

고유동콘크리트의 유동특성 및 공학적 특성에 미치는 시멘트페이스트용적 및 골재용적과의 관계에 관한 실험적 연구

The Experimental Study on the Influence of Relation between Cement Paste and Aggregate Volume to Effect the High Flowing and Engineering Properties of High Flowing Concrete

김규용* 최희용** 강희관** 김무한***
Kim, Gyu Yong Choi, Hee Yong Kang, Hee Kwan Kim, Moo Han

Abstract

High flowing concrete has been made using a combination of much amount cementitious materials and addition of SP agents, so that it makes possible to high flowing properties of fresh concrete. In the fluid mechanical and rheological point of view, high flowing concrete is affected on the relation between cement paste and aggregate of volume.

In this experimental study, it is measured high flowing concrete of slump-flow about 65 ± 5 cm according to 0.54~0.80 of volume ratio and to analysed the properties of high flowing concrete in fresh and hardened concrete. It is the aim of this study to consider the affection of high flowing properties according to cement paste to aggregate ratio of volume on the combination of concrete

1. 서 론

최근 연구의 관심이 고조되고 있는 고유동콘크리트는 높은 유동성이나 분리저항성이 필요로되기 때문에 보통콘크리트보다 모르타르의 항복치는 작고 소성점도는 크게되어야 한다. 따라서 고유동성 및 소성점도를 크게하기 위하여는 조합설계시 단위시멘트량(단위분체량)을 다량으로 하고 소정의 고성능 감수제를 첨가하든가 혹은 분리저감제를 사용하여야 한다.

그러나 고유동콘크리트는 풍부한 유체매트릭스에 조골재를 포함하여 소정의 점성을 지니고 있는

* 정회원, 충남대 대학원 건축공학과 박사과정
** 충남대 대학원 건축공학과 석사과정
*** 정회원, 충남대 건축공학과 교수, 공학박사

유체(流體)라고 볼 때 콘크리트의 고유동성은 페이스트의 용적 및 골재의 용적비에 의해 직접적인 영향을 받고 있어 그의 수준에 따라 유동성 및 분리저항성의 한계영역을 형성한다. 따라서 본 연구는 페이스트용적에 대한 골재의 용적비에 따른 고유동콘크리트의 각종 유동 특성 및 공학적 특성을 평가·분석함으로서 고유동콘크리트의 조합설계시 페이스트용적에 대한 골재용적의 적정수준을 지표로 설정하고자 하는데 본 연구의 목적이 있다.

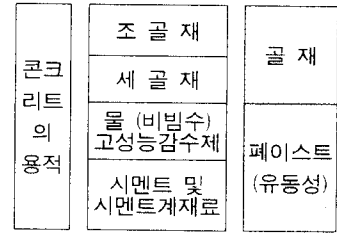


그림 1 콘크리트용적의 구성

2. 실험계획 및 실험방법

2.1 실험계획 및 조합

본 연구의 실험계획 및 조합은 고유동콘크리트의 분체량 및 골재용적에 따른 고유동특성 및 공학적 특성을 평가하기 위한 것으로 물결합재비0.35에서 각 단위결합재량에 따른 조합수준을 표 1과 같이 작성하였으며, 그림 2는 각 조합별 콘크리트 구성재료의 용적분포량을 나타낸 것이다. 즉, 각 조합수준 및 조건에서 단위결합재량 및 플라이애시체용량이 증가됨에 따라 시멘트페이스트량이 증가되는 반면 골재량이 감소하는 것을 보이고 있으며 이러한 각각의 조합수준 및 조건에 따라 제조한 고유동콘크리트의 고유동특성 및 공학적 특성을 각종 측정방법에 의하여 측정·분석하고자 하였다.

표 1 실험 계획 및 콘크리트의 조합

물결합재비	단위결합재량 (kg/m³)	플라이애시체용량 (Pwtl)	페이스트대 골재용적 (P _{vol} /G _{vol})	목표 슬럼프-플로우 (cm)	잔골재용 (M)	단위수량 (kg/m³)	절대용적 (l/m³)								단위중량 (kg/m³)		고유동콘크리트의 유동특성 및 공학적 특성 평가	
							C	FA	S	G	C	FA	S	G	군지않은 콘크리트	경화콘크리트		
0.35	500	15	0.54 0.56 0.59	65	52	175	135	35	335	310	425	75	861	800	· 공기량 · 단위용적중량 · 슬럼프-플로우 · L형 플로우 · V로트 · 경시에 따른 유동특성측정	· 단위용적중량 · 압축강도 · 동탄성계수 · 정탄성계수 · 응력변형곡선 · 초음파속도 · 반발도		
							111	71	329	304	350	150	846	784				
							87	106	323	299	275	225	830	771				
	550	30	0.62 0.66 0.69	5	210	148	39	317	293	467	83	815	756					
						122	78	310	287	385	165	797	741					
						96	116	304	281	302	248	781	725					
	600	45	0.72 0.76 0.80			162	42	300	276	510	90	771	712					
						133	85	292	270	420	180	750	697					
						105	127	285	263	330	270	733	679					

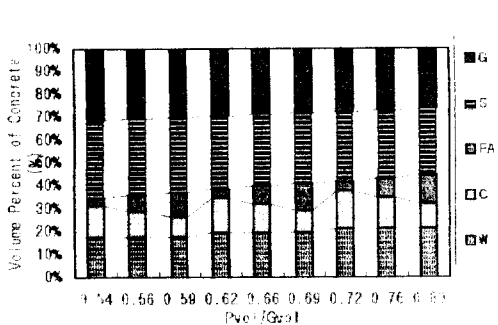


그림 2 각 조합별 콘크리트 구성재료의 용적분포

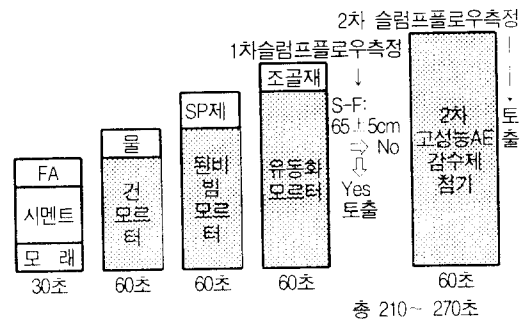


그림 3 콘크리트의 비빔방법

2.2 사용재료 및 콘크리트의 비빔방법

본 연구에 사용된 각종의 재료는 표 2와 같이 시멘트는 보통포틀랜드시멘트, 세골재는 충북 심천산 강모래, 조골재는 대전산 20mm 갠자갈로서 골재의 입도분포곡선 및 물리적 특성은 기준치의 범위에 만족하는 양호한 성상을 보이고 있으며, 혼화재료로서 플라이애시, 혼화제로서 고성능AE감수제는 나프탈렌계의 액상을 사용하였다. 비빔 방법으로는 그림 3과 같이 각 구성재료의 분할투입에 의해 강제식 팬타입 믹서에서 전모르터 → 유동화모르터 → 유동화콘크리트의 제조 단계를 거치는 비빔방법을 채택하여 목표슬럼프플로우 60±5cm의 고유동콘크리트를 제조하여 콘크리트의 균질성을 확보하고자 하였으며, 고유동콘크리트의 경시에 대한 유동성손실의 측정은 가정식 믹서에서 소정의 시간동안 교반을 실시하여 현장조건을 고려하였다.

표 2 사용재료

시멘트	보통포틀랜드시멘트 비중3.15
세골재	충북 심천산, 입경:2.5mm, 비중:2.57 실적율:62.1%, 단위용적중량:1.59kg/l
조골재	대전산 입경:20mm, 비중:2.58 실적율:58.0%, 단위용적중량:1.50kg/l
플라이애시	분말도 3228cm ³ /g, 비중 2.13
혼화제	고성능AE감수제 나프탈렌계 비중:1.20

3. 실험결과 및 검토

3.1 공기량 및 단위용적중량

그림 4는 페이스트용적대 골재용적비에 대한 고유동콘크리트의 공기량 변화를 나타낸 것으로서 전반적인 공기량의 수준은 7.2~8.2%로 페이스트용적이 증가할수록 공기량은 저하하는 경향을 보이고 있으며, 단위용적중량은 반대로 증가하는 경향을 보이고 있다. 단위용적중량은 보통콘크리트의 경우 2.3kg/l 인데 비하여 본 실험에서는 이보다 낮은 2.0~2.3kg/l 이하의 낮은 수준을 보이고 있는데 이는 공기량이 연행된 수준이 다소 높았기 때문으로 사료된다

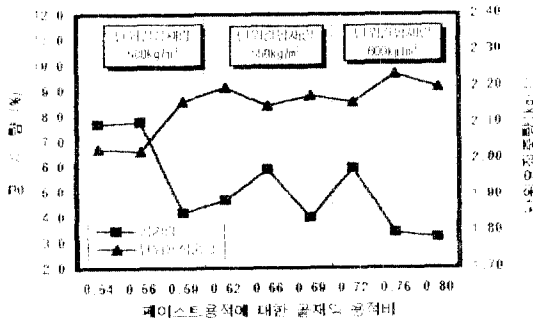


그림 4 페이스트용적대 골재용적비에 대한 공기량 및 단위용적중량의 변화

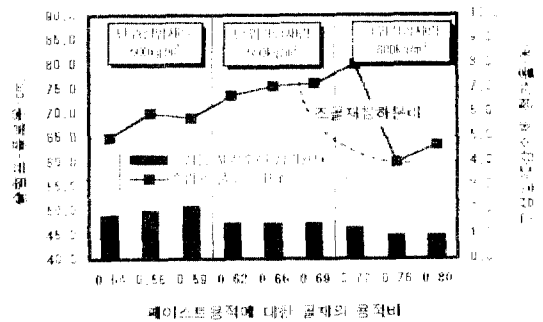


그림 5 페이스트용적대골재용적비에 대한 고성능AE감수제의 첨가율 및 슬럼프플로우치의 변화

3.2 고성능감수제의 첨가율 및 슬럼프-플로우

그림 5에서 보는 바와 같이 고성능AE감수제의 첨가율 및 슬럼프-플로우치의 변화는 페이스트용적대골재용적비가 0.54~0.59인 경우 고성능AE감수제의 첨가율이 2.0%내외로 다소 과다 소요된 경우를 제외하고 1.5%내외로 모든 조합에서 목표슬럼프플로우치인 65±5cm를 상회하는 고유동성을 확보할 수가 있었다. 그러나 페이스트용적대골재용적비가 0.69정도의 이상인 경우부터 페이스트의 용적

내에 조골재의 분포밀집도가 상대적 낮아져 재료의 분리경향이 관측되었고, 특히 페이스트용적대골재용적비가 0.76이상인 경우 슬럼프플로우치가 65cm미만이었음에도 불구하고 조골재의 침하분리의 경향을 보였다.

3.3 슬럼프플로우50cm면적통과속도 및 V로트상대유하속도, L형플로우 각구간별 도달속도

그림 6은 슬럼프플로우50cm면적통과속도의 개념을 도시한 것으로서 다음의 식에 의해서 그의 값을 구한다.

슬럼프플로우50cm면적통과속도(cm^2/sec) = (50cm슬럼프플로우면적-슬럼프콘면적)/50cm통과시간

V로트상대유하속도는 슬럼프플로우치 50~70cm의 영역에서 1 ± 0.5 로 보고되고 있으며 다음의 식에 의한다.

상대유하속도 = $5/Vt$ (Vt 는 V로트 유하시간)

그림 7에서 보는 바와같이 슬럼프플로우50cm면적통과속도

및 V로트상대유하속도의 변화는 각각 50cm면적통과속도가 $250 \sim 510 \text{cm}^2/\text{sec}$, V로트상대유하속도가 0.93~1.60으로 페이스트용적대골재용적비 0.72의 경우 특히 높은 값을 나타내고 있는 경우를 제외하면 그의 변화경향이 거의 동일하게 나타나고 있다. 또한 그림8에서 보는 바와 같이 L형플로우의 25cm, 50cm, 75cm의 각 구간별 도달속도는 그림 7에서 나타난 유동성의 변화와 매우 유사한 경향을 보이고 있어 슬럼프플로우의 평가치와 상관성이 매우 높은 것으로 나타났다.

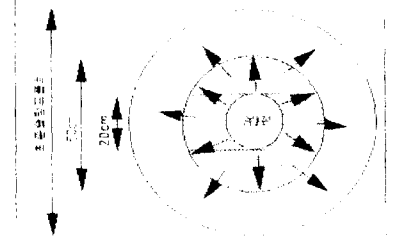


그림 6 슬럼프플로우의 면적통과속도 개념

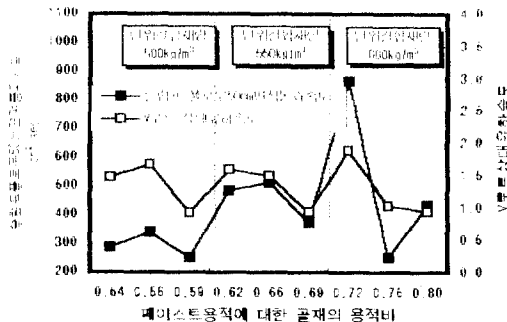


그림 7 슬럼프플로우50cm면적통과속도 및 V로트상대유하속도의 변화

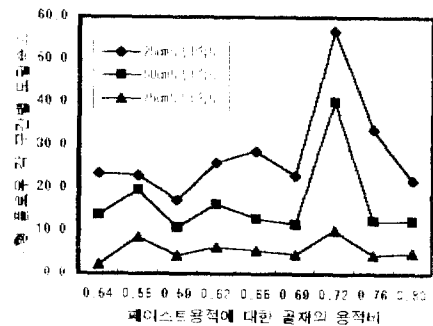


그림 8 L형플로우의 25,50,75cm의 각 구간별 도달속도의 변화

3.4 유동특성치의 경시변화 분석

그림 9는 슬럼프플로우의 경시에 따른 유동성 손실의 변화를 나타낸 것으로 전반적으로 경시에 따른 슬럼프플로우치는 페이스트용적대골재용적비에 대하여 일정한 경향을 보이고 있지는 않지만 경시 30~60분 사이에 유동성의 저하가 급격하게 나타나고 있으며, 특히 페이스트용적대골재용적비 0.72 이상인 경우 경시초기에는 조골재의 밀집분산도가 희박해서 재료의 분리경향을 관측할 수 있었으나 가경식 믹서에서 일정하게 교반을 실시하여 경시에 따른 고유동콘크리트의 유동성이 점점 저하됨으로서 재료분리의 경향은 관측되지 않았다. 그러나 그림 10에서 보는 바와 같이 V로트 유하시간의 경시 변화는 페이스트용적대골재용적비 0.72이상인 경우 경시에 따른 슬럼프플로우의 측정값은 급격히 저

하하고 있지만 V로트 유하시간은 경시 90분까지 20초 이내로 측정되었는데 이는 단위분체량이 증가하면서 조골재의 량이 감소하여 골재간의 분산거리가 커 조골재의 상호마찰작용 및 맞물림작용이 감소되었기 때문으로 사료된다.

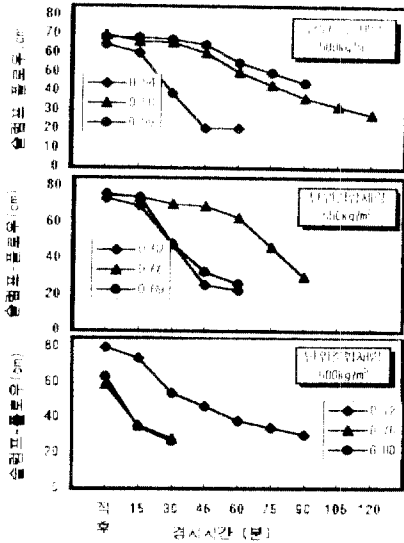


그림 9 슬럼프플로우의 경시변화

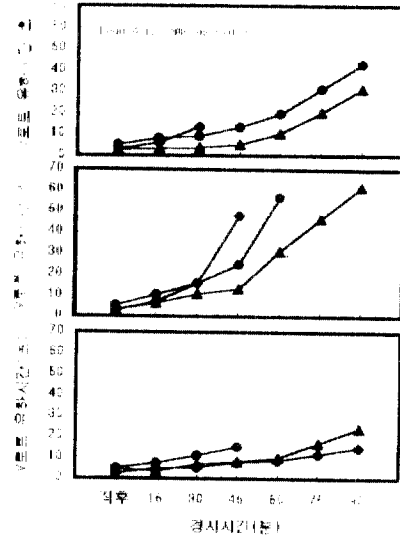


그림 10 V로트유하시간의 경시변화

3.5 슬럼프플로우 및 V로트유하시간의 상관관계

그림 11의 슬럼프플로우 및 V로트유하시간과의 상관관계에서 보는 바와같이 슬럼프플로우 50~70cm 및 V로트유하시간 ± 10 초의 고유동영역을 기준으로하여 전반적인 측정값의 분포는 슬럼프플로우 70cm, V로트유하시간 5초의 영역에 집중분포되어 있는 것으로 나타났다. 또한 고유동영역을 벗어난 영역 I의 경우는 슬럼프플로우 25~50cm로 콘크리트의 유동성은 저하하고 있지만 V로트유하시간은 빠르게 나타났는데 이는 페이스트용적대골재용적비가 0.72이상인 경우가 주로 분포되어 있어 조골재의 밀집분산도가 적어 조골재간의 분산거리가 크므로서 조골재의 상호마찰작용 및 맞물림현상이 감소되었기 때문으로 사료된다. 또한 영역 II의 경우 페이스트용적대골재용적비에 따른 변화의 양상보다는 단위결합재량 및 의 요인에 따른 것

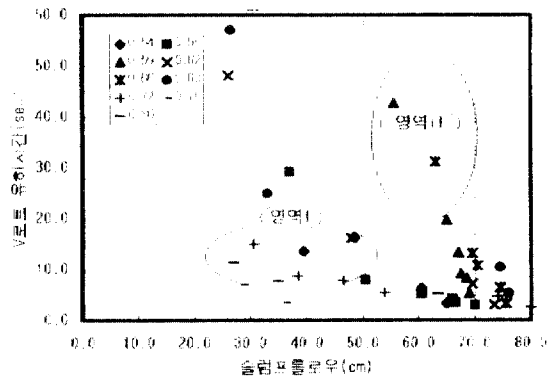


그림 11 슬럼프플로우 및 V로트유하시간의 상관관계

3.6 압축강도의 발현 및 정탄성계수의 변화

그림 12의 압축강도의 변화에서 보는 바와 같이 물결합재비 0.35의 동일한 수준에서 압축강도 발현의 변화는 페이스트용적대골재용적비에 따른 변화의 양상보다는 단위결합재량 및 의 요인에 따른 것

으로 사료된다. 즉, 각 단위결합재량의 수준별 플라이애시대체율의 증가에 따른 압축강도의 발현수준을 살펴보면 단위결합재량이 증가되면서 압축강도의 발현이 증가되고 있으며 단위결합재량 600kg/m³, 플라이애시대체율15%를 제외하고 전반적으로 각 단위결합재에서 플라이애시를 대체하면서 압축강도의 발현은 저하하고 있는 것으로 나타났다. 또한 4주 압축강도에 대한 1.8주 압축강도의 발현비율을 나타낸 그림 13에서 보는 바와같이 1주 압축강도는 4주압축강도의 약 60%내외로 초기의 강도가 낮게 발현되었으며 플라이애시대체율이 증가되면서 초기의 압축강도발현은 낮게 발현되었다. 또한 8주의 압축강도증진율에서도 각 단위결합재량별로 플라이애시대체율이 증가되면서 압축강도의 발현율이 증가하고 있어 이는 4주 이후의 장기재령에서 플라이애시에 의한 포졸란반응 때문인 것으로 판단된다.

그림 14는 각 단위결합재량별 플라이애시의 대체율에 대한 정탄성계수치를 나타낸 것으로 각 단위결합재량별 플라이애시의 대체율이 증가됨에 따라 정탄성계수는 감소되고 있으며, 그림 15는 각 조합 조건별 응력-변형도곡선을 나타낸 것이다.

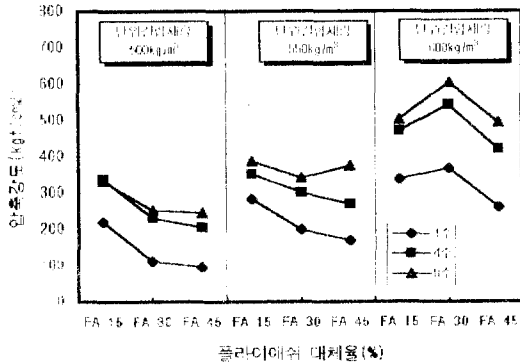


그림 12 각 단위결합재량 별 압축강도발현의 변화

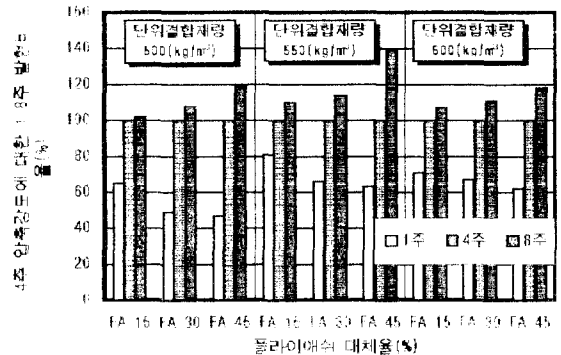


그림 13 4주 압축강도에 대한 1.8주의 압축강도 발현도

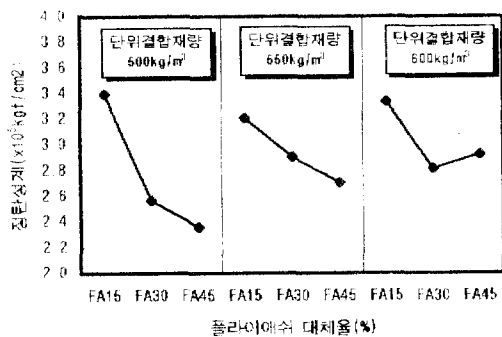


그림 14 각 단위결합재량 별 플라이애시의 대체율에 따른 정탄성계수의 변화

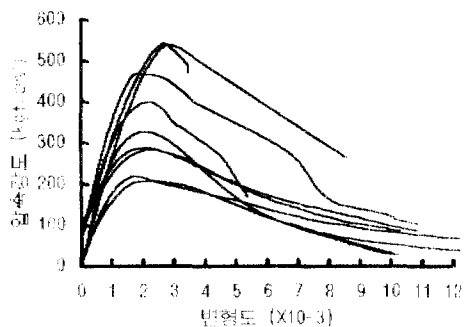


그림 15 각 단위결합재량 별 플라이애시의 대체율에 따른 응력변형도곡선

3.7 각종 비파괴시험의 결과

그림 16은 각종 비파괴시험결과를 나타낸 것으로서 단위결합재량 및 플라이애시의 요인에 대하여 압축강도의 발현 및 증진에 대한 경향과 동일하게 단위결합재량이 증가됨에 따라 각종 비파괴시험치는 증가하는 경향을 보이고 있으며, 각 단위결합재량에 대한 플라이애시의 증진에 대해서는 감소하고 있는 것을 나타내고 있다.

4. 결 론

단위결합재량 및 플라이애시 대체율의 수준에 의한 고유동콘크리트의 페이스트용적대골재용적비에 대하여 각종 유동특성 및 공학적 특성을 평가·분석한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 고유동콘크리트의 제조시 고성능AE감수제의 과다사용에 따른 공기량 제어가 불량해질 가능성이 있어 고성능AE감수제중의 AE제에 대한 품질관리가 엄격하게 선행되어야 할 것으로 사료된다.
2. 페이스트용적대골재용적비가 0.72정도 이상인 경우 페이스트의 용적내에 조골재의 분포밀집도가 상대적 낮아져 조골재의 침하분리가 관측되어 페이스트용적에 대한 조골재의 적정한 용적비율에 의해 고유동콘크리트의 조합설계가 이루어져야 할 것이다.
3. 경화콘크리트의 변화에서 페이스트용적에 대한 골재용적의 수준에 대한 변화보다는 단위시멘트량수준 및 혼화재료로서 플라이애시 대체율의 요인에 대한 영향이 크게 나타나 고유동콘크리트의 조합설계시 이에 대한 고려가 필요한 것으로 사료된다.

감사의 글

본 연구는 학·연·산공동연구의 일환으로 수행된 것이며, 본 연구에 아낌없이 지원하여주신 계룡건설산업(주)의 이인구 회장님께 진심으로 감사드립니다.

● 참고문헌 ●

- 1) 超流動콘크리트に関するシンポジウム 論文報告集, 日本コンクリート工學協會, 超流動콘크리트研究委員會, 1993
- 2) 竹内博幸 外, 高流動콘크리트의配合設計および製造に関する研究, 콘크리트工學年次論文報告集, 1996年, pp.39~44

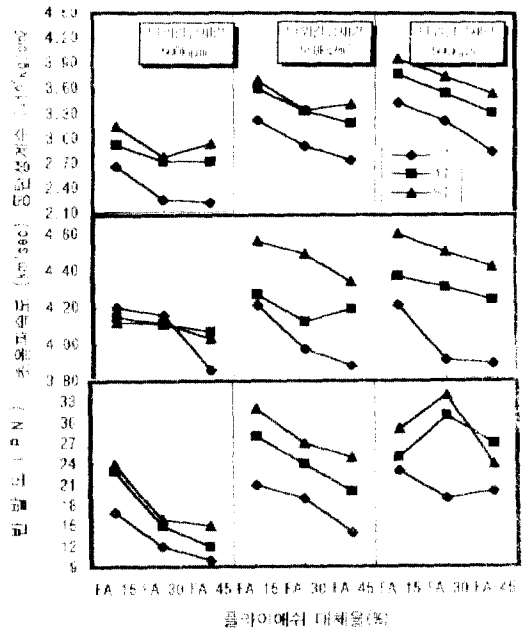


그림 16 단위결합재량 별 플라이애시의 대체율에 따른 각종 비파괴치의 변화