concrete, which is generated in thermoelectric power plant, have been one of the effective recycle methods. In order for Fly ash to be applied to concrete, Korean Standard(KS) has selected and managed quality such as SiO₂, fineness, specific gravity, ignition loss and activity index. However, there is a limits for activity index, whose test period required is at least 28 days or 91 days. Activity index is the critical indication standard to determine mechanical strength of concrete that contained Fly ash. To complement the disadvantage of test method, this research provided "API test method", which quickly measure Pozzolanic reaction of Fly ash can be considered as a alternative of activity index. Then, the adaptable API test method need to be investigated through comparative analysis with the test result of API, activity index and K-value. The test method can make evaluation of Fly ash quality faster and more accurate. As a result, most Fly ash produced in Korea has not been satisfied in the KS quality standard except water content and specific gravity, and especially fluidized bed boiler ash has its characteristics. Also, API, activity index and K-value have superior interrelationship. The interrelationship between API and activity index and K-value gets increased as the material age gets higher, so API test can be considered as very useful test method for Pozzolanic reaction evaluation of Fly ash.

키워드 : 석탄회, 활성도 지수, K-value, API

Keywords : Coal Combustion Products, Activity index, K-value, API

1. 서론

최근, 산업부산물의 재활용과 이산화탄소 저감은 사회적으로 매우 중요한 이슈이다. 이러한 측면에서 화력발전소에서 발생하는 석탄회(Coal Combustion products : CCPs)는 콘크리트의 혼합재로 사용되는 것이 석탄회 재활용 방안 중 최선으로 알려져 있다. 이러한 석탄회를 콘크리트에 사용하기 위하여 KS L 5405 표준의 경우, SiO₂ 함량, 분말도, 비중, 수분, 강열감량, 플로우비 및 활성도 지수 등의 품질 항목을 선정하여 관리하고 있다(Korean standard association, Korean Standard L 5405 (fly ash), 2009). 이러한 KS 품질 항목 중에서 강열감량 및 활성도 지수 등은 콘크리트의 첨가재로의 활용 여부를 결정할 수 있는 가장 중요한 항목으

로 평가된다.

특히, 활성도 지수의 경우는 석탄회가 콘크리트에 사용될 때의 활용가능성을 판단할 수 있는 가장 중요한 기준인데 반해서 실험 소요 기간이 최소 28일 혹은 91일이 요구되는 단점을 가지고 있다. 이렇게 긴 실험 소요기간으로 인하여 국내 발전소에서는 대부분 발생된 석탄회의 재활용 여부를 결정할 때 강열감량(Loss of ignition : LOI)만을 가지고 석탄회의 재활용 여부를 판단하며, 이로 인하여 이미 석탄회를 사용한 콘크리트의 품질을 정확히 확인하지 못하는 상태로 재활용되고 있는 실정이다(R.V. Ranganath et al, 1995).

이러한 문제점에 착안하여 본 연구에서는 기존 활성도 지수 실험법을 대체할 수 있으며, 실험 소요 기간도 2일 이내인 실험법인

* Corresponding author E-mail: young@kcl.re.kr

¹우석대학교 토목환경공학과 (Woosuk University, Wanjū, 565-701, Korea)

²한국건설생활환경시험연구원 첨단건설재료센터 (Korea Conformity Laboratories, Seoul, 153-803, Korea)

API(Assessed Pozzolanic-activity Index) 시험법을 적용하여 활성도 지수 시험법 및 K-value와의 상관성 비교 분석을 통하여 API 시험법의 적용 가능성을 검토하고 API 시험법에 의한 국내 석탄회의 품질을 평가하였다.

2. 실험 계획

2.1 실험 개요 및 방법

본 연구에서는 2012년 4월~2012년 10월까지의 국내의 YH 및 YS 화력발전소에서 생산되는 석탄회 51종에 대하여 1주일 간격으로 KS L 5405에 따라 SiO₂(화학분석), 분말도, 비중, 강열 감량, 활성도지수(7, 28일 및 91일), K-Value 및 API 등을 실험하였다. 특히 화학분석, 강열감량, 수분, 분말도 및 비중 등은 국내 공인 전문시험기관에 의뢰하여 측정을 수행하였다. 또한 실험에 사용된 석탄회의 종류로는 플라이 애시(fly ash : FA) 및 정제회(refined ash : RFA) 등이다.

YH 화력발전소 보일러의 경우, 국내에서 일반적으로 사용되는 형태인데 반해서 YS 화력발전소 보일러는 최근 저열량의 석탄에서도 유리한 유동층 보일러이다. 이러한 유동층 보일러는 미연탄분, 분말도 및 수분 등의 품질이 일정한데 반해서 SiO₂의 함량이 적은 석탄회를 발생시키는 특징이 있다(D. Hall et al. 1984, P.K. Metha, 1985)

한편, 국내에서 발생하는 석탄회에 대한 품질 시험은 KS L 5405에 따라 수행되었으며, 품질시험 항목 및 기준치에 대한 KS L 5405의 내용을 Table 1에 정리하였다.

2.2 API 시험 방법 및 K-value

포졸란 반응은 시멘트의 수화반응에 의하여 생성되는 Ca(OH)₂가 포졸란 물질 중의 Si, Al 이온과의 반응에 의하여 C-S-H

(Calcium silicate hydrate)를 생성하는 것을 말한다. 이러한 반응 메커니즘에 기초하여 Yamamoto 등은 API 시험(Assessed Pozzolanic-activity Index)을 제안하였다(T. Yamamoto, 2006, T. Yamamoto et al. 1999). API 시험 방법은 시멘트와 fly-ash 혼합용액 내에서의 플라이 애시에 의한 포졸란 반응으로 소모되는 Ca²⁺ 양을 의미한다. API 시험의 주목적은 플라이 애시의 포졸란 반응성을 신속하게 평가하는 것이다. 즉, 기존의 활성도지수 시험방법은 7, 28 및 91일의 시간이 경과해야만 그 결과를 알 수 있으나, API 시험은 불과 2일 만에 그 결과를 얻을 수 있다.

- ① 플라이 애시 1.5g, 보통 포틀랜드 시멘트 1.5g 및 증류수 50 mL를 반응병에 넣고 반응병 용기 바닥에 침전, 고화되지 않도록 상온에서 1시간 교반한다.
- ② 밀봉된 반응병을 80℃로 조절된 반응기에서 18 시간 동안 정치한다.
- ③ 0.2μm 유리섬유 필터 혹은 여과지를 사용하여 시료와 액체를 분리한다.
- ④ 분리된 액체의 Ca²⁺ 이온의 농도를 측정하여 다음 식 (1)에 따라 API를 산출한다.

$$API = \frac{Ca_{cement} - Ca_{(cement + fly\ ash)}}{Ca_{cement}} \quad (1)$$

또한, 일반적으로 K-value는 식 (2)와 같이 계산할 수 있다. 이러한 K-value는 모르타르의 압축강도와 선형관계이며, 모르타르 중 반응성 재료의 부피와 모르타르 전체의 부피 비의 제곱에 영향을 받는다. 즉, K-value는 모르타르 중 반응성 재료의 기여분이 반영된 모르타르의 압축강도를 의미한다. 한편 K-value 계산에 사용된 모르타르의 배합은 KS L 5405에 결정하였으며, 그 내용은 Table 2에 나타내었다.

$$S = K \left[\frac{C+f}{C+f+w+a} \right]^2 \quad (2)$$

여기서, S : 모르타르 압축강도, C : 시멘트 부피
f : FA 부피, w : 물 부피, a : 모래 부피

Table 1. Requirement characteristics for fly ash(KS L 5405)

	type 1	type 2
SiO ₂ (%)	45.0 ↑	45.0 ↑
Water contents(%)	1.0 ↓	1.0 ↓
Loss Ignition(%)	3.0 ↓	5.0 ↓
Density(g/cm ³)	1.95 ↑	1.95 ↑
Blaine Fineness(cm ² /g)	4,500 ↑	3,000 ↑
Flow ratio(%)	105 ↑	95 ↑
Activity index(%)	28 days	90 ↓
	91 days	100 ↑
	90 ↑	90 ↑

Table 2. Mix design of mortar for fly ash(KS L 5405)

	Cement	Fly ash	Water	Sand
Weight(g)	337.5	112.5	225.0	1350.0
Specific gravity	3.15	See Table 3.	1.00	2.60

Table 3. Test results of domestic fly ash quality by KS(1)

Date	Plant	ash type	Chemical contents (%)									Density (g/cm ³)	Water contents (%)	Blaine (cm ² /g)	Flow ratio (%)	
			SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	SO ₃	LOI					
KS limit		type 1	45.0 ↑	-	-	-	-	-	-	-	-	3.0 ↓	1.95 ↑	1.0 ↓	4,500 ↑	105 ↑
		type 2									5.0 ↓	3,000 ↑			95 ↑	
04-12	YS	FA	19.2	13.6	5.0	4.4	5.7	0.5	1.4	3.7	4.6	2.88	-	-	113	
04-13	YH	FA	58.1	22.4	6.1	4.6	1.4	1.1	0.9	0.2	3.4	1.91	0.10	4,000	97	
04-19	YS	FA	51.1	14.1	6.8	17.1	4.0	1.2	1.3	1.9	-	2.79	-	-	111	
04-20	YH	FA	55.6	22	2.7	6.6	1.6	1.1	1.1	0.3	6.9	2.28	0.30	3,480	107	
04-26	YS	FA	37.5	11.6	9.0	24.3	4.2	1.3	3.0	5.9	2.2	2.75	-	-	109	
04-27	YH	FA	57.6	23.7	6.6	5.2	1.9	1.1	1.2	0.3	4.5	2.20	0.30	4,940	107	
05-03	YS	FA	44.8	15.7	13	10.8	3.6	1.5	4.3	2.6	2.2	2.68	0.30	2,080	102	
05-04	YH	FA	49.4	23.6	8.1	6.2	1.4	1.3	1.5	0.4	5.7	2.27	0.50	3,600	102	
05-31	YS	FA	40.7	19.8	12.4	16.1	2.0	2.4	2.4	1.9	-	2.40	0.19	1,558	97	
05-10	YS	FA	42.3	19.8	21.4	7.8	1.4	2.4	-	2.2	-	2.47	0.21	2,270	97	
05-17	YS	FA	38.8	18.8	23.3	9.7	2.0	2.1	-	2.6	-	2.54	0.54	2,423	96	
05-24	YS	FA	32.8	16.6	20.1	18.7	2.5	2.0	1.9	3.1	-	2.53	0.13	3,281	97	
05-31	YS	FA	41.9	19.6	12.1	15.6	2.2	2.4	2.3	1.8	-	2.44	0.13	1,720	97	
06-07	YS	FA	42.5	22.6	15.3	9.4	1.8	2.7	1.2	2.1	-	2.39	0.19	1,964	97	
06-14	YS	FA	46.9	18.2	14.7	9.7	2.2	2.3	1.7	2.5	-	2.54	0.43	1,894	96	
06-21	YS	FA	45.0	21.2	17.5	6.7	1.5	2.6	0.8	2.3	-	2.51	0.53	1,977	96	
06-28	YS	FA	28.8	15.7	42.0	4.5	0.8	2.0	-	2.0	-	2.47	0.23	1,757	98	
06-29	YH	RFA	46.4	16.8	24.6	3.5	0.5	2.0	-	0.6	3.4	2.28	0.17	4,142	105	
06-29	YH	FA	30.3	13.8	40.0	8.3	0.9	1.5	-	1.2	-	2.41	0.05	3,900	110	
07-05	YS	FA	33.1	15.3	37.8	6.0	0.8	2.3	-	1.8	-	2.48	0.09	1,504	96	
07-06	YH	FA	33	17.5	33.1	6.2	0.9	2.0	-	0.6	-	2.26	0.08	3,923	106	
07-11	YH	RFA	36.3	17.9	24.1	6.0	0.5	1.4	-	0.8	5.0	2.25	0.28	3,300	105	
07-13	YH	FA	37.0	17.3	32.2	4.7	0.6	2.2	-	1.0	-	2.32	0.29	3,570	100	
07-18	YH	RFA	51.0	14.2	21.5	5.0	0.5	1.7	-	0.7	3.3	2.26	0.23	4,015	105	
07-19	YS	FA	31.8	13.4	37.7	7.2	1.0	2.0	1.6	2.2	-	2.58	0.16	2,101	96	
07-20	YH	FA	36	17.8	33.5	4.1	0.4	1.8	-	0.6	-	2.23	0.12	3,732	96	
07-12	YS	FA	33.5	14.7	35.4	7.3	0.9	2.3	-	1.9	-	2.48	0.16	1,730	97	
07-25	YH	RFA	51.4	21.1	8.6	9.8	1.3	2.2	1.4	1.0	-	2.35	0.24	3,882	103	
07-26	YS	FA	36.6	15	32.4	6.6	0.9	2.5	1.4	1.9	-	2.53	0.12	1,762	96	
07-27	YH	FA	32.1	15.7	35.4	6.1	0.8	2.0	-	0.8	-	2.34	0.08	4,300	107	
07-31	YH	RFA	33.4	15.6	33.8	8.4	0.7	1.9	-	1.3	-	2.38	0.46	4,691	111	
08-10	YH	FA	51.6	20.1	11.3	7.7	1.6	2.7	1.6	1.1	-	2.35	0.15	4,231	109	
08-02	YS	FA	49.4	17.8	10.2	9.81	3.5	2.2	3.6	2.1	1.3	2.53	0.23	1,907	96	
08-09	YS	FA	42.4	16.9	13.6	14.0	4.3	1.4	2.6	2.7	1.6	2.60	0.35	2,408	95	
08-16	YS	FA	43.7	18	14.1	11.6	4.9	1.5	1.7	3.0	1.2	2.71	0.28	2,530	95	
08-23	YS	FA	48.8	23.1	10.6	6.8	2.8	2.4	1.3	2.1	1.3	2.50	0.30	1,881	98	
08-30	YS	FA	41.2	18.7	17.6	11.1	4.9	1.7	0.7	2.5	1.2	2.69	0.29	2,889	96	
08-30	YH	RFA	50.1	19.9	9.7	8.3	2.6	2.1	3.3	1.4	3.6	2.39	0.15	4,247	117	
08-31	YH	FA	62.5	15.6	7.4	6.6	1.5	1.7	2.4	0.6	4.1	2.30	0.12	4,604	110	
09-05	YH	RFA	51.8	20.1	7.8	8.4	2.1	2.1	3.8	1.5	1.6	2.39	0.07	5,000	109	
09-07	YS	FA	38.8	18.9	15	14.8	5.4	2.0	1.0	2.5	1.1	2.59	0.24	2,007	96	
09-18	YH	RFA	62.7	16.5	8.6	4.5	1.5	1.8	1.7	0.8	2.5	2.27	0.13	4,100	105	
09-11	YH	RFA	59.0	20.4	7.7	5.3	1.7	2.0	1.7	0.9	4.3	2.30	0.23	4,391	108	
09-13	YS	FA	42.8	19.8	14.4	12.3	4.4	2.1	1.0	2.1	0.8	2.57	0.18	1,603	96	
09-14	YH	FA	57.8	19.4	9.5	5.2	2.0	2.0	1.6	0.7	2.3	2.29	0.14	4,414	108	
09-14	YH	FA	56.9	20.1	8.8	5.2	2.2	2.0	1.9	0.9	2.7	2.34	0.11	4,562	112	
09-20	YS	FA	50.9	23.8	10.6	5.2	2.6	2.4	1.1	1.8	1.1	2.42	0.18	3,300	99	
10-04	YH	RFA	62.9	19.2	6.7	3.5	1.6	1.6	2.3	0.9	2.0	2.26	0.14	4,800	104	
10-05	YH	FA	50.6	23.7	6.2	9.6	1.2	1.3	2.0	1.7	9.2	2.24	0.10	3,248	96	
10-09	YH	RFA	66.8	17.9	5.1	3.8	0.9	1.5	1.2	0.7	4.2	2.17	0.07	4,000	98	

3. 실험 결과 및 분석

3.1 KS 품질 항목 실험결과

석탄회 51종에 대한 KS L 5405의 품질시험 항목에 대한 결과는 Table 3 ~ 4에 나타내었으며, KS L 5405 규격 중 type 1, 2 기준 모두를 만족하지 못하는 결과에는 진한 음영을, type 2만을 만족하지 못하는 결과에는 연한 음영을 처리하여 구분하였다. 한편 일부 시료에서 화학분석, 강열감량, 수분 및 분말도 등을 측정하지 못하여 이 경우는 Table 3 ~ 4에 “-” 로 표기하였으며 누락된 데이터는 분석에서 제외하였다.

3.1.1 화학 특성

KS 품질항목 중 SiO₂의 경우, YS 화력발전소의 플라이 애시는 거의 대부분이 45 % 이하로 나타나 품질기준을 만족하지 못하는 것으로 나타났다. 이는 앞서 기술한 바와 같이 YS 화력발전소의 보일러가 유동층 보일러인 이유로 판단된다. 반면에 YH 화력발전소의 플라이 애시는 일부에서만 KS 기준을 만족하지 못하는 것으로 나타났다. 이러한 결과는 국내 미정제 플라이 애시의 품질관리가 강열감량 중심인 현실을 반영하고 있는 것으로 판단된다.

강열감량의 경우에는 앞서 기술한 SiO₂와는 반대의 현상이 나타났다. YH 화력발전소의 플라이 애시 일부에서 KS 기준을 만족하지 못하며 특히 정제회보다는 플라이 애시에서 KS 기준을 크게 벗어나고 있다. 반면에 YS 화력발전소의 플라이 애시는 1개 시료만이 KS type 2를 만족하지 않음을 알 수 있다. 이러한 결과 역시 보일러의 형식 차이로 나타나는 현상으로 판단된다.

3.1.2 수분 및 밀도

수분 및 밀도의 경우, YH, YS 화력발전소에서 생산되는 거의 모든 석탄회들이 KS type 1 기준을 만족하는 것으로 나타나 국내에서 생산되는 플라이 애시 및 정제회들의 수분 및 밀도에 대한 우려는 없을 것으로 판단된다.

3.1.3 플로우비 및 활성도 지수

플로우비의 경우, YH, YS 화력발전소에서 생산되는 거의 모든 석탄회들 시료 모두 KS type 2 기준을 여유있게 만족하는 반면에 일부에서 type 1 기준을 만족하지 못하는 것으로 나타나고 있다.

활성도지수의 경우, YH, YS 화력발전소에서 생산되는 상당수의 석탄회들 시료 모두 KS type 1 기준을 만족하지 못하는 것으로 나타나고 있다. 다만, YH 화력발전소의 정제회는 플라이 애시보다

Table 4. Test results of domestic fly ash quality by KS(2)

Plant	ash type	API (%)	Activity index(%)			K-value		
			7day	28day	91day	7day	28day	91day
KS limit	type 1	-	90 ↓	100 ↑	-	-	-	
	type 2	-	80 ↑	90 ↑	-	-	-	
YS	FA	20.27	57	54	60	446	581	703
YH	FA	59.54	72	85	87	457	741	826
YS	FA	30.97	60	65	68	463	689	786
YH	FA	52.94	65	80	83	454	769	869
YS	FA	37.87	62	71	73	475	748	838
YH	FA	69.26	73	96	100	501	905	1027
YS	FA	69.41	79	80	84	598	833	953
YH	FA	40.48	60	66	74	419	633	773
YS	FA	78.84	97	97	98	697	957	1054
YS	FA	74.23	88	81	97	641	810	1058
YS	FA	77.46	88	87	100	649	882	1104
YS	FA	73.82	93	94	102	685	951	1125
YS	FA	82.51	97	98	99	702	975	1073
YS	FA	82.96	86	92	94	616	906	1008
YS	FA	87.10	101	101	101	746	1025	1117
YS	FA	76.47	86	86	89	631	867	978
YS	FA	72.84	87	82	90	634	821	982
YH	RFA	77.15	75	95	101	524	912	1056
YH	FA	56.79	73	77	80	526	762	863
YS	FA	81.91	89	93	95	649	933	1038
YH	FA	53.55	64	81	85	446	776	887
YH	RFA	64.54	70	80	97	486	763	1008
YH	FA	78.16	71	84	98	501	815	1036
YH	RFA	74.52	73	87	99	508	832	1031
YS	FA	78.44	93	81	99	691	828	1102
YH	FA	71.44	82	91	92	566	863	951
YS	FA	88.22	89	93	97	649	933	1060
YH	RFA	85.01	76	98	104	540	957	1107
YS	FA	67.77	95	81	89	700	821	982
YH	FA	63.78	80	85	99	567	827	1050
YH	RFA	73.73	81	91	99	579	894	1060
YH	FA	80.63	85	95	100	603	927	1063
YS	FA	81.14	90	83	92	663	840	1015
YS	FA	65.27	85	90	92	635	924	1029
YS	FA	75.45	87	86	100	662	900	1140
YS	FA	74.99	87	93	96	637	936	1053
YS	FA	74.79	88	93	102	668	970	1160
YH	RFA	83.45	92	98	98	659	965	1051
YH	FA	88.52	94	97	102	660	936	1072
YH	RFA	94.93	98	115	115	701	1131	1233
YS	FA	59.46	78	85	88	581	870	981
YH	RFA	75.98	82	95	98	572	911	1024
YH	RFA	81.05	86	92	103	604	888	1083
YS	FA	77.77	73	90	92	542	918	1023
YH	FA	75.90	74	89	91	518	856	954
YH	FA	91.11	92	95	108	652	925	1146
YS	FA	93.01	92	100	102	663	991	1101
YH	RFA	93.13	94	100	115	655	957	1199
YH	FA	52.49	70	80	84	484	761	871
YH	RFA	62.91	66	79	85	449	739	866
YH	FA	79.58	75	95	101	525	915	1060

는 좀 더 양호한 결과를 나타내고 있다. 또한 KS type 2 기준을 근거로 할 때, 앞서 기술한 강열감량의 결과와 어느 정도 부합되는 것으로 추정된다.

3.2 K-value 평가

앞서 기술한 식 (2)를 이용하면 Table 4에 나타낸 바와 같은 재령별 K-value를 계산할 수 있다. 실험결과를 이용하여 계산된 K-value의 특성을 Fig. 1 ~ 3에 나타내었다.

K-value는 재령에 따라서 증가하는 것으로 나타나고 있으며, 로그 선형관계를 이루는 것으로 나타나고 있다. 이는 K-value 계산 시에 모르타르의 압축강도 값이 포함된 이유로 모르타르의 시간에 따른 강도 발현 현상과 유사한 것으로 판단된다.

Fig. 2 ~ 3에 나타낸 K-value와 분말도 및 강열감량의 관계를 고찰해보면, K-value와 분말도는 어느 정도 선형 비례관계로 추

정된다. 특히 YH 화력 발전소의 K-value와 분말도 상관성이 YS 화력발전소의 K-value와 분말도 상관성도보다 큰 것으로 나타났다. 이러한 결과는 형식이 다른 보일러에서 만들어지는 애시의 분말도 수준이 다르기 때문인 것으로 추정된다. 즉, YH 화력발전소의 애시는 상대적으로 미분말이므로 반응성이 우수할 것이며, YS 화력발전소 애시의 경우는 그렇지 않을 것으로 판단된다.

Fig. 4에 나타낸 K-value와 강열감량은 어느 정도 선형 반비례 관계로 추정되지만 그 상관성은 역시 크지 않은 것으로 나타났다. 3% 이하의 강열감량은 활성도 지수에 미치는 영향은 크지 않고, 3% 이상의 경우에는 활성도 지수가 감소한다고 보고하였다 (Xiuping Feng et al., 2011). 이와 같이 강열감량이 플라이 애시의 활성도에 일정부분 영향을 주는 것을 고려하면 K-value와 강열감량 관계는 선형 반비례관계를 가질 것으로 판단된다.

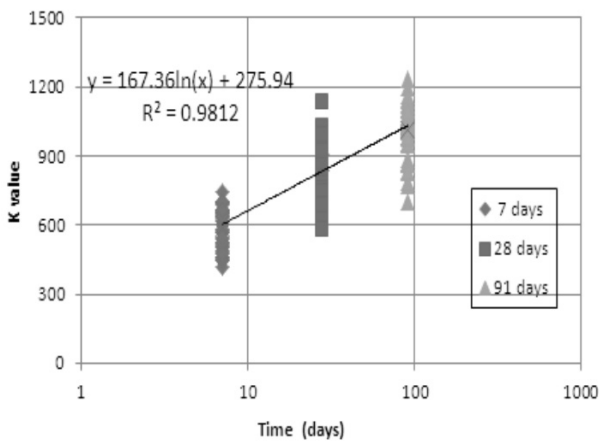


Fig. 1. K-value - time relationship

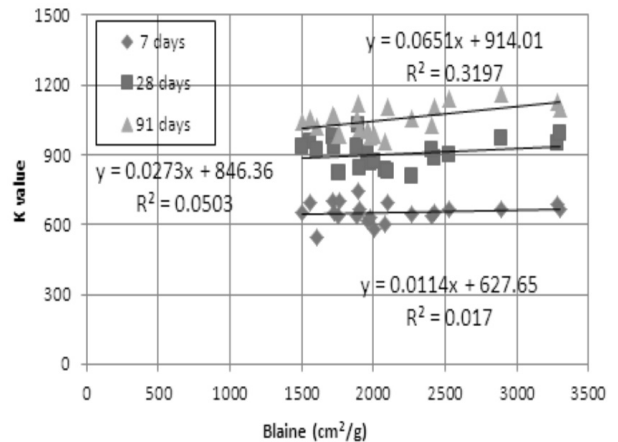


Fig. 3. K-value - blaine relationship of YS plant

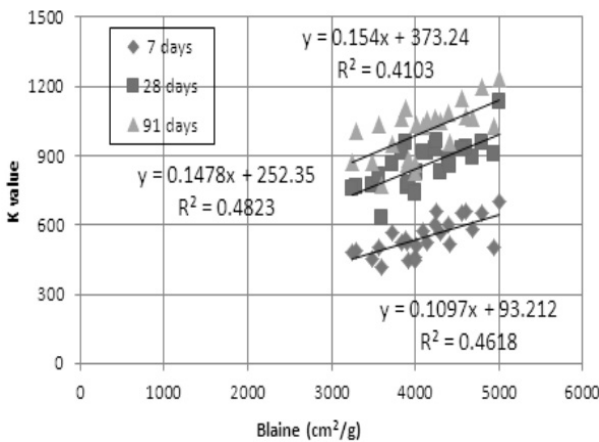


Fig. 2. K-value - blaine relationship of YH plant

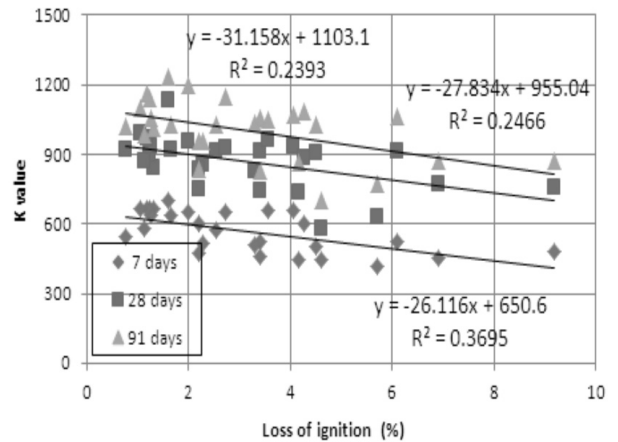


Fig. 4. K-value - loss of ignition relationship

3.3 API 평가

API 시험 결과 역시 Table 4에 나타내었다. API 시험법은 플라 이 애시의 활성도 지수를 대체할 수 있는 품질 지표로서 API의 적용 가능성을 검토하기 위하여 활성도지수(7, 28, 91일) 및 K-Value와의 관계를 고찰하였다.

3.3.1 API - 활성도지수 관계

API와 활성도 지수 관계를 Fig. 5 ~ 7에 나타내었다. 활성도지 수의 경우, API와의 상관성이 상당히 좋은 것으로 나타났다. 특히, 재령이 증가할수록 API와의 상관성은 점점 증가하는 것으로 나타 나 장기 재령의 실험을 요구하는 활성도지수 대신에 2일 내에 결과 를 알 수 있는 API시험이 석탄회의 포졸란 반응성 유무 확인에 매우 유용한 시험방법인 것으로 판단된다.

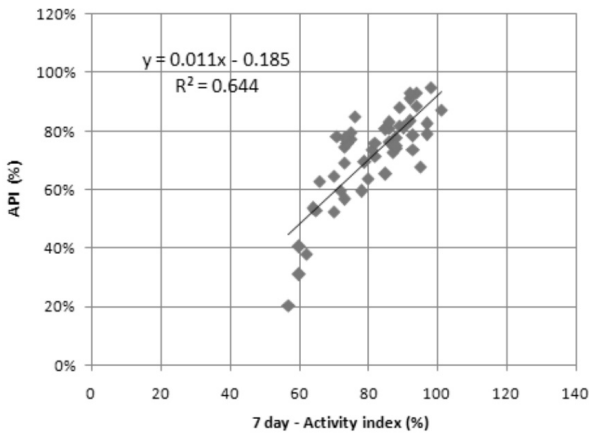


Fig. 5. API - activity index at 7 days relationship

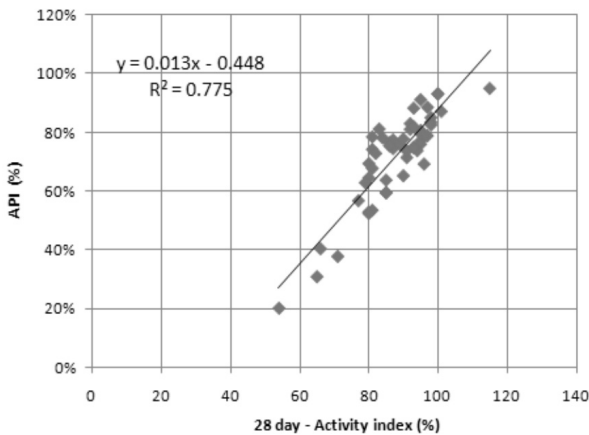


Fig. 6. API - activity index at 28 days relationship

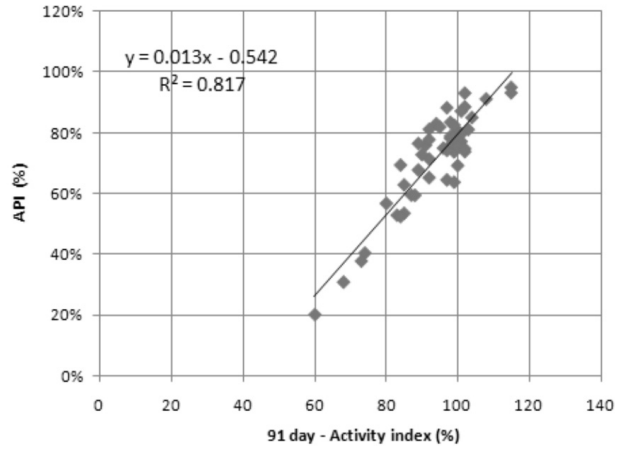


Fig. 7. API - activity index at 91 days relationship

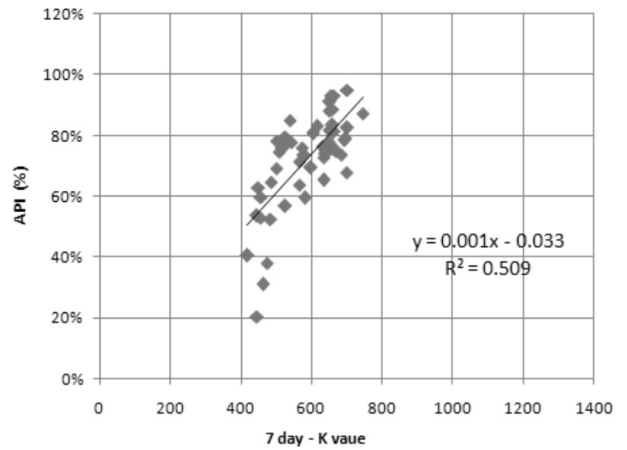


Fig. 8. API - K-value at 7 days relationship

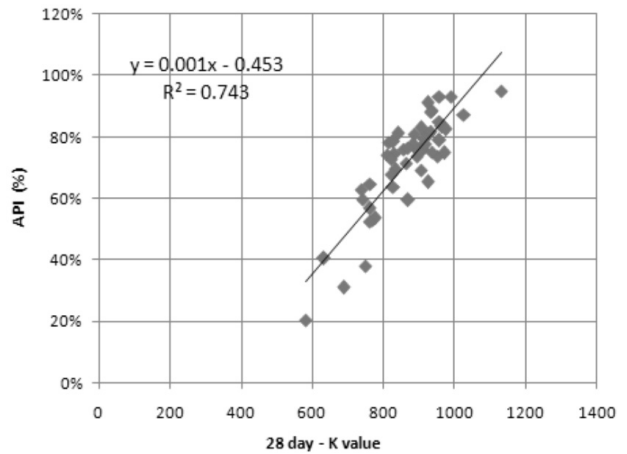


Fig. 9. API - K-value at 28 days relationship

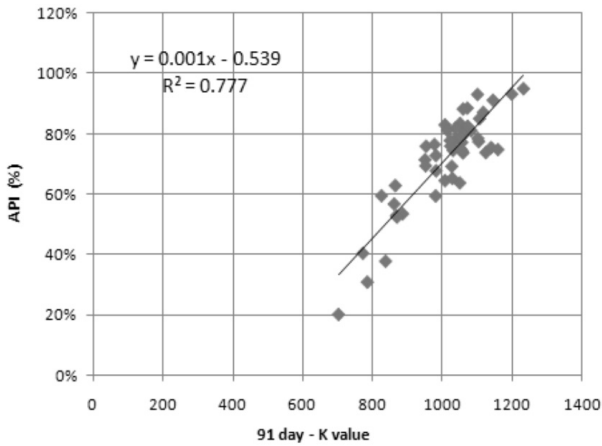


Fig. 10. API - K-value at 91 days relationship

3.3.2 API - K-value 관계

API와 K-value 관계를 Fig. 8 ~ 10에 나타내었다. K-value 역시, API와의 상관성이 좋은 것으로 나타났으며, 재령이 증가할 수록 API와의 그 상관성이 증가하는 것으로 나타났다.

3.3.3 화력발전소별 API 특성

앞의 3.3.1절에서 기술한 API와 활성도지수 관계 및 K-value와 화력발전소별(보일러 형식별) 차이를 확인한 결과를 다음 그림을 Fig. 11 ~ 14에 나타내었다.

Fig. 11 ~ 14에서 알 수 있듯이 API와 활성도지수 관계 및 K-value와 화력발전소별(보일러 형식별) 차이를 확인한 결과, 각각의 화력발전소별로 구분하면 API - 활성도지수 관계와 API - K-value의 관계 모두 상관성이 훨씬 상승하는 것으로 나타났다.

즉, 화력발전소(보일러 형식), 석탄의 종류 등에 따라 품질 차이

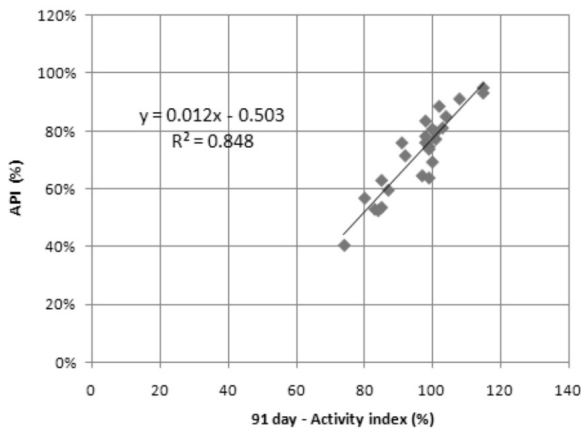


Fig. 11. API - activity index at 91 days relationship of YH plant

가 클 것으로 예상되는 경우에도 API값을 이용하여 빠른 시간 내에 좀 더 정확한 결과를 예측할 수 있을 것으로 예상된다.

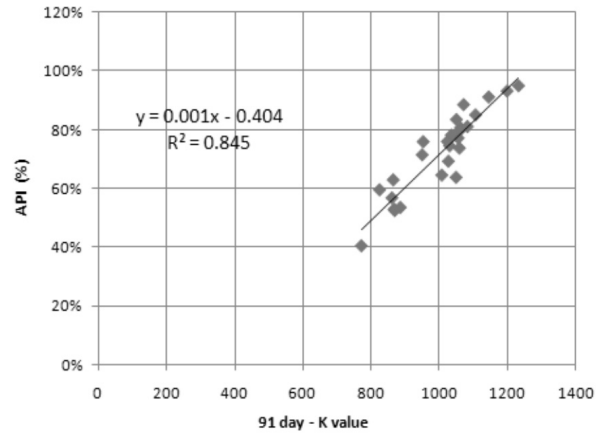


Fig. 12. API - K-value at 91 days relationship of YH plant

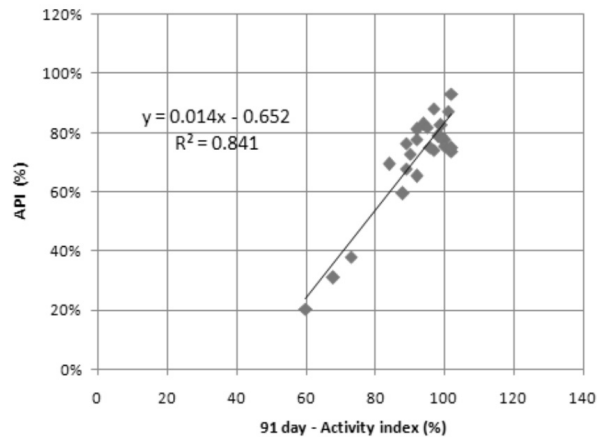


Fig. 13. API - activity index at 91 days relationship of YS plant

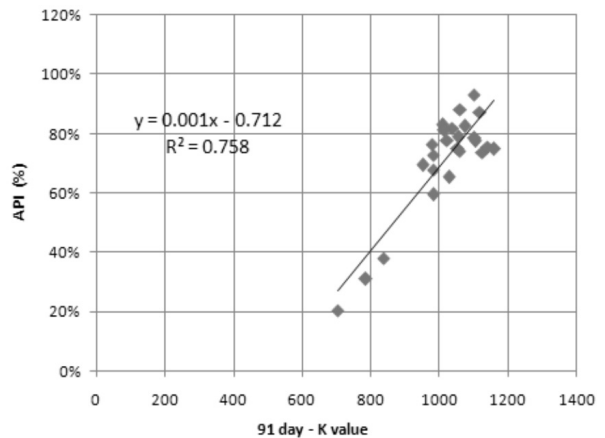


Fig. 14. API - K-value at 91 days relationship of YS plant

4. 결론

본 연구에서는 2012년 4월 ~ 2012년 10월까지의 국내의 YH 및 YS 화력발전소에서 배출되는 석탄회 51종에 대하여 KS L 5405 품질 항목 및 활성도지수, K-Value와 API 결과의 상관성 분석을 통하여 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. KS 품질항목 중 SiO₂의 경우, 유동층 보일러 애시를 발생시키는 YS 화력발전소의 플라이 애시는 거의 대부분이 45% 이하로 나타나 품질기준을 만족하지 못하는 것으로 나타났으며, 강열감량의 경우에는 SiO₂와는 반대의 결과로 나타났다.
2. 활성도지수의 경우, YH, YS 화력발전소에서 배출되는 석탄회 시료 모두 KS type 1 기준을 만족하지 못하는 것으로 나타나고 있다. 다만, YH 화력발전소의 정제회는 플라이 애시보다는 좀 더 양호한 결과를 나타나고 있다.
3. API와 활성도지수 및 K-value의 경우, 각각의 상관성이 상당히 좋은 것으로 나타났다. 특히, 재령이 증가할수록 API와의 상관성은 점점 증가하는 것으로 나타나 API 시험결과와 압축강도가 매우 좋은 상관성을 갖고 있음을 확인하였다.
4. 각각의 화력발전소별로 분류된 석탄회의 경우에는 API - 활성도지수 관계와 API - K-value의 관계 모두 상관성이 훨씬 크게 나타났다. 즉, 화력발전소(보일러 형식) 차이가 클 것으로 예상되는 경우에는 각각으로 구분하면 API값을 이용하여 빠른 시간 내에 좀 더 정확한 결과를 예측할 수 있을 것으로 예상된다.
5. 이러한 API 시험 결과와 플라이애시를 혼합재로 첨가한 모르타르의 강도와외 상관관계를 바탕으로 플라이애시의 반응성을 평가하는 방법으로서 활성도지수 대신에 2일 내에 결과를 알 수 있는 API시험이 석탄회의 활성도를 평가하는데 매우 유용한 시험방법인 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 2013년도 국토교통부 건설교통기술촉진연구사업의 지원으로 국토교통과학기술진흥원의 지원을 받아 수행되었습니다(12기술혁신 F01).

References

D. Hall, P.K. Mehta (1984). Testing and correlation of fly ash properties with respect to pozzolanic behavior. EPRI CS-3314 Project 1260-26 Final Report.

Korean standard association, Korean Standard L 5405 (fly ash), 2009.

P.K. Mehta (1985). Influence of fly ash characteristics on the strength of Portland-fly ash mixtures. Cem Concr Res, 669-674.

R.V. Ranganath, R.C. Sharmw, S. Krishnamoorthy (1995). Influence of fineness and soluble silica content of fly ash on their strength development with respect to age. In: Malhotra VM, editor. Proceedings of the fifth international conference on fly ash, silica fume, slag, and natural pozzolans in concrete, 355-366.

T. Yamamoto, T. Kanazu (1999). Accelerated chemical assessing method for pozzolanic activity of fly ash. CRIEPI Abiko Research Laboratory Rep. No. U98047.[in Japanese]

T. Yamamoto (2006). Pozzolanic reactivity of fly ash - API method and K-value, Fuel 85, 2345-2351.

Xiuping Feng, Boyd Clark (2011). Evaluation of the physical and chemical properties of fly ash products for use in portland cement concrete, 2011 World of Coal Ash(WOCA), conference, Denver, USA, 1-6.

API시험법에 의한 국내 석탄회의 품질 평가

최근, 산업부산물의 재활용과 이산화탄소 저감은 사회적으로 매우 중요한 이슈이다. 이러한 측면에서 화력발전소에서 발생하는 석탄회는 콘크리트의 혼합재로 사용되는 것이 재활용 방안 중 최선으로 알려져 있다. 석탄회를 콘크리트에 사용하기 위하여 KS에서는 SiO_2 , 분말도, 비중, 강열감량 및 활성도 지수 등의 품질 항목을 선정하여 관리하고 있다. 특히, 활성도 지수의 경우는 석탄회가 콘크리트에 사용될 때의 강도 발현성을 판정할 수 있는 가장 주요한 판정기준인데 반해서 실험소요 기간이 최소 28일 혹은 91일이 요구되는 단점을 가지고 있다. 이러한 문제점에 착안하여 본 연구에서는 기존 활성도 지수를 대체하여 석탄회의 포졸란 반응성을 신속하게 측정할 수 있는 API 시험법을 적용하여, API 시험결과와 활성도지수 및 K-value와의 비교 분석을 통하여 API 시험법의 적용 가능성을 검토하고, 신속 측정방법인 API 시험법에 의한 국내 석탄회의 품질을 평가하고자 하였다. 실험 결과, 국내 석탄회는 수분 및 비중을 제외하고는 KS 품질기준을 대부분 만족하지 못하는 것으로 나타났으며, 특히 유동층 보일러 애시는 고유의 특성을 가지는 것으로 나타났다. API와 활성도지수 및 K-value의 경우, 각각의 상관성이 상당히 좋은 것으로 나타났다. 특히, 재령이 증가할수록 API와의 상관성은 점점 증가하는 것으로 나타나 장기 재령의 실험을 요구하는 활성도 지수 대신에 2일 내에 결과를 알 수 있는 API시험이 석탄회의 포졸란 반응성 평가에 매우 유용한 시험방법인 것으로 판단된다.