

기포재(NEOPOR-400)가 FLY ASH-CONCRETE의 물성에 미치는 영향

(EFFECT OF AIR ENTRAINMENT AGENT, NEOPOR-400 ON PHYSICAL PROPERTIES OF FLY ASH-BASED CONCRETE)

임 남 웅* 김 정 빈** 박 일 두***
NAM WOONG LIM JEOUNG BIN KIM IL DOO PARK

ABSTRACT

일반 콘크리트 (설계강도 $\sigma_{28}=210 \text{ Kg/cm}^2$)에 산업폐기물인 FLY ASH를 혼합하고 기포재 (Air Entrainment Agent) 첨가에 따른 FLY ASH-CONCRETE의 물성 변화를 시험하였다. FLY ASH-CONCRETE의 SLUMP를 6, 8, 10^{cm} 로 고정시킨후, 각각의 SLUMP 반죽상태에다 기포재, NEOPOR-400, 을 25, 000cc/m³, 50, 000cc/m³, 75, 000 cc/m³으로 증가시켰다. 이때 기포재 증가에 따른 공기량 변화와 압축강도 (σ_7 과 σ_{28})를 측정하였다. 또한 기포재를 첨가한후, 60분과 90분까지 방치하고, 60분후와 90분후의 공기량과 압축강도 (σ_7 과 σ_{28}) 변화를 측정하였다.

시험결과에 의하면, 기포재가 첨가되는 시간에서 부터 60분, 90분 동안 방치하면 공기량은 감소된다. 동시에 압축강도는 점진적으로 증가된다. KSF 5405가 요구하는 SLUMP값이 90분 이내에 12 ± 0.5 의 범위에 들어 가기 위해서는 기포재는 50, 000cc/m³ - 75, 000 cc/m³ 만큼 첨가되어야 한다.

이때의 7일 압축강도가 170-200Kg/cm² 이고 28일 압축강도는 215-290Kg/cm² 이다. 이 값은 설계강도 $\sigma_{28}=210\text{Kg/cm}^2$ 보다 최고 약 40% 까지 증가율을 보여 주었다.

1. 서론

국내의 장기 전력수급계획 (서기 1991- 2006)에 따르면 국내 석탄화력발전의 설비용량은 유연탄 약 1700만 킬로와트(kW)와 무연탄 약 60만 킬로와트로 증가하게 된다(1). 그러한 증가로 인한 석탄회(FLY ASH) 발생량은 서기 1990년에는 약 180만톤에서 전력수급계획이 완료된 서기 2006년에는 약 550만톤으로 급증하게 될 전망이다. 석탄사용량에 따른 FLY ASH 발생량은 유연탄 또는 무연탄의 성분에 따라 다소 차이가 나기는 하지만, 유연탄의 경우 석탄 사용량의 약 15-20%, 무연탄은 약 45-50%로 보고 있어 유연탄 사용량의 정도에 따라 석탄회 양이 크게 달라질 수 있다.

막대한 석탄회 발생량에 비하여 현재 국내에서 석탄회 사용실적은 연간 약 15 만톤정도에 불과하다. 외국의 사용실적(약 40-50%)에 비한다면 절반에도 미치지 못한 실정이다. 연간 15%의 사용량을 제외한 85%의 FLY ASH는 대규모의 회(ASH) 처리장에서 매립처리되고 있어, 매립지 선정, 매립에 따른 경제적인 손실, 더 나아가서는 석탄회가 환경오염에 요인물질로 지적되어 있다는 실정을 감안할때 근본적인 석탄처리 대책이 절실하다.

그러나 석탄을 연료로 사용하는 소비국들의 당면한 공통적인 사실은 FLY ASH가 산업폐기물이라는 존재로부터 자원이라는 인식으로 바뀌고 있다는 것이다. 자원이라는 차원에서 각국들은 FLY ASH를 다목적으로 응용하기 위한 기술 개발과 보급을 오래전부터 적극적으로 대처하고 있다는 사실이다. FLY ASH가 왜 자원으로 주목받을까?

* 중앙대학교 건설대학원 환경공학과 교수

** 삼표산업 기술연구소 연구원

*** 삼표산업 기술연구소 책임연구원

결론부터 제기한다면 FLY ASH를 콘크리트 혼화재로 사용할 수 있기 때문이다. 미국의 경우는 FLY ASH를 콘크리트 혼화재로 약 60여년전부터 사용하여 온 것이다.

FLY ASH가 콘크리트의 혼화재로 사용할때의 장점은 여러가지가 있지만, 그중에서도 우선 장기강도의 증진과 수화열 감소를 들 수가 있다. 뿐만 아니라, 화학저항성이 높기 때문에 해수 또는 하수공장 폐수부분에 현저한 부식방지를 할 수 있다는 점이다. 그러나 그러한 효과를 가져오게 하기 위해서는 무엇보다도 FLY ASH 품질을 향상시켜야만 된다. 자료에 의하면 FLY ASH 품질에는 대개 다음과 같은 3가지 조건을 만족시켜야 되는데, 첫째로 균일한 화학성분(예:SiO₂), 둘째로 입자의 크기, 셋째로 미분탄함량(UNBURNT CARBON 또는 "C")이 없거나 낮아야 한다는 것들이다.

위 3가지 중에서도 품질에 가장 문제가 되는 것은 "C"라고 할 수 있다(7-10). "C"함량이 높을 때에는 초기 및 장기 강도 증진에 영향을 주며, 건조수축, 수화반응, 동결기 응결지연 등등 콘크리트의 품질에 나쁜영향을 주기 때문이다. 그중에서도 "C"로 인하여 실제적인 영향을 끼치는 요인중에는 공기량(AE: AIR ENTRAINMENT)을 감소시키는 현상이다. 공기량 감소는 곧 WORKABILIBTY, 동결성 및 내구성에 지장을 초래하게 된다. "C"함량으로 인한 콘크리트 물성변화를 감소시키기 위하여 각국에서는 "C"에 대한 규정을 정해 놓고 있으며, 국내 역시 (KS F 5405)규정으로 "C"함량을 5%로 제한하고 있다. 동시에 KS F 2421에 의하면 콘크리트가 타설당시 공기량을 5%로 제한하고 있어 공기량 유지는 콘크리트 품질에 중요한 요소이다.

본 시험에 目的은 FLY ASH(F/A)에 함유된 "C"가 F/A-CONCRETE에 어떠한 영향을 주는지를 알아보고 이어서 기포재(NEOPOR-400)를 사용하여 F/A CONCRETE의 공기량을 조절할수 있는지를 알아보기로 하였다. 이를 위해서 기포재 (NEOPOR-400)의 첨가량과 시간 변화를 동시에 주고, 이때 발생하는 공기량과 SLUMP를 측정하였다. 또한, 공기량과 SLUMP변화에 따른 압축강도(7日, 28日)를 측정하였다.

2. 시 험

2.1 배합설계

<표1> 설계강도 재령28일: 210Kg/cm²

재 료	중 량(Kg)	중량비(%)
세 멘 트	7.9	14.7
Fly ASH	0.7	1.3
모 래	21.8	40.7
자 갈	23.2	43.3
계	53.6	100.0

Note

CEMENT: 쌍용시멘트 "E" Type

FLY ASH: FLY ASH CEMENT (보령공장)

BIAIN: 3200 cm²/g

SiO₂: 60%

CARBON: 4.5%

SAND: 강모래

AGGREGATE: 산골재 25mm(φ)이하

기포재: NEOPOR-400 (독일 NEOPOR社 제품)

2.2 조건

공시체제작: METAL MOULD (100 mm × 200 mm)

공시체: 270개

압축강도: 7日, 28日

표준SLUMP: 6, 8, 10(cm)

공기량: 0, 60, 90(分)

2.3 방법

NEOPOR-400 원액을 물과 50:1 비율로 희석시킨 후, 기포재 NEOPOR-400을 제작하였다. 제작된 기포재를 아래와 같은 순서로 콘크리트에 적용하였다.

- ① 표(1)에 의해 평량하고 표준 SLUMP를 얻는다.
- ② 표준 SLUMP를 측정후에 25,000cc/m³, 50,000cc/m³, 75,000cc/m³의 NEOPOR-400을 콘크리트에 첨가한다.
- ③ 약 2분간 혼합후 SLUMP와 공기량을 측정하

고 이어서 압축강도 측정용 공시체를 제작한다.

- ④ 나머지 콘크리트를 다시 약 1분간 혼련시킨후 60분 방치후 SLUMP와 공기량을 측정한다. 이어서 공시체를 제작하고, 7일과 28일 압축강도를 측정한다.
- ⑤ 나머지 콘크리트를 다시 혼련하고 90 분간 방치한다. 90분후 SLUMP와 공기량을 측정하고 압축강도 측정용 공시체를 제작한다.
- ⑥ 제작된 공시체는 24시간후 탈형하고 물속에서 7일과 28일 양생한다. 7일과 28일후 압축강도를 측정한다.

2.4 측정

물성은 아래 표준시험에 따라 측정하였다.

- i) SLUMP: KS F 2402
- ii) 압축강도: KS F 2405
- iii) 공기량: KS F 2421

3. 결과

〈표2〉 표준 SLUMP-6와 NEDPOR-400 첨가량에 따른 물성변화

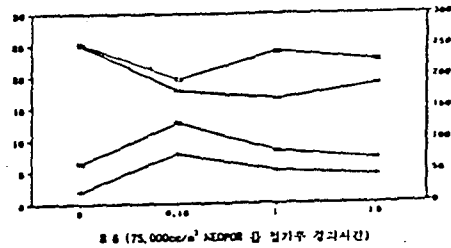
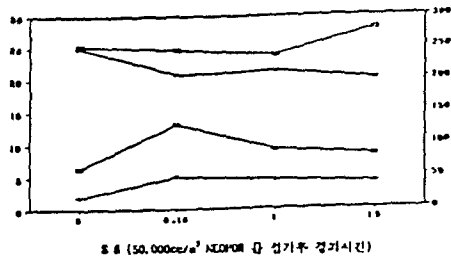
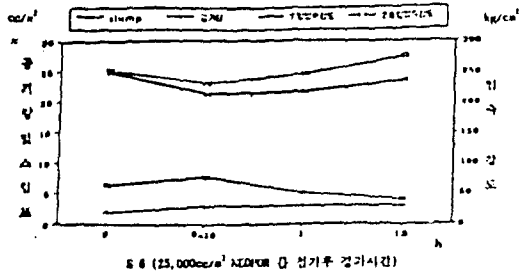
표준 SLUMP (cm)	NEDPOR 첨가량 (cc/m ³)	변화 SLUMP (cm) 대 첨가후 방치시간(분)			공기량 (%)	압축 강도 (Kg/cm ²)	
		0	60	90		7일	28일
6	0	6.3	-	-	1.9	249	252
6	25,000	7.6	-	-	2.9	212	229
	25,000	-	5.6	-	2.9	217	245
	25,000	-	-	4.0	3.0	236	275
6	50,000	13.0	-	-	5.0	207	245
	50,000	-	9.1	-	4.4	199	279
	50,000	-	-	8.2	4.0	164	239
6	75,000	12.6	-	-	7.8	178	196
	75,000	-	8.2	-	5.0	164	239
	75,000	-	-	7.0	4.3	175	225

〈표3〉 표준 Slump-8와 NEDPOR-400 첨가량에 따른 물성변화

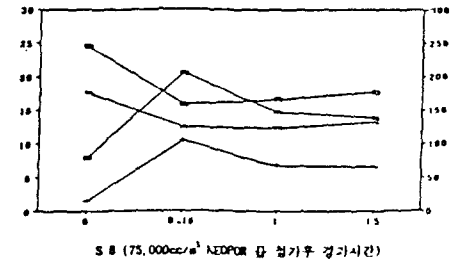
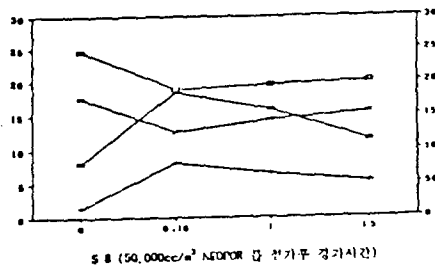
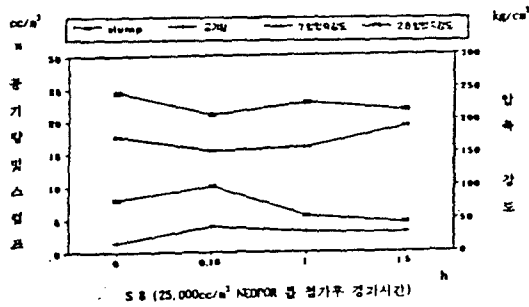
표준 Slump (cm)	NEDPOR 첨가량 (cc/m ³)	변화 Slump (cm) 대 첨가후 방치시간(분)			공기량 (%)	압축 강도 (kg/cm ²)	
		0	60	90		7일	28일
8	0	8.0	-	-	1.5	175	245
8	25,000	10.0	-	-	3.9	153	209
	25,000	-	5.5	-	3.1	159	228
	25,000	-	-	4.5	3.0	190	215
8	50,000	18.4	-	-	8.0	126	189
	50,000	-	15.8	-	6.4	143	195
	50,000	-	-	11.3	5.2	154	200
8	75,000	20.5	-	-	10.4	124	158
	75,000	-	14.8	-	6.8	124	167
	57,000	-	-	13.7	6.6	131	176

〈표4〉 표준 Slump-10와 NEDPOR-400 첨가량에 따른 물성변화

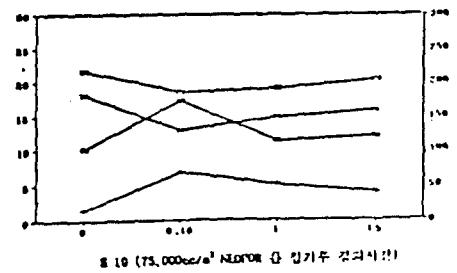
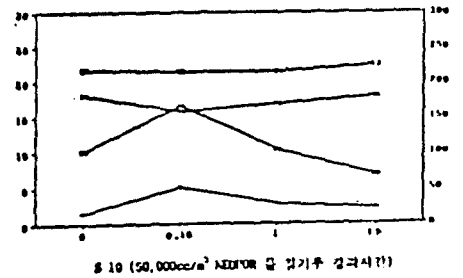
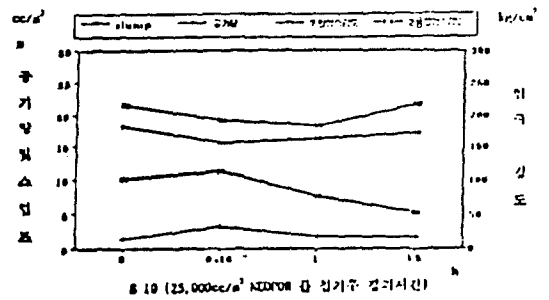
표준 Slump (cm)	NEDPOR 첨가량 (cc/m ³)	변화 Slump (cm) 대 첨가후 방치시간(분)			공기량 (%)	압축 강도 (Kg/cm ²)	
		0	60	90		7일	28일
10	0	10.1	-	-	1.5	181	216
10	25,000	11.3	-	-	3.2	155	192
	25,000	-	7.5	-	1.8	162	182
	25,000	-	-	5.2	1.7	172	218
10	50,000	16.5	-	-	5.0	157	213
	50,000	-	10.3	-	2.7	169	213
	50,000	-	-	6.8	2.1	180	213
10	75,000	17.3	-	-	6.8	129	185
	75,000	-	11.2	-	5.0	148	190
	57,000	-	-	11.9	3.9	158	202



(그림1) SLUMP 6 일때 기포제 첨가량에 따른 물성변화



(그림2) SLUMP 8 일때 기포제 첨가량에 따른 물성변화



(그림3) SLUMP 10 일때 기포제 첨가량에 따른 물성변화

4. 고 찰

i) SLUMP변화

표(2~4)에 의하면 NEOPOR-400 기포재의 첨가량이 25,000cc/m³, 50,000 cc/m³, 75,000cc/m³으로 증가되면 첨가후 10분이내에는 각각의 표준 SLUMP값에 비하여 그 SLUMP값이 높아진다. 그러나 60분후 SLUMP값은 감소하기 시작하여 90분후에 SLUMP값은 처음 SLUMP값(10분)에 비하여 30-40% 정도로 감소되었다.

표준 SLUMP값이 6인 경우에 있어서 기포재 25,000-75,000cc/m³ 까지 첨가량을 증가시켰을때 첨가직후 10분후 SLUMP값은 7.6 (25,000cc/m³), 13.0(50,000cc/m³), 12.6 (75,000cc/m³)으로 증가하다가 60분이 경과된 후에는 SLUMP값은 5.0(25,000cc/m³), 9.1(50,000cc/m³), 8.2(50,000 cc/m³) 으로 약간의 감소를 보여준다.

표준 SLUMP값이 8인 경우에 있어서도 변화의 경향은 표준 SLUMP값 6의 변화 과정과 매우 유사하다. 그러나 위 두가지 경우에 있어서 상이한 점은 SLUMP값을 6에서 8로 변화시키기 위하여 사용된 물(WATER)양의 증가로 SLUMP값이 일반적으로 높다는 것을 알 수 있다.

기포재 첨가 후 10분일때는 SLUMP값이 10 (25,000cc/m³), 18.4(50,000cc/m³) 20.5(75,000 cc/m³)로 나타났고 60분후에는 SLUMP값이 25,000 cc/m³일때 5.5, 50,000 cc/m³일때 15.8, 75,000 cc/m³일때 14.8을 보여 주었다. 90분 후에는 값은 60분후의 값에 비하여 감소되었다. 즉 25,000cc/m³ 일때 4.5, 50,000cc/m³일때 11.3, 75,000 cc/m³ 일때 13.7의 결과를 주었다.

표준 SLUMP값이 10인 경우에 있어서도 그 변화율은 표준 SLUMP값 6과 표준 SLUMP값 8의 변화율과 매우 유사하다. 특이한 점은 표준 SLUMP값이 10을 얻기 위하여 물(WATER)의 첨가량이 증가되었으나 표준 SLUMP값이 8에 비하여 크게 다른 점이 없다. 즉, 첨가 후 10분후에는 25,000cc/m³일때 11.3, 50,000cc/m³일때 16.5, 75,000 cc/m³ 일

때 17.3 등이며, 60분후에는 7.5 (25,000cc/m³) 10,3(50,000cc/m³), 11.2(75,000cc/m³)의 값이며, 90분후에는 5.2(25,000cc/m³), 6.8(50,000 cc/m³) 11.9 (75,000cc/m³)의 SLUMP값을 나타내었다.

ii) 공기량

NEOPOR-400 기포재 첨가에 따른 공기량 변화는 SLUMP값이 변화하는 경향과 일반적으로 유사하다. 기포재를 첨가하지 않았을때 6의 공기량은 1.9%인데 비하여, 기포재를 25,000cc/m³ 첨가한 10분후의 공기량은 2.9%, 60분후에는 2.9%, 90분후에는 3.0%로 공기량이 증가되었다. 공기량을 25,000 cc/m³에서 다시 50,000cc/m³의 첨가량으로 증가시켰을때 10분후의 공기량은 5.9%,60분후에는 4.4.%, 90분후에는 4.0%를 각각 나타내었다. 75,000cc/m³까지 증가시켰을때, 10분후에는 그 공기량이 7.8%, 60분후에는 5.0%, 90분후에는 4.3%로 변화되었다.

표준 SLUMP값이 8인 경우에 있어서도 기포재를 첨가하지 아니한 공기량은 1.5%이다. 이에 반하여 25,000cc/m³첨가하였을 때 시간 경과에 관계 없이 공기량의 범위는 3.0-3.9%이고, 50,000 cc/m³을 첨가하였을때 10분후에는 8%, 60분후에는 6.4%, 90분후에는 5.2%로 나타났다. 75,000cc/m³로 다시 증가시키게 되면, 10분후에는 10.4%, 60분후에는 6.8%, 90분후에는 6.6%로 증가를 보여 주었다.

표준 SLUMP값이 10일때, 기포재를 첨가하지 않았을때는 1.5%이다. 그러나 25,000 cc/m³로 증가시키게 되면 10분-90분 사이에 있어서는 1.7%-3.0%이고 50,000cc/m³로 다시 증가시키게 되면 10분-90분 사이는 2.1%-5.0%이고 75,000 cc/m³까지 증가시킬때에는 10분-90분 사이에 3.9%-6.8% 범위를 보여준다.

위 시험의 결과에 의하면 시간이 지남에 따라 가장 적절한 공기량을 유지하기 위해서는(타설당시 약 5%), SLUMP값이 6으로 유지하고 기포재 양은 약 50,000-75,000 cc/m³ 범위에 들어있어야 함을 알수가 있다.

iii) 압축강도

기포재 첨가량이 많을수록 압축강도가 점진적으로 저하되는 현상은 일반적이다. 그러나 기포재 첨가후 시간이 경과함에 따라 압축강도는 증가율을 보이는 것이 매우 특이하다. 시간 경과에 따른 압축강도 증가는 곧 시간 경과에 따른 공기량의 감소와 상호 관계가 있다고 사료된다. 시간이 지남에 따라 공기가 감소하게 되면 콘크리트 내부에 입자 사이 공격이 감소하여 내부 수화작용이 활발하게 된다. 활발한 수화작용으로 예상되는 일은 gel형성이 높아짐에 따라 결국 압축강도의 증가로 나타나게 된다고 생각된다(11-13).

표준 SLUMP 6인 경우 25-75,000cc/m³ 첨가했을 때 200-280Kg/cm²(28일) 범위에 있다. 표준 SLUMP 8일때도 25,000-75,000 cc/m³ 첨가하였을 때 170- 245Kg/cm²(28일) 범위내에 있으며, 표준 SLUMP 10일때는 압축강도가 180- 223Kg/cm² 범위 내에 들어 있다.

따라서 설계강도가 210Kg/cm² 공기량 50% 및 타설 SLUMP(±) 범위를 만족하게 하기 위해서는 표준 SLUMP 6-8 사이를 조절한후, 50,000-75,000cc/m³을 첨가해야 한다는 결론을 얻을수 있다.

5. 결 론

FLY ASH-CONCRETE에 NEOPOR-400 기포재를 첨가하여 공기량을 최소한 4% 유지시키고, 설계강도에 영향을 끼치지 않기 위해서는

첫째로, NEOPOR-400 기포재양은 최소한 50,000 cc/m³, 최대한 75,000cc/m³ 만큼 이 필요하다.

둘째로, 첨가 10-90분후의 SLUMPY이 10- 13cm 범위내 들어 있게 하기 위해서는 50,000- 75,000 cc/m³ 만큼의 기포재 양이 필요하다.

셋째로, 첨가 10-90분후의 7일 압축강도가 170-200Kg/cm²이고, 28일 압축강도가 215-290

Kg/cm² 범위내 있게 하기 위해서는 50,000-75,000 cc/m³ 만큼의 기포재양이 필요하다.

끝으로 NEOPOR-400 기포재는 FLY ASH-CONCRETE에 사용할 수 있으며 첨가량은 50,000-75,000 cc/m³ 양이 필요하다.

References

1. 남 호기
"한전의 석탄회 발생현황과 상호 활용방안"
원심력 기술 세미나, 199.4.
2. Buter, W.B. and Baweja, D
"Long Term Durability of Fly Ash Concretes in Civil Engineering Structures"
Katharine and Bryant Mather International Conference on Concrete Curability, Cannet/ ACI, Atlanta, USA, 1987
3. Khan, S.P, Samarin, A, Yeomans, S.R. and Haque, M.N.
"Chloride Corrosion of Steel in Concrete",
Pacific Corrosion '87 Conference, Austracian Corrosion Association, Melboure, 23-27, Nov. 1987
4. Butier, W.B. and Ellis, E.
"Fly Ash and Durable Concrete-The Tide has turned",
American Coal Ash Association Conference, Oriando Florida, USA, 1991
5. Samarin, A.
"Assurance of Durability in Building and Structural Engineering Prac-tice",
Civil Eng. I.E. Aust, Vol. 29, No.1 February, 1987
6. Cunningham, J.S.
"Use of Naturally Occurring Pozzolanas in Mass Concrete",
Diploma Thesis, School of Civil Engineering,
University of New South Wales, Australia, 1957

7. Ryan, W.G.
"Fly Ash in Concrete"
Booklet, Boral Pozzolan, 1988
8. Munn, R.L.
"Production, Processing and Techniques
for Utilization of Fly Ash",
Concrete 88 Workshop, July 4-6, Sydney,
1988
9. Glendenning, T.G. and Durie, N.P.
"American Society for Testing Materials",
Proceeding, 1962, 62, 1019-1020
10. Kokubu, M.F.
"Fly Ash and Fly Ash Cement",
Proc. 5th Int'l Symp. on the Chemistry of
Cement, 4, 75-105, Tokyo, 1968
11. Neville, A.M.
"Properties of Concrete",
Pitman Publishing, 2nd ed, pp233, 1975
12. Schiller, K.K.
"Porosity and Strength of Brittle Solids,
Mechanical Properties of Non-Metallic
Brittle Materials",
Butterworth, London, pp35, 1958
13. Ghosh, A. and Pratt, P.L.
"Studies of the Hydration Reaction and
Micro structural of Cement-Fly Ash Paste"
Proc, Ann, Mtg, of Material Research
Society, Boston,
Effect of Fly Ash Incorporation in Cement
and Concrete, 82-91. 1981