

# 고유동콘크리트의 유동특성 및 공학적특성에 미치는 조합요인에 관한 실험적 연구

## An Experimental Study on the Mix Proportion in Fluidity and Engineering Properties of High Flowing Concrete

○ 신 홍 철	우 영 재	강 석 표	김 규 용
Shin, Hong Chol	Woo, Young Je	Kang, Suk Puo	Kim, Gyu-Yong
정 하 선	이 석 홍	손 영 현	김 무 한
Jung, Ha Sun	Lee, Suk Hong	Son, Young Hyun	Kim, Moo-Han

### ABSTRACT

Recently the study on high flowing concrete which has high workability and Self-compacting is being proceeded actively in the university and corporative laboratory. There are some cases that has been applied to the field. This high flowing concrete has higher fluidity and segregation resistance than Plain or flowing concrete. And it is being focused as a remarkable know-how which can make high-quality concrete and reduction effect of labor force. This properties of high flowing concrete are influenced by the relationship of several factors; binder content, water binder ratio and unit water content.

It is the aim of this study to propose reference data at mix design of high flowing concrete, after comparing and analyzing the fluidity and strength properties of high flowing concrete according to water binder content ratio and unit water content.

키워드 : 고유동콘크리트, 조합요인, 단위결합재량, 물결합재비, 단위수량,  
keywords : High flowing concrete, Mix proportion, Binder content, Water binder ratio,  
Unit water content

### 1. 서론

고유동콘크리트는 종래의 보통 및 유동화콘크리트에 비하여 높은 유동성과 재료분리 저항성을 가지고 있을 뿐만 아니라, 건설생산현장에서 노동력의 절감효과와 고품질의 콘크리트를 제조할 수 있는 기술로 주목되고 있다.<sup>1)2)</sup> 이러한 고유동콘크리트는 고유동성, 재료분리저항성, 간극통과성 등과 같은 소요의 컨시스턴시를 확보하기 위하여 단위수량, 단위결합재량, 고성능AE감수제의 사용량을 정하여야 한다.

또한, 소요의 컨시스턴시가 확보되는 물결합재비에 상응하는 압축강도를 확보하여야 하는 등의 사용재료·조합상에 중요하게 작용하는 물결합재비 및 단위수량과의 관계를 유동특성 및 공학적특성을

\* 정회원, 충남대 건축공학과 대학원

\*\* 정회원, 현대건설(주) 기술연구소, 이사·공학박사

\*\*\* 정회원, 현대건설(주) 기술연구소, 과장·공학박사

\*\*\*\* 정회원, 현대건설(주) 기술연구소, 연구원

\*\*\*\*\* 정회원, 충남대 건축공학과 교수·공학박사

표1 실험계획 및 조합

W/B	시멘트 종류	FA 대체율 (%)	잔골 재율 (%)	단위 수량 (kg/m³)	절대용적 (ℓ/m³)				단위중량 (kg/m³)				측정항목	
					C	FA	S	G	C	FA	S	G	굳지않은콘크리트	경화콘크리트
0.30	O.P.C	20	50	155	131	48	313	313	412	103	799	821	시리즈 I 유동성 : 슬럼프-플로우(cm), 간극통과성 : V로트(sec), L형간극통과성(cm,sec), 분리저항성 : L형간극통과성 (조골재중량비)	시리즈 I · 압축강도(kg/cm²) (재령 1일, 7일, 28일)
				165	140	52	302	302	440	110	770	791		
				▼175	148	55	291	291	467	117	742	763		
0.35				185	157	58	280	280	493	123	715	734		
				155	114	42	324	324	359	90	827	850		
				165	121	45	314	314	383	96	802	824		
0.40				▼175	129	48	304	304	406	101	776	797		
				185	136	50	294	294	429	107	750	771		
				155	99	37	335	335	313	78	854	877		
0.45				165	106	39	325	325	334	84	828	851		
				175	112	43	315	315	353	91	802	824		
				▼185	119	44	306	306	375	94	780	802		
	155	88	33	342	342	278	69	873	897					
	165	94	35	333	333	297	74	849	872					
175	100	37	324	324	315	79	826	849						
185	106	39	315	315	333	83	802	824						

※ O.P.C : Ordinary Portland Cement, 고성능AE감수제 : 폴리카르본산계 ▼시리즈 II : 동결융해시험 조합

실험·실증적으로 검토·분석함으로써 플라이애시를 대체한 고유동콘크리트의 조합설계시 참고자료를 제시하는데 그 목적이 있다.

## 2. 실험계획 및 실험방법

### 2.1 실험계획

본 실험계획은 시리즈 I에서 물결합재비 및 단위수량의 수준에 따른 고유동콘크리트의 제공학적특성을 비교·분석·검토하기 위한 것으로, 표 1과 같이 물결합재비 수준을 0.30, 0.35, 0.40, 0.45로 하고, 각 물결합재비별로 단위수량을 155, 165, 175, 185kg/m³의 4수준으로, 플라이애시 대체율을 20%로 설정하였다.

또한, 시리즈 II는 공기연행체의 첨가유무 및 플라이애시의 대체율에 따른 내동해성을 평가하기 위한 실험으로써 시리즈 I에서 유동특성이 양호한 조합인 물결합재비 0.30, 0.35 단위수량 175kg/m³와 물결합재비 0.40, 단위수량 185kg/m³의 수준으로 설정하였으며, 공기연행체의 첨가율 수준은 공기량 4~6%를 확보하기 위하여 수차례의 예비실험을 통하여 0.05%를 첨가하였다. 또한, 플라이애시의 첨가 유무는 0, 20%로 설정하였으며, 시험방법은 KS F 2456 급속 동결 융해에 대한 콘크리트의 저항 시험 방법에 준하여 행하였다.

### 2.2 사용재료 및 비빔방법

본 연구에 사용된 각종 재료는 표 2와 같으며, 콘크리트의 비빔은 강제식 팬타입 믹서(용량100ℓ)를 사용하여 (시멘트+플라이애시+잔골재)→(물+고성능AE감수제)→(조골재)의 단계별로 균질하게 구성재료를 분할투입하는 방법을 채택하였고, 총 비빔시간은 210~270초 정도가 소요되었다.

표 2. 사용재료의 물리·화학적 성질

잔 골 재	금강산 강모래, 입경2.5mm, 조립율2.60, 비중2.55
굵은골재	대전産 깬자갈, 입경20mm, 조립율6.61, 비중2.62
시 멘 트	보통포틀랜드시멘트 비중3.15, 분말도3,200(cm²/g)
플라이애시	분말도3228(cm²/g), 비중2.13, 강열감량2.44(%)
고성능AE감수제	폴리카르본산계, 비중1.04~1.06

## 3. 실험결과 및 분석

### 3.1 물결합재비 수준에 따른 각종 유동특성의

#### 검토 및 분석(시리즈 I)

#### 3.1.1 유동성 평가시험에 대한 고찰

물결합재비에 따른 단위수량과 슬럼프-플로우·SP제 첨가율과의 관계를 나타낸 그림 1과 2에서 보는 바와같이 단위수량이 동일할 경우 각각의 물결합재비 수준에서 고성능AE감수제의 첨가량은 물결합재비가 높을수록 다소 적게 첨가되었으며, 동일한 물결합재비의 경우 단위수량이 증가함에 따라 고성능AE감수제의 첨가량은 감소하는 것을 알 수 있다. 또한, 전체적으로 물결합재비가 증가함에 따라 슬럼프-플로우치가 감소하고 있는데 이는 물결합재비가 증가함에 따라 분체량이 적정수준의 분체량보다 부족했기 때문으로 사료된다. 즉, 물결합재비 0.30, 0.35의 경우 모든 조합에서 슬럼프-플로우치가 60cm이상의 수준을 보인 반면, 물결합재비가 0.40, 0.45인 조합에서는 슬럼프-플로우치가 60cm미만으로 상대적으로 낮은 수준을 보이고 있다. 이에 의해 고유농콘크리트의 분체량에 의한 제조시 슬럼프-플로우 60cm이상의 고유농성을 확보하기 위한 물결합재비는 0.35 이상이 유리할 것으로 사료되며, 물결합재비 0.40, 0.45에서 재료분리 현상 없이 슬럼프-플로우 60cm이상을 확보하려면 증점제의 사용이 필요할 것으로 판단된다.

그림 3은 비빔직후의 물결합재비 및 단위수량의 수준에 따른 고유농콘크리트의 슬럼프-플로우 50cm 도달속도와와의 관계를 나타낸 것이다.

전체적으로 단위수량이 증가할수록, 물결합재비가 낮아질수록 슬럼프-플로우 50cm 도달속도는 증가하는 경향을 보이고 있으며, 『建築工事標準仕様書・同解説(JASS 5 鐵筋コンクリート工事)』에서 제시하고 있는 슬럼프-플로우50cm 도달속도 1.875~5.000초의 범위에 단위수량 175kg/m<sup>3</sup>인 경우 물결합재비 0.30, 0.35, 0.40이 만족하고 있어 상대적으로 양호한 성상을 보이고 있으며, 또한, 물결합재비 0.35가 상대적으로 양호한 성상을 보이고 있다.

#### 3.1.2 간극통과성 및 재료분리저항성에 대한 고찰

그림 4는 비빔직후 물결합재비 및 단위수량의 수준에 따른 고유농콘크리트의 V로트 유하시산과의 관계를 나타낸 것으로 전체적으로 단위수량이 증가할수록 V로트 유하시간은 빨라지는 경향을 보이고 있으며 각 단위수량별 물결합재비에 따라 살펴보면, 단위수량 175kg/m<sup>3</sup>에서는 0.30, 0.35, 185kg/m<sup>3</sup>에서는 모든 조합에서 日本コンクリート工學協會『超流動コンクリート研究委員会 論文報告集』에서 규정하고 있는 V로트 상대유하속도 범위인 1±0.5의 범위를 만족하

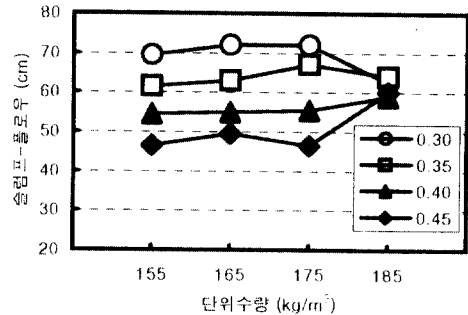


그림 1. 물결합재비에 따른 단위수량별 슬럼프-플로우와의 관계

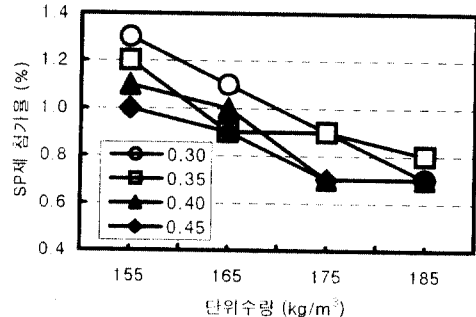


그림 2. 물결합재비 및 단위수량에 따른 고성능AE감수제의 첨가율

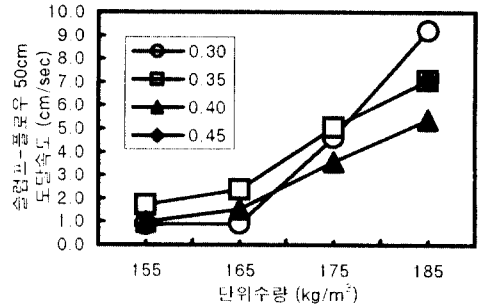


그림 3. 물결합재비에 따른 단위수량별 슬럼프-플로우 50cm 도달속도

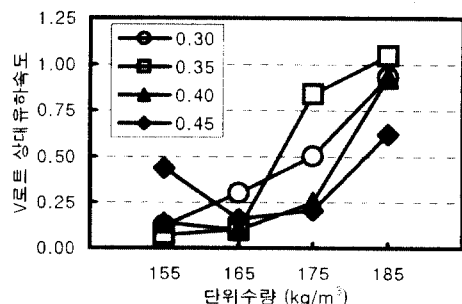


그림 4. 단위수량에 따른 물결합재비별 V로트 유하시간과의 관계

고 있다.

그림 5는 물결합재비 0.30, 0.35에서 단위수량에 따른 L형 간극슬럼프를 나타낸 것으로 단위수량이 증가할수록, 페이스트/골재용적비의 값이 커질수록 L-간극슬럼프치는 증가하고 있는 것으로 나타났다. 이는 동일 물결합재비에서 단위수량이 증가할수록 골재용적이 상대적으로 감소하였기 때문으로 사료되며, 물결합재비 0.40, 0.45는 폐색되어 측정이 불가하였다.

그림 6은 물결합재비 0.30, 0.35에서 단위수량에 따른 L형 간극통과성시험의 내측에 대한 외측 굽은골재 중량비차와의 관계를 나타낸 것으로, 여기서 내측에 대한 외측 굽은골재 중량비율이란 유동후에 내측콘크리트중의 굽은골재의 중량비 감소를 나타낸 것으로서 산출식은 다음과 같다.

$$\text{굽은골재중량비차} = (G_{out} - G_{in}) \times 100$$

단,  $G_{out}$  : 외측 콘크리트중의 굽은골재 중량비  
 $G_{in}$  : 내측 콘크리트중의 굽은골재 중량비

전체적으로 물결합재비 0.35가 0.30보다 상대적으로 굽은골재 중량비차가 작게 나타나고 있다. 또한, 물결합재비 0.30의 경우 단위수량 175kg/m<sup>3</sup>에서 중량비차가 가장 작게 나타났으며 물결합재비 0.35의 경우는 단위수량의 수준에 관계없이 전반적으로 비슷한 수준의 중량비차를 나타내었지만 단위수량 155kg/m<sup>3</sup>는 L-간극슬럼프치가 폐색에 가까운 수준으로 매우 열악한 성상을 보이고 있다.

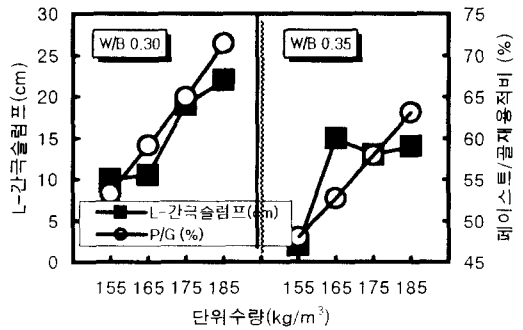


그림 5. 단위수량별 L형 간극슬럼프와 페이스트/골재용적비

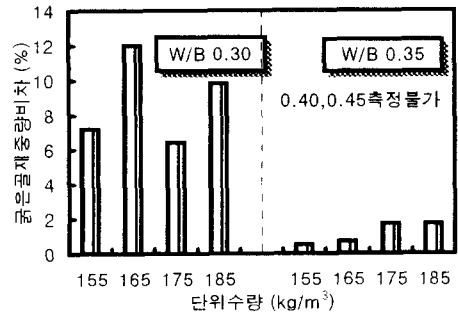


그림 6. 단위수량에 따른 굽은골재 중량비차

### 3.2 압축강도특성 검토 및 분석(시리즈 I)

물결합재비별 단위수량에 따른 각 재령별 압축강도의 변화를 나타낸 그림 7에서 알 수 있는 바와 같이 물결합재비가 증가할수록 압축강도는 저하하고 있는 것으로 나타났다. 재령 4주에서는 물결합재비 0.45, 단위수량 185kg/m<sup>3</sup>을 제외하고는 모든 조합에서 압축강도가 400kgf/cm<sup>2</sup>이상의 고강도 수준으로 나타나 日本建築學會『建築工事標準仕様書・同解説(JASS 5 鉄筋コンクリート工事)』에서 제안하고 있는 고유동콘크리트 재령 28일 기준 압축강도 250kgf/cm<sup>2</sup> 보다 높은 강도 수준을 나타내고 있어 모든 조합수준에서 고강도의 콘크리트를 제조하는 것이 가능할 것으로 판단된다.

### 3.3 내동해성의 검토 및 분석(시리즈II)

#### 3.3.1 상대동탄성계수의 검토 및 분석

그림 8은 공기연행제의 첨가유무별 물결합재비 및 플라이애시 대체율에 대한 동결융해 사이클수에 따른 상대동탄성계수의 변화를 나타낸 것으로 공기연행제의 첨가유무에 따른 상대동탄성계수의 변화는 전체적으로 물결합재비가 낮을수록, 공기연행제를 첨가한 경우 및 플라이애시를 대체하지 않은 경우가 상대동탄성계수가 높게 나타났으며, 특히 공기연행제를 첨가하지 않은 경우의 물결합재비 0.40에서 플라이애시를 대체하지 않은 경우가 낮은 수준을 보이고 있다. 또한, 공기량의 수준이 4~6%로 적정 수준의 공기량을 확보한 경우 동결융해 사이클 수가 300사이클 수일 때 상대동탄성계수가 75%이상으로 나타나 고강도의 영역에서도 적정의 공기량 수준을 확보하여야 할 것으로 사료되며, 특히, 물

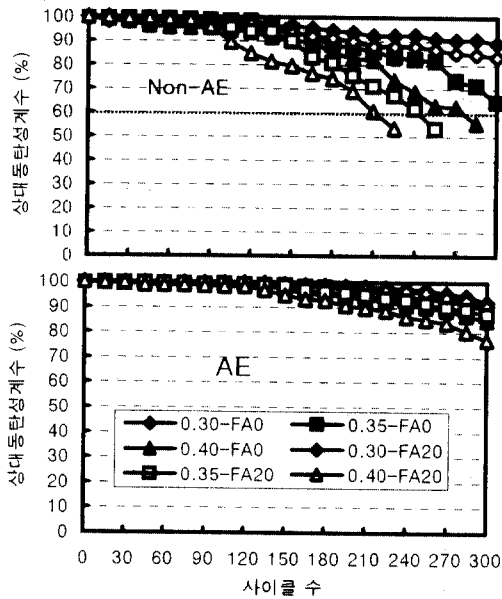


그림 8. 공기연행제의 첨가유무별 물결합재비 및 FA대체율에 따른 상대동탄성계수의 변화

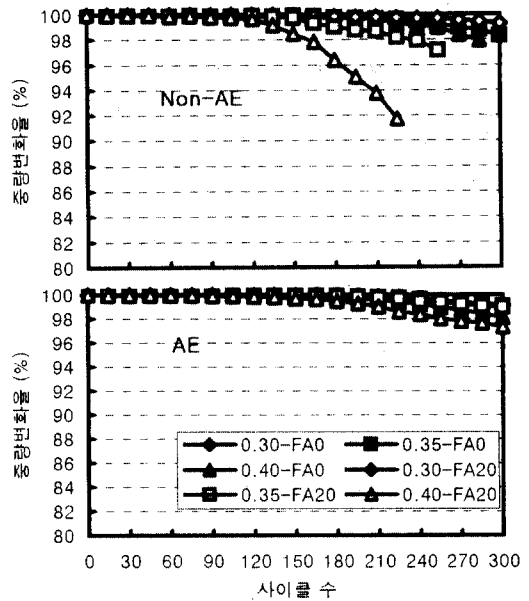


그림 9. 공기연행제의 첨가유무별 물결합재비 및 FA대체율에 따른 중량변화율의 변화

결합재비 0.30은 공기량 수준에 관계없이 동결융해 사이클 수가 300사이클 수일 때의 상대동탄성계수가 80%이상으로 나타나 물결합재비 0.30이상의 고강도 수준에서는 공기량의 영향을 적게 받는 것으로 나타났다.

### 3.3.2 중량변화율의 검토 및 분석

그림 9는 각 조합요인별 중량변화율을 나타낸 것으로 전체적인 경향은 상대동탄성계수와 유사하게 나타났으며 특히, 공기연행제를 첨가하지 않은 경우의 물결합재비 0.40, 플라이애시 대체율 20%의 경우가 중량감소율이 상대적으로 큰 것으로 나타났다.

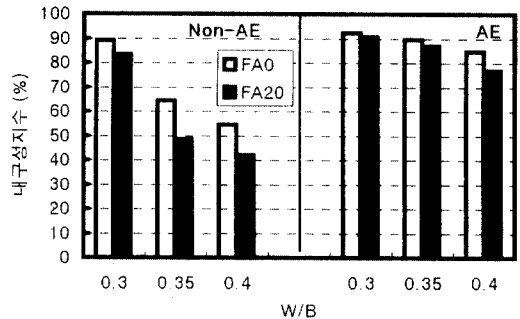


그림 10. 공기연행제의 첨가유무별 물결합재비 및 FA대체율에 따른 내구성지수의 변화

### 3.3.4 내구성지수의 검토 및 분석

그림 10은 각 조합요인별 재구성지수를 나타낸 것으로 전체적으로 물결합재비가 낮을수록 내구성지수가 높아지는 경향을 보이고 있으며, 공기연행제의 첨가유무에 따라 살펴보면, 공기연행제를 첨가한 경우 내구성지수가 77.0~92.3%의 범위를 보인 반면, 공기연행제를 첨가하지 않은 경우는 42.2~89.1%의 범위를 보이며 공기연행제를 첨가한 경우가 내구성지수가 상대적으로 높게 나타나고 있어 공기량의 적정수준을 확보하는 것이 동결융해저항성에 매우 유리할 것으로 사료된다. 특히, 물결합재비 0.30에서는 공기량의 수준에 관계없이 동결융해저항성이 우수하게 나타나고 있다. 또한, 각 물결합재비에 대한 플라이애시 대체율에 따라 살펴보면, 플라이애시 대체율 0%가 20%보다 상대적으로 내구성지수가 높게 나타나고 있다.

#### 4. 결 론

물결합재비 및 단위수량에 따른 고유동콘크리트의 각종 제공학적 특성을 실험·실증적으로 검토·분석함으로써 국내 건설산업계에 고유동콘크리트의 경제적 개발과 그 실용화를 위한 실험·실증적 연구를 행한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 물결합재비에 대한 각 단위수량별 슬럼프-플로우치는 물결합재비가 낮을수록 높게 나타나고 있지만 단위수량에 따라서는 물결합재비 0.30, 0.35에서는 단위수량  $175\text{kg}/\text{m}^3$ , 물결합재비 0.40, 0.45에서는  $185\text{kg}/\text{m}^3$ 이 가장 높게 나타났다. 또한, 슬럼프-플로우 50cm 도달속도는 물결합재비 0.35, 단위수량  $175\text{kg}/\text{m}^3$ 에서 가장 양호하게 나타났다.
- 2) V로트 상대유하속도 및 L-간극슬럼프치는 단위수량이 증가함에 따라 빨라졌으며, L-간극통과성 시험의 내측과 외측의 굽은골재 중량비차는 물결합재비 0.30보다 0.35가 우수하게 나타났다.
- 3) 재령4주의 압축강도가 물결합재비 0.45, 단위수량  $185\text{kg}/\text{cm}^2$ 을 제외한 모든조합에서 압축강도가  $400\text{kgf}/\text{cm}^2$  이상을 발현 수준을 보여 모든 조합수준에서 고강도의 콘크리트를 제조하는 것이 가능할 것으로 판단된다.
- 4) 공기연행제의 첨가에 따른 연행공기량의 차이에 의하여 고강도영역의 강도발현수준을 보이는 고유동콘크리트에서도 내동해성의 차이가 크게 나타나고 있어 내동해성을 고려한 공기량의 적정 확보가 콘크리트의 내구성을 향상시키는 것으로 판단된다.
- 5) 플라이에시를 20%대체한 경우 공기량의 적정 수준을 확보한 경우에는 콘크리트의 내구성지수가 높게 나타나고 있어 내동해성이 우수한 것으로 판단된다.

#### 감사의 글

본 연구는 충남대학교와 현대건설(주) 기술연구소의 산·학컨소시움에 의해 수행된 연구내용 중 일부를 밝히며 본 연구를 위하여 협조해주신 현대건설(주) 관계자 여러분께 깊은 감사를 드립니다.

#### 참고문헌

1. 日本建築學會編 ; 高流動コンクリートの材料・調合・製造・施工指針(案), 日本建築學會, 1997, 1.
2. 名和豊春ほか ; 高ビ-ライト系セメントを用いた高流動・高強度コンクリートに関する研究, 콘크리트工學年次論文報告集, Vol. 15. No.1, pp. 143~148, 1993.
3. 超流動コンクリート研究委員會 ; 콘크리트シンポジウム 論文報告集, 日本콘크리트工學協會, 1993.5.21
4. 西本 好克,ほか3 ; 高流動コンクリートのフレツシチュ性狀に関する基礎的研究, 콘크리트年次論文報告集, Vol.16, No1, 1994, pp119~124.
5. 安田正雪,ほか3 ; 高流動コンクリートの調合と諸性質に関する研究, 콘크리트年次論文報告集, Vol.17, No1, 1995, pp57~62.
6. 日本建築學會 ; 建築工事標準仕様書・同解説(JASS 5 鐵筋コンクリート工事), 1997. 3, pp 404~405
7. 添田政司ほか ; 高矽スラグ微粉末を用いた早強成を有する高流動コンクリートの耐凍害性に関する研究, 콘크리트年次論文報告集, Vol.18. No.1. 1996, pp153~158.