

제1차년도
중간보고서

콘크리트용 혼화재료로서 왕겨활용에 관한 연구

(Studies on Utilizing Rice Husk as an Admixture of Concrete)

연구기관

농어촌진흥공사 농어촌연구원

농 립 수 산 부



제 출 문

농림수산부 장관 귀하

본 보고서를 “콘크리트용 혼화재료로서 왕겨 활용에 관한 연구” 과제의 제 1차년도 보고서로 제출합니다.

1995. 11. .

주관연구기관명 : 농어촌진흥공사 농어촌연구원

총괄연구책임자 : 2급 윤 상대

연 구 원 : 3급 박 광수

“ : 4급 배 수호

협동연구기관명 : 전북대학교 농업개발연구소

협동연구책임자 : 교수 박 승제

목 차

제 출 문	1
1. 과제명	2
2. 기술개발추진사유	2
3. 연구개발사업목표	3
4. 계획대비 진도표	3
5. 주요 연구개발 사업내용 및 중간결과	6
가. 지역별, 품종별 왕겨생산처리실태와 문제점	6
나. 왕겨 및 왕겨재의 물리화학적 특성	8
1) 왕겨의 물리화학적 특성	8
2) 왕겨재의 화학적 조성	9
3) 왕겨재의 물리적 특성	10
다. 왕겨재 혼입 콘크리트의 강도특성 및 시공성	13
1) 실험조건 및 실험방법	13
2) 왕겨재 혼입 콘크리트의 강도특성	14
3) 왕겨재 혼입 콘크리트의 시공성	20
라. 혼화재 사용 콘크리트의 강도특성 및 시공성	22
1) 혼화재 사용 콘크리트의 재령별 강도특성	22
2) 혼화재 사용 콘크리트의 시공성	23
마. 효율적인 왕겨소각시스템 및 이산화탄소 이용시스템	24
1) 실험용 연소기 설계 및 제작	24
2) 왕겨 품종별 연소특성	25
3) 실험용 왕겨소각시스템의 연소특성	26
4) 실험용 왕겨소각시스템의 배연가스 특성	30
5) 실험용 왕겨소각시스템 배연가스의 시설농업적 이용 가능성	30
6) 연소기 및 이산화탄소의 효율적인 이용시스템 모델	35
6. 기대되는 성과	36
가. 기술적 측면	36
나. 경제적 측면	37
다. 파급효과	37
7. 문제점 및 건의사항	37
8. 기타사항	39
참고문헌	40

농수산 기술 개발사업 중간보고서

1. 과제명: 콘크리트용 혼화재료로서 왕겨활용에 관한 연구

2. 기술개발 추진사유

국내의 왕겨는 연간 약 100만톤 정도 생산되나 왕겨의 내외피는 규소(Si)로 치밀하게 피복되어 있으므로 부식되기 어려워 퇴비로 이용가치가 적으며, 왕겨속에는 규소를 위시한 무기물 함량이 13~39%, 섬유질 34~44%, 리그닌 성분 34~44% 및 수분 8~15%에 달하며 또한 분쇄되기 어려운 특성을 지니고 있으므로 축산사료로서 이용가치가 적다. 또한 동절기에 집중생산되는 계절적인 집중현상을 보임은 물론 미곡종합처리장을 중심으로 한정된 장소에서 대량생산되는 등 지역적인 집중현상을 보이며, 나아가 물벼건조에 소요되는 에너지를 수입경유에 의존함으로써 미곡종합처리장의 경영성 악화와 건조비 생산비 증가의 한 요인을 제공하며고 있다. 그외에도 비중이 작아 대량운반이 곤란하여 지역적인 이동이 어려우므로 일부 지역에서 돈사 바닥갈짚 또는 방습제와 상토 보온재 및 돈분과 혼합한 퇴비로서 검증되지 않은채 사용되는 것을 제외하면 대부분의 왕겨는 전량이 폐기되고 있으므로 농업 부산물의 낭비는 물론이고 농어촌의 생활환경과 토양환경을 열악하게 하고 있다.

한편 유리온실등의 첨단시설농업은 2004년까지 약 1500ha까지 보급될 계획이나, 동절기에 인위적으로 공급하는 열원을 수입경유에 의존하여 국가의 경쟁력을 떨어뜨리며(10a 기준 평균 10,000 l의 수입경유 사용) 하우스내 생산성과 신선도를 높이기 위해 이산화탄소를 구입 시비하는 등 동절기 난방비와 이산화탄소의 구입비가 시설농업의 생산비에서 차지하는 비중은 약 20~37%에 달하여 시설농업의 경쟁력을 떨어뜨리고 한 요인이 되고 있다.

한편, 최근의 지구환경 악화에 대응 저공해 및 에너지 저소비를 위한 자원 재분배 요구가 증대함에 따라 콘크리트 분야에서도 이에 부응하여 에너지 과소비 산물인 시멘트의 사용량을 축소하려는 노력의 일환으로 콘크리트 구조물의 내구성 증대를 꾀하고 있으며 콘크리트의 노출환경이 점차 악화되고 있음을 감안 내화학성을 갖는 경제적인 콘크리트의 개발에 관심이 증대하며 광범위한 쇄석골재 사용에 따라 나타나기 시작한 알칼리-골재반응의 억제수단의 개발이 콘크리트 분야의 현안사항이 되고 있다. 또한 최근들어 고내구성, 고품질 콘크리트를 위한 혼화재료로서 상업용 실리카흄이 각광을 받고있으나 단가가 비싸고 수입에 의존하여 사용상의 제한이 있다.

따라서 폐기되는 왕겨로부터 얻을 수 있는 열량과 이산화탄소를 활용

하고 부산물로 나타나는 왕겨재는 콘크리트용 혼화재료로 개발함으로써 왕겨 처리상의 문제점을 해결하는 기술 즉 농업부산물을 고부가치화 하는 기술을 WTO 시대를 대비하여 시급히 개발할 필요가 있다.

3. 연구개발 사업 목표

가. 최종연구개발사업목표

- 왕겨를 콘크리트용 혼화재료로 개발
- 왕겨를 열원, 이산화탄소 및 배지의 공급원으로서 경제적인 활용방안 수립

나. 당해년도 연구개발사업목표

- 왕겨재를 콘크리트용 혼화재료로서 사용성 규명
 - 왕겨재 사용 콘크리트의 시공성, 강도특성 규명
 - 혼화재 사용 콘크리트의 시공성, 강도특성 규명
 - 왕겨재와 혼화재 사용 콘크리트의 시공성, 강도특성 비교분석
- 효율적인 왕겨소각시스템의 모델 정립
- 효율적인 이산화탄소 공급시스템의 모델 정립

4. 계획대비 진도표

구분 연구개발내용	연구 개발 기간												진도 (%)
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
관련자료수집 및 연구계획 수립(1)													100
산지별, 품종별 왕겨 및 왕겨재 수집 (2)													100
산지별, 품종별 왕겨 소각실험 및 실측자료 분석(3)													100
왕겨재 성분별 함량분석 및 계량화(4)													100
효율적인 왕겨소각시스템 모델 정립 및 소각효율 분석(5)													100
이산화탄소의 효율적인 공급시스템 모델정립 및 공급효율분석(6)													100
왕겨재 콘크리트의 시공성 및 강도특성 실험분석(7)													100
혼화재 사용 콘크리트의 시공성 및 강도특성 실험분석(8)													100
왕겨재와 혼화재사용 콘크리트의 시공성 및 강도특성 비교분석(9)													100
총 진 도 율	4	8	12	17	25	34	44	58	75	90	98	100	100

※ 당초계획 —————, 진 도 —————

<진도설명>

(1) 관련자료수집 및 연구계획 수립

- 미곡종합처리장의 국내 현황조사,벼품종별 재배현황 조사,왕겨 이용현황 조사
- 왕겨재 이용 콘크리트의 개발과 관련된 국내외(영국,미국,일본,스페인,인도, 태국, 가이아나, 시에라레온, 말라위 등) 자료 수집
- 왕겨재 활용과 관련된 국내외 자료수집
- 왕겨 소각시스템과 관련된 자료 수집
- 시설농업과 관련된 국내외 자료 수집
- 정기적인 연구진 업무협의를 통해 연구방향 및 진도 토의,점검(6회)

(2)산지별,품종별 왕겨 및 왕겨재 수집

- 동진벼(전북 김제산) : 15 톤, ○ 동진벼(경남 군북산) : 0.3톤
- 계화벼(전북 계화산) : 2 톤, ○ 오대벼(전북 운봉산) : 0.3톤
- 화성벼(경남 군북산) : 0.3 톤, ○ 추청벼(경기 안산산) : 0.3톤

(3)산지별,품종별 왕겨 소각실험 및 실측자료 분석

- 연구용 왕겨소각로 구상,제작,설치(설치장소 : 전북대 농업개발연구소)
- 소각실험조건별 왕겨소각 실험 및 소각로내 열적특성(발열량,연소효율,열효율) 실측, 분석

-소각실험조건

- 지역별(평야부 동진벼, 산간부 동진벼)
- 품종별(5품종)
- 소각로내 시간당 왕겨공급속도(10~22 kg/hr)
- 소각로내의 소각온도 조건(고온 : 700~720℃, 저온 : 600~620℃)

(4)왕겨재 성분별 함량분석 및 계량화

- 품종별 왕겨재 성분함량을 시험분석 및 계량화
- 효율적인 왕겨소각시스템 모델정립 및 소각효율 분석
- 열효율과 연소효율 극대화를 위한 소각시스템 모델 정립
- 정립된 소각시스템모델의 소각효율,열효율 분석

(6)이산화탄소의 효율적인 공급시스템 모델정립 및 공급효율분석

- 마이크로 엘지 조직배양기 설계 및 제작
- 소각로 발생 배연가스의 작물에 이용 가능성 실험
- 정립된 소각시스템모델로부터 발생 예측되는 이산화탄소량·농도분석

(7)왕겨재 콘크리트의 시공성 및 강도특성 시험분석

- 분쇄조건별 왕겨재의 분쇄
 - 분쇄 조건
 - 품종 조건 : 5 품종

- 소각온도조건 : 고온소각,저온소각
- 분쇄시간조건 : 15, 30, 45, 60분
- 분쇄조건별 왕겨재의 물리화학적 시험분석
 - 비중 , · SEM사진 분석(EDS 분석 포함)
 - 입경분포 시험분석(입도시험방법,레이저 분석법)
 - 비표면적 시험분석(BET 시험)
- 분쇄조건별 왕겨재를 혼입한 모르터 공시체 강도특성,시공성 시험분석
 - 혼합수량 조정시 왕겨재 혼입율별 모르터 공시체의 재령별 강도특성 및 시공성 실험분석
 - 혼입율 : 0, 5, 10, 15, 20, 25, 30%
 - 재령 : 3, 7, 28일
 - 혼화제(고성능 감수제) 투입시 왕겨재 혼입 모르터 공시체의 재령별 강도특성 및 시공성 실험 분석(재령 : 3, 7, 28일)
 - 왕겨재 품종이 모르터의 강도특성에 미치는 영향 분석
 - 왕겨재 혼입율이 모르터의 강도특성에 미치는 영향 분석
 - 왕겨재 소각온도가 모르터의 강도특성에 미치는 영향 분석
 - 왕겨재 산지가 모르터의 강도특성에 미치는 영향 분석
 - 왕겨재 혼입 모르터의 시공성 분석
 - 왕겨재의 최적 혼입율 및 분쇄조건 분석
- 왕겨재 혼입 콘크리트의 배합설계,강도특성 및 시공성 실험분석
 - 왕겨재 혼입 콘크리트의 배합설계실험 및 재령별 공시체 제작
 - 왕겨재 혼입 콘크리트의 재령별 강도특성 실험분석
 - 왕겨재 혼입 콘크리트의 시공성 실험분석

(8)혼화재 사용 콘크리트의 시공성 및 강도특성 실험분석

- 혼화재 혼입 모르터 공시체의 재령별 강도특성 및 시공성 실험분석
(재령 : 3, 7, 28일)
 - 혼화재료별 혼입율이 콘크리트의 강도특성과 시공성에 미치는 영향 분석
 - 혼화재료별 시험조건

구분	플라이애쉬	고로슬래그	실리카흄
혼입율	5~30%	10~60%	5~30%

- 혼화재료별 적정 혼입비율 도출
- 적정비율의 혼화재료를 혼입한 콘크리트의 배합설계,강도특성 및 시공성 실험분석
 - 적정비율 혼화재료 혼입 콘크리트의 배합설계시험 및 공시체 제작

- 적정비율 혼화재료 혼입 콘크리트의 재령별 강도특성 실험분석
 - 적정비율 혼화재료 혼입 콘크리트의 시공성 실험분석
- (9) 왕겨재와 혼화재 사용 콘크리트의 시공성 및 강도특성 비교분석

5. 주요 연구개발 사업내용 및 중간결과

가. 지역별, 품종별 왕겨 생산, 처리실태와 문제점

○ '94현재 우리나라의 왕겨 총생산량은 (표-1)에서 보는 바와 같이 연간 약 100만톤으로 추정되며, 주요 품종으로는 (표-2)에 나타나 있는 바와 같이 동진벼와 추청벼 왕겨가 전체생산량의 약 43%인 41만톤에 달하는 것으로 추정된다.

(표-1) 지역별 왕겨생산 총량('94현재)

(단위 : 천톤)

구분	서울	부산	대구	인천	광주	대전	경기	강원	충북	충남	전북	전남	경북	경남	제주	계
미곡	3	20	8	17	45	16	699	215	288	803	822	886	687	550	1	5,060
왕겨	0.6	4.0	1.0	3.4	9.0	3.2	139.8	43.0	57.6	160.6	164.4	177.2	137.4	110.0	0.2	1,012

※ 자료 : 농림수산주요통계, 1995, 농림수산부

※ 왕겨생산량은 미곡생산량의 20%로 추정

(표-2) 주요 품종별 왕겨 생산량('94현재)

구분	추청벼	봉광벼	동진벼	신선찰벼	섬진벼	오대벼	화성벼	일품벼	계화벼
전국대비 식부면적비	13.8 %	2.0 %	29.2 %	4.1 %	2.5 %	4.9 %	4.7 %	7.1 %	2.7 %
전국 생산량(천톤)	131	19	277	39	24	47	45	67	26
주요 재배지	경기	경기	전남북	충남	경북	강원	경남북	충남북	전남북
(전국대비 점유율)	(49%)	(93%)	(58%)	(25%)	(58%)	(51%)	(57%)	(50%)	(78%)

※ 전국대비 식부면적비 자료 : 농림수산부 자료통계관실

※ 전국대비 식부면적비 2%이상 점유율을 가진 품종만 정리

○ 지역별 주요 왕겨품종을 살펴보면 서울, 경기 지역에서는 추청벼 왕겨를, 강원도에서는 오대벼 왕겨를, 충북지역에서는 추청, 일품벼 왕겨를 생산하며, 충남지역은 동진, 추청, 일품벼 왕겨를, 전남북지역에서는 동진벼 왕겨를, 경북지역에서는 동진, 화성, 섬진, 추청, 일품벼 왕겨를 거의 비슷한 비율로 생산하며, 경남지역에서는 동진벼 왕겨를 주로 생산하고 있다.(표-3)

○ 한편 국내의 미곡종합처리장은 원료곡 확보가 어려워 조곡을 연간 약 5,000~7,000톤 가공하고 있으므로 왕겨는 연간 약 1,200톤 생산하는 것으로 추정되며, '94년도 말 현재까지 보급된 전국 148개의 미곡종합처리장에서 생산되는 왕겨는 전체 왕겨생산량의 18%인 연간 약 18만톤으로 추정된다. 이중 대부분의 왕겨가 동절기에 집중적으로 발생되는데 반해 미곡종합처리장의 왕겨저장공간이 협소하며, 왕겨의 부가가치가 적어 특히 동절기에 생산되는 왕겨의 대부분은 무허가 처리업자에 의해 처리되고 있는

실정이다.

(표-3) 지역내 주요 품종별 식부면적비율 ('94현재)

지 역	식부면적계 (ha)	지 역 내 품 종 별 점 유 율 (%)								
		추청벼	봉광벼	동진벼	신선찰벼	섬진벼	오대벼	화성벼	일품벼	계화벼
서울	761	70.0	-	2.5	4.1	2.6	4.9	4.7	7.1	2.7
부산	4,543	-	-	34.0	-	-	-	2.0	-	-
대구	1,765	6.0	-	42.0	2.0	14.0	-	2.0	2.0	-
인천	3,864	68.0	2.0	-	-	-	-	-	-	-
광주	9,868	-	-	66.0	-	2.0	-	2.0	4.0	10.0
대전	3,450	10.0	-	12.0	-	12.0	2.0	10.0	28.0	-
경기	154,940	48.3	13.0	0.5	4.8	-	4.0	3.4	6.0	-
강원	50,916	12.0	3.0	-	2.0	-	53.7	3.5	1.5	-
충북	64,318	34.0	-	4.5	6.0	0.5	8.2	4.0	20.0	-
충남	170,745	16.3	-	27.7	6.6	0.3	0.3	3.7	15.5	3.0
전북	163,648	2.3	-	37.7	2.5	0.6	3.5	0.4	2.5	7.7
전남	194,887	0.3	-	65.0	4.9	1.3	-	2.3	3.6	5.4
경북	151,058	9.5	-	16.9	2.6	10.8	4.9	11.5	8.8	-
경남	126,705	6.9	-	38.2	2.9	5.1	0.9	9.6	2.5	0.5
제주	210	30.0	-	-	-	20.0	-	-	-	-

※ 지역별 주요품종별 식부면적비율 자료 : 농림수산부 자료통계관실

※ 전국대비 식부면적비 2%이상 점유율을 가진 품종만 정리

○ 일부 지역에서 축사의 바닥갈짚 또는 방습제와 상토 보온재 및 축분과 혼합한 퇴비로서 검증되지 않은채 사용되는 것을 제외하면 대부분의 왕겨는 폐기되고 있으므로 농업 부산물의 낭비는 물론이고 농어촌의 생활환경조건과 토양환경조건을 열악하게 하는 한 원인이 되고 있다.

(표-4) 지역별 미곡종합처리장 설치현황('94현재)

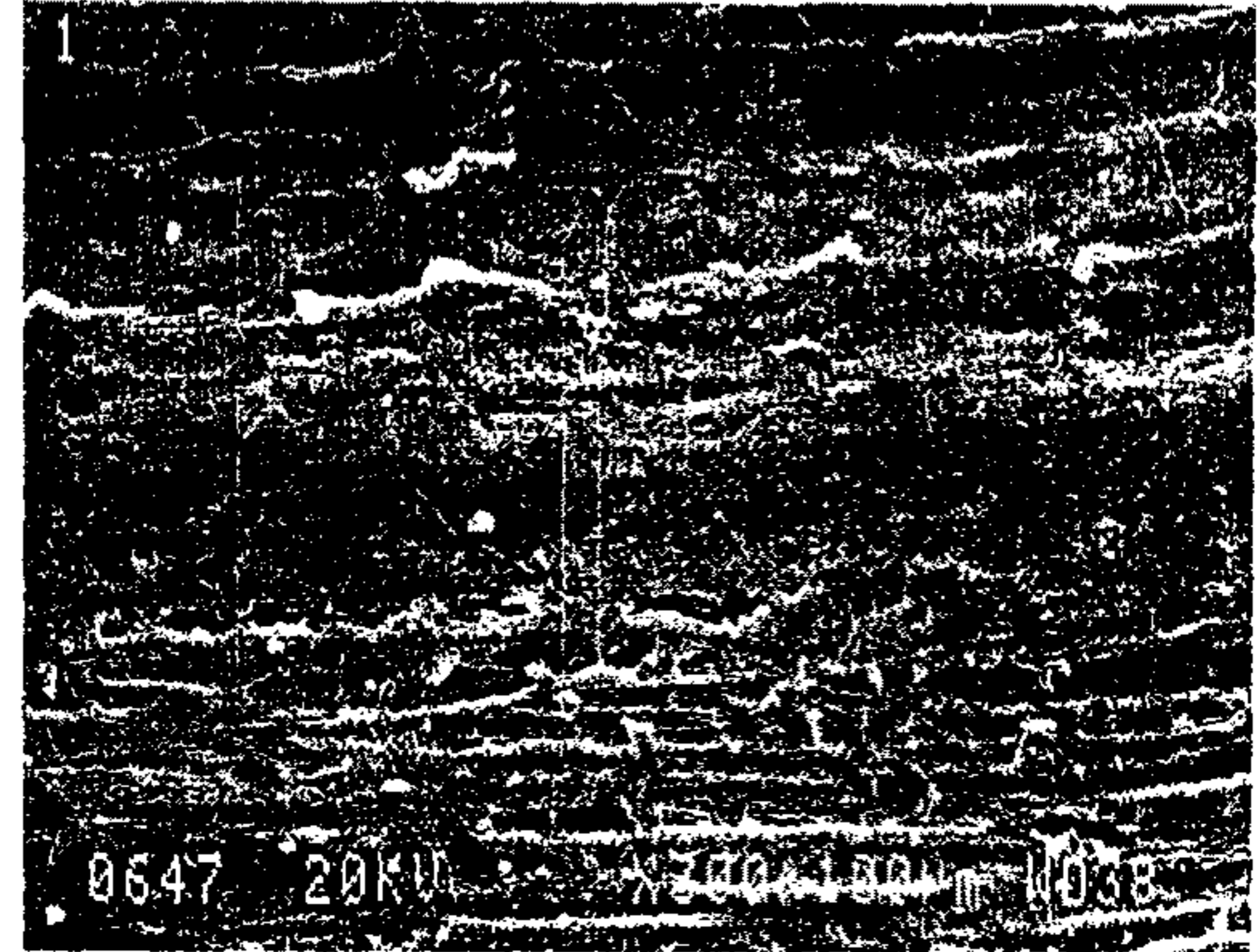
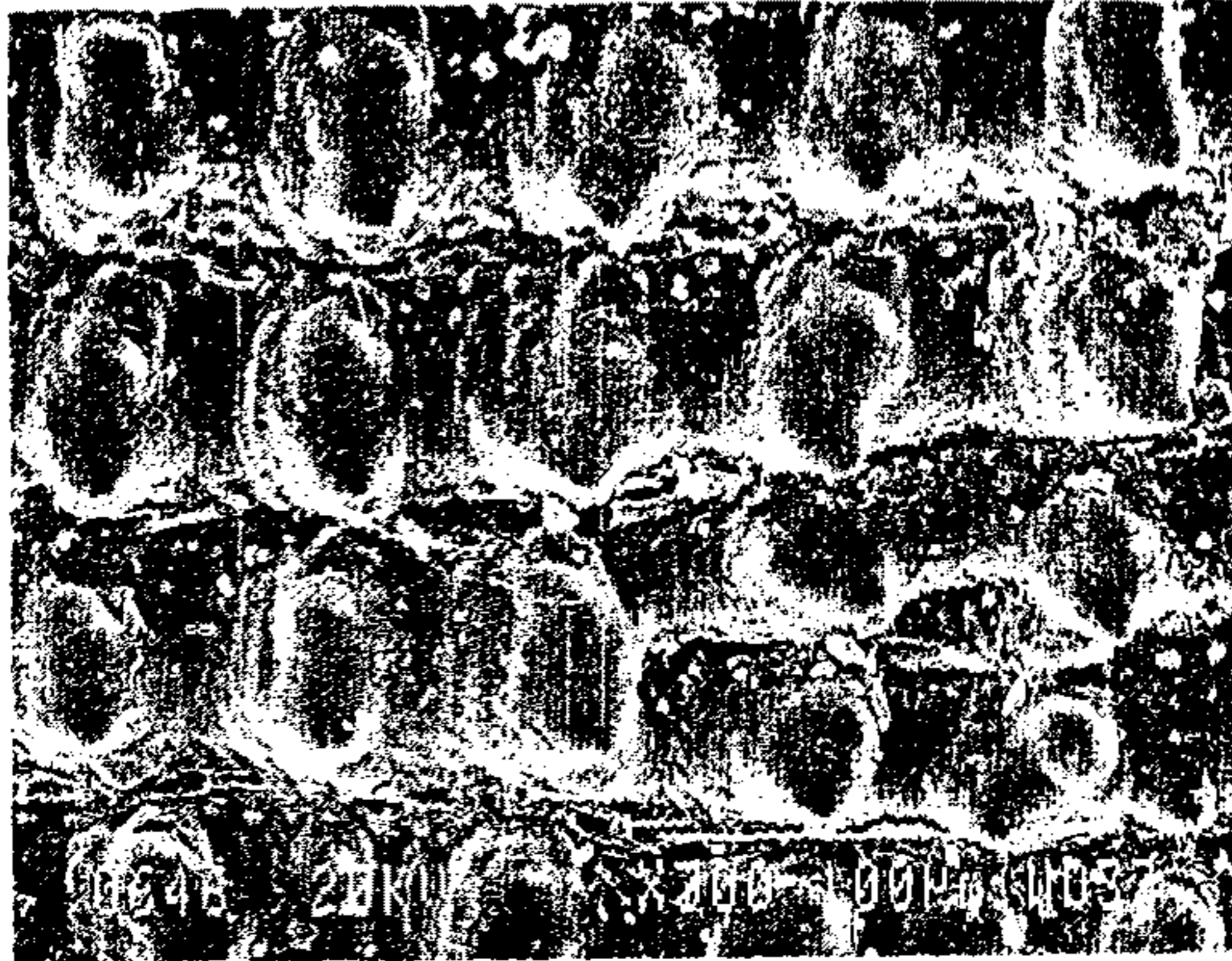
구 분		농 협 소 유			민 간 소 유			합 계
		'91~'93보급	'94 보급	소 계	'91~'93보급	'94 보급	소 계	
지 역	광주	1	1	2	1	-	1	3
	경기	10	11	21	3	4	7	28
	강원	5	1	6	1	-	1	7
	충북	4	4	8	1	1	2	10
	충남	9	8	17	1	2	3	20
	전북	8	6	14	3	3	6	20
	전남	12	8	20	4	4	8	28
	경북	6	4	10	4	4	8	18
	경남	8	3	11	2	1	3	14
	소 계	63	46	109	20	19	39	148
처리 능력	건 조	1,000톤/년	1,800톤/년		1,000톤/년	1,000톤/년		
	저 장	600톤	1,200톤		600톤	600톤		
	가 공	20톤/일(정곡)	20톤/일(정곡)		20톤/일(정곡)	20톤/일(정곡)		

※ 자료 : 농림수산부 식량관리과

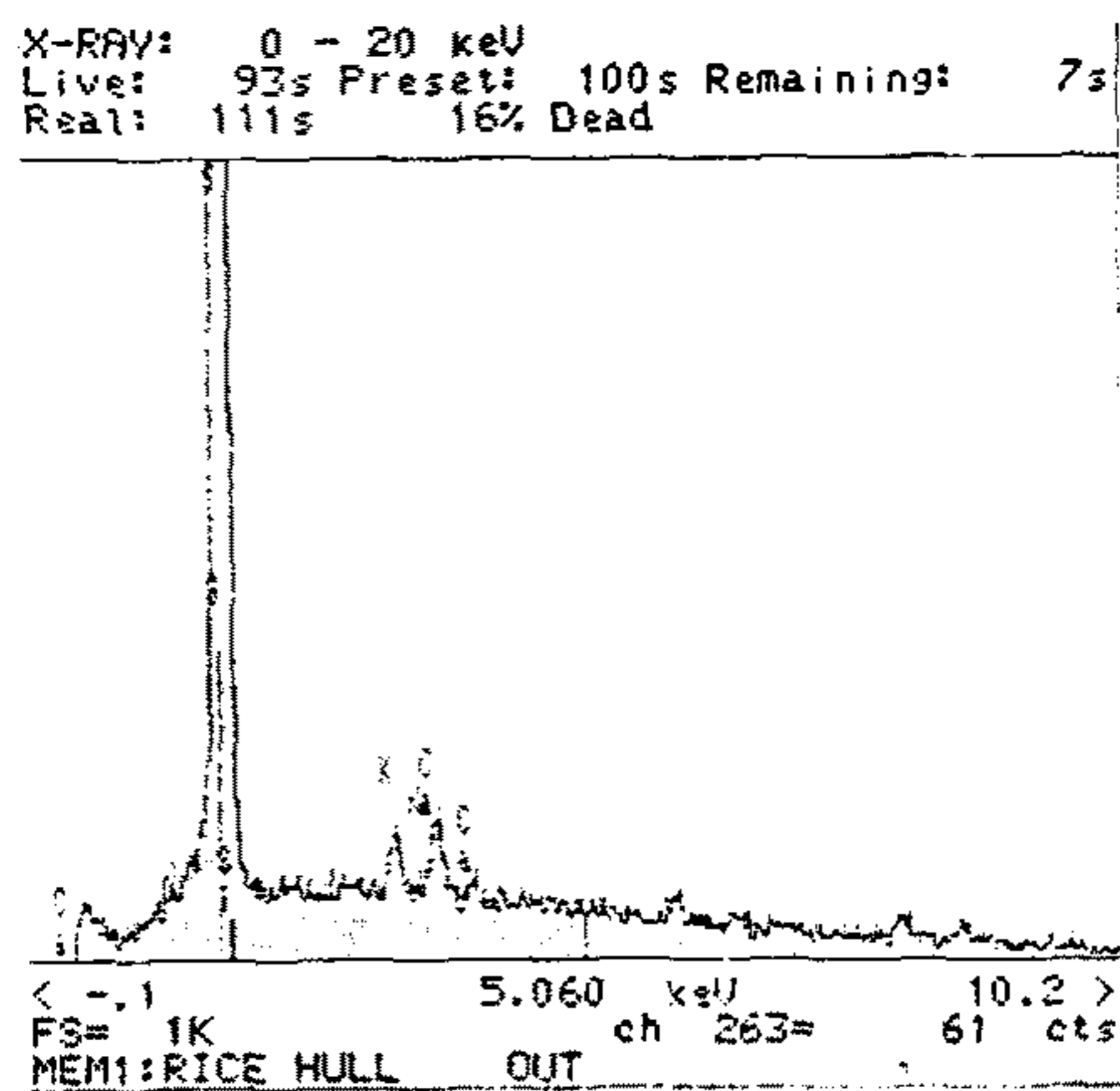
나. 왕겨 및 왕겨재의 물리화학적 특성

1) 왕겨의 물리화학적 특성

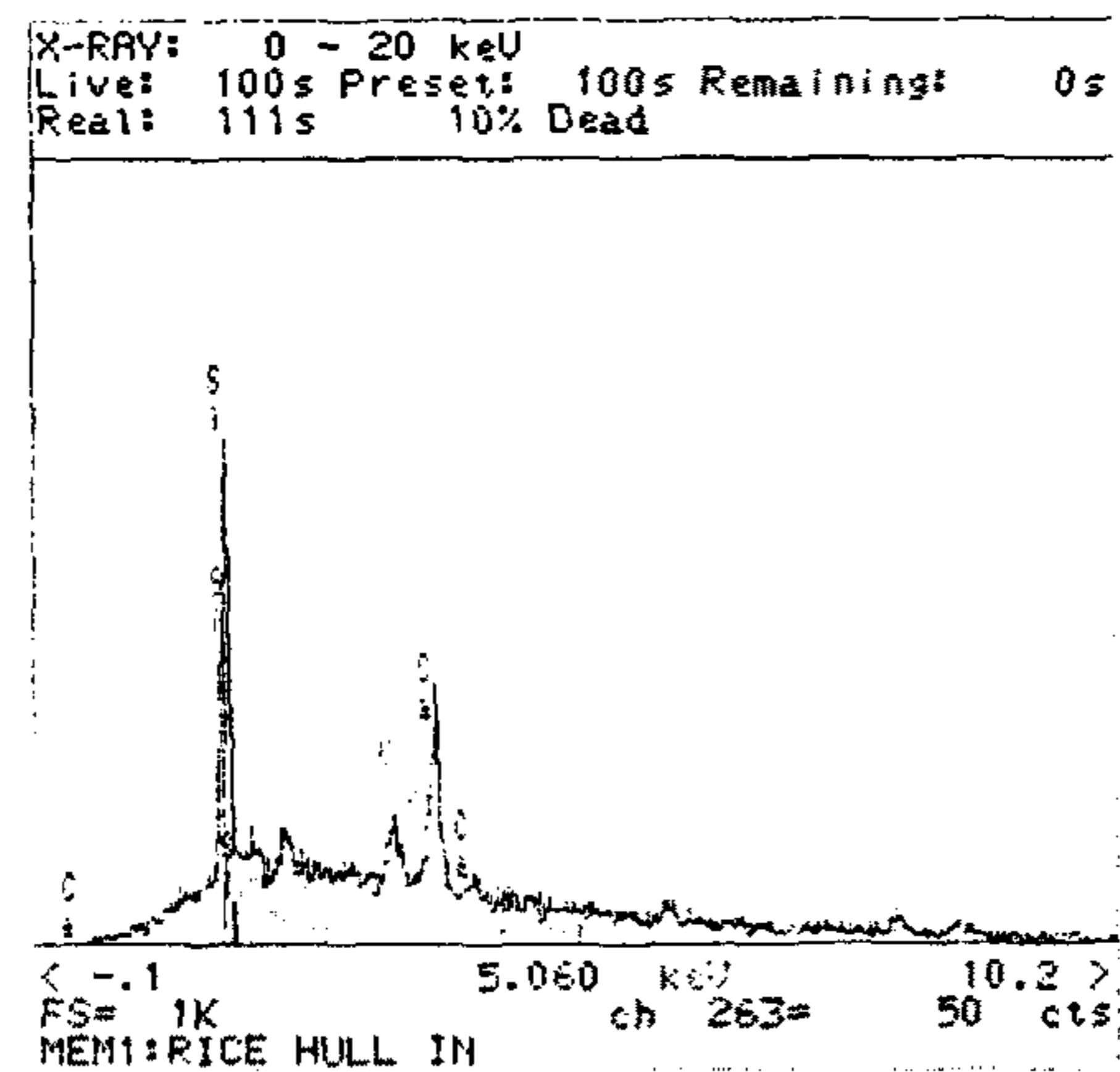
○ 전자현미경을 이용하여 왕겨의 내외피를 관찰해보면 (그림-1~4)와 같다. 이로부터 왕겨의 외피는 격자형태로 규소(Si)가 여러층으로 피복되어 있으며, 내피는 표면전체에 걸쳐 규소층이 얇게 분포되어 있음을 발견할 수 있다. 또한 이로인해 왕겨는 부식성과 분쇄성이 나쁜 특성을 지니게 된다.



(그림-1) 왕겨외피 전자현미경 사진 (그림-2) 왕겨내피 전자현미경 사진



(그림-3)왕겨외피의 EDS분석



(그림-4)왕겨내피의 EDS분석

○ 왕겨속에는 (표-5)와 같이 소각시 재가되는 실리카와 같은 무기물 함량이 13~17%, 섬유질 34~44%, 리그닌 23~30% 및 수분 9~12%에 달하여 영양가가 적어 축산사료로서 이용가치가 낮으며 퇴비로서 이용가치가 적다.

○ 왕겨의 화학성분조성은 동일품종일지라도 재배토양의 토성, 시비방법등의 차이로 인해 다소의 차이가 나타나나 실험분석 결과 지역별·품종별 왕겨 성분조성상의 차이점에 있어서 일정한 경향의 파악이 곤란하였으며, 왕겨의 겉보기밀도는 102~107 kg/m³(평균 105 kg/m³)로 나타났다.

(표-5) 왕겨의 화학성분조성

성분	분	품종별 성분구성비 (%)								
		동진 (김제)	동진 (부안)	동진 (군북)	동진 (함양)	계화 (김제)	오대 (운봉)	화성 (군북)	추청 (안산)	평균
무기물	왕겨재	13.480	13.150	17.110	15.440	13.500	13.340	16.440	15.650	14.760
수분	소각시 감량	10.050	12.080	9.650	9.510	10.160	10.160	9.770	9.840	10.190
유기물	Carbon	32.736	39.092	37.314	37.771	38.240	36.612	36.747	38.268	37.098
	Hydrogen	5.843	5.439	5.577	5.287	5.564	5.427	5.454	5.736	5.541
	Nitrogen	0.315	0.497	0.266	0.314	0.367	0.343	0.372	0.285	0.345
	Sulfur	0.019	0.050	0.022	0.019	0.039	0.029	0.033	0.019	0.025
	Oxygen	37.157	29.692	30.081	31.659	32.130	34.229	31.184	30.202	32.041
	소계	76.070	74.770	73.260	75.050	76.340	76.640	73.790	74.510	75.050
총계		100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0

2) 왕겨재의 화학적 조성

○ 왕겨를 600℃의 전기로에서 2시간 동안 완전연소시킨 후 성분분석한 결과를 정리한 것이 (표-6)이다. 왕겨재속의 성분별 함량비율은 품종별, 지역별로 약간의 차이를 보이나 대체적으로 90%이상이 SiO₂이고 기타는 미량의 원소로 이루어지며, 지역별, 품종간의 차이점에 대한 일정한 경향을 파악하기 곤란하였다.

(표-6) 왕겨재의 화학성분조성

성분	국내외 발표자료 (%)	품종별 왕겨재의 성분조성 백분율(%)								
		동진 (김제)	동진 (부안)	동진 (군북)	동진 (함양)	계화 (김제)	오대 (운봉)	화성 (군북)	추청 (안산)	평균
SiO ₂	86.0~97.3	86.21	92.92	87.88	90.55	89.92	87.39	87.60	90.96	89.180
K ₂ O	0.58~2.5	0.847	0.996	0.631	0.991	0.755	0.770	0.871	0.829	0.836
Na ₂ O	0.6~1.75	0.873	2.142	0.403	1.059	0.714	0.403	0.937	0.543	0.884
CaO	0.2~1.15	0.271	0.224	0.304	0.278	0.278	0.199	0.280	0.388	0.278
MgO	0.12~1.96	0.274	0.240	0.206	0.278	0.290	0.158	0.280	0.298	0.253
Fe ₂ O ₃	~0.54	0.057	0.100	0.071	0.057	0.071	0.071	0.071	0.113	0.076
P ₂ O ₅	0.20~2.85	0.286	0.342	0.191	0.309	0.321	0.183	0.268	0.208	0.263
Al ₂ O ₃	0.15	0.114	0.112	0.091	0.123	0.099	0.136	0.113	0.120	0.113
MnO ₂	0.33	0.095	0.114	0.088	0.153	0.134	0.080	0.153	0.238	0.132
TiO ₂	0.006	미분석	미분석	미분석	미분석	미분석	미분석	미분석	미분석	미분석
SO ₃	0.10~1.13	“	“	“	“	“	“	“	“	“
Cl	~0.42	“	“	“	“	“	“	“	“	“
기타 ^{a)}	-	10.973	2.810	10.135	6.202	7.418	10.610	9.427	6.303	7.985

※ a) : 잔류탄소, 강열감량, 기타 미분석 원소(TiO₂, SO₃, Cl 등)

3) 왕겨재의 물리적 특성

(가) 소각온도가 왕겨재내의 SiO_2 결정형 분포에 미치는 영향

전기로내에 온도를 600,750,900,1,050℃ 로 가하고 산소를 충분히 공급하여 완전연소시킨 후 전자현미경사진을 촬영한 것이 (그림-5)이며, X-선회절 분석을 실시하여 실리카의 결정형을 분석한 것이 (그림-6)이다.

이로부터 연소기내 소각온도를 600℃ 정도로 유지하면 유기물은 완전연소되어 소실되고 왕겨재속에는 다양한 결정을 가진 비결정형 SiO_2 가 생성된다. 반면 소각온도를 900℃ 이상으로 유지하면 왕겨재속에는 특정한 결정만을 가진 SiO_2 즉 결정형 SiO_2 가 생성됨을 알 수 있으며, 소각온도가 600~900℃ 사이에 있을 경우 비결정형과 결정형 SiO_2 가 동시에 발생하게 되며, 소각온도가 증가할수록 결정형의 비율이 증가함을 알 수 있다.

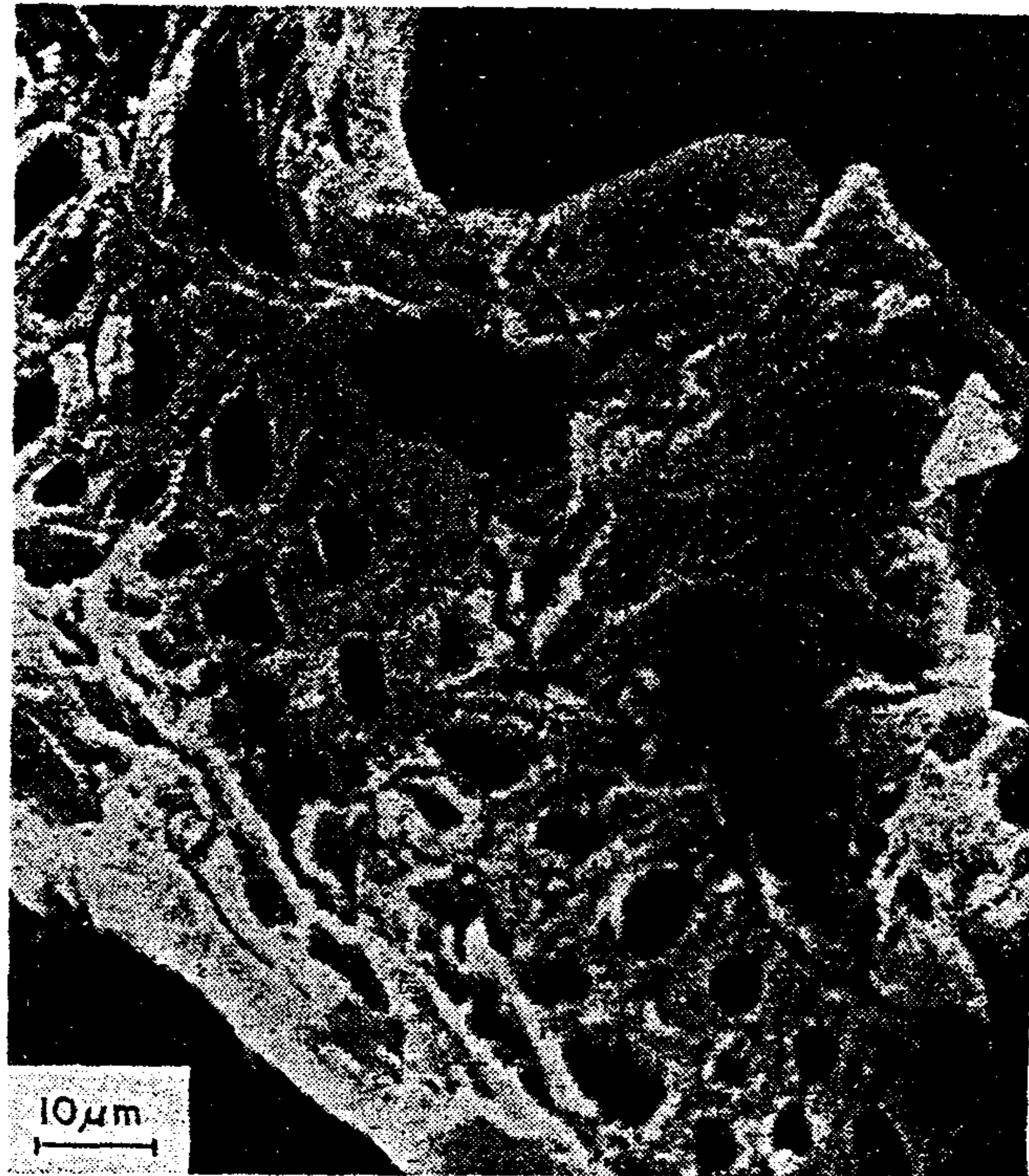
(나) 소각온도가 왕겨재의 물리적 특성에 미치는 영향

600℃ 이하로 완전소각시 비결정형 SiO_2 가 90% 이상인 다공질의 왕겨재가 (그림-5)처럼 생성되며, 다양한 결정형임에 따라 미립자로 분쇄되기 쉬운 특성이 있어 동일한 시간동안 분쇄할지라도 900℃ 이상의 고온소각 왕겨재에 비해 비표면적이 증가하고 평균입경이 감소할 것으로 예상된다.

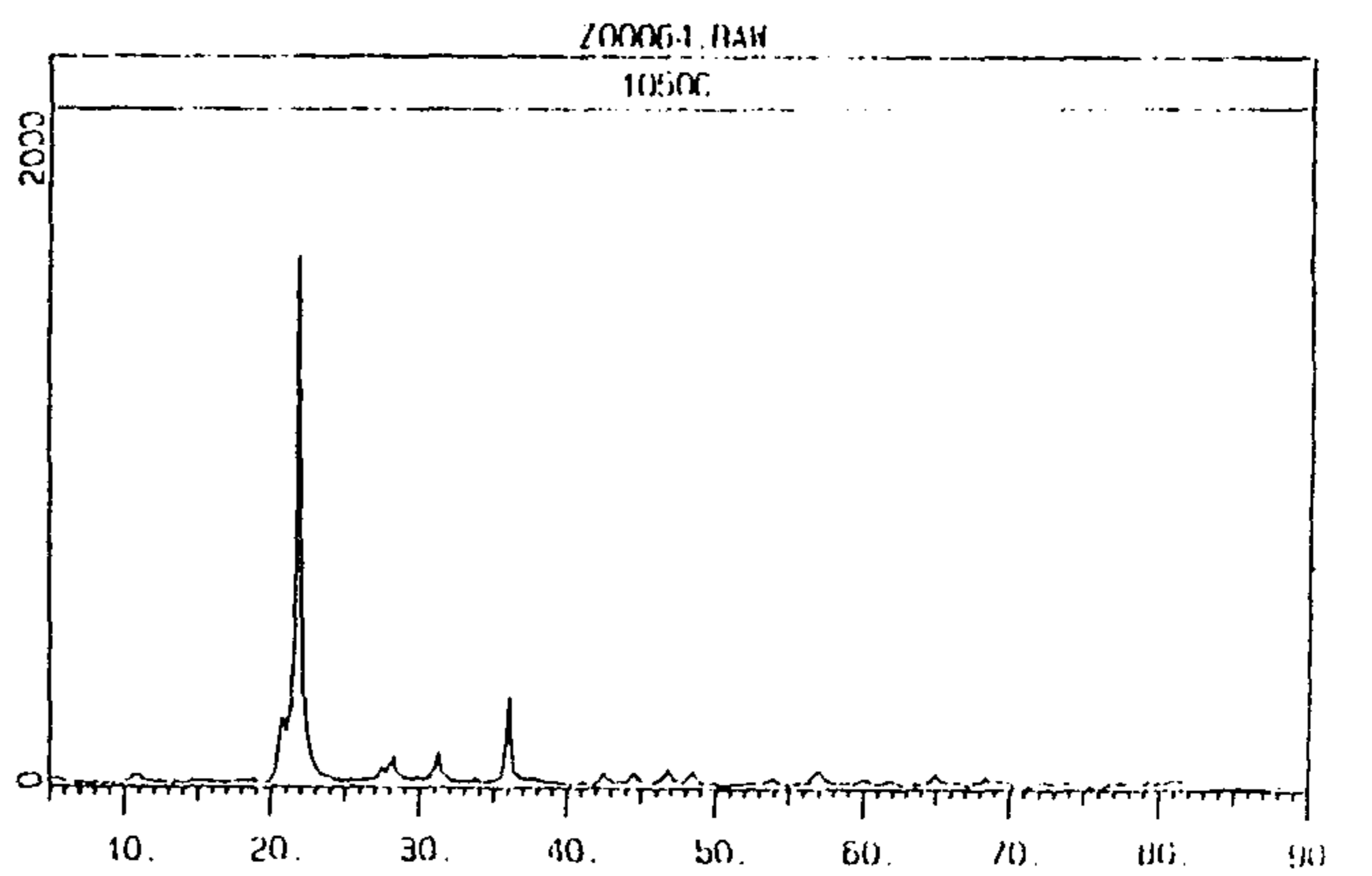
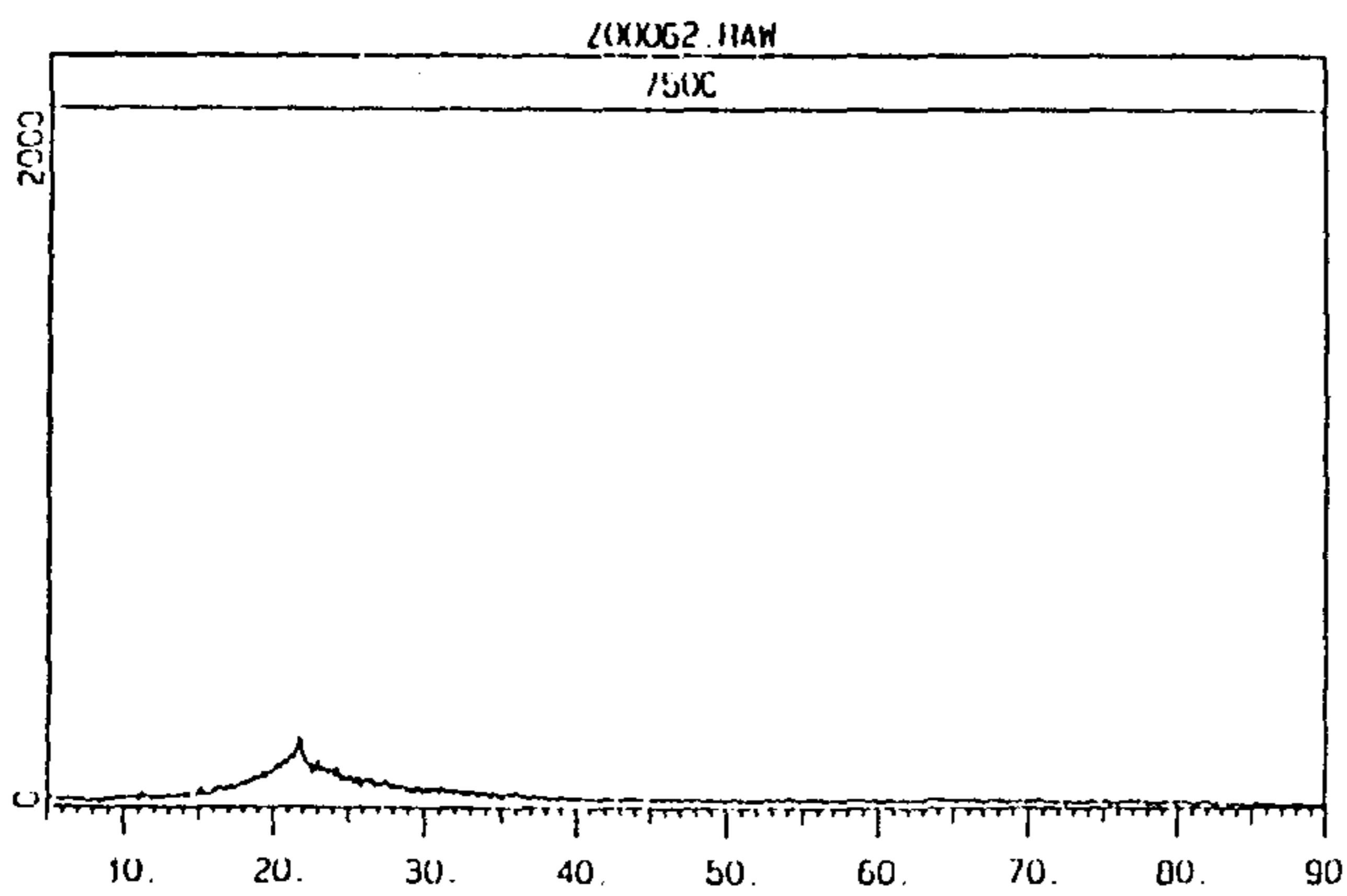
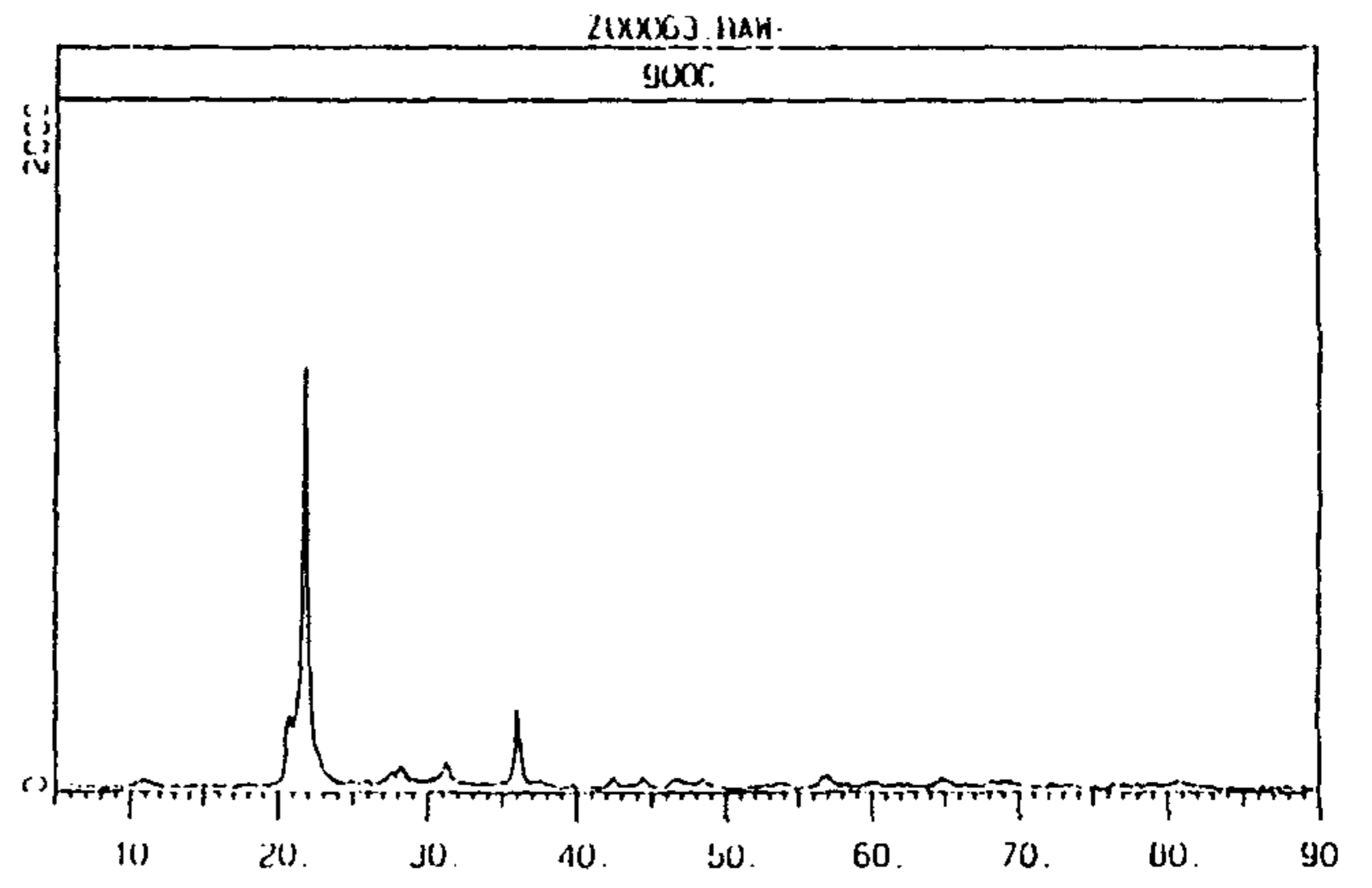
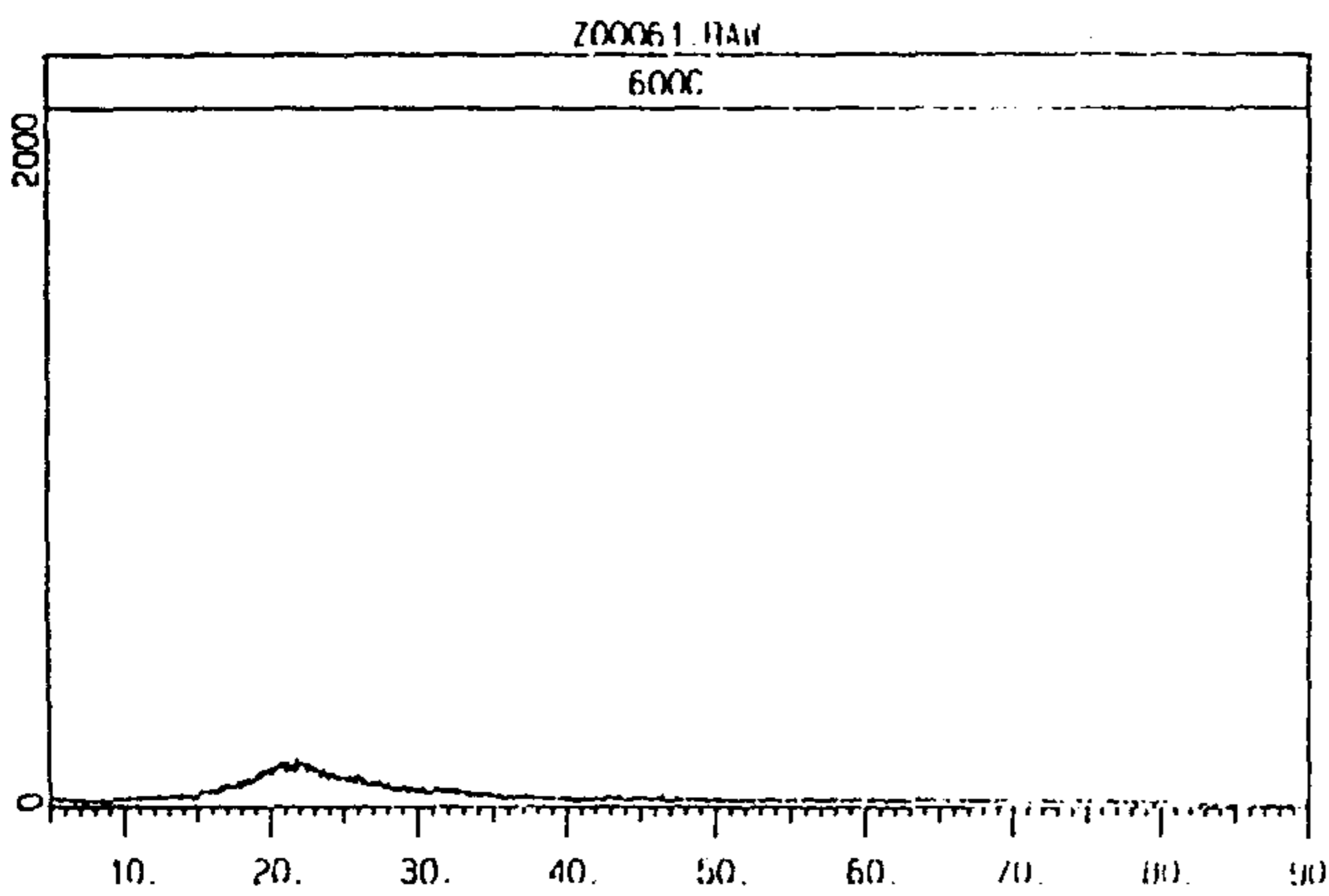
연소기의 열효율을 극대화 시키고 소각 부산물인 왕겨재를 콘크리트용 혼화재료로서의 활용성을 향상시키기 위해서 저온소각조건은 온도범위를 600~620℃, 고온소각조건은 온도범위를 700~720℃로 설정하였다. 각각의 소각온도 조건이 왕겨재의 물리적 특성(겉보기밀도, 분쇄성, 비중)에 미치는 영향을 실측분석하기 위해서 분쇄기기는 L.A.마모시험기를 사용하되 분쇄에 필요한 강구수는 18개를 사용하였으며, 실험의 일관성을 유지하기 위해서 매회당 왕겨재 분쇄량을 1.5 kg 만큼 정확히 계량하여 마모시험기에 투입하고 매 15분당 525회 회전하도록 고정한 다음 회전시간을 15,30,45,60분으로 변화시키면서 분쇄하였다. 분쇄된 왕겨재는 비중계법과 레이저분석법에 의하여 평균입경과 입경분포를 실측하였으며, BET시험법에 의하여 비표면적을 분쇄시간별로 실측한 다음 그 결과를 정리한 것이 (표-7) 및 (그림-7)이다.

소각온도가 750℃ 이하임에 따라 왕겨재 속에는 결정형 SiO_2 의 비율이 적을 것이 예상되므로 소각온도조건에 따른 왕겨재의 비중, 분쇄시간별 평균입경 및 입도분포상의 차이점을 파악하기 곤란하였다.

(표-7)로부터 L.A.마모시험기를 이용 45분 이상 분쇄하면 시멘트의 평균입경과 비슷해 짐을 알 수 있으므로 비표면적을 경제적으로 증가시키기 위한 효율적인 분쇄기술의 개발이 절실하다



(그림-5) 왕겨재의 SEM사진



(그림-6) 소각온도별 왕겨재 XRD 분석결과

(표-7) 소각온도별 왕겨재 물리적 특성

소각 온도	진비중 (g/cm ³)	분쇄 시간별 평균입경 및 비표면적											
		15분 분쇄			30분 분쇄			45분 분쇄			60분 분쇄		
		D ₅₀ ^{a)}		III	D ₅₀ ^{a)}		III	D ₅₀ ^{a)}		III	D ₅₀ ^{a)}		III
		I	II		I	II		I	II		I	II	
고온 소각 ^{b)}	2.056~ 2.073 (2.063) ^{e)}	시험 중	30.1~ 37.1 (33.6)	시험 중	시험 중	22.5~ 27.0 (25.4)	시험 중	시험 중	19.9~ 23.3 (21.4)	시험 중	시험 중	16.2~ 21.0 (18.7)	시험 중
저온 소각 ^{c)}	1.956~ 1.995 (1.974) ^{e)}	시험 중	27.0~ 32.6 (30.2)	시험 중	시험 중	23.7~ 28.6 (25.8)	시험 중	시험 중	21.4~ 24.7 (22.9)	시험 중	시험 중	19.9~ 23.9 (21.6)	시험 중
겉보기 밀도 ^{d)}	bulk density	362 kg/m ³			426 kg/m ³			미측정			미측정		

※ a) : 입경가적곡선에서 50% 통과중량백분율에 해당하는 입경 (단위 : μm)

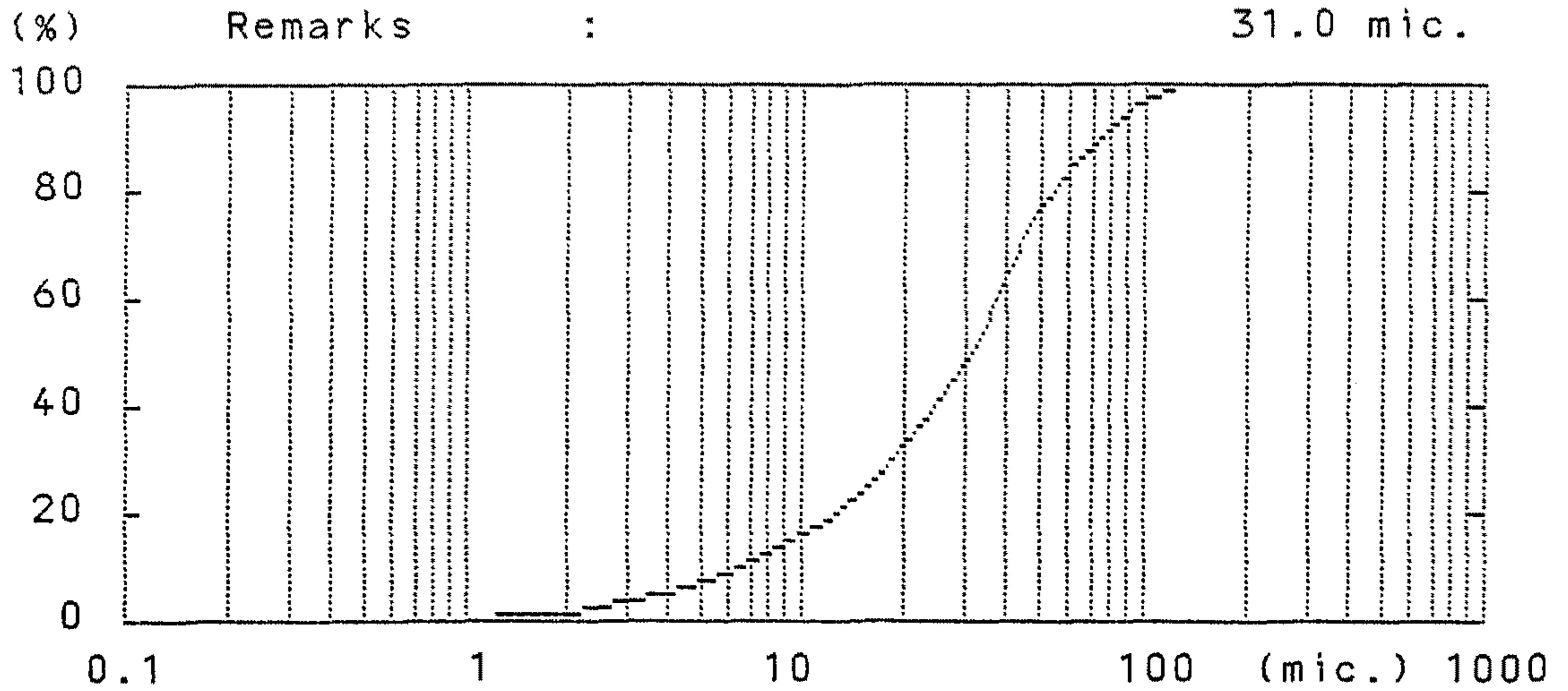
b) : 소각온도범위 : 700 ~ 720°C , c) : 소각온도범위 : 600 ~ 620°C

d) : 겉보기밀도(미분쇄시 겉보기 밀도 : 66~68 kg/m³) , e) : ()는 평균치임.

I) : 입도시험방법에 의한 D₅₀ , II) : 레이저 분석방법에 의한 D₅₀

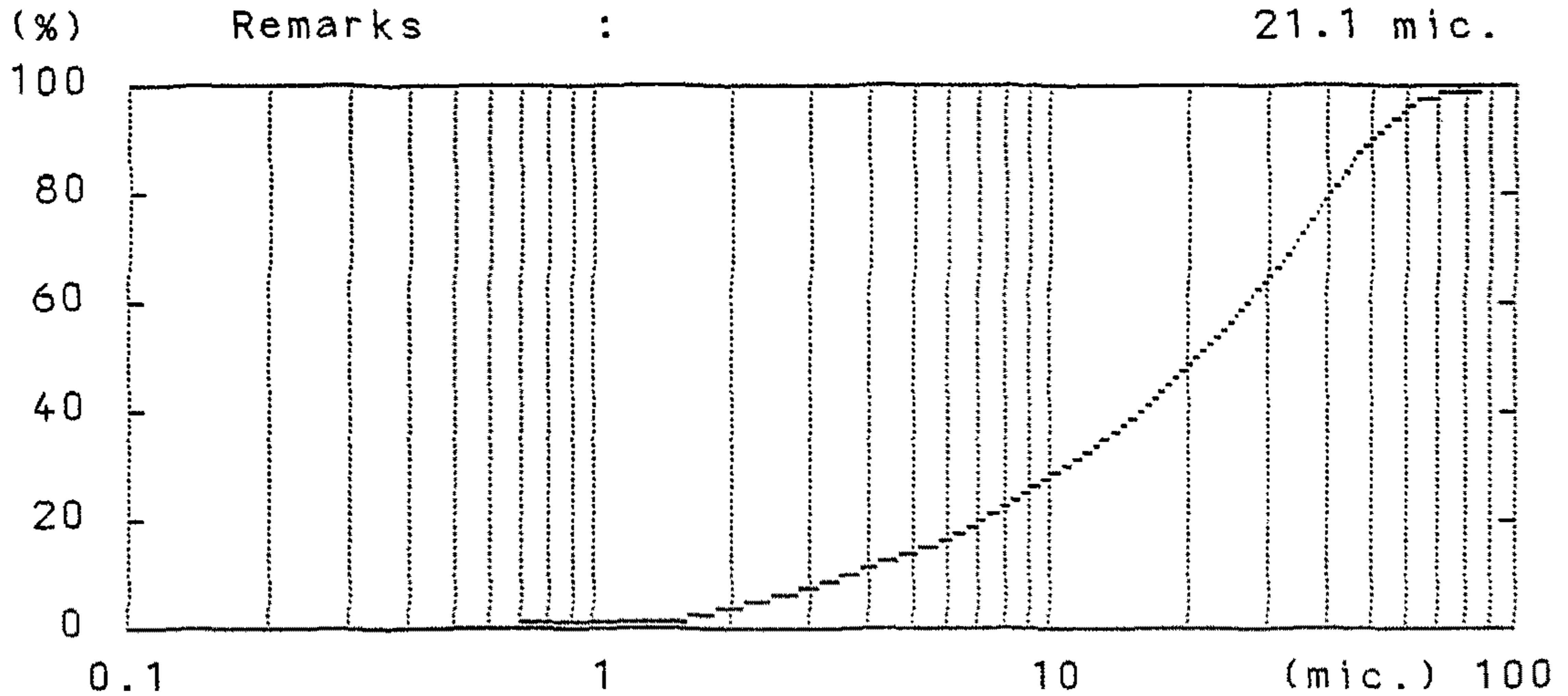
III) : 왕겨재 1g이 가지는 표면적(단위 : cm²/g , BET 시험법)

- Average -
31.0 mic.

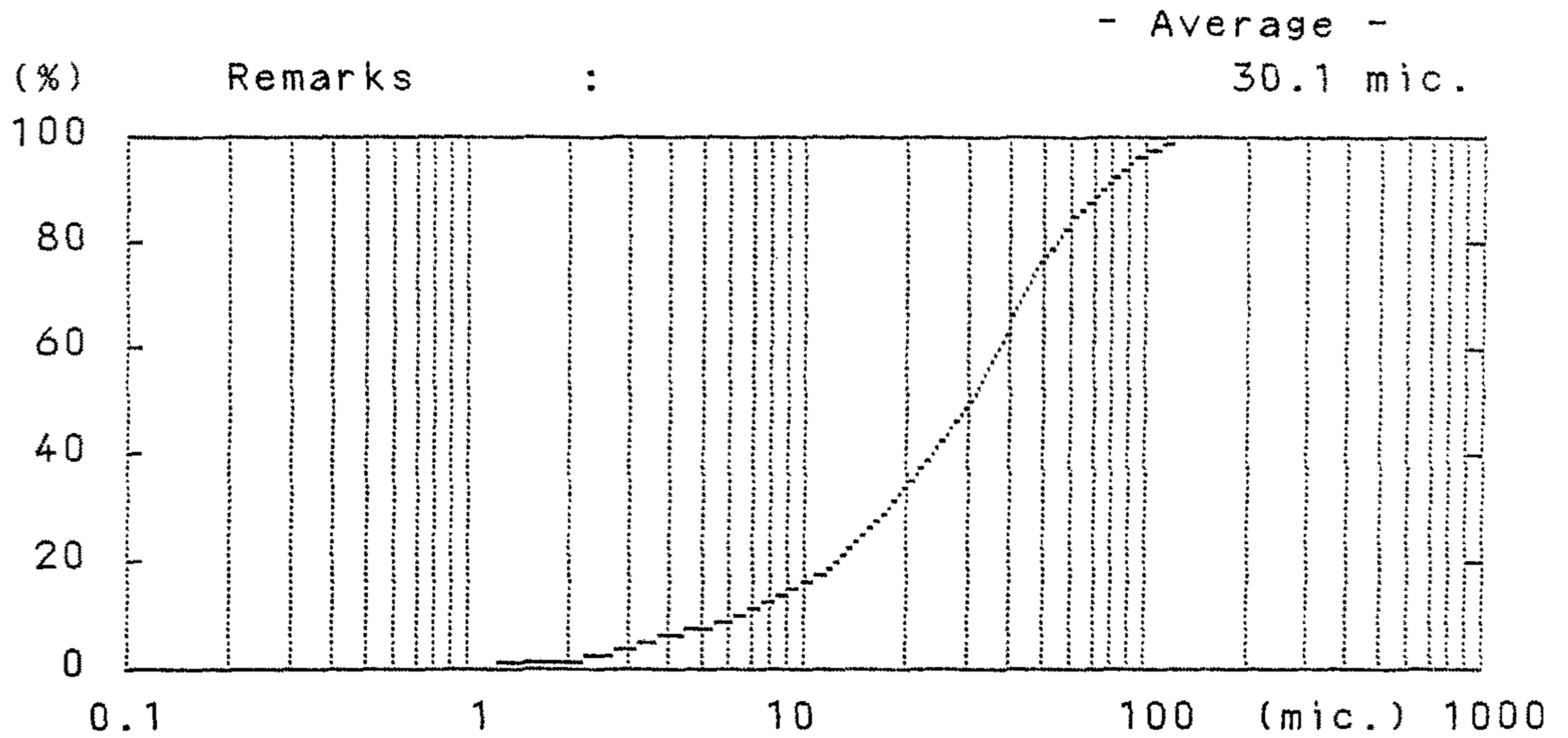


(a) 저온소각 15분 분쇄 왕겨재 입경분포

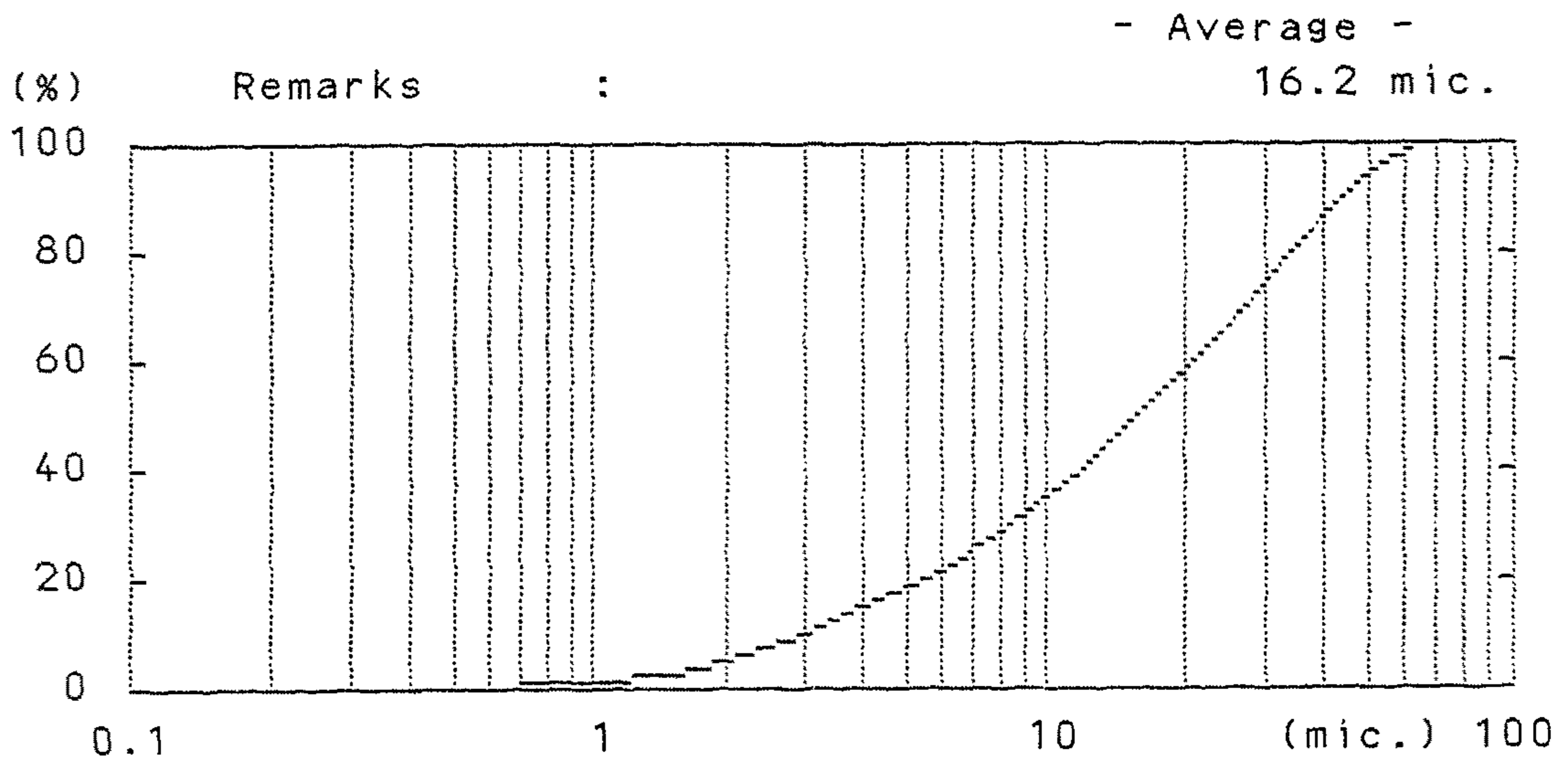
- Average -
21.1 mic.



(b) 저온소각 60분 분쇄 왕겨재 입경분포



(c) 고온소각 15분 분쇄 왕겨재 입경분포



(d) 고온소각 60분 분쇄 왕겨재 입경분포

(그림-7) 소각온도별 분쇄시간별 왕겨재 입경분포 곡선(레이저분석)

다. 왕겨재 혼입 콘크리트의 강도특성 및 시공성

1) 실험조건 및 실험방법

왕겨재의 비표면적 차이, SiO₂의 결정형태와 함유량 차이, 품종간 재배지역간에 나타나는 왕겨재 성분 조성상의 미소한 차이 등이 왕겨재 혼입 콘크리트의 강도특성과 시공성이 영향을 미칠 경우 이는 본 연구성과의 실용화에 치명적인 결점이 된다.

이에따라 본 연구에서는 소각온도의 차이, 품종간 차이, 재배지역 차이, 분

쇄정도(비표면적의 크기)의 차이 및 왕겨재 혼입비율 차이가 콘크리트의 강도특성과 시공성에 미치는 영향을 실측분석하기로 하였으며, 이를 위해서 실험조건을 (표-8)과 같이 선정하였다.

실험방법은 먼저, 품질의 변동폭이 적은 시멘트 모르타 공시체를 이용하여 실험하기로 하였다. 이를 위해서 흐름값(Flow)이 일정하게 되도록(110 ±5) 배합수량을 조정하여 실험조건별로 재령(3,7,28일)별 모르타 공시체를 제작한 다음 재령일수에서 압축강도 실험을 실시하였으며 시공성을 조사 분석하였다. 다시 배합수량과 흐름값이 일정하게 되도록 고성능감수제를 사용 재령(3,7,28일)별 모르타 공시체를 제작한 다음 재령일수에서 압축강도 실험을 실시하고 시공성도 조사분석하였으며, 1단계 실험결과와의 비교를 통해 적정한 왕겨재의 혼입율과 분쇄시간을 결정하고자 하였다.

결정된 적정비율의 왕겨재를 혼입한 왕겨재 시멘트와 고성능감수제를 사용하여 콘크리트를 배합설계, 재령별(3,7,28) 원주형공시체 제작 및 콘크리트 압축강도를 조사분석하기로 하였다.

(표-8) 왕겨재혼입 콘크리트의 실험조건

품종조건	동진벼왕겨재	계화벼왕겨재	오대벼왕겨재	화성벼왕겨재	추청벼왕겨재	동진벼왕겨재
소각온도 조건	고온, 저온 (2 경우) ^{a)}	고온, 저온 (2 경우)	저온 (1 경우)	저온 (1 경우)	저온 (1 경우)	저온 (1 경우)
분쇄시간 조건(분)	0,15,30,45,60 (5 경우) ^{b)}	0,15,30,45,60 (5 경우)	30 (1 경우)	30 (1 경우)	30 (1 경우)	30 (1 경우)
혼입비율 조건 ^{c)}	0,5,10,15,20,25,30% (6 경우)	0,5,10,15,20,25,30% (6 경우)	0,5,10,15,20,25,30% (6 경우)	0,5,10,15,20,25,30% (6 경우)	0,5,10,15,20,25,30% (6 경우)	0,5,10,15,20,25,30% (6 경우)
왕겨구입 지역	전북 부안	전북 김제	전북 운봉	경남 함안	경기 안산	경남 군북
실험목적	품종별 비교 지역별 비교	품종별 비교 -	품종별 비교 -	품종별 비교 -	품종별 비교 -	- 지역별 비교

※ a) : 고온소각 : 700~720℃, 저온소각 : 600~620℃

- b) : 분쇄방법 ; - 사용 분쇄기기 : L.A.마모시험기(강구 18개 사용)
- 매분쇄 회수별 왕겨재 투입량 : 1.5 kg
- 매 15분간 회전수 : 525회

c) : 시멘트 사용중량에 대한 왕겨재 혼입비율(%)

2) 왕겨재 혼입 콘크리트의 강도특성

가)왕겨재 품종이 콘크리트의 강도특성에 미치는 영향

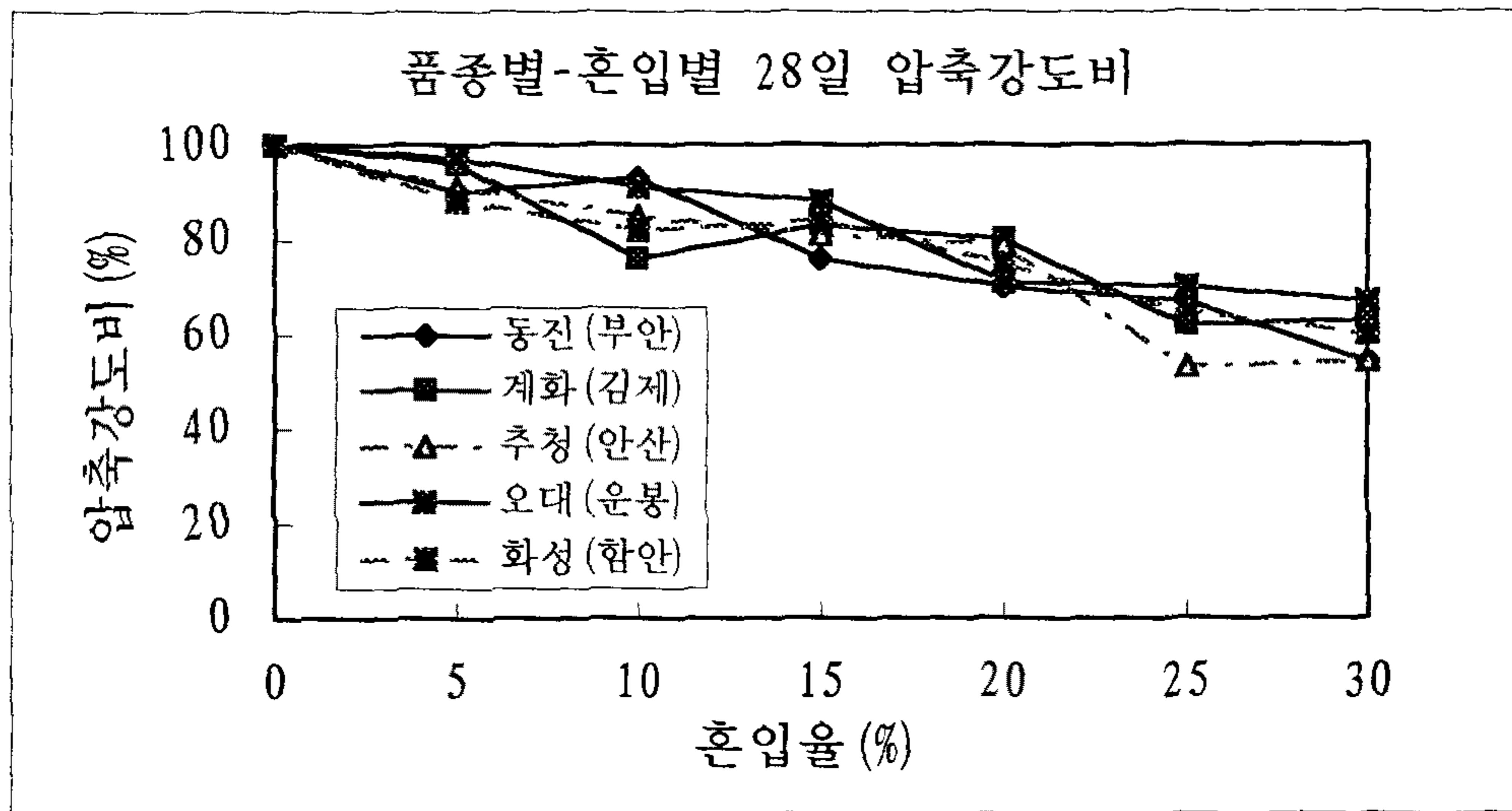
왕겨재 품종별, 혼입율별 모르타 공시체의 28일 압축강도를 정리한 것이 (표-9) 및 (그림-8)이다.

이로부터 콘크리트의 강도특성과 시공성이 왕겨재 품종에 영향을 받지 않는 것을 알 수 있으며, 혼입율이 커짐에 따라 분산계수가 커지는 것은 왕겨재 제조단계(소각,분쇄)에서의 품질변동폭이 동일할 지라도 왕겨재의 사용량이 증가함에 따라 분산계수도 증가한 것으로 판단된다

(표-9) 왕겨재 품종별-혼입율별 28일 압축강도비

왕겨재 혼입율	시멘트모르터 공시체 압축강도에 대한 품종별 비율(%) ^{a)}						품종평균 압축강도 (kg/cm ²)	압축강도 표준편차 (kg/cm ²)	분산계수 (%)
	㉠	㉡	㉢	㉣	㉤	평균			
5 %	90	96	91	97	88	93	333	13	4
10 %	93	76	85	91	82	85	307	24	8
15 %	76	83	81	88	84	82	296	15	5
20 %	70	80	79	71	75	75	270	16	6
25 %	67	62	53	70	65	63	228	23	10
30 %	54	63	54	67	60	60	215	21	10

※a) 왕겨재를 혼입하지 않은 시멘트모르터 공시체의 28일 압축강도(360 kg/cm²)을 기준으로 한 품종별 왕겨재 혼입율별 모르터공시체의 28일 압축강도 비율(저온소각, 30분분쇄의 경우) : ㉠ : 전북 부안산 동진벼, ㉡ : 전북 김제산 계화벼, ㉢ : 경기 안산산 추청벼, ㉣ : 전북 운봉산 오대벼, ㉤ : 경남 함안산 화성벼



(그림-8) 왕겨재 품종별-혼입율별 28일 압축강도비
(저온소각, 30분 분쇄)

나) 왕겨 소각온도가 콘크리트의 강도특성에 미치는 영향

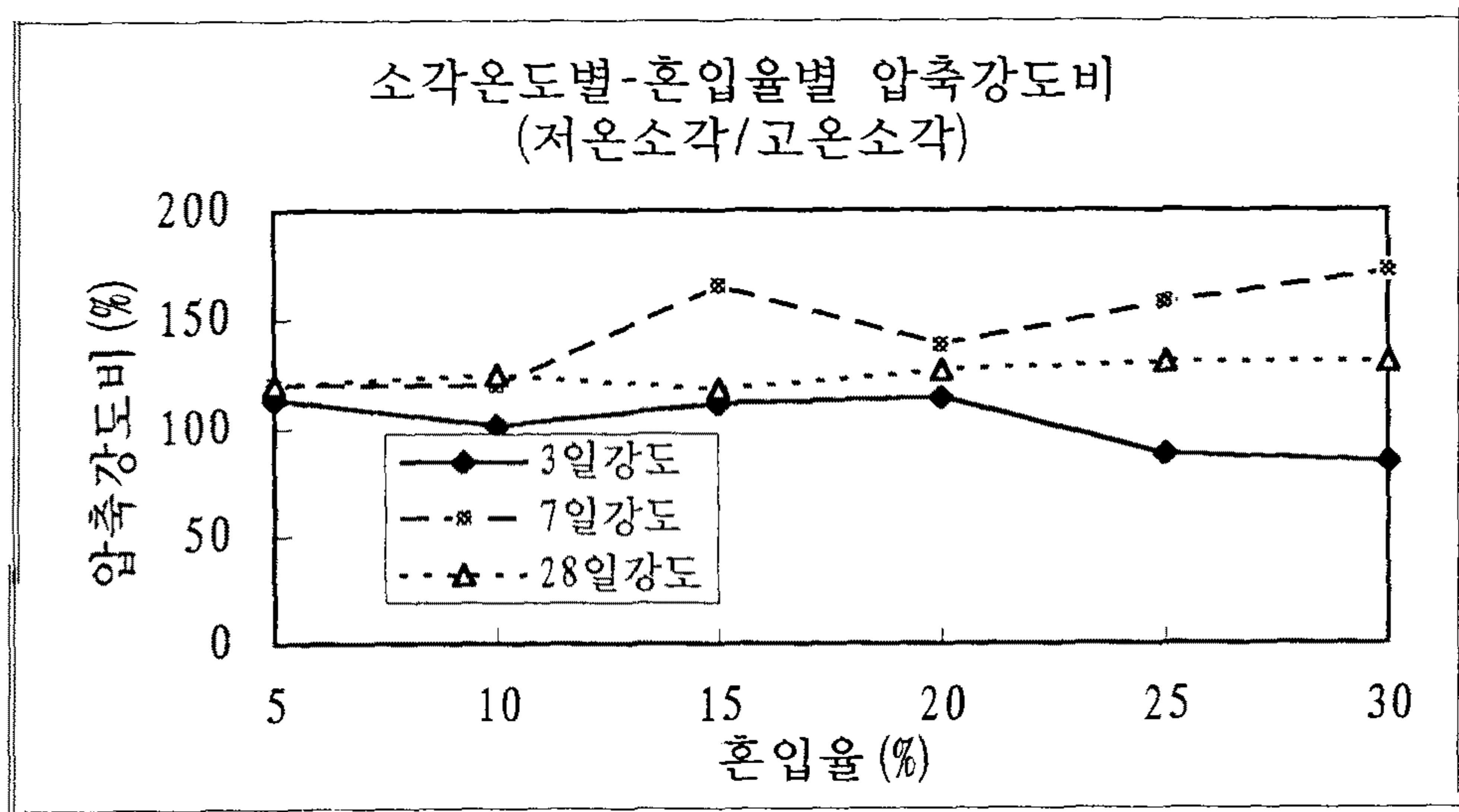
고온소각 왕겨재를 혼입한 모르터공시체의 압축강도에 대한 저온소각 왕겨재 혼입 모르터공시체의 압축강도 비율을 재령별, 혼입율별, 분쇄시간별로 정리한 것이 (표-10) 및 (그림-9, -10)이다.

이로부터 고온(700~720℃)소각에 비해서 저온(600~620℃)으로 소각

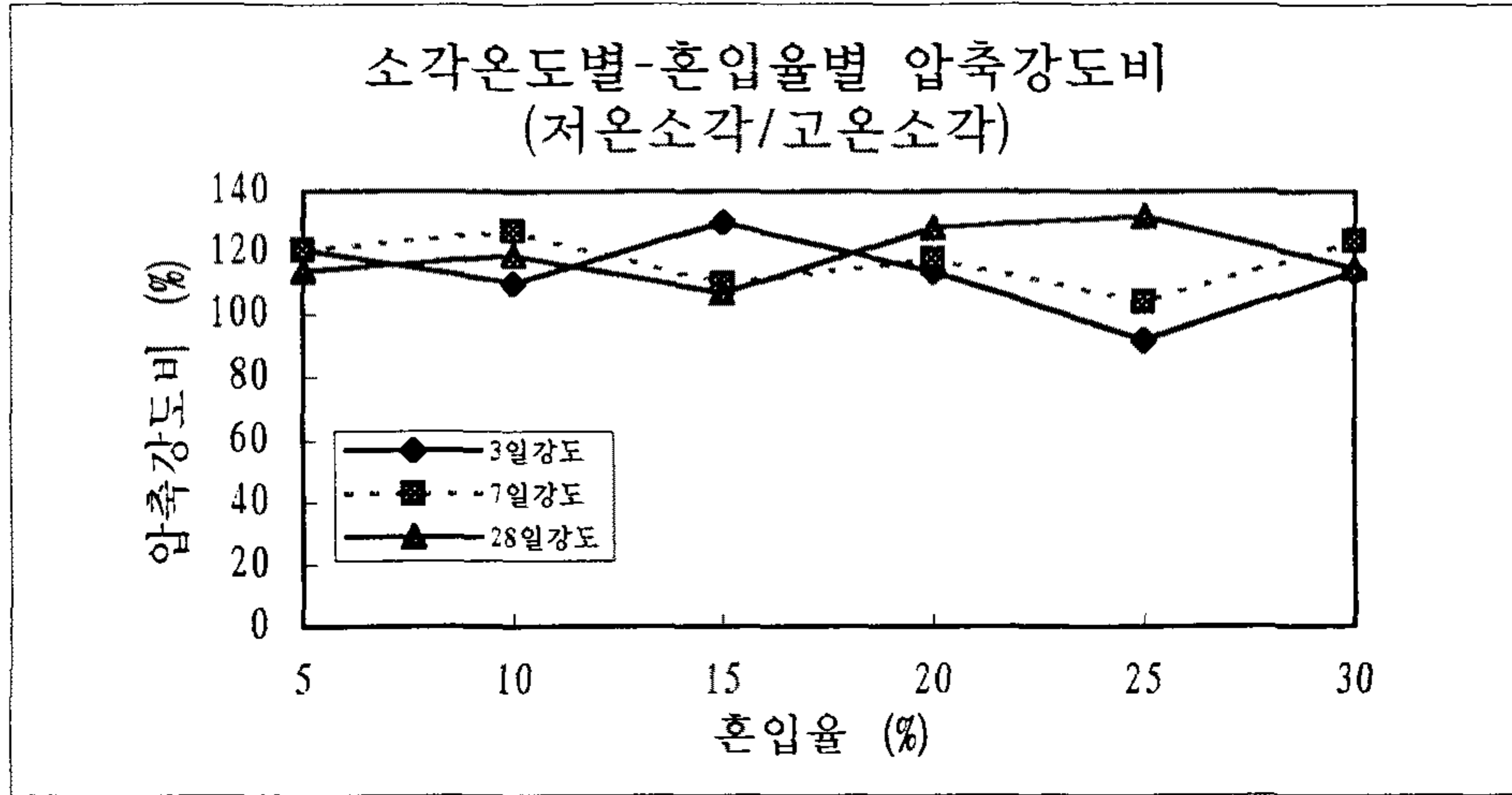
한 왕겨재를 혼입할 경우 혼입율의 크기에 관계없이 약 20~30%의 압축강도의 증가가 기대된다.

(표-10) 소각온도와 분쇄시간에 따른 재령별 압축강도비
(전북 부안산 동진벼)

왕겨재 혼입율	분쇄시간 (분)	재령별 압축강도비 (%)			비 고
		3 일	7 일	28 일	
5 %	15	113	120	120	저온소각/ 고온소각 공시체의 압축강도비
	30	121	121	114	
	평균	117	120	117	
10 %	15	101	120	125	
	30	110	127	119	
	평균	106	124	122	
15 %	15	111	165	118	
	30	130	110	107	
	평균	120	137	113	
20 %	15	114	138	127	
	30	114	118	128	
	평균	114	128	128	
25 %	15	88	158	131	
	30	92	104	132	
	평균	90	131	132	
30 %	15	84	172	131	
	30	114	124	115	
	평균	99	148	123	



(그림-9) 소각온도에 따른 재령별-혼입율별 압축강도비
(저온소각/고온소각, 15분분쇄 왕겨재 혼입시)



(그림-10) 소각온도에 따른 재령별-혼입율별 압축강도비 (저온소각/고온소각, 30분분쇄 왕겨재 혼입시)

다)왕겨재 혼입율이 콘크리트의 재령별 강도특성에 미치는 영향

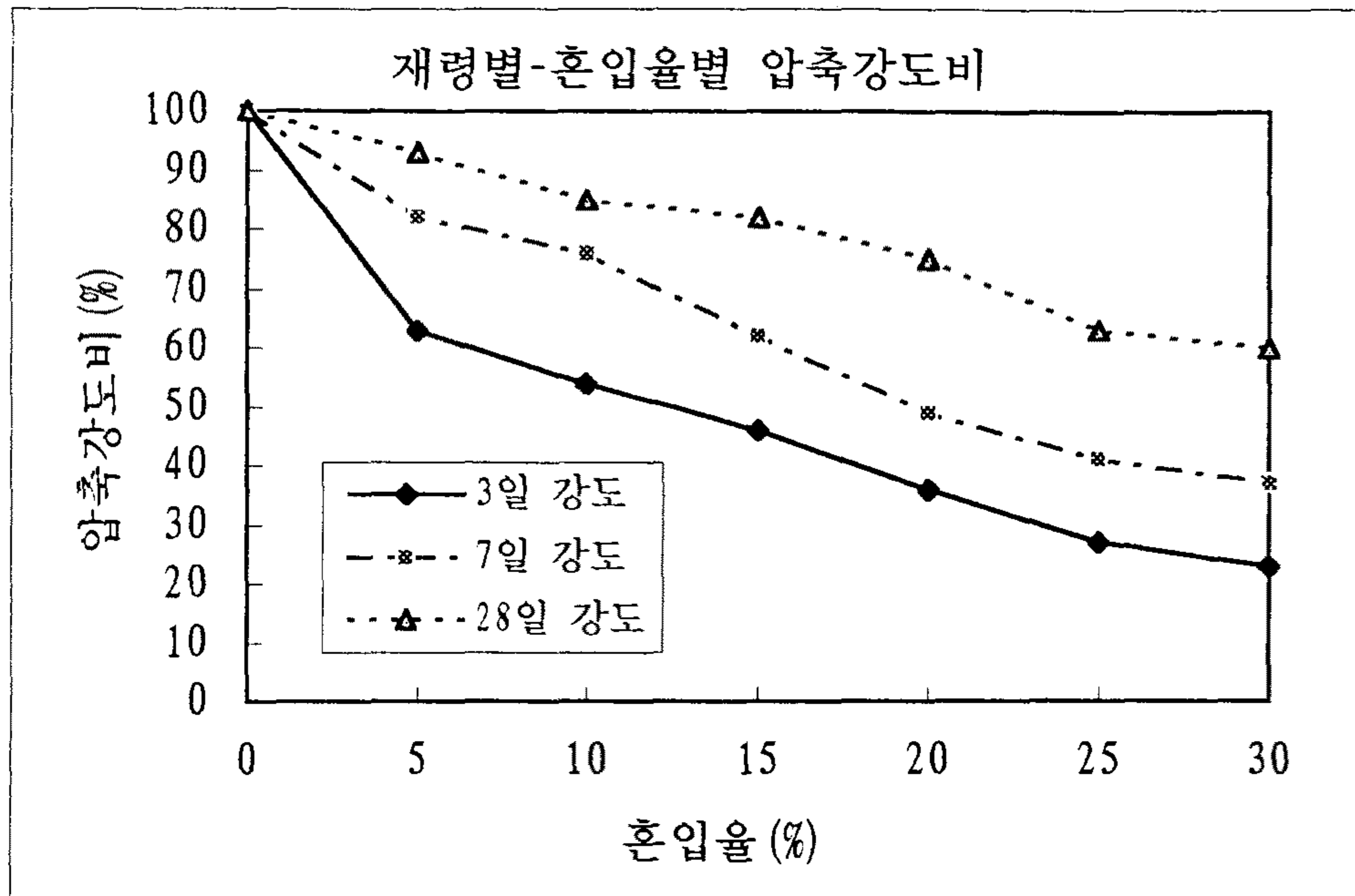
시멘트모르터 공시체의 재령별 압축강도에 대한 왕겨재 혼입 모르터 공시체의 재령별 압축강도 비율을 정리한 것이 (표-11) 및 (그림-11)이다.

이로부터 왕겨재 혼입비율이 증가할수록 28일 이하의 단기적인 압축강도는 감소하는 감소함을 알 수 있다. 이러한 현상은 플라이애쉬를 혼입한 경우와 매우 유사하므로 90일 또는 6개월 이상과 같은 장기강도를 시험분석해 볼 경우 혼입율별 압축강도의 정확한 경향을 파악할 수 있을 것이므로 2차년도에 지속적인 연구가 필요하다.

(표-11) 왕겨재 혼입율별-재령별 압축강도비

혼입율 (%)	재령별 모르터 공시체 압축강도비 (%) ^{a)}		
	3 일	7 일	28 일
5	63	82	93
10	54	76	85
15	46	62	82
20	36	49	75
25	27	41	63
30	23	37	60

※a) : 전체 품종이 가지는 왕겨재 혼입율별,재령별 평균적인 압축강도를 시멘트 모르터 공시체가 나타내는 재령별 압축강도($\sigma_3 = 216, \sigma_7 = 266, \sigma_{28} = 360\text{kg/cm}^2$) 로 나눈 비율



(그림-11) 왕겨재 혼입율이 재령별 압축강도에 미치는 영향

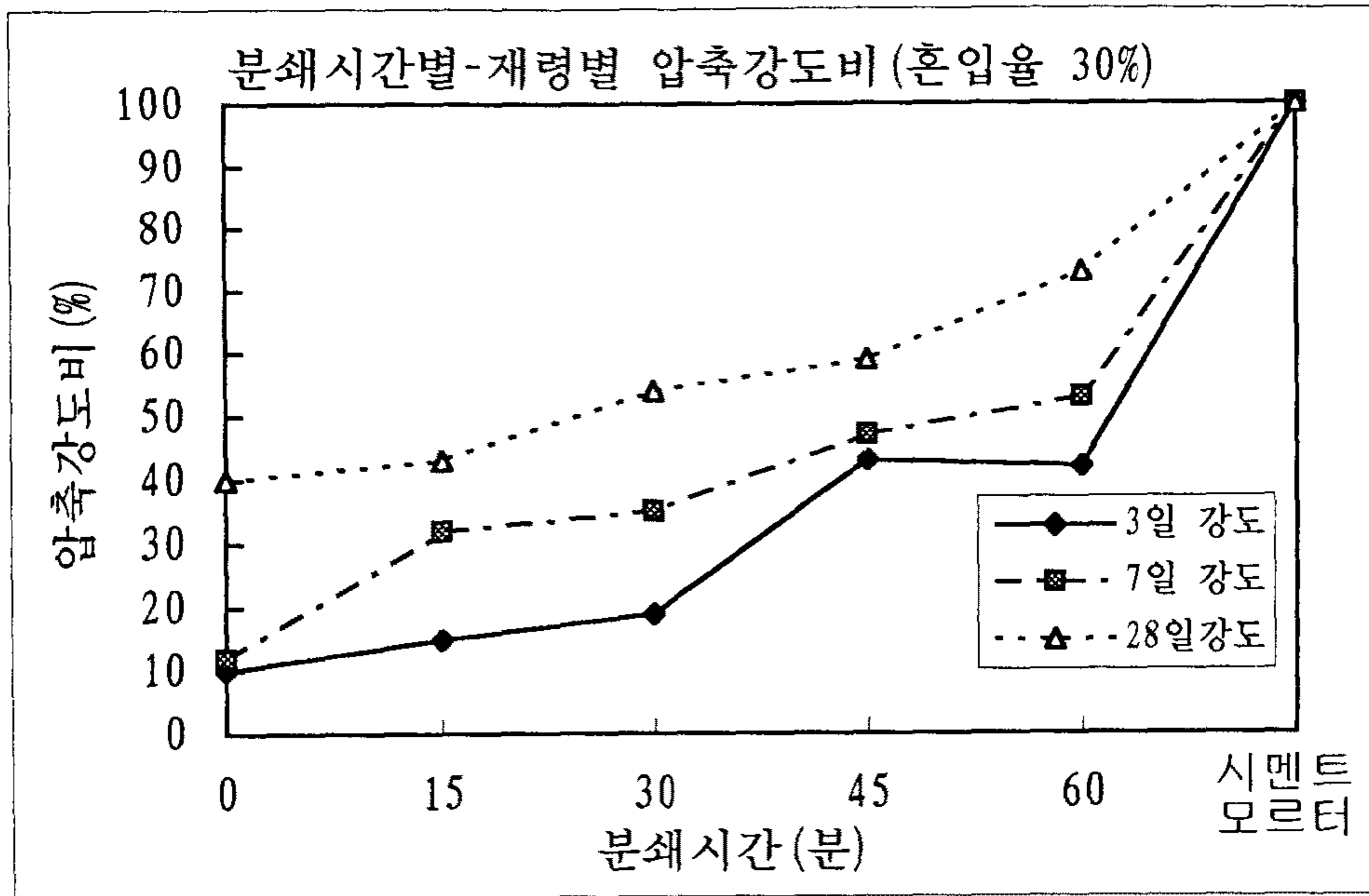
라) 왕겨재 분쇄시간이 콘크리트의 재령별 강도특성에 미치는 영향
 시멘트모르터 공시체의 재령별 압축강도에 대한 30% 왕겨재 혼입 모르터 공시체의 재령별 압축강도 비율을 정리한 것이 (표-12) 및 (그림-12)이다. 예측한바와 같이 분쇄시간이 장기화 할수록 재령별 압축강도가 일률적으로 증가하는데 이는 분쇄시간이 늘어날수록 왕겨재의 비표면적이 커지므로 나타나는 현상으로 보아야할 것이다.

한편 분쇄시간이 장기화한다는 것은 분쇄비용의 증가를 의미하므로 실용적인 측면에서 본 연구 완료후 실용화와 직결되므로 소각된 왕겨재가 최소의 비용으로 최대의 비표면적을 가질 수 있도록 효율적인 분쇄모델의 정립이 필요하며 이는 2차년도에 계속적인 연구가 필요한 것으로 판단된다.

(표-12) 왕겨재 분쇄시간별별-재령별 압축강도비^{a)}

분쇄시간 (분)	재령별 압축강도비 (%)			비 고
	3 일	7 일	28 일	
0	10	12	18	미분쇄 왕겨재
15	15	32	43	
30	19	35	54	
45	43	47	59	
60	42	53	73	

* a) : 왕겨재 30%를 혼입한 재령별 모르터 공시체 압축강도를 시멘트 모르터 공시체의 재령별 압축강도로 나눈 비율



(그림-12) 왕겨재 분쇄시간이 재령별 압축강도에 미치는 영향

마) 왕겨재 산지가 콘크리트의 재령별 강도특성에 미치는 영향

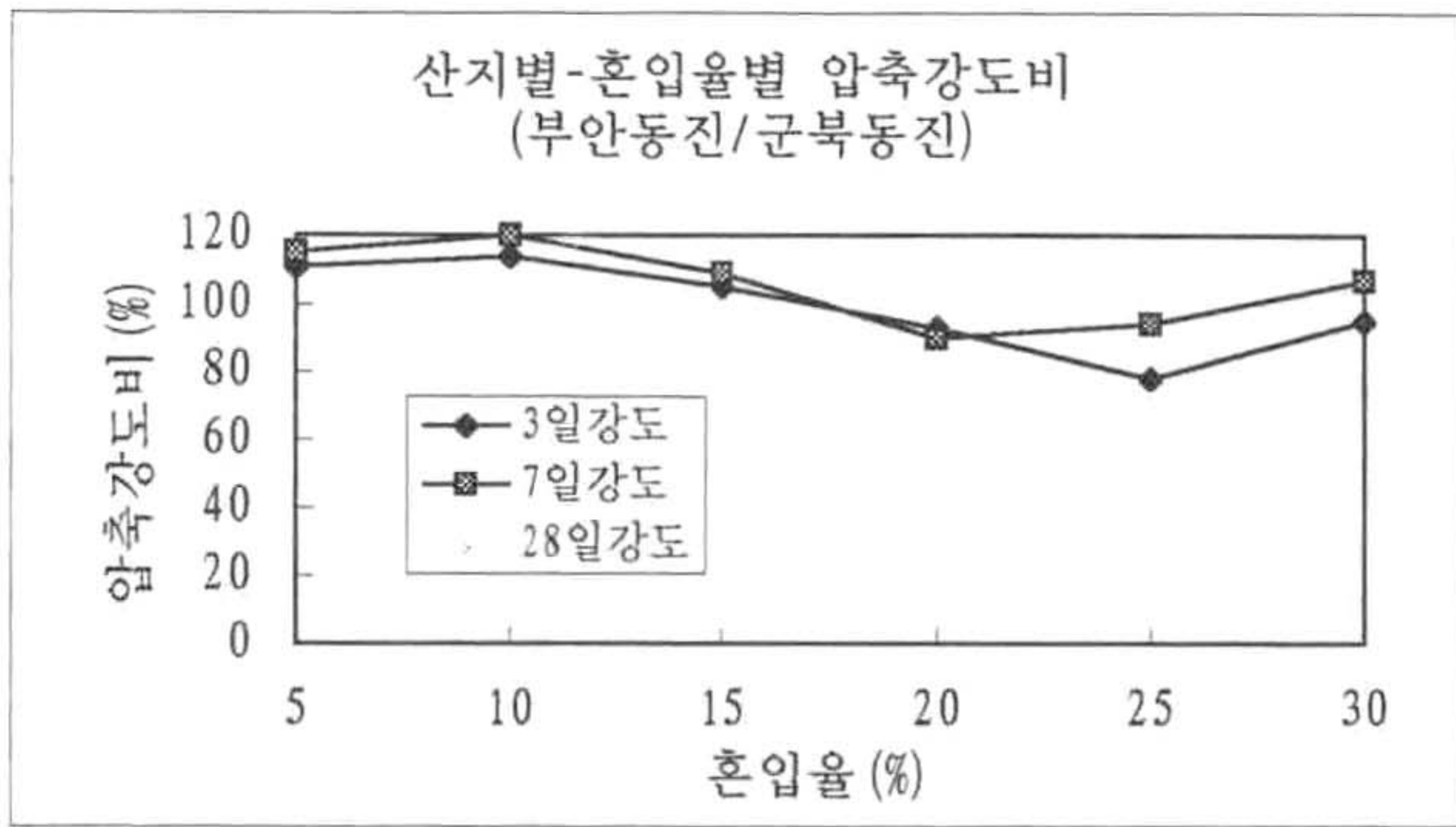
왕겨재 산지에 따른 콘크리트의 재령별 압축강도의 차이점을 분석하기 위해서 전북 김제산 동진벼와 경남 군북산 동진벼의 재령별 압축강도를 왕겨재 혼입율별로 정리한 결과가 (표-13) 및 (그림-13)이다.

이로부터 왕겨재 혼입율이 25%인 경우 3일강도에서의 차이가 인정되나 7일강도에서는 차이가 없음을 알 수 있다. 또한 시험중인 28일 압축강도비를 제외하면 왕겨재의 산지에 따른 콘크리트의 압축강도는 시험상의 오차를 감안하면 무시할 수 있을 정도로 작으므로 재배지역 즉 산지에 따른 콘크리트의 강도특성에 차이가 없다고 볼 수 있다.

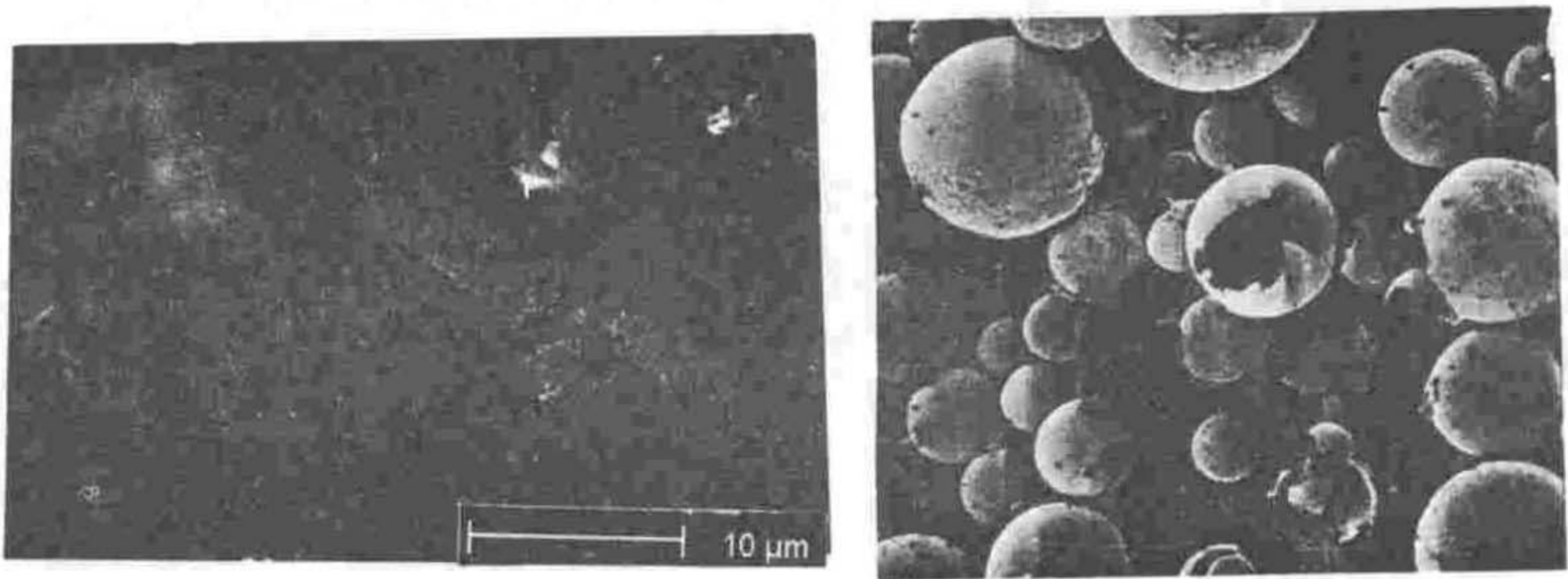
(표-13) 왕겨재 산지별-재령별 압축강도비^{a)}

재령일수	왕겨재 혼입율 (%)						평균
	5	10	15	20	25	30	
3 일	111	114	105	93	78	95	99
7 일	115	120	109	90	94	107	105
28 일	시험중	시험중	시험중	시험중	시험중	시험중	-

※ a) : 부안산 동진벼 왕겨재를 혼입한 모르터공시체의 압축강도에 대한 군북산 동진벼 왕겨재 혼입 모르터공시체의 압축강도비(%)



(그림-13) 왕겨재 산지가 재령별 압축강도에 미치는 영향



(a)

(b)

(그림-14) 분쇄된 왕겨재와 플라이애쉬의 전자현미경 사진

a) 15분 분쇄된 왕겨재

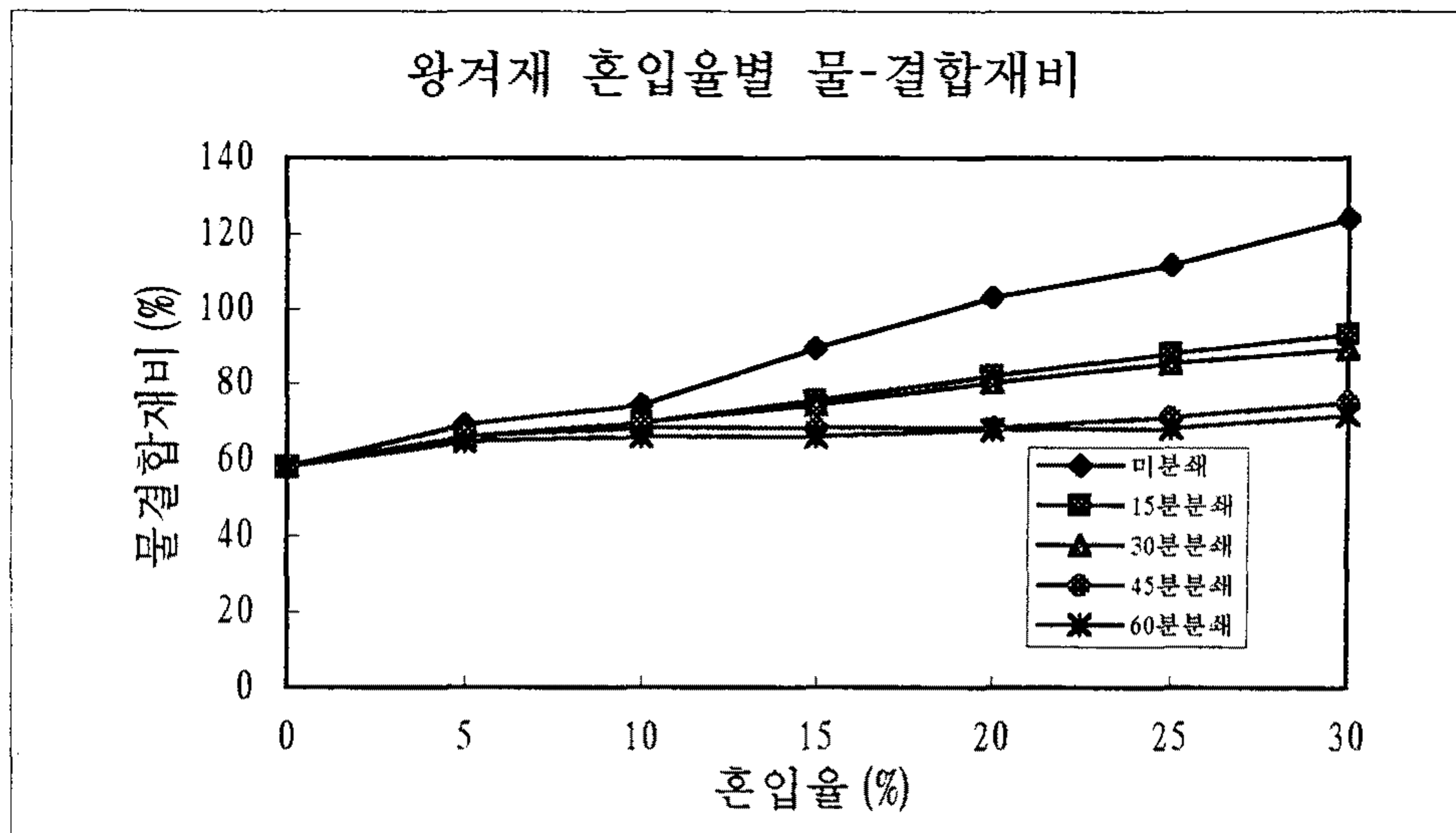
b) 플라이애쉬

3) 왕겨재 혼입 콘크리트의 시공성

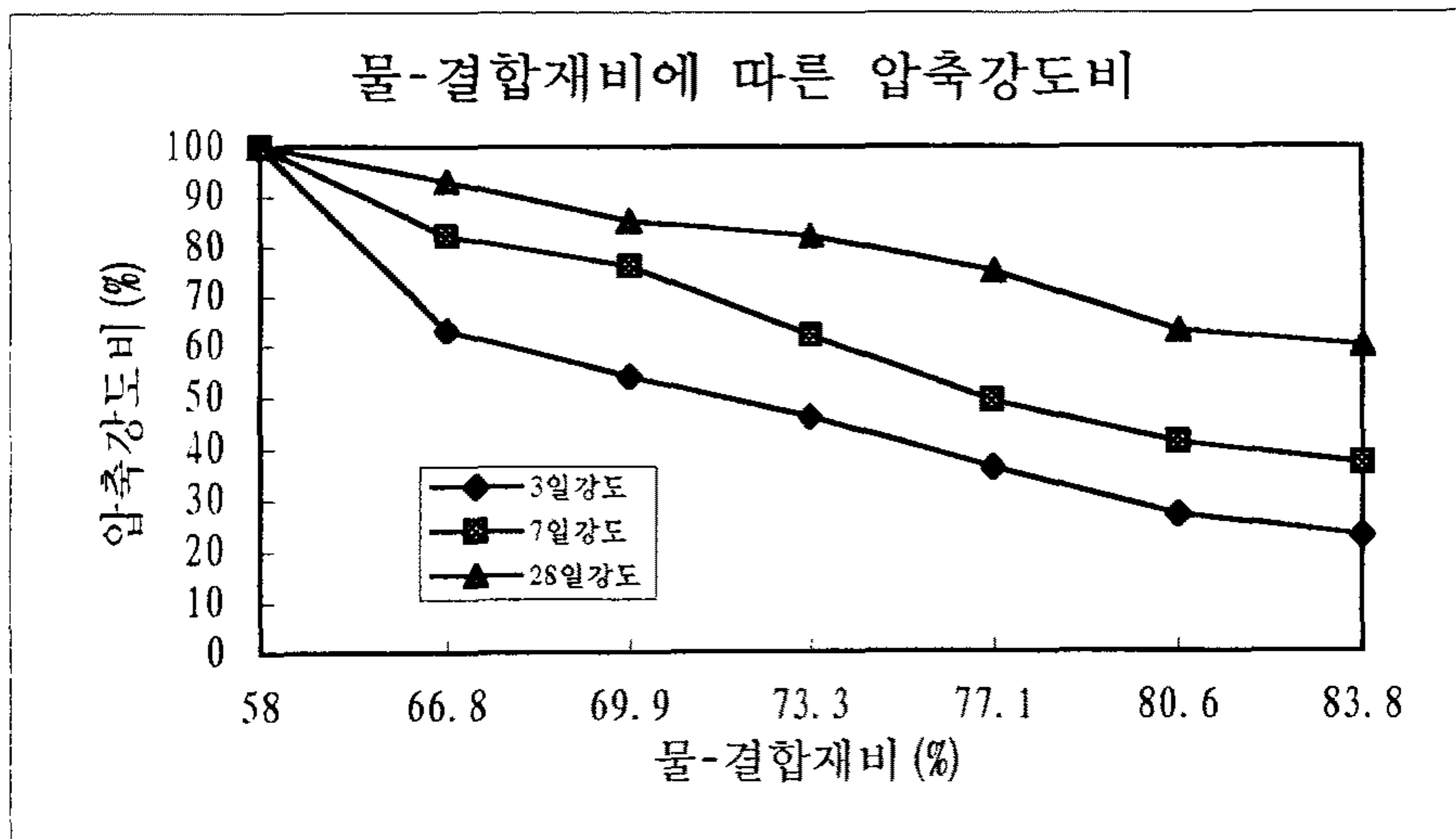
왕겨재를 분쇄할 경우 분쇄된 입자는 대부분이 (그림-14.a)과 같이 모난형 또는 각주형을 가지며, 본 실험에 사용한 왕겨재의 평균입경이 시멘트 보다 크므로 왕겨재 혼입율이 증가할수록 동일한 시공성을 얻는데 필요한 배합수량이 증가하여 물-결합재비(시멘트와 왕겨재 사용량을 합한 중량에 대한 사용수량의 중량백분율)가 증가하며 28일 이하의 단기 압축강도

는 (그림-15 , -16)에서 보는바와 같이 역시 감소한다. 반대로 왕겨재를 미세하게 분쇄할수록 파괴되는 기공의 수가 증가하고 분쇄된 입형은 구형에 가까워져서 비표면적이 증가하므로 동일한 시공성을 얻는데 필요한 배합수량이 감소하여 시공성이 양호해진다.

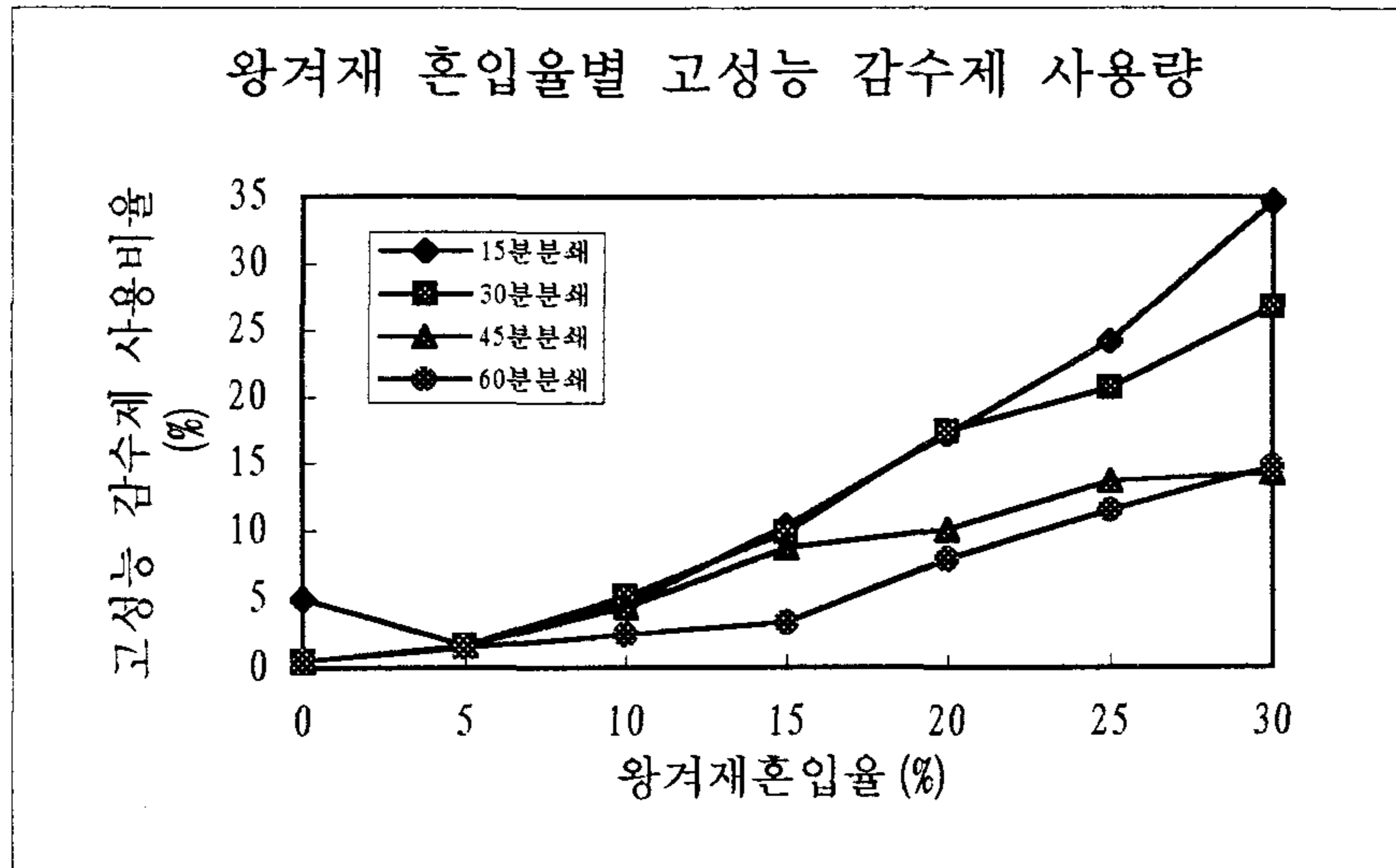
또한 왕겨재 혼입율이 증가할수록 또는 분쇄시간이 감소할수록 시공성이 감소함을 알 수 있으며, 분쇄된 왕겨재속에 분포하는 것으로 믿어지는 미세한 기공으로 인해 왕겨재를 혼입한 콘크리트는 동결융해 저항성이 클 것으로 예상되므로 이에대한 2차년도에 계속적인 연구가 필요하다



(그림-15) 동일 시공성을 얻는데 필요한 왕겨재 혼입율별 배합수량 (흐름값 110±5 기준,저온으로 소각한 전북 부안산 동진벼)



(그림-16) 물-결합재비에 따른 재령별 압축강도비(흐름값 110±5 기준)
 (압축강도비 축: 모르타 공시체의 재령별 압축강도에 대한 재령별 압축강도 백분율)
 (물-결합재비 축: 저온으로 소각한 5개 품종의 물-결합재비 평균치)



(그림-17) 동일 시공성을 얻는데 필요한 왕겨재 혼입율별 고성능감수제 사용량 비율(흐름값 110 ± 5 기준, 저온으로 소각한 전북 부안산 동진벼)
(고성능감수제 사용비율 축 : 시멘트 사용량에 대한 고성능감수제 중량 백분율)

라. 혼화재 사용 콘크리트의 강도특성 및 시공성

1) 혼화재 사용 콘크리트의 재령별 강도특성

플라이애쉬, 고로슬래그, 실리카흄을 콘크리트용 혼화재료로 선정된 다음 혼입율별, 재령별 압축강도를 정리한 것이 (표-14)이다.

플라이애쉬(비표면적: $3,044 \sim 4,050 \text{ cm}^2/\text{g}$, 비중: 2.17, SiO_2 함량 : 58.2%)를 혼입할 경우 혼입하지 않는 경우에 비해서 재령 7일 까지의 초기강도가 약 30% 감소하는 등 초기강도발현이 지체되며, 30%의 혼입율까지는 60분 분쇄한 왕겨재와 초기강도 발현이력이 유사하다. 또한 혼입율이 20~25%까지는 초기강도 발현효과가 비슷하나 혼입율이 30% 이상이면 오히려 초기강도의 감소를 가져오는 것으로 나타났다.

고로슬래그(비표면적: $4,500 \sim 4,700 \text{ cm}^2/\text{g}$, 비중: 2.93, SiO_2 함량 : 34.7%)를 30%까지 혼입할 경우 초기강도 저하가 적으며 왕겨재나 플라이애쉬를 혼입한 경우보다 강도발현효과가 뛰어나나 그 이상 혼입하면 강도발현 효과가 비슷한 것으로 나타났다.

실리카흄(비표면적: $200,000 \text{ cm}^2/\text{g}$, 비중: 2.2, SiO_2 함량 : 85~98%)은 평균입경이 $0.15 \mu\text{m}$ 로서 비표면적이 플라이애쉬의 60배, 고로슬래그의 44배 해당하므로 반응성이 매우 높아 탁월한 초기강도 증진효과가 있는 것으로 판단된다. 또한 최적의 왕겨재 혼입율은 15~20% 정도인 것으로 나타났다.

왕겨재는 비결정형 SiO₂가 약 90%로서 실리카흙과 화학조성은 비슷하나 실험실에서 60분 분쇄한 왕겨재의 평균입경의 크기가 약 20 μm 정도이어서 시멘트 또는 플라이애쉬의 입경과 비슷하므로 비표면적이 적어 반응성이 저하된 결과 초기강도가 실리카흙을 혼입하는 경우보다 저하되는 것으로 판단된다.

따라서 왕겨재 혼입 콘크리트의 강도증진과 연구사업의 실용화를 위해서는 효율적인 분쇄기술의 개발이 필요한 것으로 판단된다.

(표-14) 혼화재 종류별, 재령별 압축강도비^{a)}

재령 일수	혼화재	혼입율별 (%) ^{b)}							
		I	II	III	IV	V	VI	VII	
3 일	고로슬래그	100.0	98.6	72.5	61.3	49.3	46.5	38.7	
	플라이애쉬	100.0	62.7	56.3	62.7	65.5	74.6	62.7	
	실리카 흙	100.0	85.0	93.7	112.5	100.4	90.7	76.5	
	왕겨재	15분 분쇄	100.0	67.0	43.0	44.0	31.0	21.0	15.0
		30분 분쇄	100.0	68.0	59.0	48.0	33.0	21.0	19.0
		45분 분쇄	100.0	67.0	53.0	50.0	48.0	45.0	43.0
		60분 분쇄	100.0	69.0	58.0	60.0	62.0	46.0	42.0
7 일	고로슬래그	100.0	94.0	90.0	96.0	83.0	70.0	66.0	
	플라이애쉬	100.0	73.1	73.5	71.1	74.0	72.1	51.9	
	실리카 흙	100.0	82.6	100.4	111.78	107.7	93.1	75.0	
	왕겨재	15분 분쇄	100.0	78.0	56.0	52.0	42.0	37.0	32.0
		30분 분쇄	100.0	85.0	80.0	60.0	47.0	39.0	35.0
		45분 분쇄	100.0	77.0	72.0	67.0	65.0	53.0	47.0
		60분 분쇄	100.0	83.0	71.0	76.0	75.0	59.0	53.0

※ a) : 시멘트모르터 공시체의 재령별 압축강도에 대한 혼화재 혼입 모르터 공시체 재령별 압축강도 백분율(%)

b) : 혼화재별 혼입율 (중량 백분율 : %)

구분	I	II	III	IV	V	VI	VII
고로슬래그	0	10	20	30	40	50	60
고로슬래그 외 3 품목	0	5	10	15	20	25	30

2) 혼화재 사용 콘크리트의 시공성

물-결합재비를 고정시킨 상태에서 동일 시공성을 얻는데 필요한 고성능감수제 사용량을 혼화재 혼입비율별로 실험분석한 것이 (표-15)이다.

이로부터 고로슬래그와 플라이애쉬는 혼입율이 증가할수록 시공성이 좋아지며 실리카흙은 실험실에서 60분 분쇄한 왕겨재와 시공성이 비슷한 것으로 나타났다.

(표-15) 혼화재 혼입율별 고성능 감수제 사용량^{a)}

혼화재 혼입율 ^{c)}	고 로 슬래그	플라아 에 쉬	실리카 흙	왕 겨 재 ^{b)}			
				15분 분쇄	30분 분쇄	45분 분쇄	60분 분쇄
I	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
II	0.30	1.30	1.30	1.60	1.60	1.60	1.40
III	0.35	1.60	2.90	4.60	5.20	4.40	2.40
IV	0.30	1.30	4.00	10.30	9.80	8.70	3.30
V	0.10	0.30	7.00	17.10	17.40	10.10	7.90
VI	0.10	0.30	11.10	24.20	20.70	13.70	11.50
VII	-	0.20	15.00	34.70	26.80	14.20	14.70

※a) : 결합재 중량 백분율 (%), b) : 전북 부안산 동진벼 왕겨재(소각온도 : 600℃)
c) : 혼화재 혼입율(중량 백분율 : %)

구 분	I	II	III	IV	V	VI	VII
고로슬래그	0	10	20	30	40	50	60
고로슬래그 외 3 품목	0	5	10	15	20	25	30

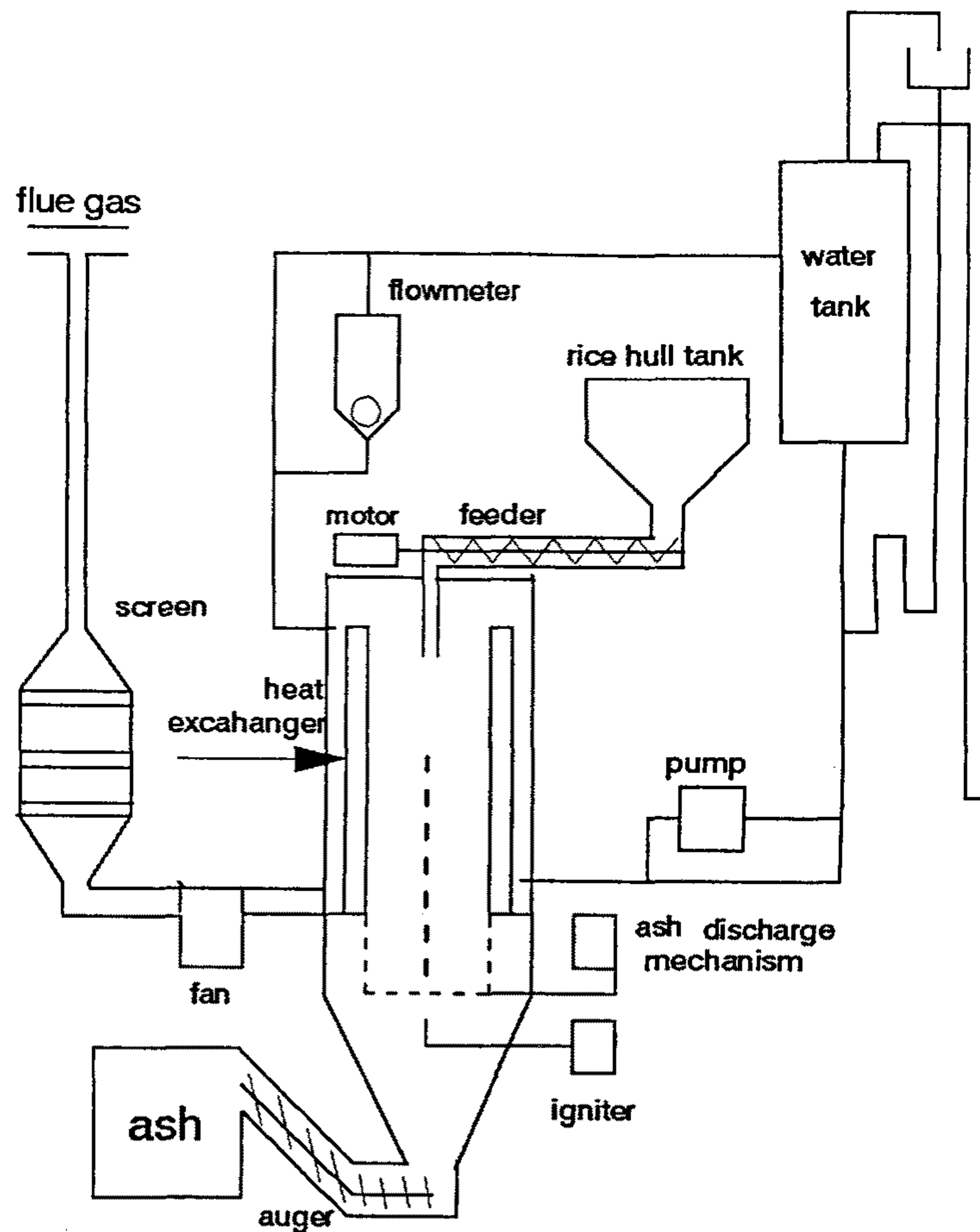
마. 효율적인 왕겨 소각시스템 및 이산화탄소 이용시스템

1) 실험용 연소기 설계 및 제작

혼화재료로서의 왕겨재를 생산하고 왕겨의 연소특성을 규명하기 위한 실험용 왕겨 소각시스템의 구조도와 제원은 (그림-18) 및 (표-16)과 같다.

(표-16) 실험용 왕겨소각시스템의 제원

구 분	제 원	비 고
소 각 로(Furnace system)		
Overall	1,100 ϕ \times 2,100	
combustion chamber	600 ϕ \times 1,500	
feeding screw conveyer	100 ϕ , pitch 70	
ash removal conveyer	100 ϕ , pitch 70	
secondary air inlet pipe	50 ϕ \times 1,000	
igniter	100,000 kcal /h	
보 일 러(Boiler system)		
connecting water pipe	22 ϕ	
water tank	2,000 liter capacity	
cylindrical annulus heat exchanger	$D_i = 640 \phi$, $D_o = 840 \phi$	



(그림-18) 실험용 왕겨 소각시스템 구조도

2) 왕겨 품종별 연소특성

왕겨의 수분함량과 발열량 및 연소후의 왕겨재량은 연소기의 연소특성에 영향을 미치는 인자이므로 연소실험에 사용한 품종별 이들 특성치를 분석 정리한 것이 (표-17) 이다.

(표-17) 왕겨 품종별 연소 특성치

특 성 치	품 종 별								
	동진 (부안)	동진 (김제)	동진 (함양)	동진 (군북)	화성 (군북)	오대 (운봉)	계화 (김제)	추청 (안산)	
수 분 함 량 (%)	습량 기준	12.08	10.45	9.51	9.65	9.77	10.02	10.16	9.84
	건량 기준	13.74	11.67	10.51	10.68	10.83	11.14	11.31	10.91
회분량 (%)	습량 기준	13.15	13.48	15.44	17.11	16.44	13.34	13.50	15.65
	건량 기준	14.96	15.06	17.06	18.94	18.22	14.83	15.03	17.36
고위 발열량 (kcal/kg)	3,660.5	3,746.1	3,571.2	3,520.5	3,503.5	3,570.2	3,429.4	3,550.6	

(표-17)을 살펴보면 이상적인 최고발열량의 범위는 3,429.4~3,746.1 kcal/kg, 왕겨내의 수분함량은 9.5~12 %, 회분(왕겨재) 함량은 13.15~17.11 %까지의 분포를 나타냄을 알 수 있으며, 연소특성치는 품종간, 재배지역간의 편차가 다소 존재하나 대체로 왕겨재의 시간별 투입량이 증가할수록 발열량이 낮으며 연소특성도 나빠진다.

3) 실험용 왕겨 소각시스템의 연소특성

가) 소각실험 조건 및 연소특성

실험용 왕겨 소각시스템에서 공기공급조건은 과잉공기 100 %를 채택하고 비결정질 실리카가 함유된 혼화재를 생산하기 위해 소각로내의 연소온도를 500 ~ 700℃로, 소각로내 왕겨공급속도를 10 ~ 20 kg/hr로 제어하였으며 실험조건별로 나타나는 열효율을 요약정리한 것이 (표-18)이다.

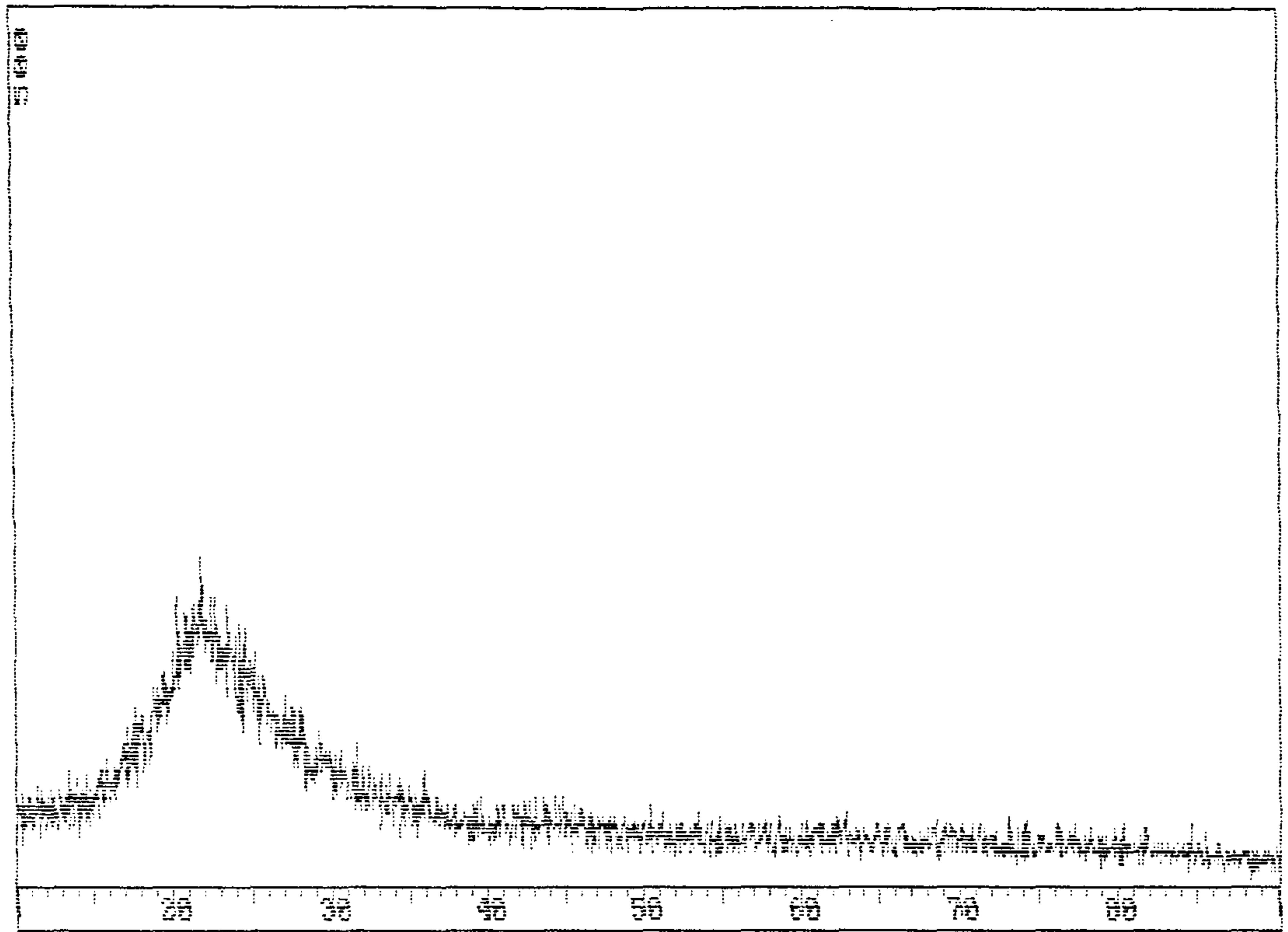
(표-18)에서 왕겨공급량 20 kg/hr, 제어온도 500 ℃인 경우 왕겨연소율이 87 %로서 비교적 낮은 결과를 보이는데 이는 연소온도를 낮게 제어하는 상태에서 왕겨공급량이 많았기 때문에 미처 연소되지 못한 왕겨가 왕겨재 배출구를 통해 배출되었기 때문이며, 이에따라 열교환기의 효율도 다른 조건에 비해서 특히 낮은 결과를 보이고 있는 것으로 판단된다.

실험결과로부터 열교환기의 효율은 최대 59.5 % 수준으로서 매우 양호한 결과를 보이므로 본 연구에서 제작한 실험용 왕겨소각시스템을 실제의 시스템으로 확장하면효율이 더욱 향상되리라 판단된다.

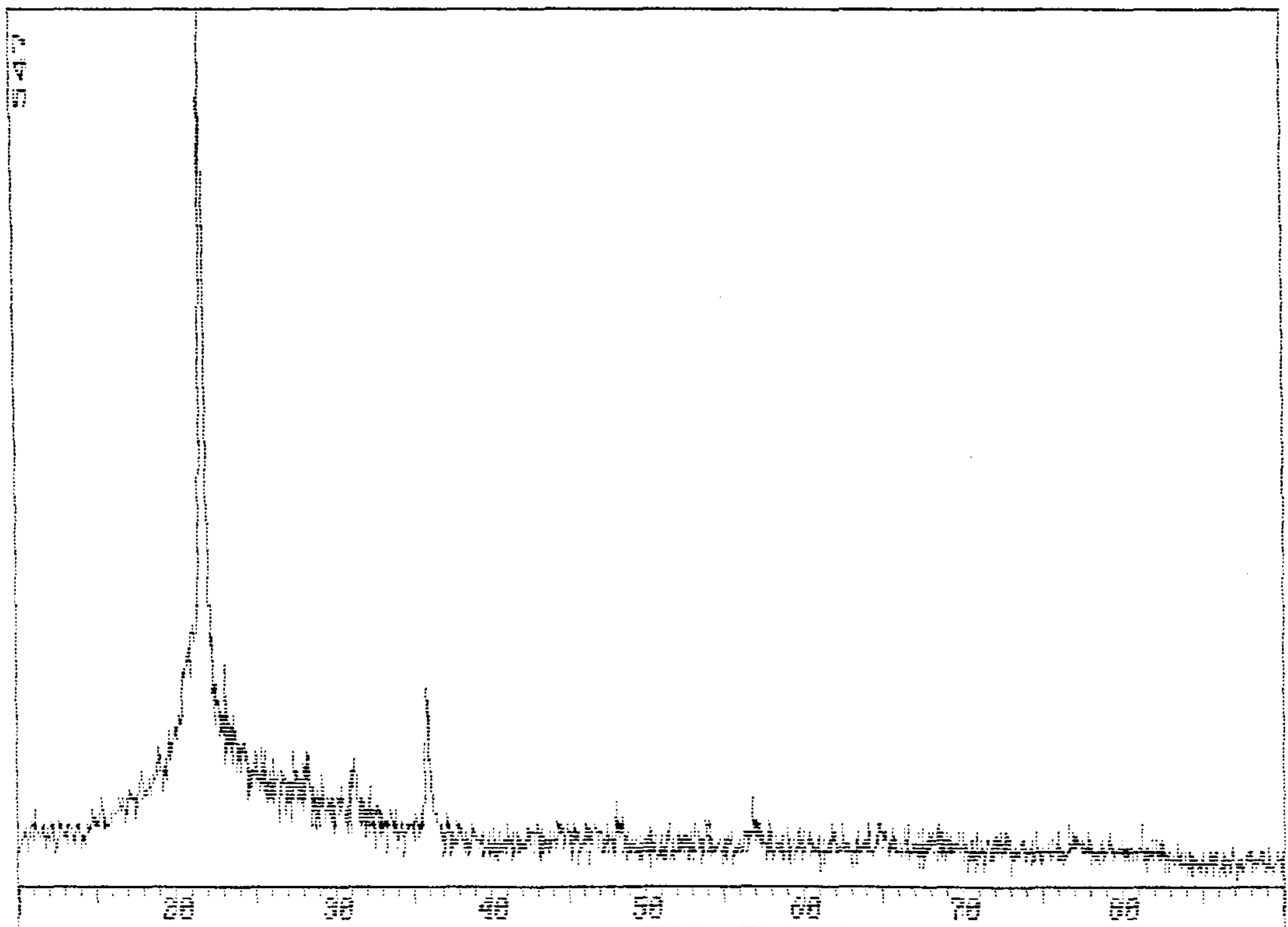
실험용 소각로로부터 회수한 왕겨재가 함유한 결정질 SiO₂의 조성비를 분석하기 위해서 제어온도별 왕겨공급량별로 X-선회절분석을 실시하였으며 그 중 대표적인 것을 도시하면 (그림-19,-20) 과 같다. 이로부터 700℃ 내외로 소각할 경우 결정질 SiO₂가 약간 생성됨을 알 수 있다.

(표-18) 소각실험 결과표

조 건		왕 겨 연소율 (%)	열교환기 효 율 (%)	소각시스템 효 율 (%)	비 고
왕겨 공급량 (kg/hr)	제어온도 (℃)				
10	500	96	53	50.9	· 품종 : 동진(부안) · 과잉공기 : 100% 1차공기 : 2차공기 (1 : 1) · 유출 왕겨재 비율 : 0.5% · 유출 왕겨재의 연소율 : 95%
	600	98	-	-	
	700	97	-	-	
15	500	93	50.5	46.9	
	600	97	59.5	57.7	
	700	99	50.3	49.6	
20	500	87	43.8	38.0	
	600	94	54.3	51.2	
	700	94	53.2	49.9	



(그림-19) 600~620°C 소각시 왕겨재내 SiO₂ 결정형태 분포(XRD분석)



(그림-20) 700~720°C 소각시 왕겨재내 SiO₂ 결정형태 분포(XRD분석)

나) 연소로내의 온도분포

연소로내의 온도분포는 저온의 완전연소가 유리하다. 그이유는 1000℃ 이상의 고온연소시에는 일반적으로 심각한 대기오염원인 질소산화물 생성이 증가하게 되어 저감대책이 요구되며, 특히 왕겨연소에서는 900℃ 이상의 고온이되면 회분내 SiO₂ 성분의 결정화율이 심화되어 미분쇄가 어려워 콘크리트용 혼화재료로서 효율성이 저하되기 때문이다.

본 연구에서 제작한 실험용 왕겨소각시스템 내에서 나타나는 왕겨 소각시의 내부온도 분포를 실측하기 위해서 연소로내 9개의 위치(T1~T9)에 열전대온도계를 설치하고 소각시간대별로 온도를 실측하고 그 결과를 정리한 것이 (그림-21,22,23)이다.

(그림-21)은 계화벼와 동진벼 두 품종을 정상상태로 연소시(왕겨공급을 13 kg/hr, 제어온도 620℃) 연소로내의 평균온도를 나타낸 것이다. 동 그림에서 동진벼인 경우가 약간 더 고온을 유지하였는데 이것은 동진벼가 계화벼에 비해 발열량이 약 7% 정도 더 많았기 때문으로 판단되며, T9의 위치(배연가스 온도 실측점)를 제외하면 연소로내의 온도는 대체로 균일하며 900℃ 이하를 유지하였다. 가장 높은 온도를 유지하는 곳은 T7 위치로서 연소실 하단으로부터 30cm 높이인 데 이 위치는 연소표면을 형성하는 곳이므로 가장 높은 온도를 유지한 것으로 판단된다.

(그림-22)와 (그림-23)은 계화벼 및 동진벼 품종에 대하여 착화시부터 연소시간에 따른 측정위치별 온도변화를 나타낸 것이다.(공급을 13 kg/hr, 제어온도 620℃) (그림-23)의 22시간대의 온도하강은 왕겨의 공급이 일시적으로 중단되었기 때문에 나타난 것이다. 두 그림으로부터 정상상태에 도달하는 시간은 착화후 5~6시간으로 추정되는데 이는 연료물질수지로부터 계산한 시간의 2배에 해당하는 시간으로 일반적인 정상상태 도달시간과 잘 일치하는 것으로 판단된다.

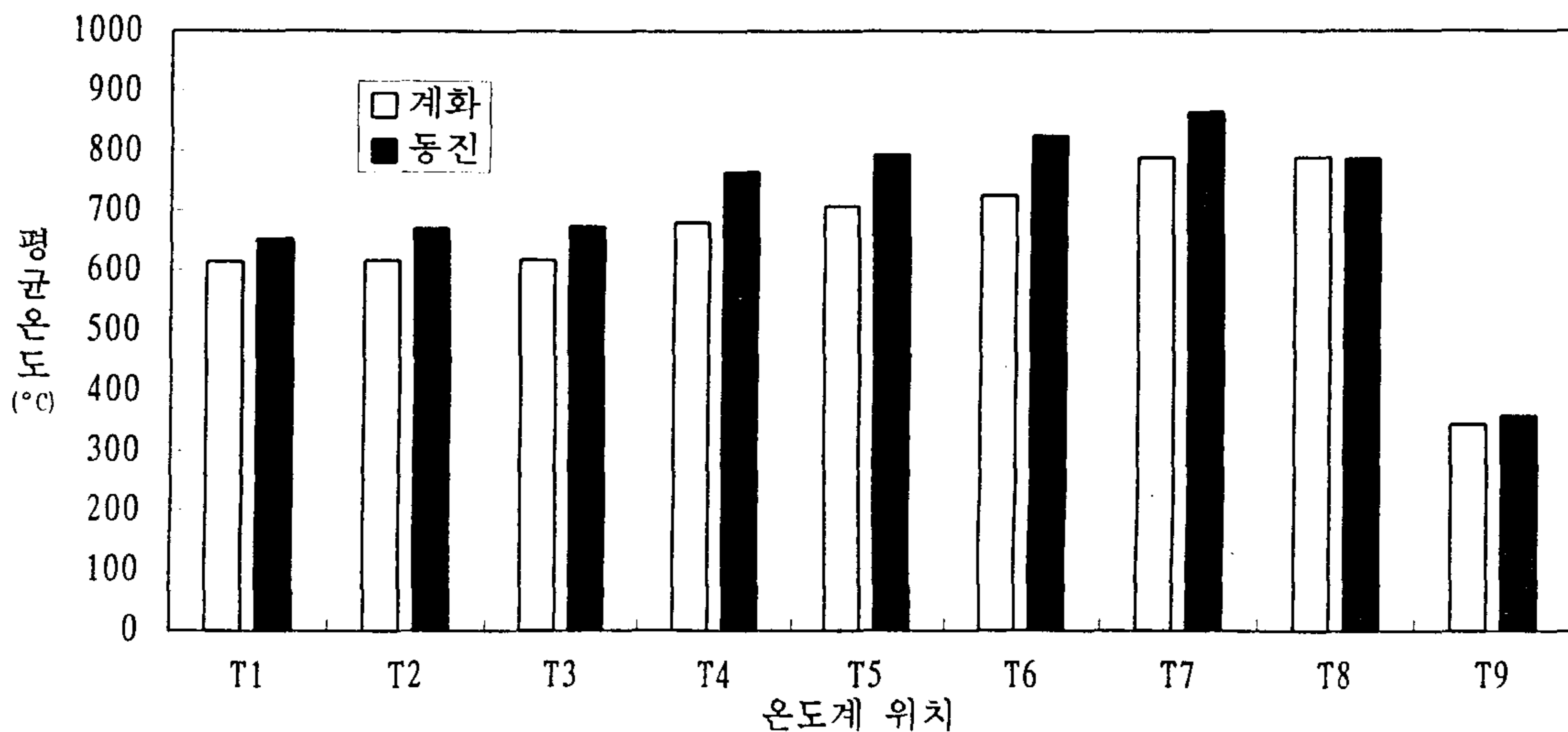
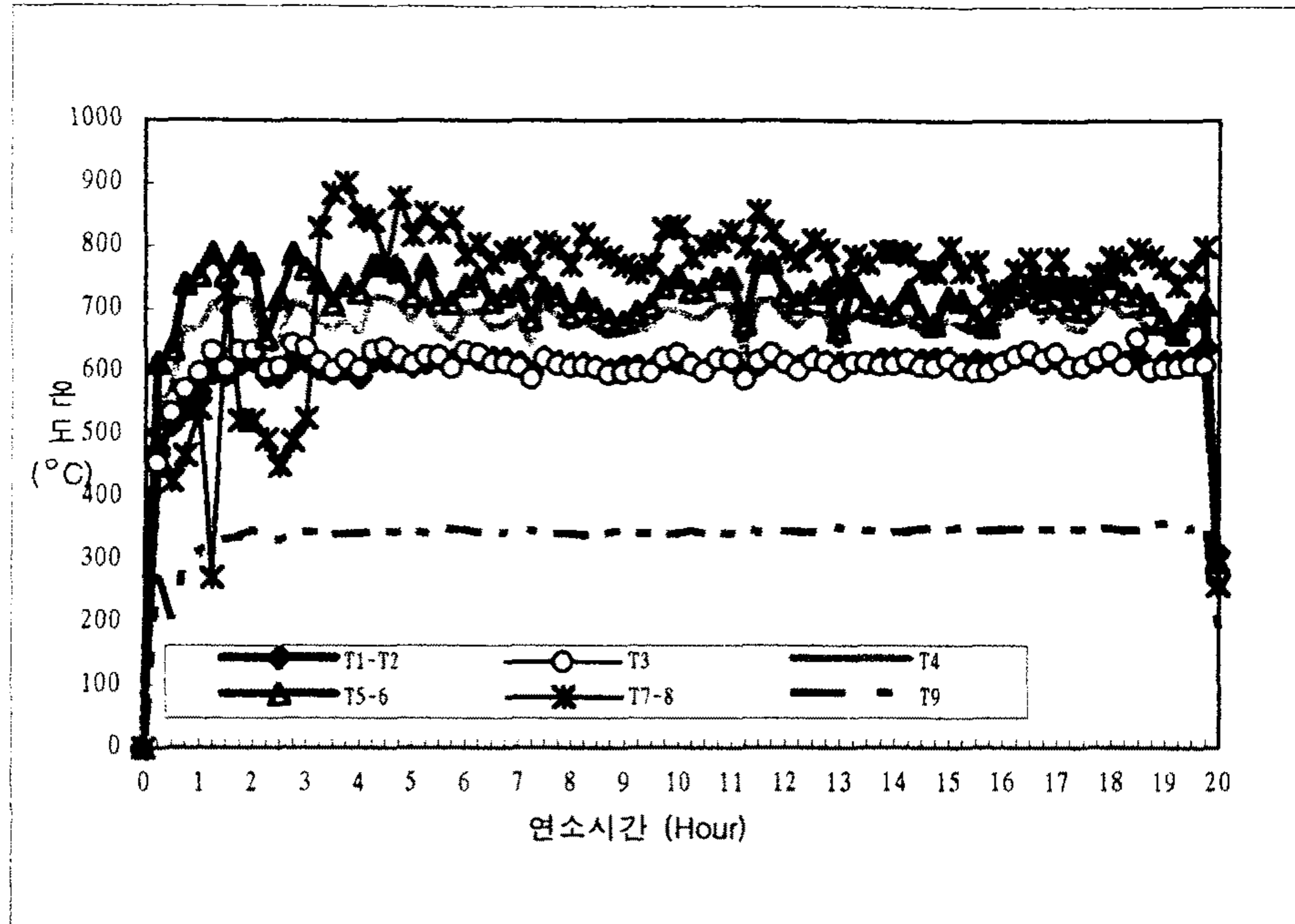


그림 * / 정상상태 연소시 연소로내의 품종별, 위치별 평균온도 비교
(왕겨공급율:13kg/h, 제어온도:620℃)

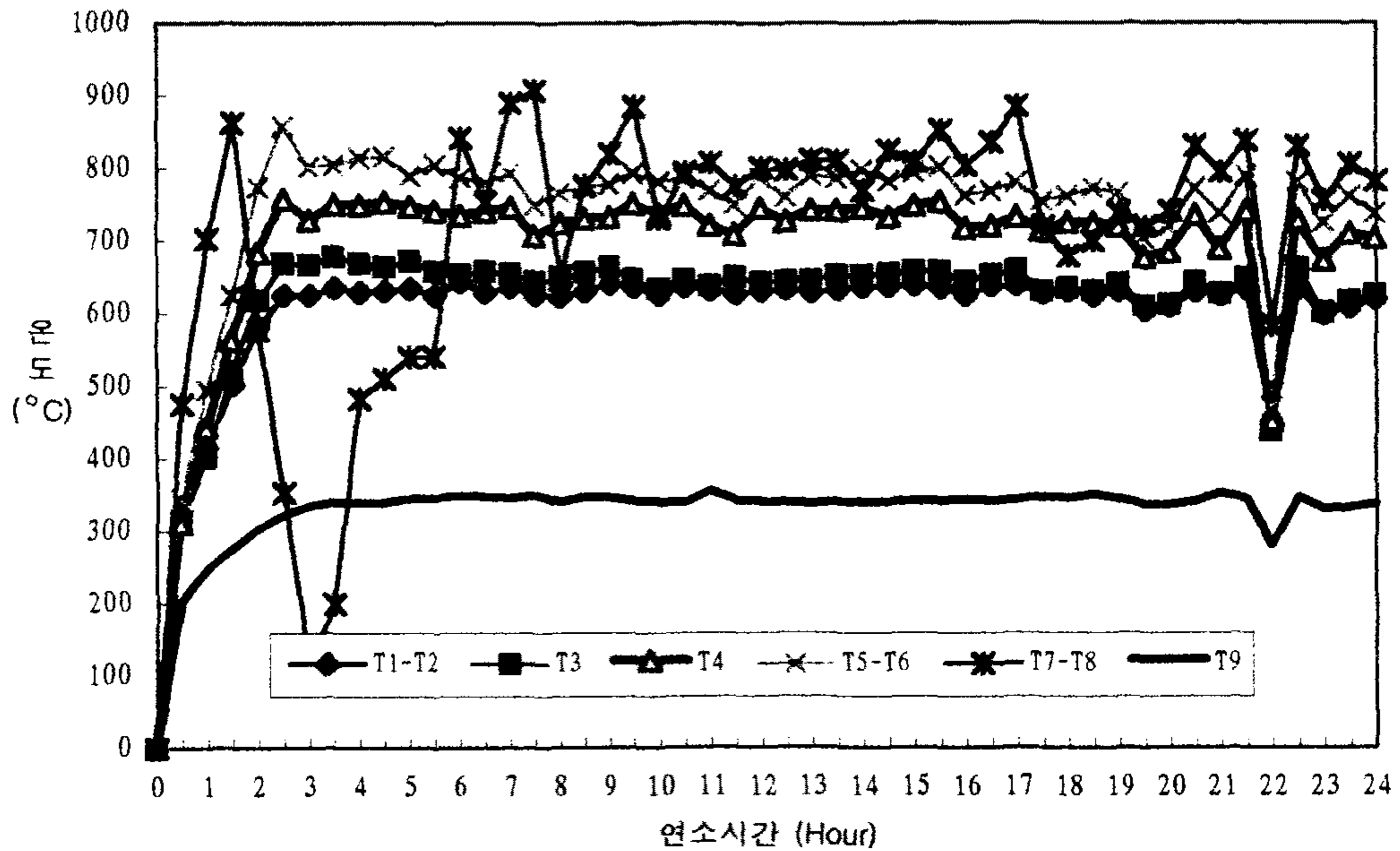
(그림-21) 정상상태 연소시 연소위치별 온도분포

T7-T8, T5-T6의 위치에서 온도변화가 심한 것은 연소실 하부의 연소 표면 근처로서 화염에 직접 노출되는 위치이기 때문이다.

이러한 실험결과를 바탕으로 T1의 위치를 제어온도를 실측하는 위치로 사용하였는데 이 위치가 연소실내에서 온도변화가 가장 작기 때문이다.



(그림-22) 연소시간에 따른 연소로내의 위치별 온도분포
 품종: 김제산 계화벼, 왕겨공급율:13kg/hr, 제어온도:620°C



(그림-23) 연소시간에 따른 연소로내의 위치별 온도분포
 품종: 부안산 동진벼, 왕겨공급율:13kg/hr, 제어온도:620°C

4) 실험용 왕겨 소각시스템의 배연가스 특성

연소기의 배연가스성분 중 대기오염과 관련되는 CO₂, CO, NO, NO₂, SO₂ 성분조성을 배연가스분석기(ENERAC 200E, USA)를 사용하여 연소조건별로 48시간 이상 연소 후 5반복 이상 측정하였으며, 중요한 결과를 정리한 것이 (표-19)이다.

표에서 실험용 왕겨소각시스템으로부터 배출되는 배연가스 내에 NO₂와 SO₂의 농도가 허용치를 훨씬 밑도는 매우 양호한 결과를 보이고 있으며, CO₂의 농도는 평균 7.3%를 나타내고 있다.

또한 (표-19)에서 실험용 왕겨소각시스템으로부터 비결정질 실리카를 생산하기 위해 소각온도를 지나치게 낮추었기 때문에 가연성가스의 연소가 신속하게 이루어 지지 못한 결과 제어온도 600℃에서 일산화탄소(CO)의 배출량이 허용량을 약간 상회한 결과로 나타나나, 연소실의 일부를 보완하면 해결 가능할 것으로 기대된다.

(표-19) 실험용 왕겨소각로의 배연가스 농도 분석표

소 각 조 건	CO (PPM)	CO ₂ (%)	NO (PPM)	NO ₂ (PPM)	SO ₂ (PPM)
제어온도 : 600 ℃ 왕겨공급량 : 15 kg/hr	500 - 650	5.7 - 8.7	40 - 47	50 - 70	40 - 50
제어온도 : 700 ℃ 왕겨공급량 : 20 kg/hr	429 - 570	5.9 - 8.9	60 - 85	30 - 60	10 - 50
허 용 한 계	600			200	300

5) 실험용 왕겨 소각시스템 배연가스의 시설농업 이용 가능성

실험용 왕겨소각시스템 으로부터 배출되는 배연가스가 시설농업에 이용가능한지 여부를 확인하기 위해서 (그림-24)와 같은 미세조류 배양기 설계 제작하여 실험을 수행하였다. 사용된 미세조류로서 균주는 구형이며 세포표면이 매끄러운 *Chlorella* sp.로서 고농도의 이산화탄소하에서 좋은 성장을 보여주는 미세조류이다. 사용된 광원은 20W 형광등을 이용하였으며, 온도는 저온순환냉각기를 사용해 조절하였다. 배양액은 자석교반기를 이용하여 혼합하였으며, 이산화탄소의 농도는 고압 이산화탄소(순도 99%)와 공기를 각각의 유량조절계를 이용하여 부피비로 조절하였으며 배양기가 들어있는 수조는 흰색으로 칠하여 빛의 투과를 최대한 줄였다.

가) 실험설계

미세조류 배양을 위해 M4N 배지를 사용하였으며, 삼각플라스크에 225ml를 분주하여 멸균한 후 각각의 플라스크에 접종배지에서 배양한 액을 25ml씩 접종하였다. 그 후 각각의 배양기를 잘 흔든 다음 각각 5ml씩

채취하여 초기흡광도 값을 측정하여 미세조류 성장을 관찰하였다. 낮주기 동안은 이산화탄소를 공급하고 밤주기 동안은 차단하였다. 균주가 가장 잘 자랄수 있는 최적조건을 확립하기 위해서 이산화탄소의 농도, 배양온도, 배지의 초기PH, 광주기의 변화효과에 관하여 실험하였다. 균주가 정상상태에 도달하는 기간이 4일정도 되므로 최적조건을 규명하기 위한 비교실험은 4일간 12시간 간격으로 흡광도를 측정하였다. 최종적으로 최적의 배양조건에서 왕겨 배연가스(이산화탄소 농도 약 7.5%)와 순수 이산화탄소(농도 약 7%)를 이용하여 배양한 결과를 비교하였으며, 왕겨 연소시 나타나는 배연가스를 이용하여 미세조류 배양이 가능함을 검증하였다.

나) 건조질량 측정방법

배양액을 원심분리관에 적당량 취하여 400 rpm에서 25분간 원심분리한다. 상등액을 제거한 후 가용성물질을 제거하기 위하여 증류수를 혼합하여 준다. 다시 원심분리하여 상등액을 제거한 다음, 균체를 항량된 용기에 옮겨 105°C로 유지된 건조기에서 항량이 될 때까지 건조하여 데시게이터에서 방냉후 무게를 측정하였다. 흡광도 측정은 배양액을 적당히 희석한 후 660nm에서 자외선분광계를 이용하여 측정하였으며, 흡광도와 건조질량 사이의 상관관계를 구해 흡광도를 측정함으로써 건조질량으로 환산하였다.

다) 배연가스내 이산화탄소 농도가 녹조 성장에 미치는 영향

CO₂의 농도변화와 마이크로엘지(microalgae, 균주 : Chlorella sp.) 배양 효과와의 관련성에 관한 실험결과는 (그림-25)에 나타내었다. 이로부터 이산화탄소의 농도 7-10%인 경우가 최적의 농도로 판단되며, 이산화탄소의 농도 15%에서 약간 성장이 둔화되기는 하나 미세조류 배양에는 큰 지장을 주지 않는 것으로 판단된다. 이와같은 실험결과는 본 실험을 위해 사용된 미세조류가 고농도의 이산화탄소하에서도 성장할 수 있는 미생물이라는 결과와도 유사하다.

실험용 왕겨소각시스템으로부터 배출되는 CO₂의 농도는 평균 7.3%로서 순수 이산화탄소 농도 7%와 비교하여 그 결과를 (그림-26)로 나타냈다. 지수성장 시기인 24-36시간을 제외하면 두 실험간에 큰 차이를 발견할 수 없으며, 지수 성장기 이후의 상태에서 약간의 차이를 보여 주었다. 이로부터 왕겨 연소기의 배연가스를 이용하여 미세조류의 배양이 가능함을 알 수 있다. 이로부터 실험용 왕겨 소각로에서 배출되는 배연가스를 시설농업용 이산화탄소 공급원으로 직접 활용하더라도 큰 문제가 없을것으로 판단할 수 있다.

라) 광주기가 녹조 성장에 미치는 영향

(그림-25)와 같이 실험시간 내내 빛을 조사하는 것이 아니라 실제 연못의 조류 성장장치 처럼 주기적으로 빛을 조사하여 미세조류를 배양하여 결과를 (그림-27)에 나타냈다. 빛을 조사하지 않는 경우는 조류성장이 멈추는 것을 알 수 있다. 계속적으로 빛을 조사한 (그림-25)의 33시간이 주기적으로 빛을 조사한 (그림-27)의 57시간에 해당하므로 그 결과를 비교하

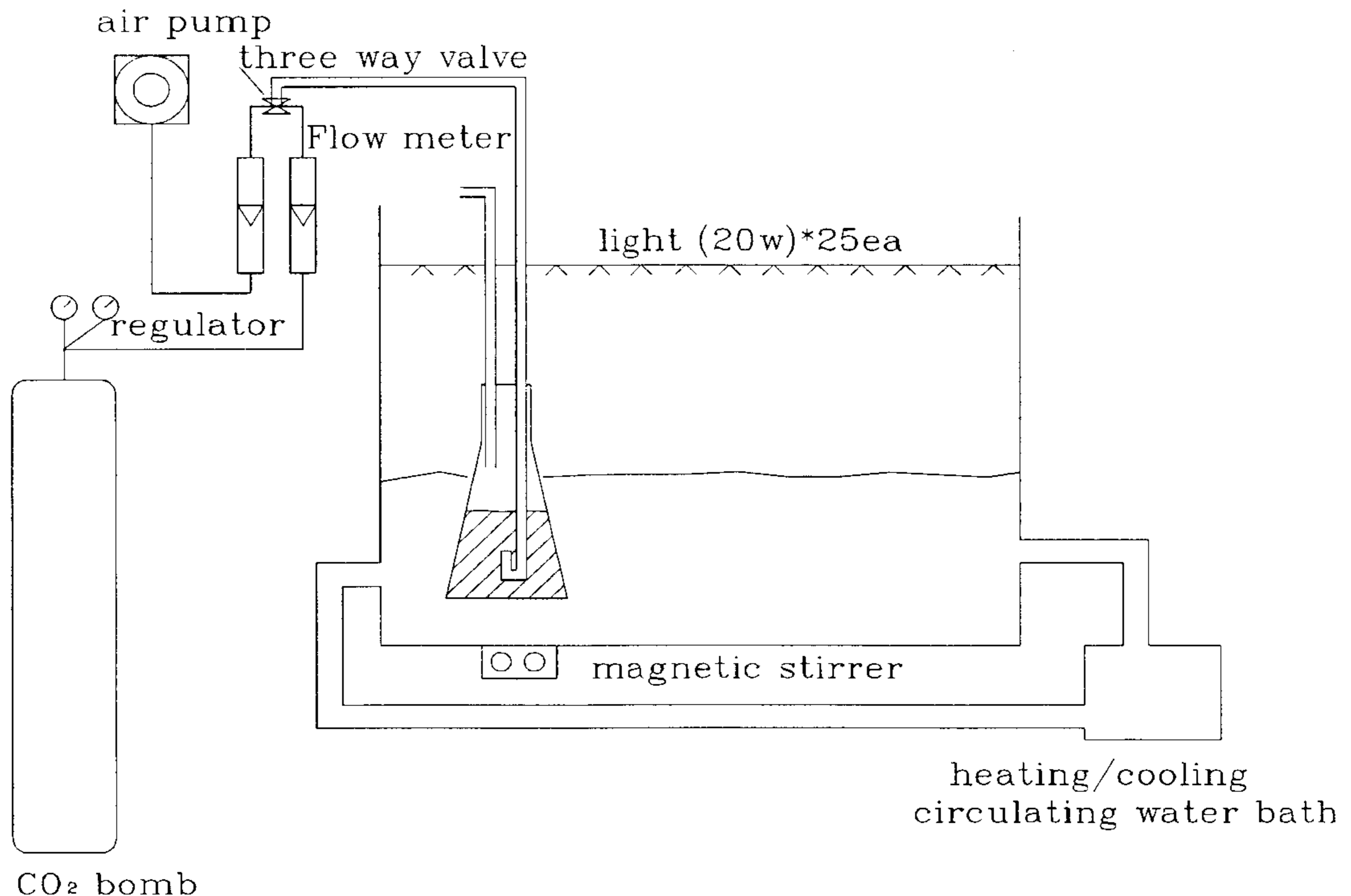
면 건조질량 무게의 차이가 크게 다르지 않음을 알 수 있다. 이산화탄소의 농도가 7%인 경우 각각 0.37, 0.48이었다. 그러나 빛을 받은 전체 시간이 33시간을 초과한 이후의 미세조류의 성장곡선의 경우는 뚜렷한 차이점을 보여 주었다. 계속적으로 빛을 조사한 경우는 성장이 둔화된 반면(그림-25), 주기적으로 조사한 경우는 성장이 약간 둔화되기는 했지만 성장이 지속되었음을 알 수 있다.(그림-27)

마) 배지 초기의 PH의 영향

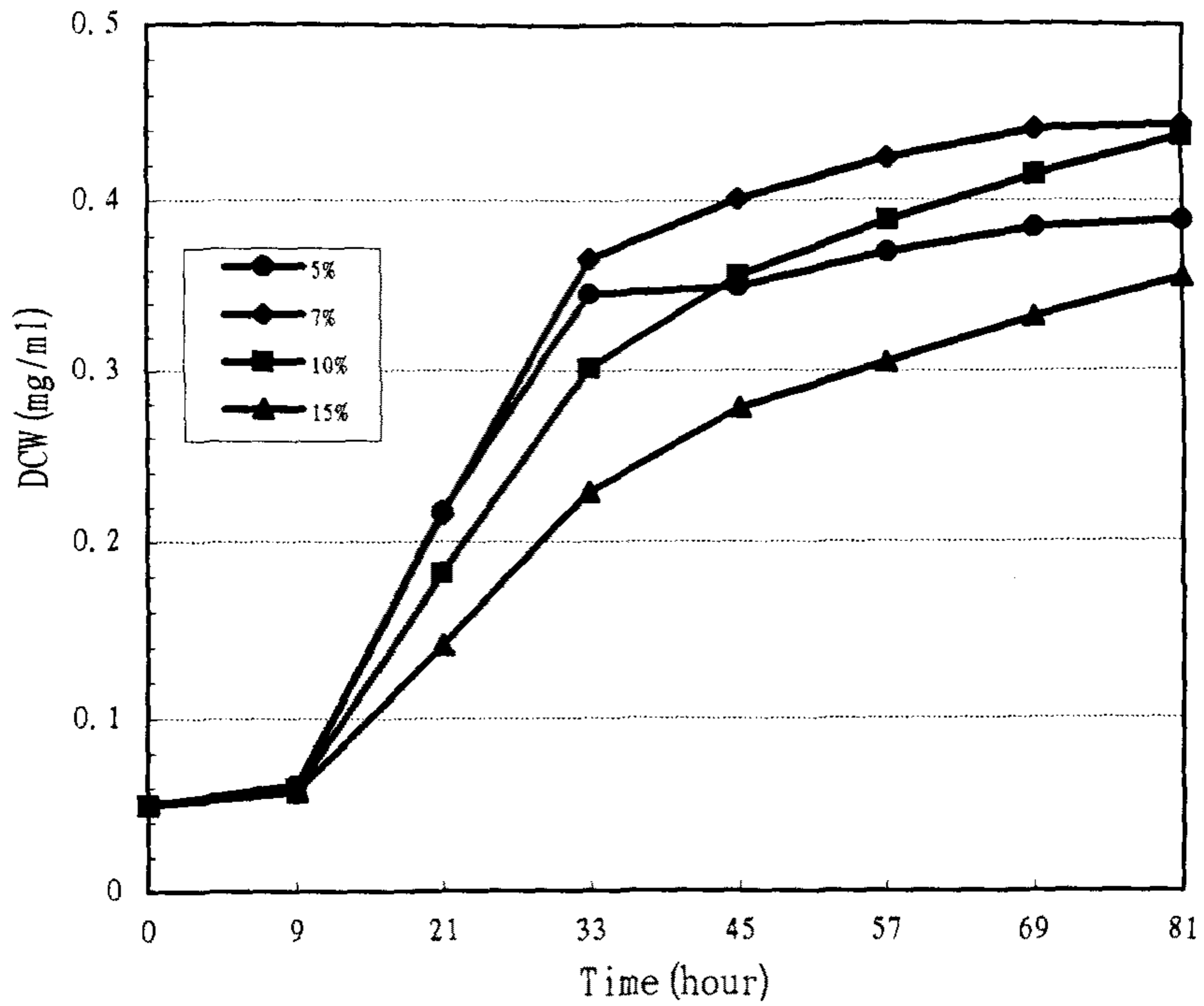
배양조건을 확립하고자 배지 초기 PH 변화에 대한 영향을 조사하여 그 결과를 (그림-28)에 나타내었다. 배지 초기 PH가 4.5인 경우가 6보다 성장이 좋았으며, PH 3인 경우는 완전히 성장이 저해되었다. 배양후 PH 변화를 측정한 결과 초기 배지 PH와 관계없이 PH가 6정도로 측정되었다. 이로부터 이산화탄소가 배지의 PH 변화에 영향을 미치는 것을 알 수 있으며 최적의 배양을 위해 PH를 조절한다면 4.5 정도를 조절하는 것이 배양을 위해 좋을 것으로 사료된다.

바) 배지 온도의 영향

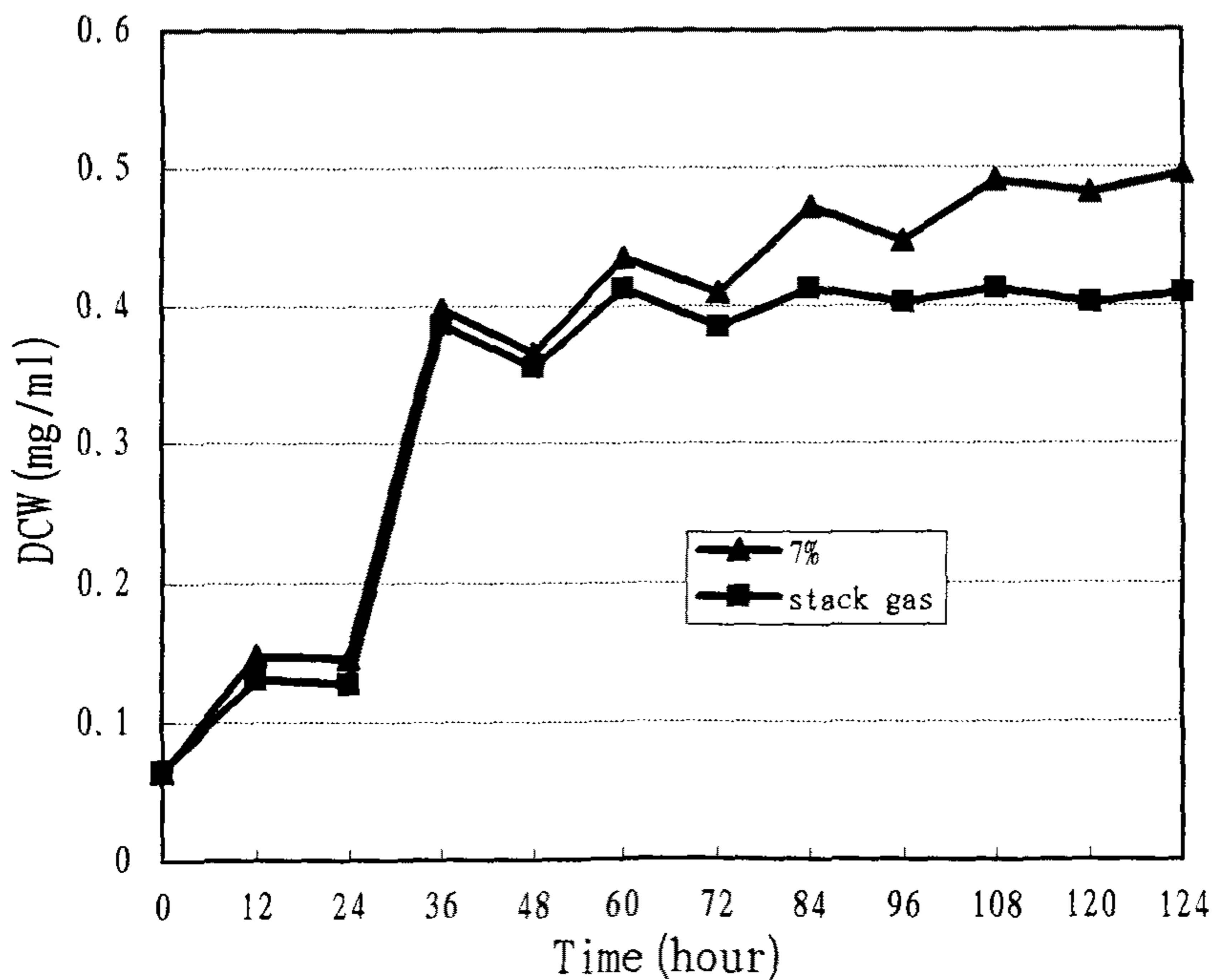
각 이산화탄소의 농도에 대하여 온도변화에 따른 81시간 배양 후의 건조질량을 비교하여 그 결과를 (그림-29)에 나타내었다. 실험한 이산화탄소의 농도내에서 최적의 온도는 30°C이었으며, 25°C와 35°C에서는 30°C의 각 이산화탄소 농도별 건조질량의 평균값의 69%와 73%에 각각 도달하였다. 이로부터 왕겨 연소로의 배기가스 중의 이산화탄소 농도가 7-8%정도임을 고려하면 미세조류의 배양을 위한 최적의 배지온도는 30°C로 판단된다.



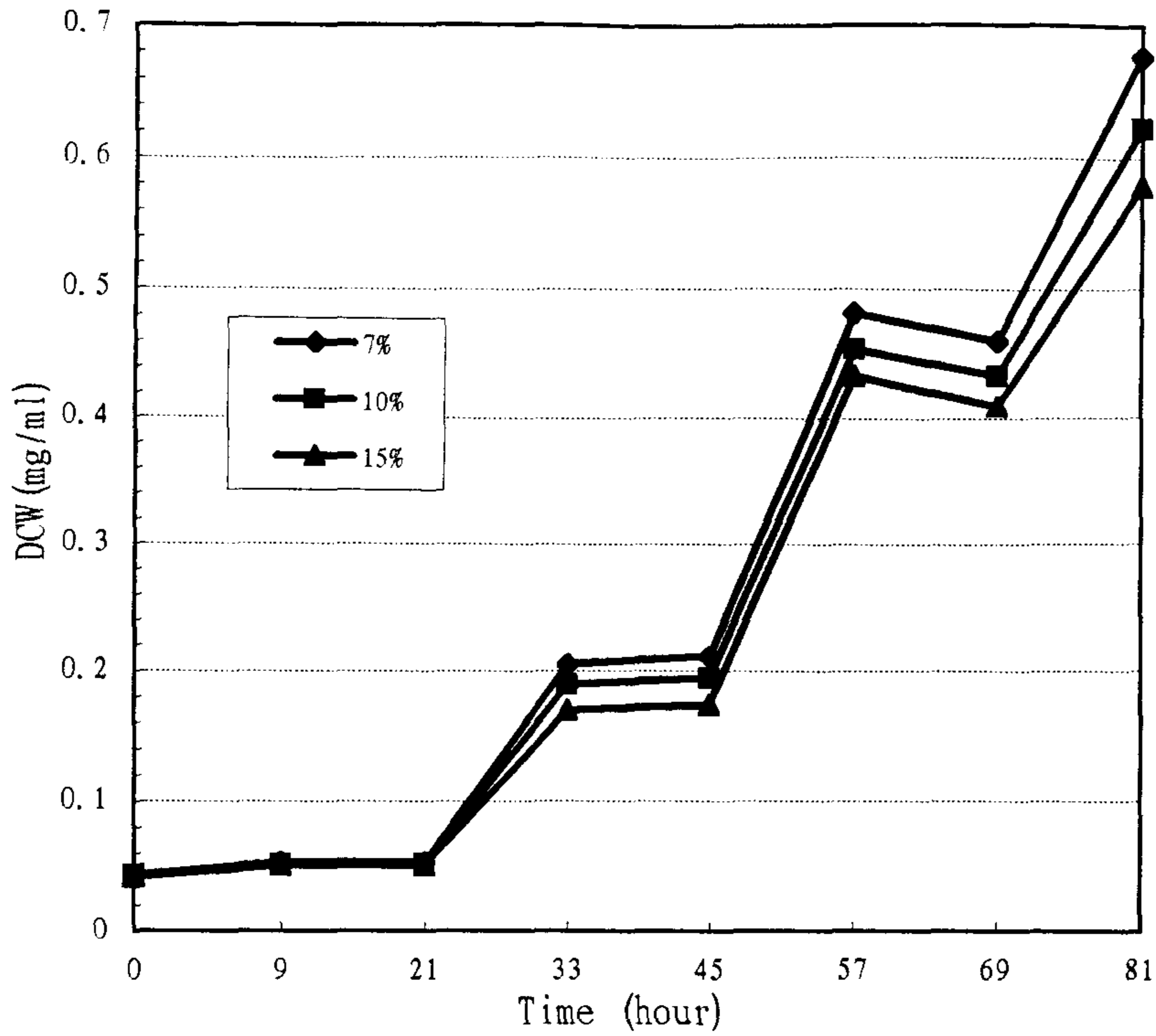
(그림-24) 마이크로엘지 배양기 구조도



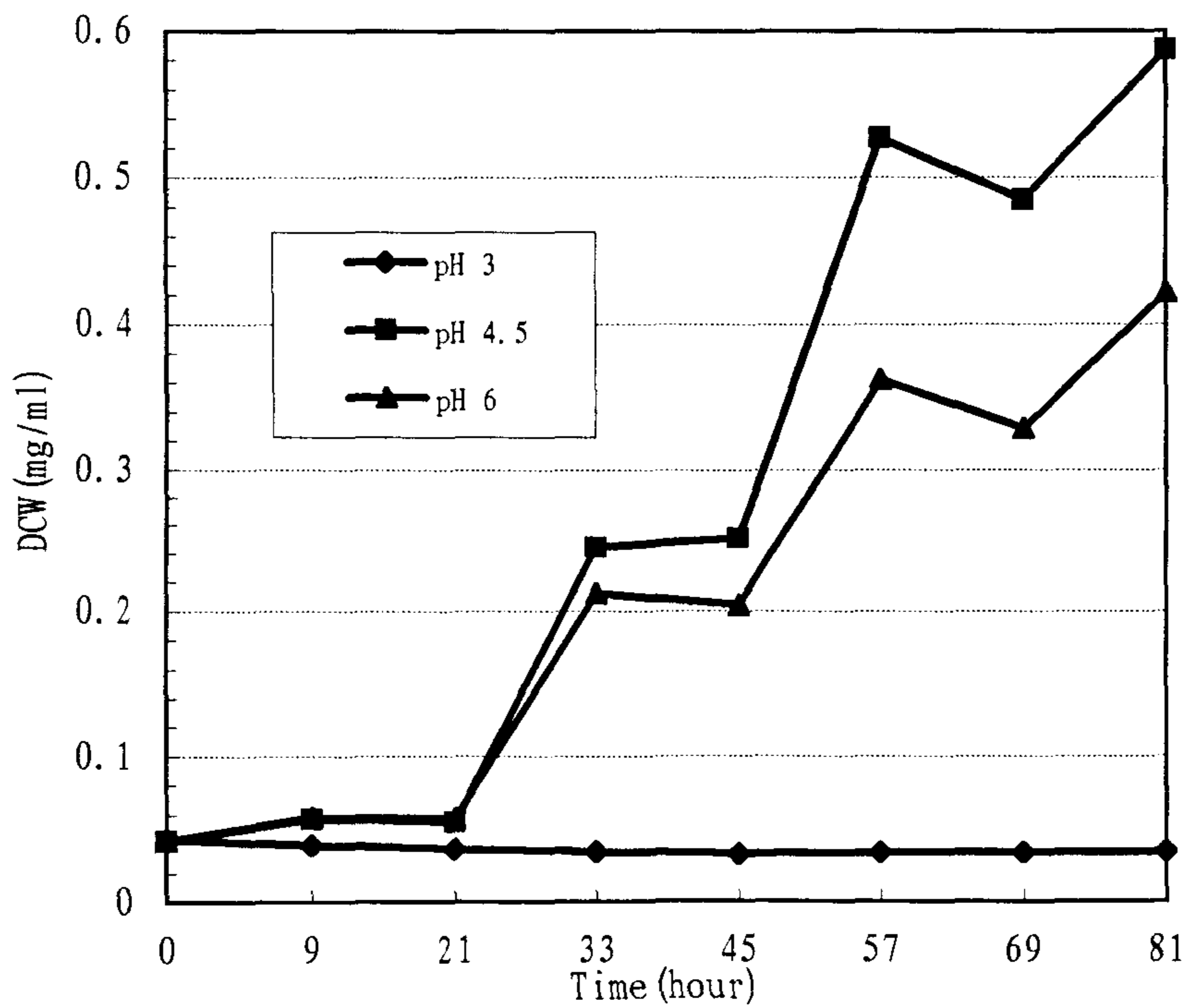
(그림-25) 연속 광조사시 CO2농도가 녹조의 성장에 미치는 영향
(배지 초기 pH 4.5 , 온도 45 °C , 광강도 5-6 klux)



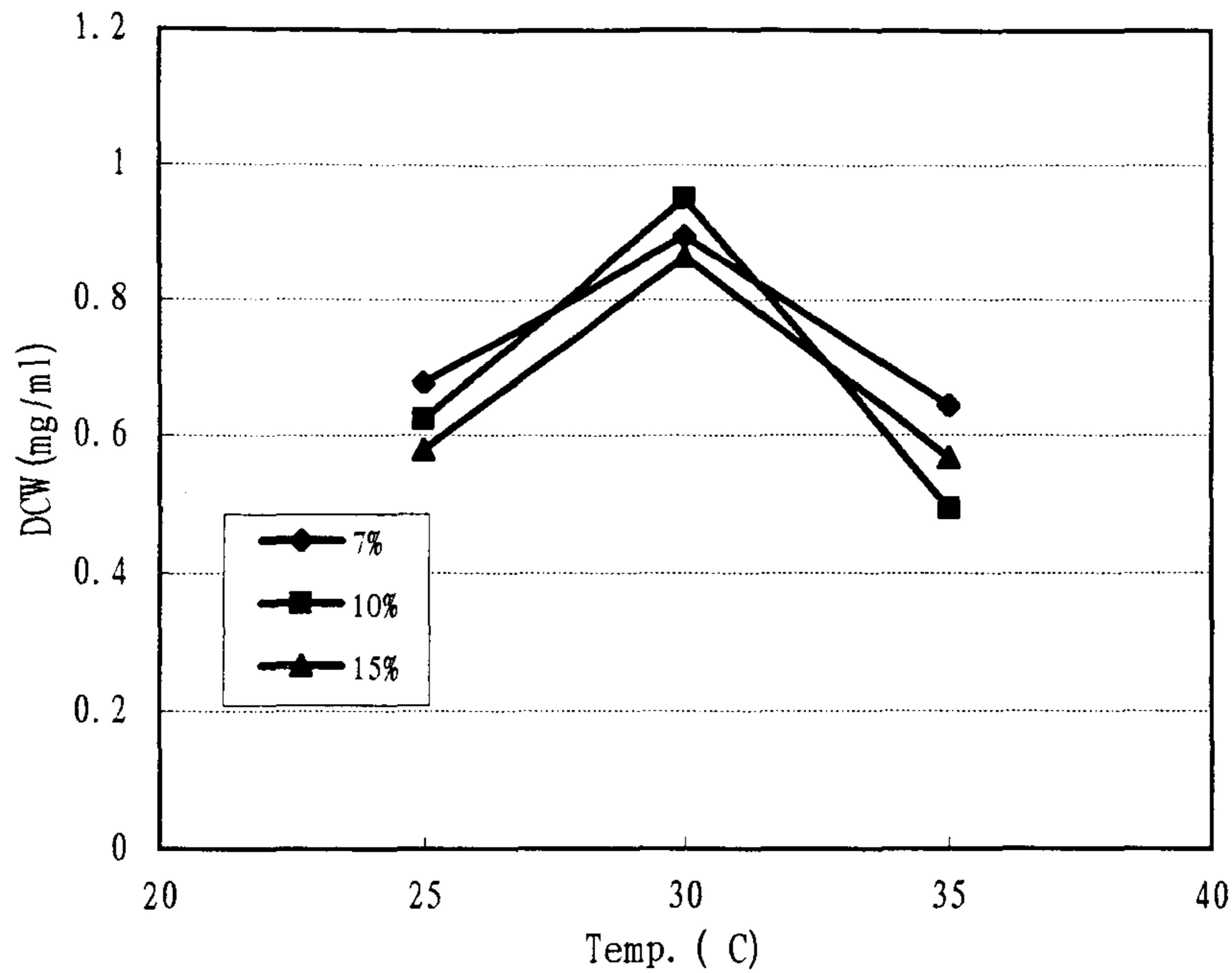
(그림-26) 순수 CO2와 배연가스가 녹조의 성장에 미치는 영향
(배지 초기 pH 4.5 , 온도 30 °C , 광강도 5-6 klux)



(그림-27) 주기적인 광조사시 CO2농도에 따른 녹조의 성장효과
(배지 초기 pH 4.5 , 온도 25 °C , 광강도 5-6 klux)



(그림-28) 배지 초기 PH가 녹조의 성장에 미치는 영향
(온도 45 °C , 광강도 5-6 klux)



(그림-29) 81시간 후 건조질량에 미치는 온도의 영향
(배지 초기 pH 4.5 , 광강도 5-6 klux)

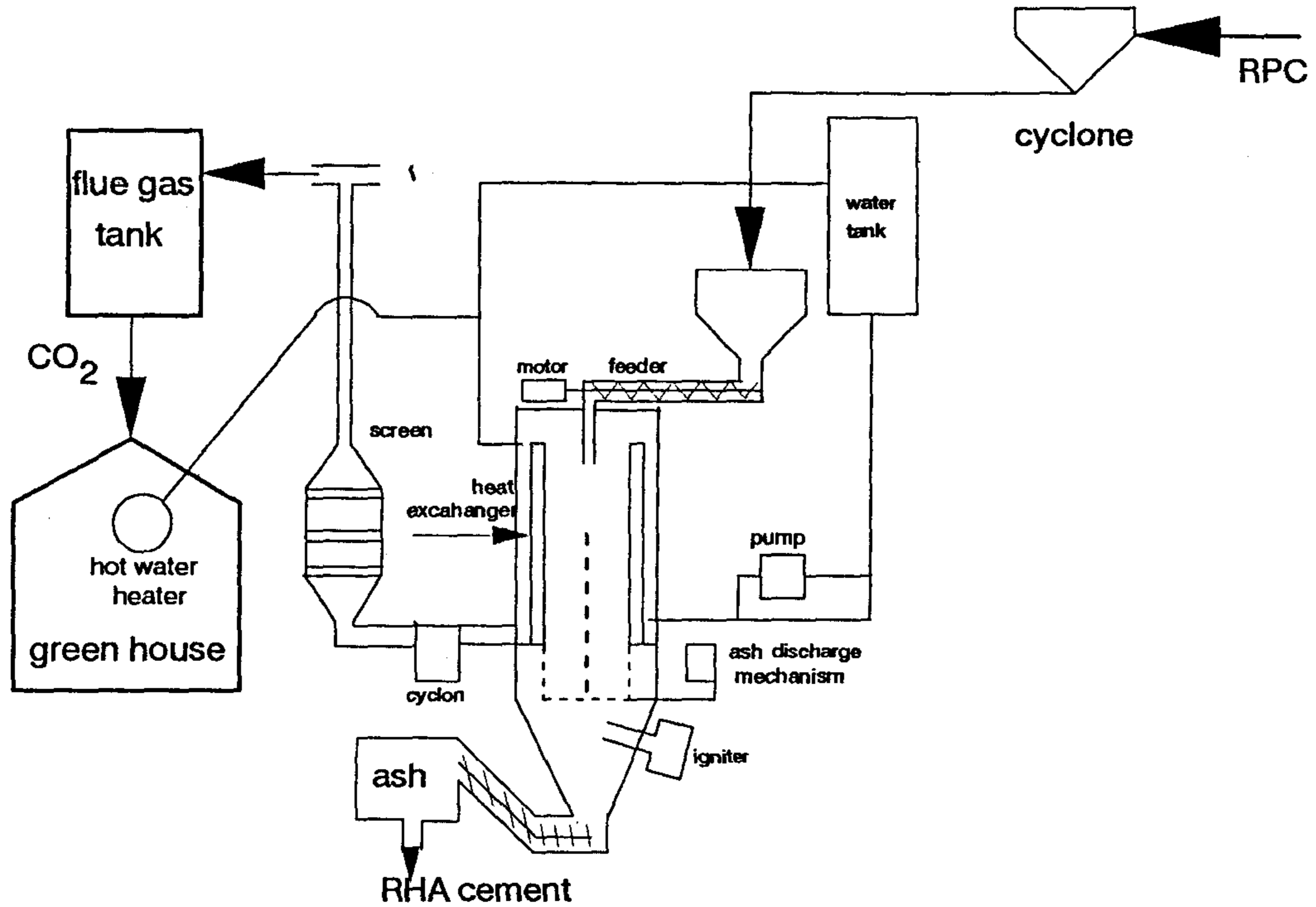
6) 연소기 및 이산화탄소의 효율적인 이용시스템 모델

효율적인 왕겨 소각시스템과 이산화탄소 활용시스템의 구체적인 모델을 결정하기 위해서는 왕겨의 시간적 발생량과 발생장소 및 소비형태, 소각시 발생하는 열량 및 이산화탄소량의 크기와 이용처 및 이용시기, 소각시스템 설치에 필요한 초기투자비와 유지관리비의 크기, 왕겨재의 상업적 이용성, 국내 미곡 생산량과 가공시설 및 시설농업의 향후 추이, 콘크리트 분야의 향후 추이, 자연환경 보존에 대한 가치관 등을 종합적으로 고려하여 결정되어야 한다.

현재까지는 연구의 초기단계이어서 왕겨재가 콘크리트의 장기강도, 내구성 등에 미치는 영향이나 배연가스가 작물의 성장성에 미치는 영향 등에 대해서 실험적인 확인검증 절차를 거치지 않았으므로 불확실성이 너무 높아 구체적인 모델 제시는 의미가 없다 하겠다.

그러나 국내에 기 보급된 미곡종합처리장에서 배출되는 왕겨를 소각하는 것을 전제로 하였을 때 열효율이 높고 완전연소가 가능하며 콘크리트용 혼화재료로서 높은 활용성을 지닌 비결정형 SiO_2 를 생산하는 데 필요한 이상적인 왕겨 연소기 및 이산화탄소의 활용시스템의 개념적인 모델은 (그림-30)으로 추정된다. 또한 예비분석결과 시간당 100kg의 소각능력을 가진 중규모의 연소기가 적절한 규모로 판단되나 규모결정 요소에 내

포된 불확실성을 고려하여 2차년도에도 지속적인 연구가 필요하다고 할 수 있다.



(그림-30) 효율적인 왕겨 연소기 및 이산화탄소 활용시스템 모델 흐름도

6. 기대되는 성과

가. 기술적 측면

- 재생가능 무한자원인 왕겨의 효율적인 이용 모델 개발
- 내화학적 및 동결융해저항성 등 내구성이 뛰어난 왕겨재 혼입 고품질 콘크리트 제조기술 개발
- 왕겨재를 이용 콘크리트구조물에 치명적인 알칼리-골재반응 억제 기술 개발을 위한 기반조성
- 왕겨재의 다공성을 이용 내구성과 투수성을 지닌 콘크리트 개발을 위한 기초기술 개발
- 효율적인 왕겨 소각시스템 모델 정립
- 열원, 이산화탄소 및 왕겨재의 효율적인 활용기술 정립

나. 경제적 측면

- 폐기되는 왕겨를 소득원 또는 에너지원으로 개발함으로써 농업경쟁력 향상과 농어민 소득증대 기여
- 폐기되는 왕겨의 재활용으로 농지내 토양환경 보존 및 농어촌생활환경 개선에 기여
- 인위적인 에너지 투입을 대체하여 미곡종합처리장 또는 시설농업의 경쟁력 제고
- 오폐수처리시설, 축사 및 분뇨처리장과 같이 특히 유해한 환경하에 놓이는 구조물에 왕겨재 혼입 콘크리트 사용시 내구성 증대로 경제성 제고
- 왕겨 소각시 부피가 약 28% ,무게가 약 20%로 축소되므로 운반처리 비용의 획기적 절약 및 소각시 생성되는 열원,이산화탄소 및 왕겨재의 부가가치화
- 수입 원유비용 절감

다. 파급효과

- 농업부산물의 고도활용으로 농업경쟁력 향상과 농어민 소득증대 기여
- 수입경유 절약에 따른 국가 경쟁력 제고
- 에너지 과소비재인 시멘트를 대체함으로써 국토환경보존 및 국민경제 건전화에 기여
- 재생가능 무한자원인 왕겨의 다양한 활용방안 제시

7. 문제점 및 건의사항

- 혼화재료로서 왕겨재의 상업성을 높이기 위해서는 효율적으로 분쇄선별할 수 있는 왕겨재 분쇄선별 시스템모델의 정립이 필요하며 이를 위해서는 2차 년도에 과업내용을 추가한 연구가 필요하다.
- 회분을 완전 비결정질화, 열효율 극대화 및 배연가스의 완전연소화를 위해서
 - 1차년도에 제작한 실험용 왕겨 소각시스템 보강 및 실험적인 확인 검증이 필요하며
 - 보정된 왕겨소각시스템으로부터 배출되는 배연가스를 실내실험보다는 유리 하우스내에 직접 투입하는 등 현장실험을 통한 작물의 생산

성 증대효과의 검증 필요(2차년도 과제)

- 왕겨공급장치 및 왕겨재 처리장치에서 스크류 컨베이어와 공기식 컨베이어의 조합에 관해서 2차 년도에 추가적인 연구 필요
- 1차년도의 연구는 왕겨재 혼입 콘크리트의 시공성과 단기강도특성을 규명하는데 불과하므로 본 연구성과의 실용화를 위해서는 왕겨재 혼입 콘크리트의 장기강도특성,내화학적성,동결융해저항성,장기내구성,열적특성 및 역학적특성에 대한 체계적인 규명이 필요하며 이를 위해서 2차년도에도 지속적인 연구가 필요
- 내화학적성,동결융해저항성 및 내구성이 뛰어나고 경화시의 수화열이 대폭 낮아질 것으로 추정되므로 왕겨재 혼입 콘크리트를 특히 대규모 농수축산물 냉동 저장창고,오폐수처리시설,대규모 간척시설물,축사 또는 분뇨처리장과 같이 지속적으로 유해한 환경(저온,유해 가스,강산성 액체,해수침식)에 노출되는 구조물에 적용하고, 혼화재료로서 왕겨재의 상업성을 높이기 위해서 3차 년도에 왕겨재 콘크리트의 품질관리지침 및 시공지침의 제시 필요
- 도로포장용 아스팔트는 검은 색깔로 인해서 태양광선의 흡수율이 크고 투수성이 커서 동절기 빙판이 줄어들어 콘크리트포장에 비해 유리한 반면 내구성이 작은 단점을 가지고 있다. 반면 왕겨재 혼입 콘크리트는 검은 색깔을 띄고 왕겨재내에 포함된 무수한 기공으로 인해 투수성과 동결융해저항성 및 내구성이 클 것으로 예측되므로 왕겨재 혼입 콘크리트는 각종 도로포장용 재료로 개발될 가능성이 매우 높다. 따라서 이에대한 예비타당성 검토를 위해서 2차년도 지속적인 연구가 필수적임.
- 효율적인 왕겨소각시스템과 이산화탄소 활용시스템의 구체적인 모델결정에 가장 큰 영향을 미치는 국내외 왕겨 생산량과 상업적 이용형태에 대한 시간적,공간적 자료 조사분석후, 이를 이용 연소기 및 이산화탄소의 효율적인 이용시스템 모델을 손쉽게 도출하는 응용S/W 개발시 본 연구에서 제안할 효율적인 왕겨활용시스템을 조기정착 시키며, 나아가 본 기술을 해외의 미작재배국가에 수출함으로써 농어민 소득증대와 국부창출 및 지구환경보전에 크게 기여하므로 이의 실현을 위한 2단계 연구과제 착수 필요

- 콘크리트내 왕겨재 혼입비율이 증가하면 콘크리트 색깔이 점차 검게 변화하므로, 이러한 미관성과 왕겨재 혼입 콘크리트의 내구성 증대효과를 이용하면 미관성 또는 내구성이 요구되는 다양한 목적의 상업적인 콘크리트 구조물(벽돌,블럭등과 같은 시멘트2차제품, 각종 프리캐스트 제품)로의 확대보급이 가능하므로 이를 위한 2단계 연구과제 착수 필요
- 쇄석골재 사용증대에 따라 콘크리트 구조물에 발생 예상되는 치명적인 결함인 알칼리-골재반응의 강력한 억제수단으로서 왕겨재의 효용성이 일본에서 최근에 입증되었으므로 이에대한 체계적인 접근을 수행하고 이를 이용하여 상업적인 알칼리-골재반응의 억제수단을 개발할 경우 상품과 기술수출의 길이 확보되므로 이를 위한 2단계 연구과제 착수 필요

8. 기타사항

참 고 문 헌

1. Kiyoji Asai, "Study on the Control of Alkali-Aggregate Reaction Concrete by Adding Rice Husk Ash(I), "농업토목학회논문집, Trans. of JSIDRE NO. 174, pp.95~101, Dec. 1994.
2. R.G Smith, "Cement from Rice Husks", International Cement Review, pp.49, Dec.,1991.
3. R.G. Smith, "Rice Husk Ash Cements-Small Scale Production for Low Cost Housing", Central Building Research Institute, Roorkee, India, pp.687~695, Nov., 1984.
4. R.G. Smith and G.A. Kamwanja, "The Use of Rice Husks for Making a Cementitious Material", Building Research Establishment, pp.1~6, Oct., 1986.
5. R.G. Smith, "Rice Husk Ash Cement", Appropriate Technology, Vol.11 No.3, pp.9, Dec., 1984.
6. R.G. Smith, "Alternatives to OPC", Building Research Establishment, pp.1-17, March, 1993.
7. R.G. Smith, "Rice Husk Ash Cement in Guyana", Building Research Establishment Department of the Environment, pp.1~7, June, 1989.
8. P.K. Metha, "Properties of Blended Cements Made from Rice Husk Ash", ACI Journal, pp.440~442, Sep., 1977.
9. V.M.Malhotra, "Fry Ash, Siag, Silica Fume, and Rice-Husk Ash in Concrete : A Review", Concrete International, pp.23~28, April, 1993.
10. Shigeyoshi Nakataki, Hiroyuki Ohga and Takeshi Inoue, "Effect of Fly Ash in Controlling Expansion Due to Alkali-aggregate Reactoin and it's Mechanism", 토목학회논문집, 제414호, V-12, pp.175~184, Feb., 1990

11. Somjai Kajorncheappunngam and D.F. Stewart, "Rice Husk Ash in Roller Compacted Concrete", Concrete International, pp.38~44, April, 1992
12. 趙興坤, "眞空式 溫水 보일러의 開發動向", 産業技術情報院. pp.1~55, 9, 1994.
13. 농림수산부, "농림수산 주요통계연보", 1995
14. 김광수, "왕겨를 이용한 활성탄 제조공법", 건설기술정보, 8, 1995
15. P.K. Metha & N. Pitt, "Energy and Industrial Materials form Crop Residues", Resource Recovery and Conservation, No.2, 1976
16. P. K Metha & Milos Polivka, "Use of Pozzolans for Reducing Expansion in Concretes Containing Reactive Aggregates", Living with Marginal Aggregates, ASTM, 1976
17. T. Nonaka & T. Mori, "Significance of Iron Layer as an Indicator to Determine the Microbial Corrosion of Concretes", pp15~24
18. P. K. Mehta, United States Patent, No.3, 951, 907, Apr.20 ,1976
19. H. E. Haxo & P. K. Mehta, "Ground Rice-Hull Ash as a Filler for Rubber", V48, Rubber Chemistry and Technology
20. R. G. Smith, "Rice Husk Ash Cement and other Cementitious Materials", Intermediate Technology, V11, No.3, Dec., 1984
21. J. James & M. S. Rao, "Reactivity of Rice Husk Ash", Cement and Concrete Research, V16, pp.296~302, 1986
22. V. M. Malhotra, "Fly Ash, Silica Fume, Slag and Natural Pozzloans in Concrete", Proceedings, 3rd International Conference, Sp-114, V2, Trondheim, Norway, 1989

23. V. M. Malhotra, "Fly Ash, Silica Fume, Slag and Natural Pozzloans in Concrete", Proceedings, 3rd International Conference, Sp-114, V2, Trondheim, Norway, 1989
24. 권순찬, 김진상. 1993. 한국생물공학회지 8(5) : 438-445
25. 김지동외. 1981. 에너지 4(2) : 74-89
26. 박승제, 노상하. 1983. 한국농업기계학회지 8(2) : 39-48
27. 박승제. 1988. 서울대학교 박사학위논문
28. 박인식. 1981. 에너지연구 4(6) : 89-109
29. 배순훈. 1977. 대한건축학회지 21(75) : 21-25
30. 서정일 외. 1982. 태양에너지 2(2) : 11-20
31. 성기훈 외. 1994. 한국산업미생물학회지 22 : 197-202
32. 이선복, 박찬범, 서인수. 1995. 화학공업과 기술 13(4) : 13-19
33. 이용국, 박승제, 백풍기, 노상하. 1987. 한국농업기계학회지 12(4)
34. 이진석. 1993. 태양에너지학회 발표 초록.
35. 조명제외. 1981. 에너지 4(2) : 66-73
36. 조순행외. 1995. 화학공학의 이론과 응용 1(1) : 7-10
37. 한국농촌경제연구원. 1981. 보고서
38. 한국동력자원연구소. 1981. 에너지 센서스 결과보고서

39. 한국열관리사회. 1981. 온수보일러 시공 교육 교재
40. 홍성길. 1995. 화학공학의 이론과 응용 1(1) : 15-17
41. Antero, S. M., Annual Convention of the Philippine Society of Agri. Engineers.
42. Beagle, E. C. 1978. FAO Agricultural service bulletin.
43. Becker, E. W. 1994. Microalgae. Cambridge University Press.
44. Cresswell, R. C., Rees, T.A., and Shah, N. 1989. Algal and Cyanobacterial Biotechnology. John Wiley & Sons Inc.
45. Ebeling, J. M. & B. M. Jenkins. 1985. Trans. of the ASAE 28(3) : 898-902.
46. Gilchrist, J. D. 1977. Fuels, furnaces and refractories. Pergamon Press.
47. Hong, S., and Lee, N., J. 1993. Microbio. and Biotech. 3 : 19-23
48. Jaiswal, D. K. & R. C. Maheswari. 1980. Indian J. Agri. Sci. 50(11) : 862-868
49. Javanmardian, M. and Palsson, B. O. 1991. Biotech. Bioeng. 38 : 1182-1189
50. Jeon, T. W. 1982. Non conventional source of energy. IRRI.
51. Kim, N., and Pack, M., J. 1993. Microbio. and Biotech. 3 : 214-216
52. Lee, Yuan-Kun and Low, Chin-Seng. 1992. Biotech. Bioeng. 40 : 1119-1122

53. Matsunaga, T. etc.1991. Appl. Biochem. Biotechnol. 28 : 157-167
54. Robortson, W. S. 1981. Boiler efficiency and safty. Macmillan Press.
55. Shimizu, H., A. Kanno & Y. Nishiyama. 1978. JSAM 39(4) : 477-481.
56. Shimizu, H. & T. Kimura. 1981. JSAM 42(3) : 383-388.
57. Shimizu, H. & T. Kimura. 1985. JSAM 46(1) : 633-638.
58. Staniforth, A. R., 1979, Cereal. 1994. Engineering Research Center, R & D Report of Global Environmental Department 14
59. Watanabe, Y. etc. 1992. Energy Convs. Mgmt. 33 L 545-561