

高强度콘크리트의 컨시스턴시 測定直間 상관관계에 미치는 요인에 관한 연구

A Study on Factors Effecting on Correlation Between
Test Results for Consistency in High Strength Concrete

金 振 晚

(東亞建設産業(株) 技術研究所 課長, 工學博士)

金 武 漢

(忠南大學校 建築工學科 教授, 工學博士)

1. 序 論

本研究은 아직 굳지않은 고강도 영역 콘크리트의 컨시스턴시 측정치간의 상관관계에 영향을 미치는 요인을 통계학적으로 분석하기 위한 것으로 대상으로 한 콘크리트의 슬럼프는 0~27cm, 압축강도는 300~900kgf/cm²의 범위이다.

아직굳지 않은 상태 및 경화상태에서의 시공성 및 공학적 특성에 관한 각종 시험치들의 관계는 골재, 결합재, 물결합재비 및 재령 등의 요인에 따라 분류하여 두 변수간의 관계를 회귀 분석하여 그 경향을 파악하였다.

2. 研究方法

본 연구에서 대상으로 하는 데이터는 충남대학교 건축재료시공학 연구실에서 최근 4년 동안 행한 고강도 콘크리트에 관한 실험의 일부로써 총 실험배치는 136개이고 각항목별 표본수는 71~518개이다.

각 데이터의 분석은 측정 데이터를 아직굳지않은 상태와 경화상태로 분류하고, 아직굳지않은

상태에서는 각종 유동성 측정치간의 관계를 물결합재비, 골재의 종류 및 크기, 결합재의 종류, 단위 결합재량에 따라 분류하여 회귀분석하고, 경화상태에서는 공학적 특성시험치간의 관계 및 각종 비파괴시험치의 관계를 물결합재비, 골재의 종류 및 크기, 결합재의 종류, 재령 등에 따라 분류하여 회귀분석함으로써 각 요인이 두 변수간의 관계에 미치는 영향을 검토하였으며, 본 논문은 아직굳지않은 상태의 연구결과를 정리한 것이다.

분석항목은 아직굳지않은 상태에서 단위결합재량과 공기량의 관계, 단위 시멘트량과 단위 용적량의 관계, 공기량과 단위용적중량의 관계, ASTM플로우와 슬럼프의 관계, 슬럼프와 슬럼프-플로우의 관계 및 슬럼프와 다짐계수의 관계이다.

3. 研究結果 및 考察

3.1 使用材料의 분석

본 실험에서 사용한 재료 및 조합의 수준을 배치(batch)의 빈도수로써 Fig. 1에 나타내었다.

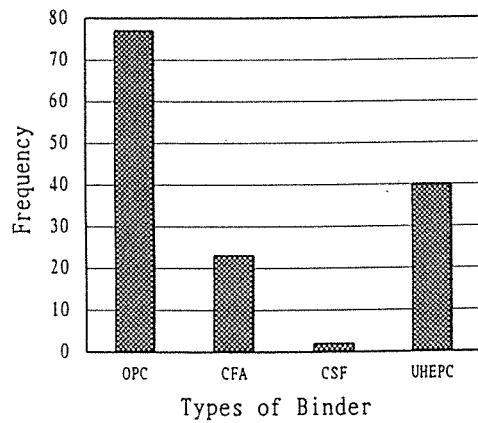
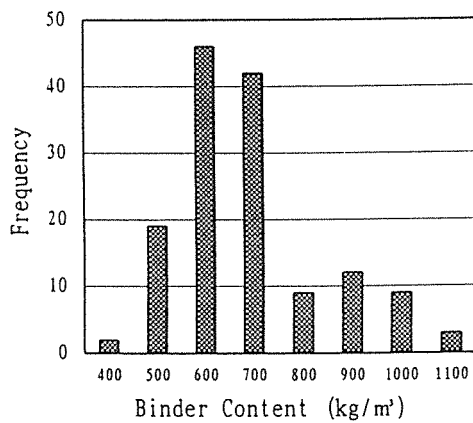
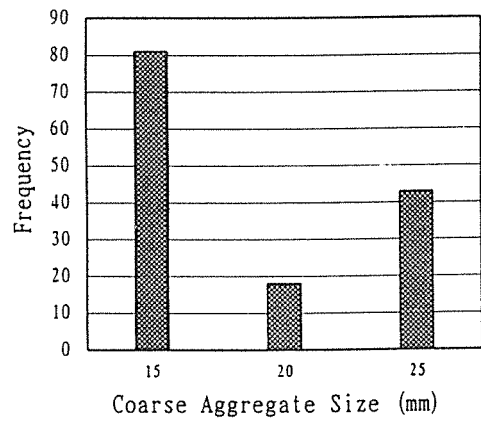
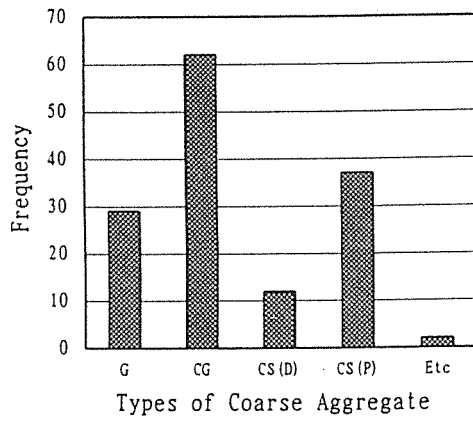
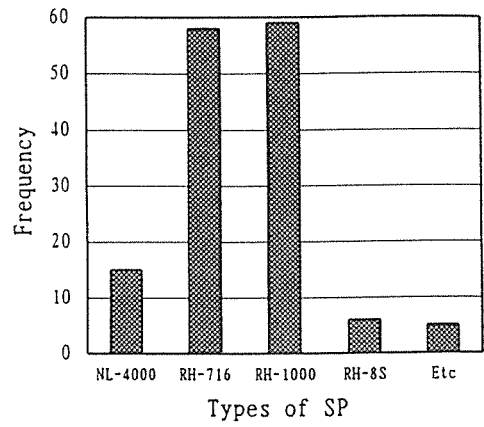
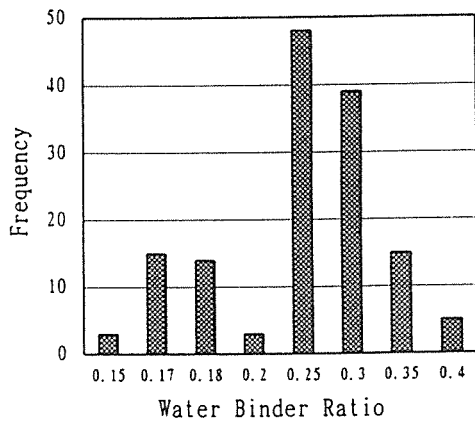


Fig. 1 Variation of frequency of batch according to mix proportion or using materials

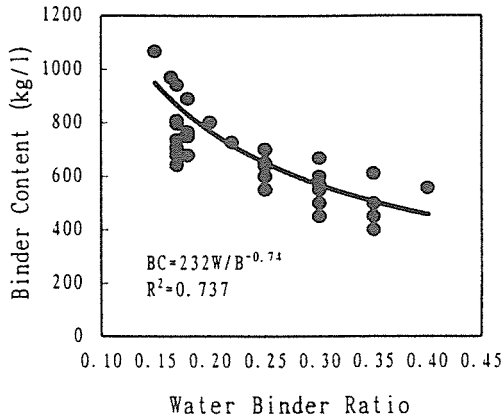


Fig. 2 Relation between water binder ratio and binder content

물결합재비는 0.25와 0.30이 가장 많은 빈도를 보이고 있으며, 고성능감수제는 RH-716과 RH-1000, 조골재는 깎강자갈, 조골재의 크기는 15mm, 단위결합재량은 600~700kgf/m³, 결합재는 보통포틀랜드 시멘트가 가장 많은 사용빈도를 보이고 있다. Fig.2는 본실험에서 채용한 조합의 물결합재비와 단위결합재량의 관계를 나타낸 것으로 물결합재비가 저하할수록 단위결합재량의 증가비율을 높게 하는 조합을 채택하였음을 알 수 있다. 또한 Fig. 3에서 알 수 있는 바와같이 결합재물비가 증가할수록 고성능감수제의 첨가율은 급속히 증가하고 있는데 이는 대상으로 한 콘크리트의 슬럼프가 18~25cm로 일정하기 때문에 나타난 결과로 사료된다.

3.2 아직궁지않은 콘크리트의 컨시스턴시 測定値間의 相關關係 分析 및 檢討

(1) 空氣量

본 실험에서 공기량은 0.8~3.9%의 수준으로 나타났으며, 물결합재비, 골재의 종류 및 골재의 크기에 따른 변화는 없으며, 단위결합재량에 따라서는 Fig. 4에서 알 수 있는 바와 같이 보통콘

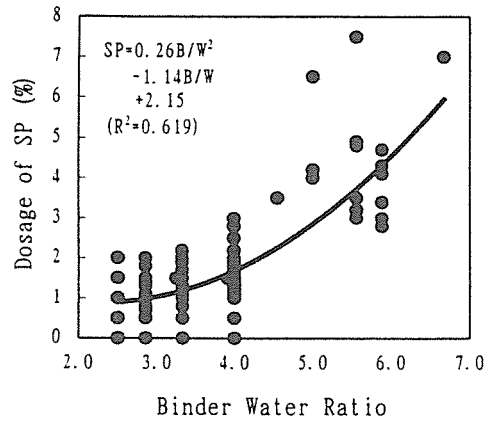


Fig. 3 Relation between binder water ratio and dosage of SP

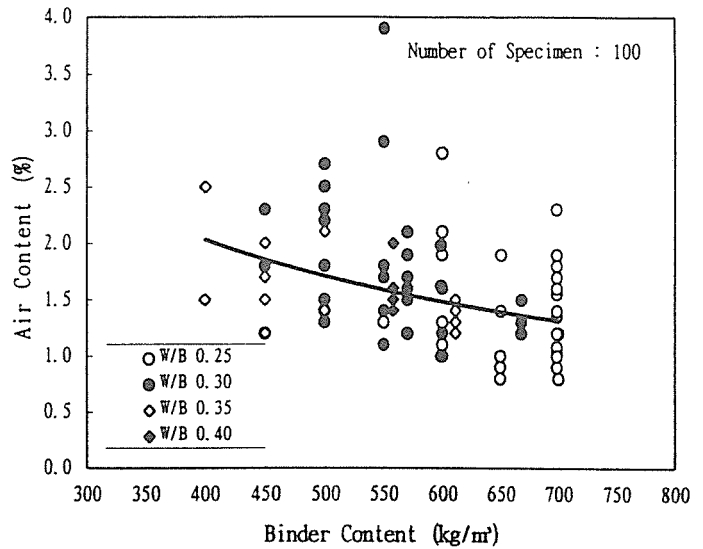


Fig. 4 Relation between binder content and air content

크리트와 동일하게 단위결합재량의 증가에 따라 공기량도 저하하고 있다.

(2) 슬럼프와 ASTM플로우의 關係

슬럼프와 ASTM플로우치의 상관관계 분석은 물결합재비 0.25~0.35, 슬럼프는 0~26cm, ASTM 플로우치 0~160%인 518개의 데이터를 대상으로 하였으며, 두 변수간의 관계를 물결합재비, 조골재의 종류, 조골재의 크기, 단위결합재

량 및 결합재의 종류에 따라 분류하여 분석하였다.

일본의 高山씨는 ASTM플로우와 슬럼프의 관계를 1차직선식으로 추정하고, 고강도콘크리트는 보통콘크리트에 비교하여 동일한 슬럼프에서 낮은 ASTM 플로우를 보인다고 보고하고 있다. 고강도콘크리트를 대상으로 한 본실험에서도 Fig. 5에서 알 수 있는 바와같이 高山의 보통콘크리트에 비하여 동일한 슬럼프에서 매우 작은 ASTM 플로우를 보이고 있다. 그 원인은 고강도콘크리트의 경우, 본체의 양이 많은 것에 따른 점성 증가에 의한 것으로 사료된다. 그러나 ASTM플로우와 슬럼프치의 관계는 高山이 추정한 1차직선식이 아닌 4차식에 회귀되는 것으로 나타나고 있으며, 그 추정식은 다음과 같다.

$$SL=1 \times 10^{-7} FL^4 - 5 \times 10^{-5} FL^3 + 0.0058 FL^2 + 0.0456 FL (R^2=0.888) \dots \dots \dots (1)$$

본 실험의 결과를 高山의 고강도콘크리트의 경

우와 비교하면, 슬럼프 5cm까지는 동일한 경향을 보이지만, 슬럼프 5cm 이상의 경우에는 동일한 슬럼프에서 낮은 플로우를 보이는 것으로 나타나고 그 차이는 슬럼프 20cm 정도에서 동일한 수준을 보이고 있다.

앞에서 논의한 바와같은 ASTM 플로우와 슬럼프의 관계는 고강도콘크리트와 보통콘크리트에서 매우 다른 경향이 나타나게 된다. 일반적으로 콘크리트의 강도는 물결합재비가 다르더라도 동일한 경향을 보이고 있는데 이 원인은 슬럼프와 ASTM플로우의 관계를 추정한 본연구의 데이터가 물결합재비 0.25~0.35의 고강도콘크리트의 범위에 한정되어 있기 때문에 나타난 현상으로 사료된다.

골재의 종류에 따른 영향을 살펴보면, Fig. 7에서 알 수 있는 바와같이 깬자갈을 사용한 경우 다른 골재를 사용한 경우에 비하여 슬럼프 15cm 정도까지 동일한 슬럼프에서 작은 ASTM플로

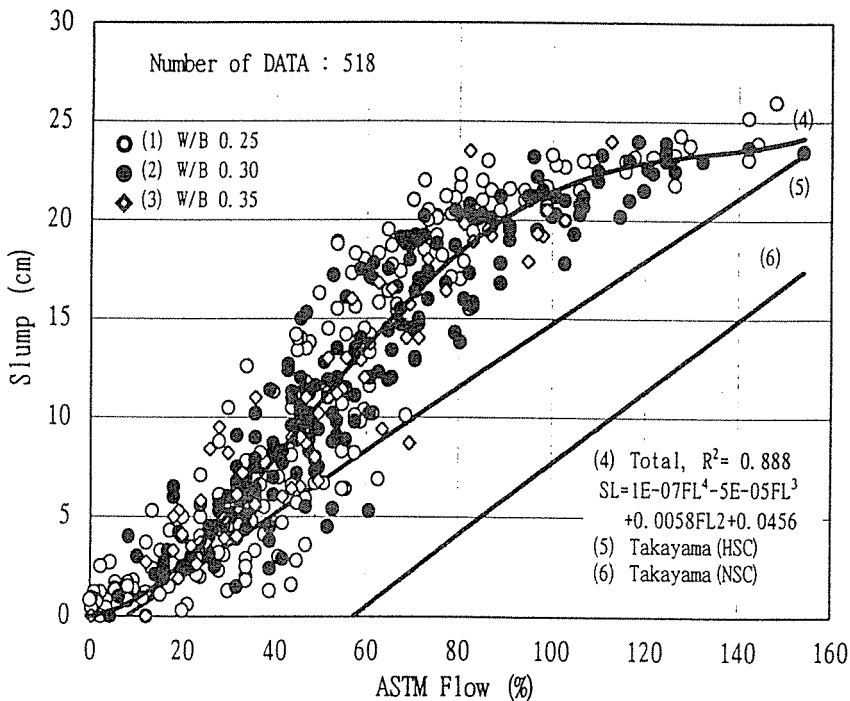


Fig. 5 Relation between slump and ASTM flow

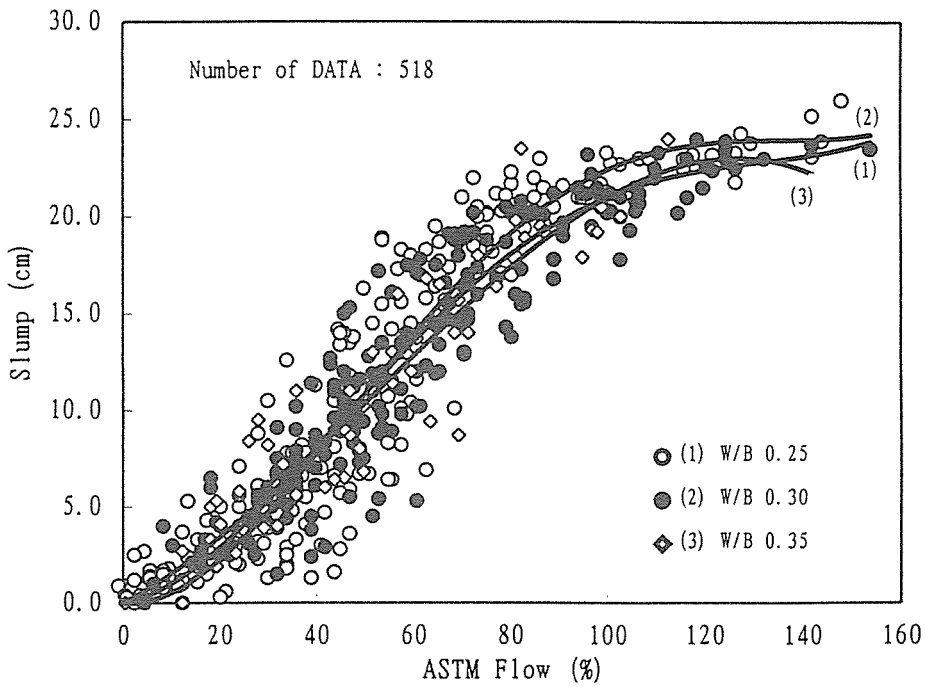


Fig. 6 Relation between slump and ASTM flow according to water binder ratio

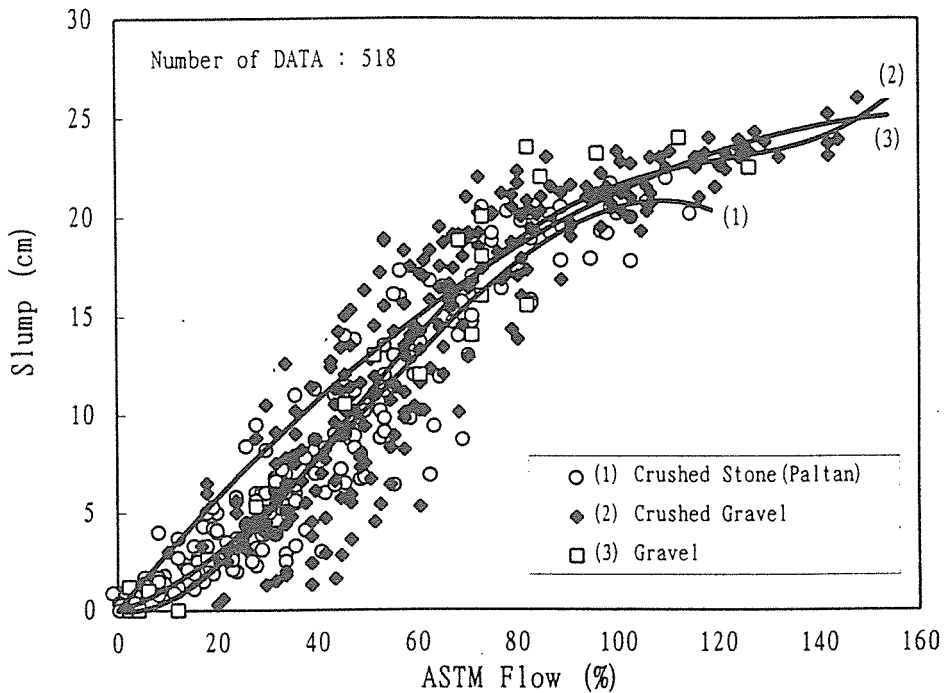


Fig. 7 Relation between slump and ASTM flow according to types of coarse aggregate

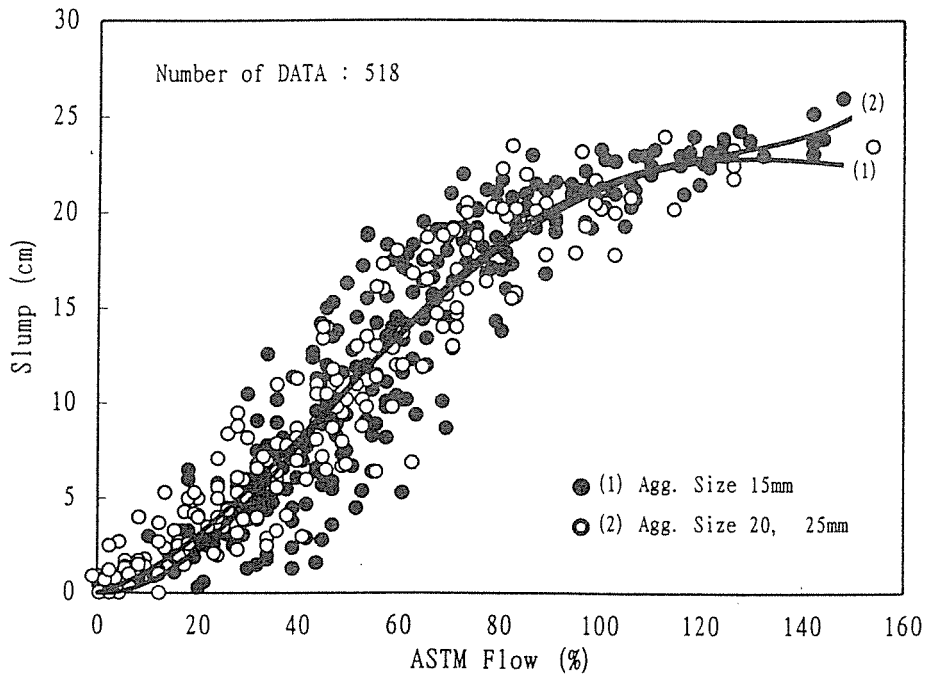


Fig. 8 Relation between slump and ASTM flow according to size of coarse aggregate

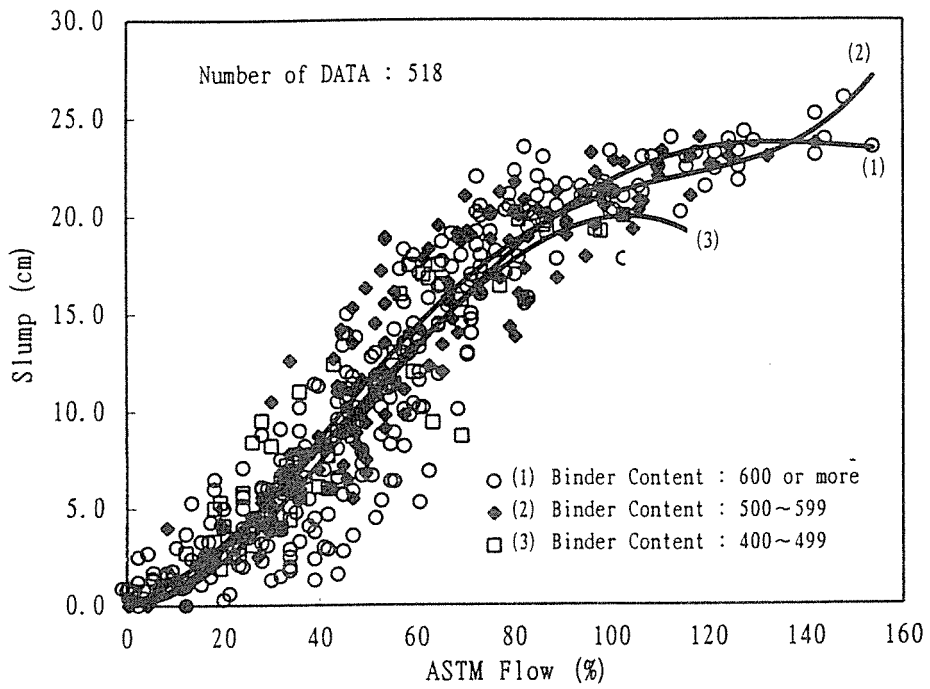


Fig. 9 Relation between slump and ASTM flow according to binder content

우를 보이고 있다. 이러한 원인은 수직적인 변위를 측정하는 슬럼프 시험에서는 골재의 비중이 큰 경우 수직적인 낙하력을 증가시켜 슬럼프치를 증가시키는 반면 플로우 시험은 수평적인 변위를 대상으로 하여 골재의 비중에 따른 영향이 크지 않기 때문에 나타난 현상으로 사료된다.

또한 슬럼프 15cm 이상의 경우에는 골재의 종류에 따른 영향이 나타나지 않고 있는데 이는 슬럼프가 높은 경우에 골재의 비중에 따른 낙하력 보다는 모르타르의 유동성 정도에 따른 슬럼프 및 플로우 값이 변화하여 골재의 영향이 상대적으로 작아지기 때문에 나타난 현상으로 사료된다.

골재의 크기에 따른 영향을 살펴보면, Fig. 8에서 알 수 있는 바와같이 골재의 크기가 변화하여도 ASTM 플로우와 슬럼프의 관계는 변화가 없는 것으로 나타나고 있다. 단위결합재량의 영향을 살펴보면, Fig. 9에서 알 수 있는 바와같이 단위결합재량이 변화하여도 ASTM 플로우와 슬럼프의 관계는 변화가 없는 것으로 나타나고 있다.

(3) 슬럼프와 슬럼프-플로우의 關係

슬럼프와 슬럼프-플로우의 상관관계 분석은 물결합재비 0.20~0.35, 슬럼프는 0~26cm, 슬럼프-플로우 20~54cm 사이에 분포하는 360개의 데이터를 대상으로 하였으며, 두 변수간의 관계를 물결합재비, 조골재의 종류 및 조골재의 크기에 따라 분류하여 분석하였다.

슬럼프와 슬럼프-플로우의 종합적인 관계를 나타낸 Fig.10에서 알 수 있는 바와같이 두변수간의 관계는 아래의 3차식에 회귀되는 것으로 나타났으며, 슬럼프-플로우는 경시에 따른 저하가 매우 급속히 발생하기 때문에 슬럼프-플로우 20~25cm 범위에 많은 데이터가 집중되어 있다.

$$SF=0.0026SL^3-0.024SL^2+0.16SL+20(R=0.881)\dots\dots\dots(2)$$

슬럼프 10cm(슬럼프-플로우 약 25cm) 이하의 경우에는 슬럼프가 변화하여도 슬럼프-플로

우의 변화는 거의 발생하지 않고 있으나, 슬럼프 10~20cm (슬럼프-플로우 약 25~35cm)의 수준에서는 슬럼프의 증가에 따라 슬럼프-플로우도 급속히 증가하고 슬럼프가 20cm (슬럼프-플로우 35cm) 이상의 경우에는 슬럼프변화보다 슬럼프-플로우의 변화가 매우 크게 나타나고 있다.

또한 슬럼프의 증가에 따라 동일한 슬럼프-플로우의 변화가 증가함으로써 슬럼프10cm 정도의 수준에서는 슬럼프-플로우의 최대치와 최소치의 차이는 5cm 미만이지만 슬럼프 20cm의 경우에 슬럼프-플로우의 최대치와 최소치의 차이는 35cm 정도의 수준으로 증가하고 있다.

물결합재비에 따른 경향을 살펴보면, Fig. 11에서 알 수 있는 바와같이 슬럼프 0~12cm 사이에서는 물결합재비가 변화하여도 동일한 수준의 슬럼프-플로우를 보이고 있지만, 슬럼프 12cm 이상부터 물결합재비가 증가할수록 동일한 슬럼프에서 슬럼프-플로우는 큰 경향을 보이고 있고, 그 경향은 슬럼프(또는 슬럼프-플로우)의 증가에 따라서 급속히 증가하고 있다.

또한 물결합재비가 가장 높은 0.35의 경우에 슬럼프는 20cm 정도가 최대치 임에도 불구하고 슬럼프-플로우는 50cm 정도의 상대적으로 매우 높은 값을 보이고 있는데 이는 물결합재비가 큰 것에 기인한 상대적인 점성의 부족에 그 원인이 있는 것으로 사료된다. 부언하면, 물결합재비가 작아질수록(즉, 강도가 증가할수록) 동일한 슬럼프에서 플로우는 작아지는 경향을 보이고 있는데 이는 분체의 증가에 따른 점성의 증가에 주요한 원인이 있는 것으로 사료된다.

조골재 크기에 따른 영향을 살펴보면, Fig. 12에서 알 수 있는 바와같이 슬럼프 8cm 까지는 조골재의 크기 변화에 따른 슬럼프-플로우의 변화는 없지만, 슬럼프 8cm 이상의 경우에는 조골재의 크기가 작은 경우에 동일한 슬럼프에서 작은 슬럼프-플로우를 보이고 있고 그 차이는 슬럼프(또는 슬럼프-플로우)의 증가에 따라 약간씩 증가하고 있다. 이러한 경향은 골재의 크기가 작은 경우 골재중의 세립분의 양이 증가함으로써 콘크

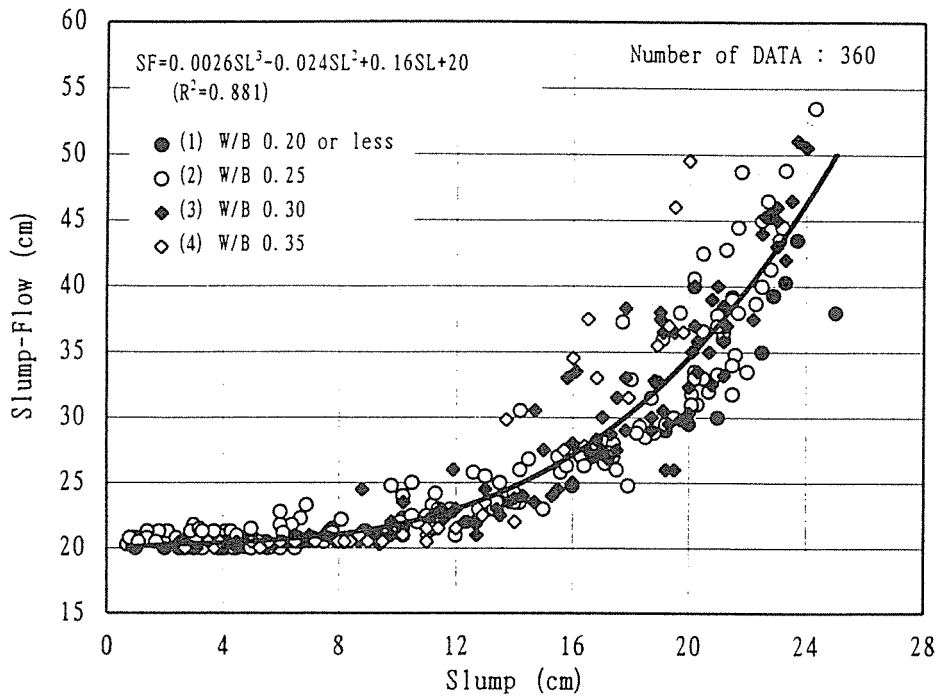


Fig. 10 Relation between slump and slump-flow

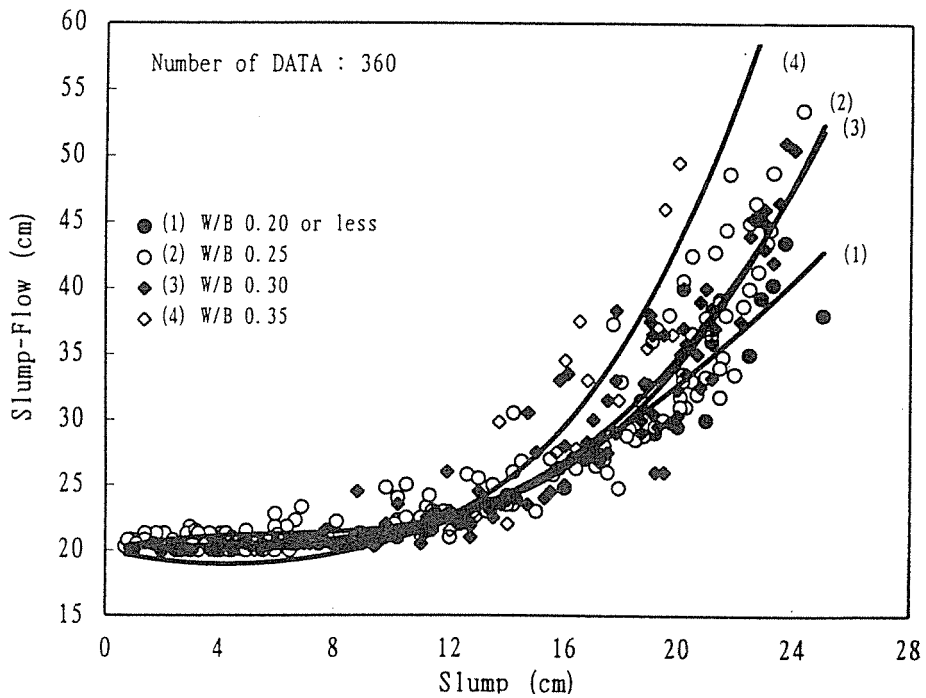


Fig. 11 Relation between slump and slump-flow according to water binder ratio

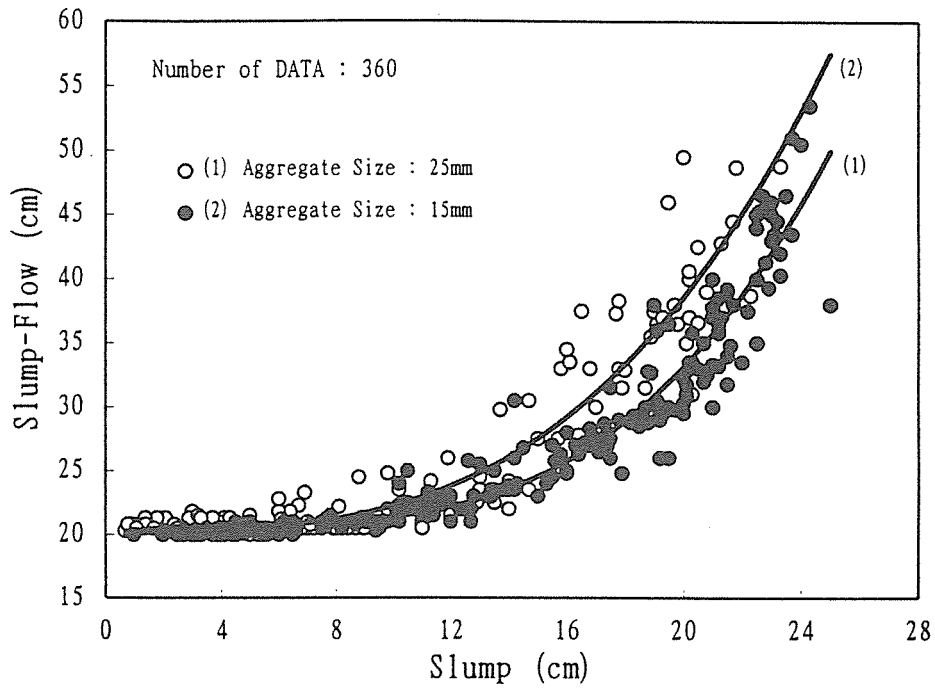


Fig. 12 Relation between slump and slump-flow according to size of coarse aggregate

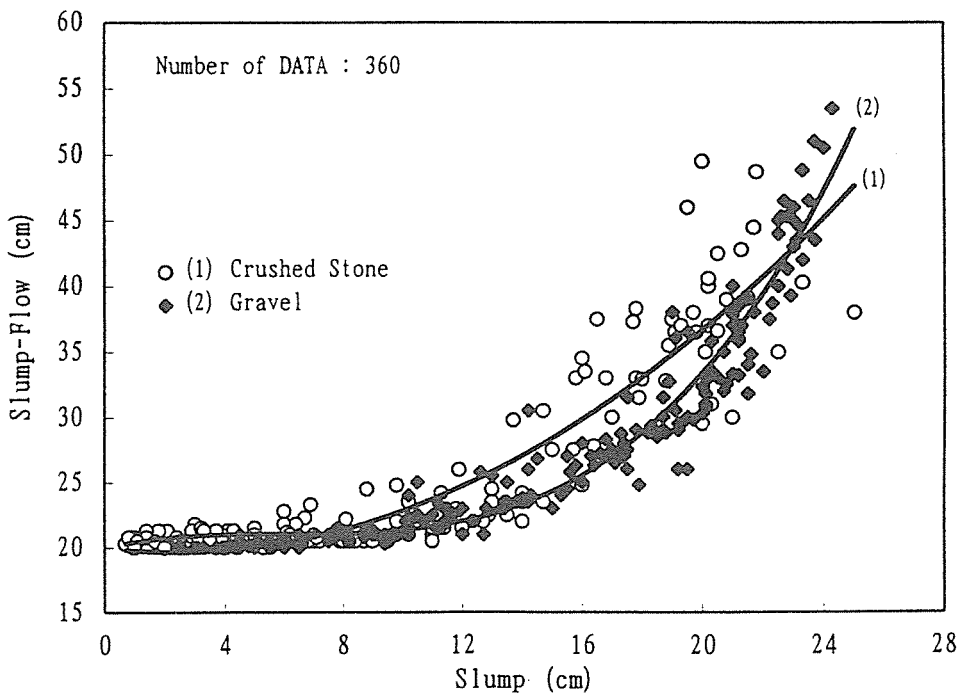


Fig. 13 Relation between slump and slump-flow according to types of coarse aggregate

리트의 점성을 증가시키기 때문에 나타난 현상으로 사료된다.

또한 골재의 종류에 따른 영향을 살펴보면, Fig. 13에 나타난 바와같이 깎자갈을 사용한 경우에 동일한 슬럼프에서 높은 슬럼프-플로우를 보이는 것으로 나타나고 있으며, 강자갈의 경우에는 회귀직선에 대한 집중도가 강한 반면, 깎자갈을 사용한 경우에는 회귀직선에 대한 집중도가 다소 약한 것으로 나타나고 있다.

이상의 결과에서 알 수 있는 바와 같이 슬럼프 20cm 정도까지는 고강도콘크리트에서도 보통콘크리트에서와 동일하게 유동성 및 시공성 평가수단으로써 슬럼프의 적합성이 인정되지만, 슬럼프 20cm 이상의 경우에는 슬럼프만으로 고강도 콘크리트의 시공성을 판별하는 것은 곤란하며, 슬럼프 측정시 슬럼프-플로우를 함께 측정함으로써 슬럼프-플로우를 고강도 콘크리트의 유동성 및 시공성 평가의 수단으로 사용하여야 할 것으로 사료된다.

(4) 슬럼프와 다짐계의 係數의 關係

슬럼프치와 다짐계수의 관계를 살펴보면, Fig. 14에 나타난 바와같이 두 변수의 관계는 3차식에 회귀되는 것으로 나타나고 있으나 상관성은 다소 떨어지고 있다.

또한 동일한 다짐계수에서 슬럼프는 많은 변화를 보이고 있는데 이는 고강도 콘크리트의 경우 점성이 높기 때문에 다짐계수 측정시 측정장치의 내부에 모르타르가 달라붙어 측정시의 오차를 증가시키기 때문에 나타난 현상으로 사료된다.

4. 結 論

고강도 영역 콘크리트의 시공성 및 공학적 특성에 미치는 각종 영향요인에 관하여 회귀분석을 통한 통계학적인 분석을 행한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 압축강도가 증가할수록 동일한 슬럼프에서

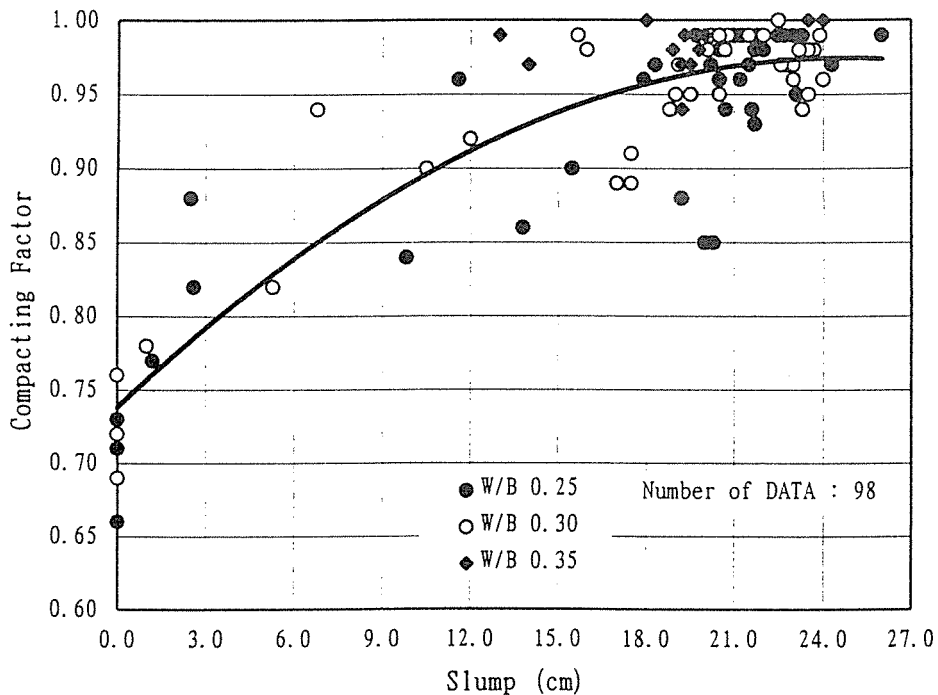


Fig. 14 Relation between slump and compacting factor

플로우는 작아지고 있으며, 슬럼프치와 ASTM 플로우치의 관계는 직선식이 아닌 4차식에 회귀되는 것으로 나타났으며, 두 변수간의 관계에 있어 물결합재비, 조골재의 종류, 조골재의 크기 및 단위결합재량에 따른 유의할 만한 차이는 없는 것으로 나타나고 있다.

2) 슬럼프와 슬럼프-플로우의 관계는 3차식에 회귀되고 있으며, 슬럼프가 20cm 이상의 경우에는 고강도 콘크리트의 시공성 판별을 위한 지표로써 슬럼프외에 슬럼프-플로우를 이용하는 것이

유용할 것으로 사료된다.

3) 슬럼프와 슬럼프-플로우의 관계에 있어 물결합재비가 작아질수록 그리고 조골재의 크기가 작아질수록 또한 깎자갈을 사용한 경우보다는 강자갈을 사용한 경우에 동일한 슬럼프에서 슬럼프-플로우는 작아지는 경향을 보이고 있다.

4) 슬럼프 20cm이상의 경우에는 콘크리트의 워커빌리티 평가지표로써 슬럼프 보다 슬럼프 플로우 및 플로우치가 좀 더 유효한 것으로 나타났다.

