

## 플라이애쉬 치환율을 고려한 콘크리트의 내구성에 관한 연구

# A Study on the Concrete Durability by Fly Ash Replacement Ratio

Dongbaek Kim<sup>a,1</sup>, Kwangjae, Lee<sup>b,2</sup>

<sup>a</sup> Department of Civil, Safety&Environmental Engineering, Hnakeong National University, 67 Seokjung dong, Kyeonggi 456-749, Republic of Korea

<sup>b</sup> Department of Civil, Safety&Environmental Engineering, Hnakeong National University, 67 Seokjung dong, Kyeonggi 456-749, Republic of Korea

### ABSTRACT

Recently, with concentrated social and engineering interests on durability, diversified subsequent researches have been progressed. The Chloride-induced corrosion, carbonation, freeze-thaw etc, deterioration factors of concrete act to concrete not privately but complexly, Fly ash is most frequently used admixture which is using a reduction method of deterioration. And the fly ash effects on improvement of durability with enhancement of fluidity, decrease of crack with reduction of hydration heat, promotion of long-age strength and have a economic advantage which replaces cement as a binding material. But, fly ash have different qualities and occasionally reduce the durability and strength by adhesion of AE admixture with unburned carbon powder etc. In this study, the experiments will take about various replacement ratio of fly ash concrete, and will analyze, consider the results, after these will verify applicability and validity as admixture and binding material.

### KEYWORDS

durability  
deterioration  
carbonation  
various mixture ratio  
binding material

내구성은 콘크리트 구조물의 안전성과 경제성에 직접적으로 연관되므로 매우 중요한 사항인데, 최근 들어 콘크리트의 내구성에 사회적, 공학적 관심이 집중되면서 이에 대한 다양한 연구가 진행되고 있다. 콘크리트의 염해나 탄산화, 동결융해 등의 열화요인은 독립적이 아닌 복합적인 형태로 작용하게 되는데, 이러한 열화현상을 저감하는 한 방법으로 사용하는 플라이 애쉬는 콘크리트 혼화재 중에서 사용빈도가 매우 높다. 또한 플라이 애쉬는 유동성 증진을 통한 내구성의 향상과, 수화열 저감을 통한 균열감소 및 장기강도 증진 등의 효과가 있으며, 시멘트를 대체하여 결합재로서 경제적인 효과를 유발하는 장점도 가지고 있다. 그러나 플라이 애쉬는 그 품질의 편차가 크고, 경우에 따라서 미연 탄소분에 의한 AE제 흡착 등으로 인하여 콘크리트의 내구성 및 강도를 저하시킬 수 있는 요소를 내포하고 있으므로 사용 시 주의가 필요하다. 본 연구에서는 다양한 치환율의 플라이 애쉬를 혼입한 콘크리트를 경화 전 후에 특성실험을 한 다음, 그 결과를 분석·고찰함으로써 열화를 저감하고, 내구성을 갖는 콘크리트를 제조하기 위하여 혼화재 및 결합재로서의 적용성 및 타당성을 검증하고자 한다.

내구성  
열화  
탄산화  
다양한 치환율  
결합재

© 2014 Koea Society of Diaster Information All rights reserved

a Corresponding author. Tel. 82-10-2355-5143. Fax. 82-31-678-4674.

Email. dbkim@hknu.ac.kr

1 Tel. 82-10-2355-5143. Email. dbkim@hknu.ac.kr

2 Tel. 82-10-2247-3470. Email. kjlee@hknu.ac.kr

### ARTICLE HISTORY

Recieved Nov. 17, 2014

Revised Nov. 17, 2014

Accepted Dec. 01, 2014

## 1. 서론

화력발전소 등에서 발생하는 막대한 양의 플라이 애쉬는 일종의 산업폐기물이며, 이의 이용은 곧 자원의 효율적 활용 차원과 환경적인 측면에서도 매우 유용하다. 플라이 애쉬는 시멘트를 대신하는 결합재로, 프리스트레스트 콘크리트제품 등의 오토클레이브 양생 시 실리카 공급원으로, 초고강도 콘크리트 및 RCD(roller compacted dam)용 콘크리트 등 된 비빔용 콘크리트에서는 미분말 증량재료로, 프리팩트 콘크리트 등의 특수콘크리트에서는 혼화재로 그 이용방법이 다양하지만, 다량을 사용하는 경우에는 수축성, 강도에 미치는 영향 등에 관해서 지속적이고 다양한 연구가 필요하다. 본 연구는 플라이 애쉬를 내구성 재료로 그 활용을 극대화하고, 다양한 플라이 애쉬의 치환율과 물/결합재비(W/B)에 대한 내구성 콘크리트의 제조방법을 범용화하며, 그 품질을 평가하는 것을 목적으로 하고 있는데 그 연구방법은 다음과 같다. 일정량의 시멘트를 플라이 애쉬로 치환했을 때, 시멘트와 플라이 애쉬의 량의 합을 결합재로 정의하고, 이 결합재에 대한 플라이 애쉬의 량을 치환율이라 정의한다.

(1) 소요의 콘크리트 설계기준강도 및 특수한 요구조건에 대하여 화학 혼화제를 첨가하고 혼화제의 종류나 치환율 및 물/결합재비(W/B)를 결정하는 일반적인 배합설계의 방법을 택하였다.

(2) 일정량의 시멘트를 플라이 애쉬로 치환한 콘크리트의 배합이 경화 전 콘크리트와 경화 후 콘크리트의 성능에 미치는 영향을 분석한다.

(3) 일정량의 시멘트를 플라이 애쉬로 치환한 콘크리트의 타설 온도를 달리하고, 양생을 표준 수중양생으로 수행하여 성능을 확인한다.

(4) 플라이 애쉬와 물/결합재 비에 따른 콘크리트의 기초물성과 내구성을 비교, 평가한다.

(5) 내구성 콘크리트의 실용화를 위하여 플라이 애쉬 치환율에 따른 수화반응 및 강도특성에 대해 고찰한다.

## 2. 연구동향

최근 플라이 애쉬를 결합재로 이용한 연구에서는 플라이 애쉬의 결합재에 대한 치환량을 증가시키는 연구가 활발히 진행되고 있다(ACI Committee 116, 2007.) 플라이 애쉬 치환량을 전체 결합재 양의 60%정도로 유지하고, 결합재 비를 0.27~0.38로 유지시킨 플라이 애쉬 콘크리트 연구에서는 수화열 저감효과가 우수하고 기존 콘크리트와 거의 같은 28일 강도를 나타냈다고 보고되고 있다(V.M.Malhotra, A.A. Ramezani pour, 1994).

고온 환경에서는 플라이 애쉬의 포졸란 반응속도가 증가하여 플라이 애쉬를 치환한 콘크리트의 경우 표준 환경의 강도발현과는 다른 강도 발현 성상을 나타내는데 특히, 서중환경에서는 콘크리트의 초기강도발현이 우수하여 플라이 애쉬 치환율이 증가함에 따라 재령경과에 따른 강도발현 속도가 우수하므로, 서중환경에서의 플라이 애쉬의 대량 사용 가능성을 제시하였다 (Gonen, T.and Yazicioglu, 2007).

플라이 애쉬 치환율을 달리한 콘크리트의 포졸란 반응에 양생온도가 미치는 영향의 연구에서는 양생온도 20℃의 경우 재령 28일이 경과 후, 양생온도 40℃의 경우는 재령 7일이 경과한 후에 반응이 시작되므로 플라이 애쉬의 포졸란 반응은 온도에 대한 의존성이 높다고 밝히고 있다 (ACI, Manual of Concrete Practice, 2009).

또한 플라이 애쉬를 대량 치환한 콘크리트에 대한 연구에서는 플라이 애쉬를 40% 치환 경우, 재령 91일에서 일반 콘크리트와 유사한 압축강도가 나타나지만 40%이상 치환의 경우는 재령 91일의 장기강도도 저하가 크다고 보고 있다 (ASTM C 989-89, 2009).

플라이 애쉬를 시멘트에 대하여 치환시킨 내치환 배합과 플라이 애쉬를 잔골재에 대하여 치환시킨 외치환 배합의 콘크리트의 강도 특성 연구에서는 외치환의 경우 초기강도 및 장기강도가 개선되었으며, 이에 따라 콘크리트에 플라이 애쉬의 대량 사용이 가능하다고 밝히고 있다 (ACI Committee 206, 2009, 靑沼, 2006).

플라이 애쉬를 45% 치환한 콘크리트의 매스콘크리트공사에 적용을 위한 연구에서는 28일 압축강도에 대한 강도비의 경우 재령 7일 초기강도는 0.54~0.67, 재령 91일의 장기강도는 1.27~1.49로 나타났다고 밝히고 있다(Oner A & Akyuz S, 2007, 三谷 裕二, 2007).

### 3. 플라이애쉬를 치환한 콘크리트의 내구성 실험

#### 3.1 실험방법

플라이 애쉬의 치환율에 따른 콘크리트의 내구성에 대한 연구를 수행하기 위하여, 플라이 애쉬를 결합재로 사용했을 때의 플라이 애쉬의 사용량과 시멘트 량의 합을 결합재의 총량으로 하고, 결합재의 총량에 대한 플라이 애쉬의 사용량을 치환율이라 정의할 때, 치환율과 단위수량이 일정한 조건하에서 물/결합재 비를 달리하고, 플라이 애쉬의 치환율을 변화시키는 방법으로 실험을 수행하여 이에 따른 강도특성과 콘크리트 수축특성, 동결융해 저항성에 대한 기초적 자료를 수집하고 고찰한다.

또한, 기존의 연구결과에 따른 플라이 애쉬의 특성과 플라이 애쉬의 치환율, 물/결합재비에 대한 본 실험의 결과를 근거로 하여 슬럼프, 공기량, 압축강도, 건조수축, 동결융해 등의 특성을 비교·분석함으로써 플라이 애쉬 치환에 따른 내구성 실험에 대한 결론을 도출한다.

주요 실험 변수는 플라이 애쉬의 치환율, 물/결합재 비이며, 단위 수량을 일정하게 한 조건 하에서 물/결합재 비를 45, 55, 65%의 3수준, 플라이 애쉬의 치환율을 0, 10, 20, 30%의 4수준 총 12수준으로 하고 72개의 공시체를 제작하여 콘크리트의 기초물성 및 내구성능 실험을 수행하였다.

Table 1. Concrete Mixture

구분	W/C (%)	W/(C+F) (%)	F/(C+F) (%)	겉보기용적 (m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> )	S/a (%)
65-0	65	65	0	0.59	47.7
65-10	72	65	10	0.59	47.4
65-20	81	65	20	0.59	47.2
65-30	93	65	30	0.59	46.9
55-0	55	55	0	0.59	46.5
55-10	61	55	10	0.59	46.2
55-20	69	55	20	0.59	45.9
55-30	79	55	30	0.59	45.6
45-0	45	45	0	0.59	44.6
45-10	50	45	10	0.59	44.2
45-20	56	45	20	0.59	43.8
45-30	64	45	30	0.59	43.4

#### 3.2 플라이 애쉬 콘크리트의 압축강도 특성

실험결과 플라이 애쉬 치환에 따른 경화 전 콘크리트의 슬럼프 및 공기량은 각 배합에서 미리 정한 콘크리트 슬럼프 180 ± 25mm와 공기량 4.5±1.5%의 범위를 모두 만족하는 것으로 나타났다.

물/결합재비가 45%의 경우에는 초기강도는 플라이 애쉬의 치환율이 증가함에 따라 약간 감소하지만 OPC 콘크리트(보통포틀랜드 시멘트를 사용한 콘크리트)와 유사한 경향을 나타내고 있으나, 플라이 애쉬의 치환율이 30%를 넘으면 초기, 중기강도는 상당히 줄어드는 경향을 보이고 있으며, 특히 물/결합재비가 55%를 넘으면 초기 강도와 중기강도의 발현이 현저히 감소하는 양상을 보인다(그림1).

물/결합재비 및 플라이 애쉬의 치환율을 달리한 12수준의 표준 양생한 압축강도 분포를 살펴보면, 장기강도는 완만하게 증가하며, 플라이 애쉬의 치환율이 증가함에 따라 초기강도는 작아도 장기적인 강도 증진은 커지는 경향을 나타내고 있다.

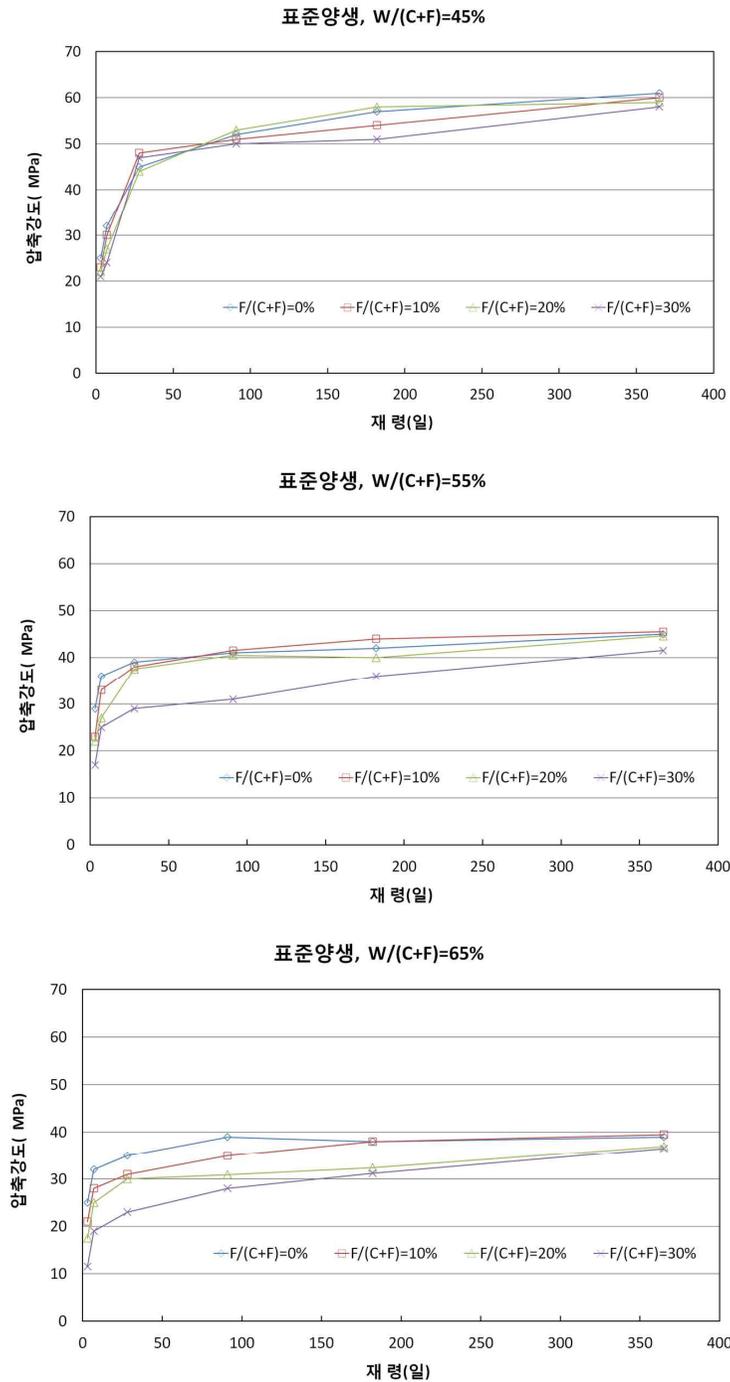


Fig. 1 Age - Compressive Strength Diagram(Standard Curing)

### 3.3 플라이 애쉬 콘크리트의 건조수축 특성

플라이 애쉬를 결합재로 사용한 콘크리트의 길이 변화 시험을 분석한 결과, 대부분의 조합에서 재령에 따라 길이는 감소하였고, 재령 1년에서 -0.1%정도의 수축을 보여주고 있으나 플라이 애쉬의 치환율에 따른 수축율은 거의변화가 없다(그림 2). 따라서 물/결합재비는 콘크리트의 수축에 약간 영향을 미치지만 플라이 애쉬의 치환율은 건조수축에 미치는 영향이 거의 없다고 판단된다.

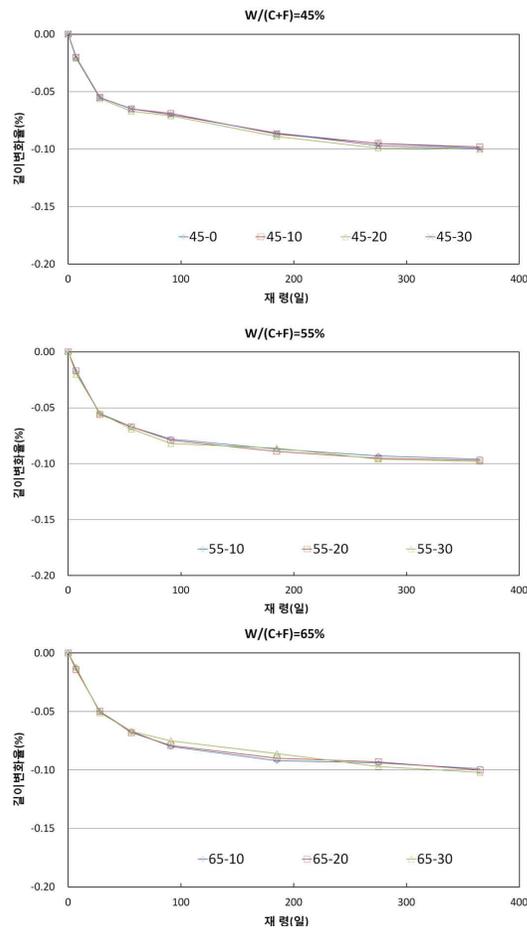


Fig. 2 Age - Rate of Length Change Diagram

### 3.4 플라이 애쉬 콘크리트의 동결융해 저항성

플라이 애쉬의 치환율과 동결융해 저항성의 관계 및 물/결합재비와 동결융해 저항성의 관계에 대한 실험결과를 살펴 보면, 물/결합재비가 55%미만인 배합에서는 플라이 애쉬의 치환율에 따른 저항성의변화에 큰 차이가 없다. 그러나 물/결합재비가 65%인 배합에서는 치환율에 따라 동결융해에 대한 저항성이 급격히 저하한다(그림 3, 그림 4).

따라서 플라이 애쉬는 동결융해 저항성의 증진에는 효과가 없으며 물 결합재비가 영향이 크므로, 동결융해 저항성을 증진시키기 위해서는 물/결합재 비를 55%미만, 플라이 애쉬의 치환율을 10%미만으로 하는 편이 유리하다고 사료된다.

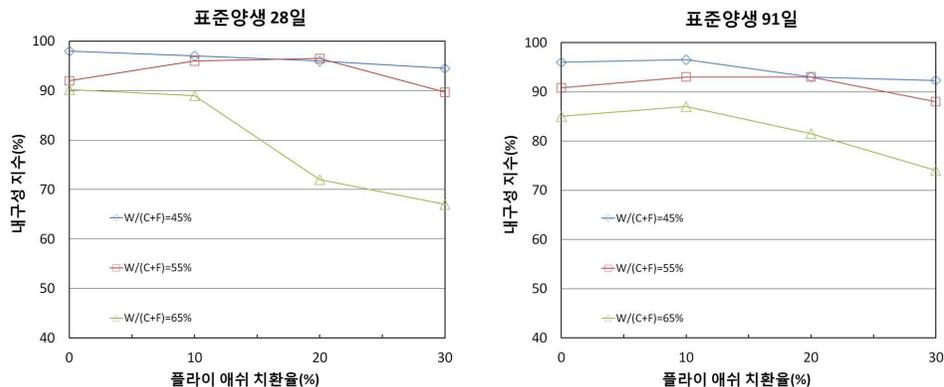


Fig. 3 Fly ash Replacement Ratio - Durability Factor Diagram

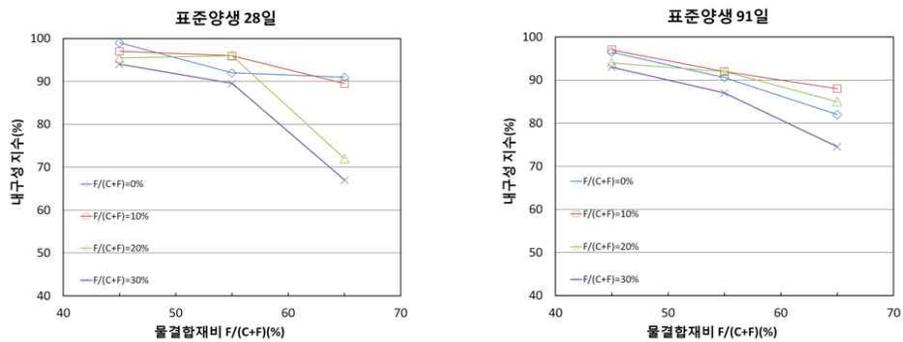


Fig. 4 W/B Ratio - Durability Factor Diagram

#### 4. 결론

플라이 애쉬를 내구성 재료로 그 활용을 확대하고, 다양한 플라이 애쉬의 치환율과 물/결합재비(W/B)에 대한 내구성 콘크리트의 제조방법을 범용화하며, 그 품질을 평가하는 것을 목적으로 하는 플라이 애쉬의 치환율에 따른 콘크리트의 강도 및 내구성 평가에 대한 본 연구를 수행하여 얻어진 결론은 다음과 같다.

- 1) 플라이 애쉬의 치환율이 동결융해 저항성과 건조수축에 미치는 영향은 거의 없으나, 물/결합재비는 55%미만으로 하는 것이 유리하다.
- 2) 물/결합재비가 45% 이하이면 플라이 애쉬의 치환율에 따른 초기, 장기강도의 저하가 미미하므로, 플라이 애쉬의 치환율을 30%이상 높일 수 있다.
- 3) 물/결합재비가 55% 이상이고, 플라이 애쉬의 치환율이 30%이상이면 초기, 장기강도의 저하가 확연하므로 장기강도 증진에 적합한 물/결합재비는 55%미만, 플라이 애쉬의 치환율은 30% 미만이다.
- 4) 물/결합재비와 플라이 애쉬의 치환율을 더욱 세분화하여 다양한 연구를 수행하면, 혼화제로서 및 결합재로서 플라이 애쉬의 효율적인 사용량과 장기강도 및 콘크리트의 내구성 관리에 매우 유용한 자료가 되리라 사료된다.

#### References

Cement and Concrete Terminology(2007), ACI Committee 116R, pp 29

V.M.Malhotra, A.A. Ramezaniapour(1994), Fly Ash in Concrete, CANMET,

Gonen, T.and Yazicioglu(2007), "The influence of mineral admixtures on the short and long-term performance of concrete", Building and Environment, vol. 42, No.8, pp. 3080~3085

Ground Granulated Blast-Furnace Slag ad a cement Constituent in Concrete(2009), MANUAL OF CONCRETE PRACTICE, ACI 226. 1R-87, ACI 223R-95

ASTM C 989-89, Standard Specification for Ground Granulated Blast-Furnace Slag for Use in Concrete and Mortar

ACI Committee 206( 2009), Ground granulated blast-furnace slag as cementation constituent in concrete. ACI Materials Journal. No.84-M34:327-42.

Oner A, Akyuz S(2007). An experimental study on optimum usage of GGBS for the compressive strength of concrete. Cement and Concrete Composite. 29(6):505-14.

青沼 의 3인(2006), 爐スラグ微粉末および高爐セメントを用いた構造体コンクリートの強度發現性状, 日本建築學會大會學術講演梗概集, (關東) , pp 231~232

三谷 裕二 의 4인(2007), 爐スラグ微粉末を混合したエコセメントコンクリートの基本{性能}に關する 實驗的研究, 日本建築學會大會學術講演梗概集 (九州), pp 441~442