

완결과제 최종보고서

일반과제(○), 보안과제()

(과제번호 : PJ010046)

콩 수확 후 품질관리 및 품질평가 기술 개발

Development of technique for quality management and evaluation of soybean seeds
after post-harvesting

국립식량과학원

연구수행기간

2014. 2. 1. - 2016. 12. 31

농촌진흥청

제 출 문

농촌진흥청장 귀하

본 보고서를 “콩 수확 후 품질관리 및 품질평가 기술 개발”(개발기간: 2014. 1. ~ 2016. 12.) 과제의 최종보고서로 제출합니다.

제1세부연구과제 : 콩 유통종합처리장(SPC) 이용을 위한 원료콩 품질관리 기준 설정 연구

제1협동연구과제 : 콩 유통종합처리장(SPC) 설치 및 작업공정 개선 연구

제2협동연구과제 : 대사체 및 단백질체를 이용한 콩 종실 품질변이 관별 기술 개발

2017. 2. 27.

제1세부연구기관명 : 국립식량과학원

제1세부연구책임자 : 한원영

참 여 연 구 원 : 류종수, 조수민, 배진우, 선원태, 박현진, 고종민, 윤영호

제1협동연구기관명 : 강원대학교

제1협동연구책임자 : 윤원병

참 여 연 구 원 : 정화빈, 유진실, 박현우, 함태훈, 최지일

제2협동연구기관명 : 강원대학교

제2협동연구책임자 : 정명근

참 여 연 구 원 : 김기쁨, 김경하, 이홍현, 강현웅, 김명현, 권희주, 주하은, 황혜지, 김선태,

천예은, 이서현

주관연구책임자 : 한 원 영

주관연구기관장 : 국립식량과학원

직인

농촌진흥청 농업과학기술 연구개발사업 운영규정 제51조에 따라 보고서
열람에 동의합니다.

* 반드시 기관장 직인을 받아서 스캔 첨부

보고서 요약서

과제번호	PJ010046		연구기간	2014. 2. 1 ~ 2016. 12. 31
연구사업명	단위사업명	농업 공동연구		
	세부사업명	FTA 대응 경쟁력 향상 기술개발		
	내역사업명	식량작물 경쟁력 제고		
연구과제명	주관과제명	콩 수확 후 품질관리 및 품질평가 기술 개발		
	세부(협동) 과제명	(1세부) 콩 유통종합처리장(SPC) 이용을 위한 원료콩 품질관리 기준 설정 연구 (1협동) 콩 유통종합처리장(SPC) 설치 및 작업공정 개선 연구 (2협동) 대사체 및 단백질체를 이용한 콩 종실 품질변이 판별 기술 개발		
연구책임자	구분	연구기관	소속	성명
	1세부	국립식량과학원	생산기술개발과	한원영
	1협동	강원대학교 산학협력단	식품생명공학과	윤원병
	2협동	강원대학교 산학협력단	생약자원개발학과	최원식
총 연구기간 참여 연구원 수	총: 25명 내부: 8명 외부: 17명	총 연구개발비	정부: 540,000천원 민간: 0천원 계: 540,000천원	
위탁연구기관명 및 연구책임자		참여기업명		

국제공동연구	상대국명:	상대국 연구기관명:
<ul style="list-style-type: none"> ○ 콩유통종합처리장(SPC)의 산물콩 수매를 위한 건조 기준 설정 : 30°C ○ SPC설치에 따른 작업공정별 장류두부용 및 나물용 콩의 정선선별 효율 분석 : 정립율과 입도율 99% ○ SPC의 대용량 포대저장을 대비한 종실변이 발생 양상분석 : 저장조건(건조전) : 햇빛에 보관일수가 7일 이상 소요, 저장조건(건조후) : 저온 저장시 1년까지는 품질 차이없음 ○ 콩의 품질과 에너지 효율을 고려한 선별, 건조, 저장/포장 공정의 복합 최적공정 도출 ○ 콩의 산지별 특성에 따른 SPC 공정 모델 개발 및 시뮬레이션 소프트웨어 개발 ○ 콩의 수확량 및 유통량에 따른 종합처리 시설의 공정 규격 매뉴얼 및 소프트웨어 개발 ○ 불량 환경 노출 콩 종자의 대사체 및 단백질체 프로파일링 및 변이 판별 바이오마커 탐색과 바이오마커 활용 콩 유통종합처리장(SPC) 원료 및 가공 종자의 품질 평가 		보고서 면수 : 49면

〈 국 문 요 약 문 〉

연구의 목적 및 내용	<ul style="list-style-type: none"> ○ 콩유통종합처리장(SPC)의 산물콩 수매를 위한 건조 기준 설정 ○ SPC설치에 따른 작업공정별 장류두부용 및 나물용 콩의 정산선별 효율 분석 ○ SPC의 대용량 포대저장을 대비한 종실변이 발생 양상분석 ○ SPC의 각 단위 공정을 결합한 최적 복합공정을 도출하고 복합공정의 설계 및 공정 시뮬레이션 tool의 알고리즘을 개발 ○ 수확 후 콩 종자로부터 저장단백질 및 대사체 화합물들의 변성 및 발현 양상을 비교 조사하였고, 인위퇴화 된 콩 종자를 이용하여 불량환경으로부터 최적화된 콩 종자 생산, 수확 및 관리체계 기술을 개발
연구개발성과	<ul style="list-style-type: none"> ○ 콩유통종합처리장(SPC)의 산물콩 수매를 위한 건조 기준 설정 <ul style="list-style-type: none"> - SPC용 산물수매 콩의 용도별 건조 온도조건 설정 : 30℃ ○ SPC설치에 따른 작업공정별 장류두부용 및 나물용 콩의 정산선별 효율 분석 <ul style="list-style-type: none"> - 정립율과 입도율 99% ○ SPC의 대용량 포대저장을 대비한 종실변이 발생 양상분석 <ul style="list-style-type: none"> - 저장조건(건조전) : 햇빛에 보관일수가 7일 이상 소요 - 저장조건(건조후) : 저온 저장시 1년까지는 품질 차이없음 ○ 콩의 품질과 에너지 효율을 고려한 선별, 건조, 저장/포장 공정의 복합 최적공정 도출 ○ 콩의 산지별 특성에 따른 SPC 공정 모델 개발 및 시뮬레이션 소프트웨어 개발 ○ 콩의 수확량 및 유통량에 따른 종합처리 시설의 공정 규격 매뉴얼 및 소프트웨어 개발 ○ 불량 환경 노출 콩 종자의 대사체 및 단백질체 프로파일링 및 ○ 변이판별 바이오마커 탐색과 바이오마커 활용 콩 유통종합처리장(SPC) 원료 및 가공 종자의 품질 평가
연구개발성과의 활용계획 (기대효과)	<ul style="list-style-type: none"> ○ 정책, 영농기술 및 정보, 논문게재 ○ 콩 종합유통처리장(SPC)이용 국산 원료콩 수매 개선안 수립 ○ SPC정착으로 국산 원료콩의 품질고급화 및 차별화 기술 선점
중심어 (5개 이내)	콩 수확후관리 콩유통종합 처리장

〈 Summary 〉

Purpose& Contents	Development of technique for quality management and evaluation of soybean seeds after post-harvesting using the new soybean processing complex on soybean quality				
Results	<ul style="list-style-type: none"> ○ Drying temperature using the new soybean processing complex is below 30°C. ○ After the selection and seiving using the new soybean processing complex, purity and uniformity of soybean are each 99%. ○ After the storage on the 4 °C, surface qulty of soybean is the same to the just hatvested. ○ Optimization of the post-harvesting processes of soybeans, such as sorting, drying, and packaging, regarding quality of soybean and energy efficiency ○ Development of processing models and the simulation software for the soybean processing complex based on soybean varieties ○ Development of the simulation software for the soybean processing complex based on the local soybean yields ○ Profiling the metabolomes and proteoms and investigating the biomarkers for identify the changes in soybean exposed to a bad environment, and evaluated the quality of soybean seeds for materials of processing and soybean processing center using biomarkers. 				
Expected Contribution	<ul style="list-style-type: none"> ○ Development of the optimized soybean processing complex by using prediction models of quality, productivity and energy ○ Comprehensive information for designing the soybean processing complex by developing algorithm to design a continuous flow dryer based on the yield and the physical properties of soybean ○ Supporting the soybean based industry by developing the user-friendly software for designing soybean processing complex ○ Set-up the indicator of quality changes during bad environmental exposure or storage of domestic raw soybeans ○ Quality improvement and productivity improvement of domestic processed soybeans through the quality control after harvesting. 				
Keywords	Soybean	Post-harvest management	SPC		

〈 목 차 〉

제 1 장 연구개발과제의 개요	8
제 2 장 국내외 기술개발 현황	12
제 3 장 연구수행 내용 및 결과	17
제 4 장 목표달성을 및 관련분야에의 기여도	233
제 5 장 연구결과의 활용계획 등	235
제 6 장 연구과정에서 수집한 해외과학기술정보	236
제 7 장 연구개발성과의 보안등급	237
제 8 장 국가과학기술지식정보서비스에 등록한 연구시설 · 장비현황 ..	238
제 9 장 연구개발과제 수행에 따른 연구실 등의 안전조치 이행실적 ..	239
제 10장 연구개발과제의 대표적 연구실적	240
제 11장 기타사항	243
제 12장 참고문헌	244

제 1 장 연구 개발 과제의 개요

제1절 연구 개발 목적

국내 콩 생산농가의 고령화와 노력비에 대한 부담이 증가하면서 대규모 콩 수확 후 관리시설 이용한 다량의 콩 생산물 일관 처리 수요가 더욱 증대되고 있어, 향후 콩유통종합처리장(SPC)의 성공적인 정착과 확대 설치를 위해 SPC설치와 연계된 수확 후 관리기술 개발 필요하며, 금후 SPC 추가 운영을 대비한 원료 콩의 품질을 향상하고 균일화를 위해 표준화된 처리방법 및 기준을 마련하는 것이다.

제2절 연구 개발의 필요성

콩은 우리나라가 원산지인 식량작물로, 다양한 콩을 원료로 하는 식품들을 가지고 있다. 최근 1인당 콩 소비량은 꾸준히 증가하였지만, 자급률은 30% 내외에 불가하며, 농산물 개방의 파고 속에 경쟁력이 크게 약화되어 있다. 따라서 국산 콩은 수확 후 엄격한 건조, 정선, 선별, 저장기술을 적용하여, 원료 콩 품질을 고급화하여 수입산과의 품질 차별화를 지속적으로 추진해야 한다. 이러한 기술에 의해서, 우리나라 콩 산업 전반에 활성화 될 수 있는 방안 모색이 절실하다.

콩은 재배환경과 품종에 따라 생육 반응이 다르며, 수량과 품질도 크게 달라지는데 국내 콩 재배지에 따라서 살펴보면, 위도가 낮은 지역은 립종이 작아지는 경향을 나타내며, 위도가 높은 지역에서는 콩알의 크기가 커져서 중대립인 장류 및 두부용 콩이 주로 생산된다. 즉, 콩의 다양한 재배환경(토양환경, 일장, 기온 차이 등)에 영향에 의해서, 원료 콩 품질(종실의 외관, 성분함량과 조성)이 크게 달라지게 되며 향후 우리나라뿐만 아니라 세계 콩 식품시장도 더욱 확대될 것으로 예상되고, 세계 콩 식품시장에서 경쟁 가능한 국산 원료 콩 제품으로 평가, 생산하기 위해서는 최고 수준의 식품가공 기술이 수반되어야 할 것이다. 더욱이 국내에 유입되는 저급 수입 원료 콩 혹은 유전자 변형 콩을 이용한 가공식품들과의 경쟁력과 차별성을 갖추기 위해서는 반드시 원료 콩 품질의 향상과 더불어 가공적성에 적합한 수확 후 품질관리 방안 및 품질평가 기술의 확립도 시급한 실정이다.

현재 FTA 대응 경쟁력 제고 대책으로 콩 신품종 육성, 생산성 극대화 및 품질고급화를 위한 재배법 개선에 연구가 진행되고 있으나, 이와 다른 문제로 콩은 유통구조가 다단계이며, 유통비용이 높고, 유통시설 또한 체계화 되지 못한 낙후된 상태이므로, 원료 콩의 균일화가 불가능하며, 유통과정 상의 품질저하 등 상품화 저해요인이 다수 존재하나 아직 체계적인 유통 및 수확 후 품질저하 요인에 대한 지표가 없는 실정이다. 일반적으로 농산물의 품질은 외관, 조직감, 맛, 영양적 가치, 안전성 등 종합적인 측면으로 평가 되지만, 이는 재배 생산의 품종적 고유 능력에 의해서도 차별화 되며, 농산물의 수확 후 관리에 의해서도 물리적 특성과 성분적 변화가 발생. 콩의 경우 저장 유통 중 불량 환경에 노출될 경우 저장단백질 등의 변성과 함께 원료콩 품질 저하의 원인이 되지만, 가공용 원료콩의 품질 변이 유무에 대한 객관적 평가 지표가 없어 확립이 시급하다.

정선, 건조 작업은 콩 수확 후 관리과정으로써, 개별 작업별 소규모 농기구 및 시설을 이용하여 진행되며, 저장은 대규모 재배단지를 중심으로 생산물 집하 후 저온 창고에 저장하는 형태를 취함. 정선에 사용되는 기기는 각각 풍선기, 진탕식체, 나선형정선기, 비중전성기 등이

있으며, 건조 시에는 천일건조나 열풍 건조기를 사용하여 건조를 도입하며, 수분함량 14%이하의 저온저장고를 이용한다.

콩 글로불린인 베타 콘글리시닌(7S), 글리시닌(11S)이 주요 저장 단백질들에는 많은 종류의 isoform들이 존재하고 있으며 Isoform들 중에 Gly m 6 (글리시닌 G1, G2, G3, G4, G5), Gly m 5 (베타 콘글리시닌), Gly m TI (Kunitz trypsin inhibitor), 그리고 Gly m Bd 30K (P34)등은 알레르기 유발 단백질로 보고되고 있어, 수확 후 콩 저장단백질의 변성 및 변형은 콩 생리 및 식품의 품질 향상에 영향을 미치고 있음. 기술적인 측면에서 전사체 및 유전체 기술을 이용한 저장단백질의 번역 후 변성에 따른 수확 후 품질에 미치는 연구는 한계가 있으나, 단백질체 분석을 통한 단백질 수준에서 이들 isoform들의 발현 연구는 가능하다. 단백질을 분리하는 2-DE (two-dimensional electrophoresis) 기술과 분리된 단백질을 동정하는 MS (mass spectrometry) 기술의 결합으로 2-DE 기술의 활용도가 구체화되었고, 이후 민감도, 재현성, 정확성에 대한 분석 기술이 발전하면서 단백질체학에서 2-DE는 중요한 분석 기술로 이용되고 있음. 대사체들은 transcription과 translation의 하위단계로써 효소의 활성을 나타내는 좋은 지표 (바이오마커)로 작용할 수 있으므로 콩 수확 후 품질평가 및 관리에서 대사체들의 변화를 통해서 수확 후 관리지표를 개발에 활용할 수 있다. 단백체학과 더불어 대사체 프로파일링을 통하여 얻은 정보들을 종합하여 수확 후 콩 종자의 최적화된 관리기술 확립을 위한 좋은 지표를 찾는데 활용될 필요가 있다. 하지만 콩이 불량 환경에 노출되면 저장단백질 등의 변성과 함께 원료콩 품질 저하의 요인이 되나, 가공용 원료 콩의 품질 변이 유무에 대한 객관적 평가 지표가 없다. 따라서 수확 후 품질에 관계되는 요인들 (대사화합물 및 단백질)을 객관적 평가를 통한 바이오마크를 개발하여 이를 활용한 품질의 등급화, 균일화로 품질 향상이 요구되고 있다.

콩 수확 후 관리 과정인 정선, 건조 작업은 개별 작업별 소규모 농기구 및 시설을 이용하며, 저장 작업은 대규모 재배단지를 중심으로 생산물을 집하 후 저온 창고에 저장하는데, 일반적으로 정선에 사용 사용되는 농기계는 풍선기, 진탕식체, 나선형정선기, 비중정선기가 단독 또는 복합사용하며, 건조작업은 천일건조 및 열풍 건조를 하며, 저장은 수분함량 14%이하 저온고에 저장하여 사용 하지만 콩 재배규모가 영세하여 수확후 처리시설을 위한 정선기, 선별기 등 관련기계를 보유하지 못해 임대 사용이 대부분이며, 수확 작업 이후 건조 · 정선 · 선별 · 저장에 많은 노력비 발생하게 됨. 농식품부가 지원하는 시군농업기술센터의 농기계임대 사업에 콩 수확기와 더불어 중소형 콩 정선기, 선별기가 주요 품목으로 지원 중에 있다(전북 순창군 농업기술센터는 군내 생산 708톤중 30%인 220톤을 센터에서 운영하는 콩 정선선별장에서 처리하여 콩 재배농가의 노동력을 절감). 최근 콩 선별 · 저장 및 포장 과정을 일관 처리함으로써 수확 후 관리비용 절감, 품질향상 및 산지 유통구조를 개선하기 위해 벼의 RPC와 유사한 콩 유통종합처리장(SPC) 설치가 시작되고 있으나, 표준화된 작업공정과 설치기준, 품질관리 기준이 아직 미비한 실정. 농식품부 '주요곡물수급대책'(2011.4)‘으로 낙후된 산지 콩 유통구조를 개선하기 위해 국비지원으로 콩유통종합처리장을 설치, :2012년도 1개소에서 2016년도 3개소로 확대되었다.

현재 충북 괴산에 국내 최초 콩 유통종합처리장(SPC)이 설치되었으며, 향후 정책적으로 확대될 예정이나, 현재 가공시설의 규정 및 공정에 대한 자료가 전무한 상황이며, 더욱이 수확 시 원료 콩의 품질, 원료 콩의 불량환경 노출 혹은 저장 중 품질 변화, 원료 콩 가공 전, 후 품질 변화 양상에 대한 기초 자료 또한 전무한 실정이므로, 국산 원료 콩 품질의 균일화 및 향상

을 위해 반드시 표준화된 처리방법 및 기준의 마련과 더불어 수확 후 품질관리 및 평가 기술이 개발 되어야 할 것이다. 대두의 경우 건조 원물로 유통 시 수확 후 처리과정은 정선과 선별, 건조, 저장의 핵심 단위 공정으로 구성되어 있는데 대두가 가공 소재로 사용 될 경우 대두 분말의 활용도가 높아 산지에서 분말화 공정을 추가하여 대두 분말 처리 및 유통 공정이 대두의 수확 후 처리 공정에 추가되는 추세이며, 가공목적에 따라 분쇄와 포장이 단위 공정으로 추가하고 있다. 하지만 콩의 경우 각 단위 공정에 대한 기계화 및 자동화의 도입이 미미한 실정이며 각 단위 공정이 품질에 미치는 영향에 대한 연구사례가 극히 적은데 국산콩은 수매시 가공 식품의 품질 및 수율 제고를 위해 원료콩의 굽기와 피해립·미숙립 등이 제거된 정립률에 따라 등급을 결정하며, 일반콩은 대립(7.10mm 이상)을, 나물용은 소립(5.60mm~4.00mm)을 선호하고 있다. 따라서 원료콩의 품질을 높이기 위해 정선·선별, 저온저장 등 수확 후 품질관리를 위한 작업과정이 반드시 적용되며, 수입산과 품질이 차별화가 가능할 것이라 본다.

수확물의 정선과정은 객관적 품질 기준이 없이 산지에서 경험을 통한 분류법으로 분류되고 있으며, 콩의 수확 후 무게, 크기, 외관은 중요한 품질인자로 이에 대한 객관적인 품질 지표를 설정할 필요가 있는데 외형적인 품질인자를 컴퓨터를 이용한 영상분석(image analysis)를 통하여 현장에서 빠른 시간에 구분될 수 있으며 이는 등급판정의 자동화를 가져올 수 있다. 이 같은 객관적인 선별법의 개발은 SPC의 후속 공정의 공정 조건에 영향을 미치는 인자를 조기 발굴하여 SPC의 전 공정의 최적화를 가져오는데 필수적인 역할을 하게 된다. 수확 된 콩의 무게와 크기는 콩의 등급에 영향을 줄 뿐만 아니라 후속 공정인 건조공정의 설계에도 큰 영향을 주며 동일한 품종과 등급이라도 그 크기에 따라 건조 공정의 설계는 차별화 되어야 한다. 콩의 무게와 크기는 건조 속도에 밀접한 영향을 주게 되므로, 천일건조가 아닌 기계화된 건조시스템을 사용할 경우 동일한 건조조건을 적용 시 무게나 크기에 따라 콩의 건조 상태가 과건조 또는 건조불량 상태가 될 수 있으며, 이 같은 수확 후 콩의 크기와 외형의 판별에 대한 과학적이고 객관적인 지표의 분석과 발굴에 대한 연구가 절실하나 수행되어 있지 않은 상황이다.

수확 후 수분함량이 16~20%인 콩의 수분함량을 줄이기 위해서는, 이 같은 수분함량의 범위는 수확 후 저장 기간 중의 품질변화를 초래하므로 10~15%로 조절 되어야 하는데 건조 공정의 경우 태양광을 이용한 자연건조가 일반적으로 사용되고 있다. 이 같은 자연건조는 과다 노동력투입, 기후의 영향, 품질의 균일성, 오염(예, 곰팡이)에 의한 안전성 등의 문제를 내포하고 있으며 핵심 단위 공정 중 가장 중요한 공정으로 분류되고 있다. 천일건조에 의하여 일정하지 않은 건조도는 후속 공정인 가공 공정인 분쇄공정 및 저장 중에 영향을 주어 caking이나 산폐와 같은 현상을 유발하게 된다. 대단위 건조기의 설계는 투입되는 원료의 크기와 상태가 매우 중요하며, 이에 따라 건조공정의 최적화가 이루어진다. 콩의 경우 품종에 따라 크기(무게)와 수분함량에 차이가 있으며 이는 건조기의 운전조건에 크게 영향을 미친다. 천일건조가 아닌 기계식 건조기(예, 열풍건조기)의 사용 시 최적 운전조건에서 벗어 날 시 부분적으로 과도한 건조나 충분한 건조가 되지 않는 건조 불량이 발생 할 수 있다. 이 같이 SPC의 핵심공정인 건조공정은 투입되는 건조물의 상태에 따라 건조조건이 조절해야 하나, 현재 국내의 처리 시설에는 이와 같은 건조 전 처리단계와 건조단계를 복합화한 공정이 적용된 사례가 아직 없다. 열풍 건조기를 사용한 건조의 경우 천일건조에 비하여 건조속도의 향상과 건조의 균일성을 가져 올 수 있다. 이는 공간적 시간적으로 효율적이며 2차 오염에 의한 콩의 품질 저하를 최소화할 수 있으나 원물의 품질차이에 따른 최적공정 조건 설비가 어려운데 비해 경제적 효율성이 떨어져 많이 사용되지 않았으며 따라서, 열풍건조기의 설계와 최적 운전을 위해서는 건조기 내부의 위

치와 시간에 따른 건조 조건(건조기 내부 내부 온도, 습도, 풍속의 편차)을 고려하여야 한다. 궁극적으로는 건조 조건과 건조물이 같은 공간 내에서 많은 영향을 주게 되며, 이에 따른 각 조건과 위치에 따른 컴퓨터 시뮬레이션 적용이 필요하다. 현재 해외에는 수확 후 작물의 처리 공정에 대한 공정 설계를 위하여 컴퓨터 시뮬레이션이 도입되고 있으나, 국내에는 그 적용 사례가 매우 제한적이다. 이 같은 시뮬레이션은 건조공정의 최적화에 따른 균등한 품질의 건조물을 생산하게 하며 또한 건조공정에 투입되는 에너지를 효율적으로 사용할 수 있게 한다.

제3절 연구 개발 범위

콩 건조·정선·선별·저장에 관한 품질 표준화와 관련된 내용이다.

제 2 장 국내외 기술개발 현황

제1절 국내 기술개발 현황

현재 국내 130여종의 용도별 콩 품종이 육성되었으며, 2만 여점의 유전자원을 보유하고 있어 신품종 육성 면에서는 우수한 연구기반과 성과를 보유하고 있음. 최근 콩의 건강 기능성이 대두 되면서 콩 품종 육성 시 영양적인 면과 더불어 생리활성을 나타내는 다양한 성분들의 작물학적 검토가 이루어져, 국내 생산 원료 콩 중 주요 장려품종에 대한 원료 콩의 품질 연구도 일부 수행된 바 있다.

2012년 농촌진흥청 식량과학원에서 최고 품질의 국산 원료 콩 생산 및 관련기술 개발을 위해 두부, 콩나물, 장류용 및 종실성분 특이 콩을 중심으로 산지별 우수 원료 생산 및 관리 기술을 검토한 바 있으며, 현재 국산 원료 콩의 영양 및 기능적 특성평가를 위한 다양한 기기적 분석법이 보고되고 있고, 영양적 성분으로 단백질, 아미노산, 지질, 지방산, 수용성 당 등, 기능적 특수성분으로 이소플라본, 안토시아닌, 루테인, 베타카로틴, 다중피롤계 화합물 등에 대한 정량적 분석체계가 확보되어 있다. 또한, 단백질체(proteomics) 연구를 통해 원료 콩의 단백질 변성 및 품질변이 분석도 가능한 수준이며, 수확 후 품질에 미치는 영향을 검토한 바는 없으나 전사체 및 유전체 기술을 이용할 경우 저장단백질의 번역 후 변성에 의한 isoform들의 발현 연구는 가능한 수준이다.

콩 수확 후 품질 관리에 대한 국내 연구는 활발하게 진행이 되었으며 이에 따른 결과로서, 단지 저장 중 변화 요소에 대한 일부 결과가 존재, 저장 중 온, 습도에 큰 영향을 받아 지질 및 단백질 함량이 감소하며, 지질은 산화되어 불포화 지방산이 감소하는 경향을 나타내거나, 장기 저장 시 수분함량 및 산도의 증가가 발생하여 두부수율에 심각한 영향을 미치며, 미포장 상태로 방치 시 60일 저장에서 응고수율 48%, 90일 저장 시 응고불능 상태가 됨을 확인하였다. 또한 저장 시 콩 함유 질소 용해도의 변화 실험에서 고온 조건의 저장 시 질소 용해도와 단백질의 추출성이 극히 저하되는 경향을 나타냈고, 지방산 조성의 경우 저온에서는 유의적 차이가 없었으나, 고온 장기저장 시 불포화지방산의 감소와 포화지방산의 증가가 유의적이었으며, 35°C 8개월 저장 시 포화지방산이 5°C 저장 대비 25% 수준 증가되었음. 색도도 고온에서 저장할수록 유의차가 나타나는 것을 확인할 수가 있었다.

상온 조건에서 장기간(1~3년) 저장에 대한 연구의 경우, 콩 함유 기능성 성분인 이소플라본의 함량은 총 함량 면에서 큰 차이가 없었으나, 비당체와 단순 배당체는 소량 증가하며, 말로닐 배당체의 경우 급격히 감소하는 양상을 나타낸다. 초저온 (-30°C) 및 상온으로 저장조건을 달리하여 3년 동안 저장한 경우 이소플라본의 함량을 평가한 결과 저장 초기 대비 모든 저장 조건에서 이소플라본 함량이 유의적으로 감소하였다. 결론적으로 저온저장보다 고온 저장에서 더 많은 변화가 일어나게 되었으나 검정콩을 대상으로 열풍건조기의 건조온도 30 ~ 50°C로 달리하여 수분함량이 8%가 되게 한 후 물리, 화학적 변화를 검토한 결과 단백질, 지질 및 회분 모두 유의적 차이가 인정되지 않아 열풍건조에 의한 일반성분의 차이는 확인되지 않았고, 반면 색도는 명도, 황색 및 적색도 모두 열풍건조에서 소량 증가되는 양상이며, 경도의 경우 열풍건조가 경도를 낮게 하는 효과를 나타내었다.

수확 후 건조·정선·선별·저장시설이 일괄 완비된 콩유통종합처리장 (SPC) 설치완료 되었으나 콩 SPC를 이용한 콩 수확 후 관리 기술이 전무하며. 불량환경에 노출된 콩 종자 저장

단백질 및 대사체 화합물에 대한 안정성 평가 지표의 연구에 대한 사례가 없었다. 현재 영상분석을 통한 콩의 외형적 분석에 관련된 국내 선행연구 사례는 매우 적은데 콩과 관련된 대부분의 추출 공정 시의 초고압 처리에 따른, 분말의 입자도 분석 및 비교를 영상분석을 통하여 측정한 사례가 존재하지만, 대부분 자체에 대한 영상분석의 적용 사례는 아직 보고된 바가 없다.

콩의 가공 유용성을 증가시키고 유통 과정의 비용절감을 위하여 콩 분말에 관련된 연구가 진행된 바 있으며, 콩 분말은 약 40 %의 유지를 함유하고 있어 대부분으로 그 활용이 가능성이 높다. 이에 대하여 추출 수율을 높이고자 초고압 처리와 초임계 유체 추출 방법을 적용한 선행 연구가 수행되었다. 저장 온도와 포장 방법이 콩 분말의 산폐도에 미치는 영향에 대해 20일간 저장하여 산폐도를 측정한 결과 상온에서 보관하였을 때 보다 약 50 °C에서 저장하였을 때 산폐도가 증가하였고 진공 포장, 질소 포장, 탈산 소제를 포함한 포장방법은 비교적 온도가 높은 저장 조건에서 산폐의 속도를 감소시킬 수 있는 방법으로 효과가 있음을 확인하였다. 초고압, 초임계 추출과 같은 공정은 수확 후 저장 시 적용된 연구가 수행된 사례가 없으며, 산폐 측정 방법 또한 적용된 사례가 전무함. 국내 콩 주산지의 콩 수확, 탈곡, 선별, 건조, 유통 등 전반적인 수확 후 관리실태를 조사현황과 현장 문제점 발굴하였다(2008, 식량원). 수확시기, 수확에서 탈곡소요일수, 유통형태를 조사하였을 때, 종실수분함량과 탈곡회전수에 따른 탈곡손실률, 콩나물 부패률을 조사하여, 콩나물콩은 수분함량 16%에 저기 수확할 경우 탈곡회전수 500rpm이 적합하였고, 450이하에서는 탈곡 손실률과 협잡률이 높고, 550이상에서는 부패율이 높다. 가공용 콩의 수확 후 관리실태 조사(2000, 작물시험장) 결과, 수확, 운반, 선별, 건조, 저장 현황조사와 유통 콩의 특성검정을 통해 콤바인 수확시 적기구명과 콩의 크기별 건조, 저장, 가공특성 연구 필요성을 지적받았다.

콩 GAP관리시스템 개발을 위해 수확 후 단계의 위해 요인 분석(2011, 경상대)에서는 수확 후 단계에서 물리적 위해 요소로 금속조각, 유리파편, 쇠조각이 위해요소 나타났고, 생물학적 위해요소로 total bacteria와 coliforms이 안전성 기준에 문제가 나타났다. 콩 수확 후 정선과 선별기 관련 기계장치 개발에 대한 산업재산권은 다수 존재하며, 특히 최근에 콩 선별 시스템에 대한 연구 비교적 활발하다. 정상콩과 미성숙 콩으로 분류되도록 하는 비중 선별기가 더 구비되는 것이 특징인 콩 선별 시스템(2008, 특허출원 번호 1020080102395), 4방향 센서를 이용한 콩 색체 선별기 개발(2011, 경북대) 및 Round Belt Conveyor 방식의 콩 색채선별기 개발(2008, 라이스산업)이 진행된 바 있으며 국산 원료콩 품질관리를 위한 수매규격(2013 국산콩 수매지침, 농림축산식품부)은 다음과 같다.

- 일반콩(장류·두부용) 주요 수매검사 규격

구 분	1등	2등	3등	등외
대립종	정립율(%)	90.0	80.0	70.0
	입 도(%)	70.0	70.0	70.0
중립종	정립율(%)	88.0	78.0	70.0
	입 도(%)	70.0	70.0	70.0
소립종	정립율(%)	85.0	75.0	—
	입 도(%)	70.0	70.0	70.0

- * 1. 대립종은 굽기콩나물콩 가 7.10mm이상인 콩이 70%이상(무게기준) 포함된 콩
- 2. 중립종은 굽기가 6.30mm이상인 콩이 70%이상(무게기준) 포함된 콩
- 3. 소립종은 굽기가 4.00mm이상인 콩이 70%이상(무게기준) 포함된 콩

- 콩나물콩 수매검사 규격

항목 등급	최저한도			최고한도		
	발아율 (%)	정립 (%)	난알의고르 기 (%)	수분 (%)	피해립·미숙립·이종곡립·이물 계(%)	이종곡립(%) 이물(%)
합격	85.0	90.0	80.0	14.0	10.0	0.2

구 분	구 분 방 법
중립종	체 눈의 직경이 7.10mm체를 통과하고, 5.60mm인 체위에 남는 것 단, 7.10mm체 위에 남는 것이 2.0%이하로 포함된 것
소립종	체 눈의 직경이 5.60mm체를 통과하고, 4.00mm인 체위에 남는 것 단, 6.30mm체 위에 남는 것이 2.0%이하로 포함된 것

제2절 국외 기술개발 현황

국외 연구 또한 콩 수확 후 품질 관리에 관한 연구는 단지 저장 중 변화 요소에 대한 일부의 결과만 존재하며, 국내 연구현황과 유사한 양상이며, 서구에서의 주요 콩 이용양상이 식용유의 착유와 사료로의 이용, 동아시아에서는 두부 등의 이용으로 한정되어 있으므로 그 결과는 유지 및 단백질에 제한된 상황이다.

1~9년동안 저장된 콩을 이용하여 콩 제품을 개발시, 이들의 화학성분 및 관능적 품질을 평가한 결과 두부 및 두유에서는 저장기간에 따라 고형분과 단백질 함량이 감소되었고, soybean의 경우 색상과 저작감이 감소하며 전반적 특성이 감소되는 양상을 보였다. 콩의 저장 중 표면의 색상, 단백질 추출율, 유리당과 인지질의 감소, 산성물질의 증가 등을 수반하며, mailard 반응 등이 나타나, 불리한 조건에서 저장 하였을 때 가공품의 품질을 저하시키게 되는데 원료 콩의 품종, 가공공정 및 저장방법이나 재배지 및 취급방법에 따라서 두유와 두부 가공 후 품질에 영향을 주는 콩의 주요인으로서 좌우되며 고온에서 저장이 되더라도 습도가 낮을 경우 원료 콩의 보존에 효율적이다.

수확 시 수분함량을 달리하고, 저장 온도 및 습도를 달리하여 180일 까지 저장 한 후 품질 평가를 수행한 결과 수확 시 수분함량이 중요하게 작용. 저장 조건에 따라서 상품적 가치가 완전히 상실되거나 유지될 수 있다. 콩의 저장 용기를 금속, 비닐 및 직물로 달리하고 상온에서 2달 동안 보관하였을 때 모든 용기에서 수분의 함량이 증가하였으나 직물로 포장하여 보관하였을 경우 저장 중 수분함량이 가장 높았고, 모든 저장용기에서 발아율은 초기 대비 낮아지는 양상이었지만 직물 포장이 가장 낮은 양상을 나타내고, 저장 후 상품적 가치를 현저히 상실하는 양상으로 직물포장은 콩의 안전한 저장 방법이 될 수 없음을 확인했다. 저장 중 균류의 영향에 의해서도 원료 콩의 품질이 변화되며, 저장 중에 수분 함량이 높을 경우 미생물의 원료

콩 품질저하의 중요한 요인으로 작용 하며, 품종별로 미생물의 오염 양상이 다르게 나타나게 됨. 미생물에 오염된 상태로 저장 시 발아율 감소, 색상의 부분적 변색, 발열 및 곰팡이 오염, 중량의 감소 및 성분의 변화를 유도한다. 저장 시 수분함량, 저장온도 및 산소의 유무로 달리 하여 150일 저장하였을 때 콩의 품질 연구에서 저장 수분에 관계없이 10°C 저장에서는 품질 변화가 무시될 수준이었으나, 최고의 품질 저하는 수분함량이 높고, 30°C 무 산소 저장 조건에서 발생하여 발아력이 급격히 감소하며, 지방의 산가가 급속히 증가하고, 미생물 번식이 급격히 조장되었다. 저장 중 온도와 습도를 달리하였을 때 콩 지방의 함량 변화를 검토한 결과 지방함량은 저장기간에 영향을 받아 평균 2.2% 수준 감소하는 양상이며, 저장 온도 12°C, 상대습도 60% 조건에서 1.3%로 가장 낮은 감소율을 나타내었다.

단백질과 지질의 품질 면에서 양질의 원료 콩 생산을 위한 환경적 요인으로 단백질과 지질은 서로 상반된 양상을 보이는데, 생육 초기의 가뭄은 단백질 함량에 불리하고, 지질함량에 유리하며, 생육 후기의 한해는 이와 상반된 양상을 나타낸다. 국외의 경우 원예작물을 대상으로 비 생물학적 스트레스로부터 수확 후 관리 기술이 많이 연구되었다. 그럼 2도표에서 보는 것처럼 구체적인 원예 작물에 대한 관리 시기 및 스트레스 정도 등 다양한 수확 후 관리 지표들이 표준화되어 있음을 볼 수 있다.

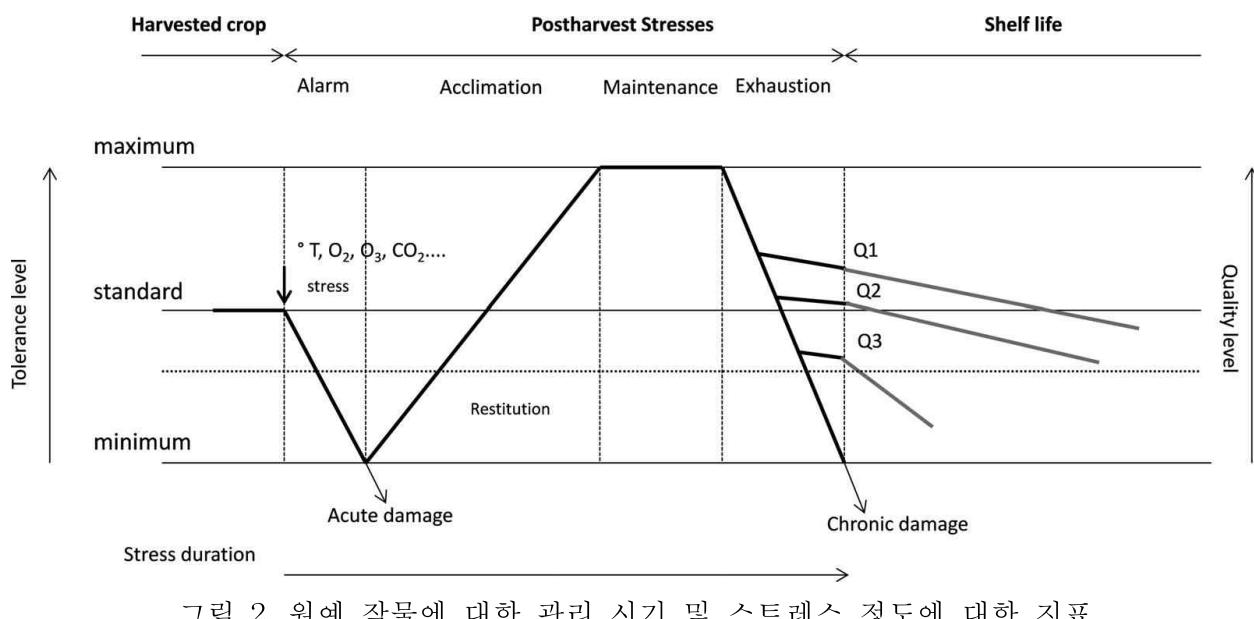


그림 2. 원예 작물에 대한 관리 시기 및 스트레스 정도에 대한 지표

최근 많은 연구에도 불구하고 원예작물을 포함하여 아직 proteome 수준에서 안정성 평가 지표가 관련 연구의 미비로 수확 후 관리 기술이 적용하는 사례가 내외적으로도 미흡한 실정이며, 최근 그 중요성이 인정되어 외국에서 많은 연구를 수행 중에 있다. Dominique Job 그룹에서 애기장대 퇴화종자로부터 종자 저장 및 발아력에 영향을 줄 수 있는 변성된 단백질, 즉 카르보닐화 단백질 분석을 실시하였다.

작물의 수확 후 관리 기술 미흡으로 인한 영양소 및 성분의 변화에 따른 알레르기 유발 원이 생성되어 식품안정성에 위험 요소로 작용, 해외에서는 영상분석을 이용한 다양한 연구들이 보고되고 있으며 영상분석을 이용하여, 곡류의 크기에 따른, 다른 종류의 입자를 구분하는 연구가 진행되고 있다. 영상 분석을 이용한 밀의 분별하는 연구(Utku and Koksel, 1998.

Journal of Food Engineering 36: 385–394.)나 자동으로 곡류의 품질을 확인하기 위한 쌀 품질의 분류도 진행되었고(Wan et al., 2002. Transactions of the ASABE 45: 379–387) 또한 영상분석을 통해서 상처가 있는 밀 곡물에 대해서, 다양한 각도에서의 촬영을 통한 확인된 다양한 요인들로 인해 분별 및 분석을 시도한 연구 진행되고 있다(그림 3).

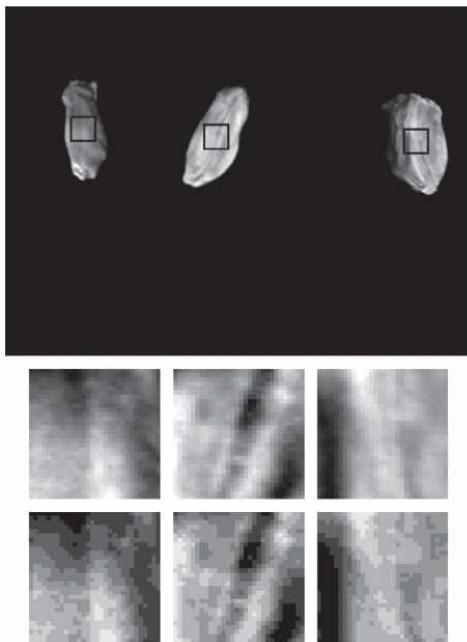


그림 3. 영상분석을 이용한 난 밀 곡물에 대한 표면 분석 (Delwiche et al., 2013. Computers and Electronics in Agriculture 98: 62–73).

사일로 내부에 저장된 원료가 호퍼를 통해 이동 될 때 가장 중요한 원료의 특성인 흐름도에 대한 연구들은 대부분 분말을 대상으로 보고되어 있으며, 식품 분야에서는 흐름도에 대한 연구는 많지 않으나 지속적으로 연구가 수행되고 있으며 최근에는 호퍼 디자인과 관련된 연구들 또한 보고되고 있다. 일반적으로 식품 분말 내부의 수분은 입자 간에 liquid bridge를 형성하도록 하여 분말에 응집성을 부여하여 흐름도를 감소시키는 요인으로 작용한다고 알려져 있다(Teunou et al., 1999. Journal of Food Engineering 39:31–37). 콩의 수분함량에 따라서 입자 간 마찰과 입자와 벽의 마찰에 있어 마찰 할 때의 표면적이 증가에 의하여 흐름도에 영향을 준 것이 보고되었다(Kashaninejad et al., 2008. Powder Technology 188:1–8).

- 평지씨(rapeseed)와 같은 유지를 추출 곡물에서는 수분함량이 증가하였을 때 윤활제 역할을 하여 흐름도를 향상시키는 효과(Opalinski et al., 2012. Journal of Food Engineering 108:51–58), 수분함량뿐만 아니라 분체의 입자 모양 또한 흐름도에 영향을 주는 요인으로 작용할 수 있다는 것이 확인 되었다. 분쇄 후 입자 분포도에 따라 분류된 입자들의 모양을 관찰한 결과 입자크기가 비교적 작을수록 원형도가 증가(Saad et al., 2011. Journal of Food Engineering 102:293–301) 하였고 이외에도 비교적 수분함량이 높은 밀가루에 대한 호퍼를 제작할 때 흐름이 막히지 않도록 더 큰 배출구 크기가 요구되었으며, 빈에 가해지는 압력이 증가함에 따라 호퍼의 배출 호퍼의 배출구 크기를 증가시켜야 한다(Guan and Zhang, 2009. Journal of Food Engineering 94:227–232).

제 3 장 연구 수행 내용 및 결과

<제1세부과제> 콩 유통종합처리장(SPC) 이용을 위한 원료콩 품질관리기준 설정 연구

재료 및 방법

(시험 1) 콩 유통종합처리장(SPC)의 산물 콩 수매를 위한 건조 기준 설정

첫 번째로 산물콩의 수분함량별 건조조건 설정을 하기 위하여 처리내용은 원료콩 수분함량별(20~14%) 처리이고, 주요 조사내용은 건조시간, 건조효율 등이다.

두 번째로 SPC용 산물수매 콩의 용도별(장류·두부용과 나물용) 건조 온도조건 설정은 처리내용은 건조 온도별(30°C~45) 처리이고, 조사내용은 장류·두부용이 발아율, 나물용이 발아율, 발아세, 콩나물 수율이다.

(시험 2) SPC설치에 따른 작업공정별 장류·두부용 및 나물용 콩의 정선·선별 효율 분석

처리내용은 작업단계별, 선별조건(현재 등급기준 7.1mm, 6.3mm, 4.0mm)이고, 조사내용은 정립률, 정선 효율, 선별효율 등이다.

(시험 3) SPC의 대용량 포대저장을 대비한 종실변이 발생 양상분석

건조전 저장조건은 산물콩 수분함량(20~14%), 보관일수이고, 건조후 저장조건은 저장온도(실온, 저온), 저장기간(6개월, 1년, 2년)이다. 주요 조사내용은 발아특성(발아율, 발아세) 분석을 통한 종실변이 양상분석이다.

□ 주요 결과

(시험 1) 콩 유통종합처리장(SPC)의 산물 콩 수매를 위한 건조 기준 설정

○ 산물콩의 수분함량별 건조조건 설정

건조방법별 콩의 수분함량은 배치식 건조가 150분 건조시 11.9%로 도달하였고, 간헐적 건조 180분에서 12.0%에 도달해 배치식 건조방법이 효율은 높았고, 배치식 건조는 열풍으로 계속 건조하고, 순환식 건조는 40분 열풍 건조와 20분간 콩의 순환이 이루어졌다.

표 1-1. 대원콩의 건조 조건 및 시간별 수분함량(35°C)

구분	건조시간(분)							
	0	40	60	100	120	150	160	180
배치식건조 (%)	14.4	13.7	13.5	12.3	12.3	11.9	-	11.4
순환식건조 (%)	14.4	13.3	13.1	13.5	12.8	-	12.0	12.0

표 1-2. 순환식 건조기 이용 해풀콩의 건조시간별 수분함량(35°C)

구분	건조시간(분)							
	0	20	40	70	100	130	160	180
수분함량(%)	19.0	18.3	17.9	17.5	17.3	17.2	16.4	16.0

* 건조조건은 40분 건조, 20분 순환임

표 1-3. 순환식 건조기 이용 해풀콩의 건조시간별 수분함량(35°C)

구분	건조시간(분)							
	0	20	40	70	100	130	160	180
수분함량(%)	14.0	113.6	12.9	12.7	12.6	12.1	12.1	11.5

* 건조조건은 40분 건조, 20분 순환임

- SPC용 산물수매 콩의 용도별(장류·두부용과 나물용) 건조 온도조건 설정

순환식 건조(건조 40분-순환 20분)를 이용한 콩 건조시 손상율 등 품위를 고려한 건조온도는 30°C이며, 30°C 열풍 순환식 건조시 콩수분 13% 건조시간은 13시간 이내, 손상율은 5.7%(건조시작시 콩 수분 20%)이다.

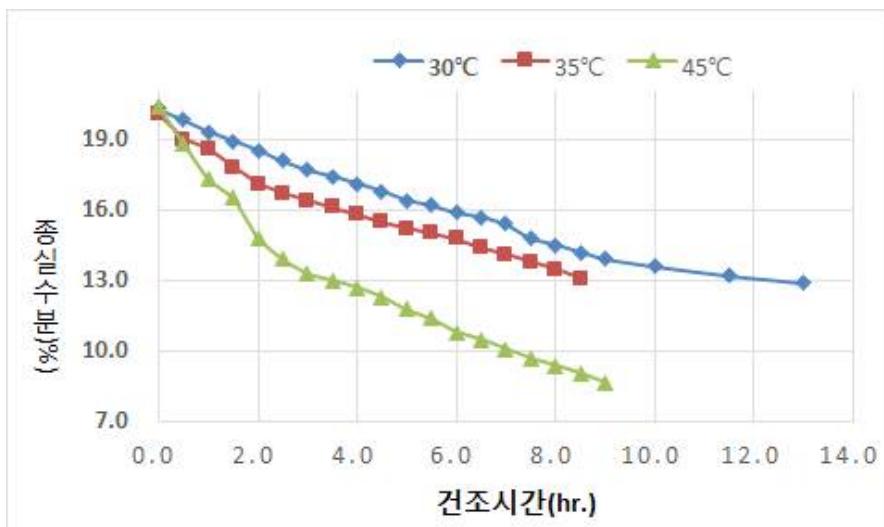


그림 1-4. 순환식 건조기 이용 건조온도별 콩 수분함량 변화

표 1-4. 순환식 건조기 이용 건조온도에 따른 손상립 비율

구 분	건조온도		
	30℃	35℃	45℃
손상립 비율(%)	5.7	6.3	20.8

* 콩 수분함량이 13% 도달시 손상립 비율임

표 1-5. 순환식 건조기 이용 건조온도별 콩 수분함량 차이

시간(hr)	건조온도별 콩 수분함량(%)		
	30℃	35℃	45℃
0.0	20.3	20.1	20.4
0.5	19.8	19.0	18.8
1.0	19.3	18.6	17.3
1.5	18.9	17.8	16.5
2.0	18.5	17.1	14.8
2.5	18.1	16.7	13.9
3.0	17.7	16.4	13.3
3.5	17.4	16.1	13.0
4.0	17.1	15.8	12.7
4.5	16.8	15.5	12.3
5.0	16.4	15.2	11.8
5.5	16.2	15.0	11.4
6.0	15.9	14.8	10.8
6.5	15.7	14.4	10.5
7.0	15.4	14.1	10.1
7.5	14.8	13.8	9.7
8.0	14.5	13.5	9.4
8.5	14.2	13.1	9.1
9.0	13.9	—	8.7
10.0	13.6	—	—
11.5	13.2	—	—
13.0	12.9	—	—

(시험 2) SPC설치에 따른 작업공정별 장류·두부용 및 나물용 콩의 정선·선별 효율 분석

장류용 대원과 나물용인 해품을 정선과 선별(벨트선별 및 입자선별) 한 결과, 정립율이 대원콩 99.68%, 해풀이 99.73%로 99% 이상이었고, 정립율은 원하는 콩이 전체 시료 무게 중 차지하는 비율이고, 입도율은 입자선별기로 선별후 대·중·소 크기 종류별로 구분 된 것 중 다른 크기가 있는지를 조사한 결과이다.

SPC를 이용한 정선과 선별시 품위는 정부의 콩 수매 기준중 1등급 대립 기준인 정립율 90%와 입도율 70%보다 높은 각각 99% 이상이었다. 따라서, SPC를 이용시 정립율과 입도율을 높여 높은 품위의 콩을 수매 할 수 있고, 유통업자나 가공업자에게 균일한 원료곡을 공급할 수 있어 품질 고급화에 기여하고 수입되는 콩과 품질 경쟁이 가능 한 것으로 판단되었다. 괴산 불정 농협의 경우 콩을 정선과 선별하는 비용은 kg당 100원으로 농가에서 인력에 의한 것보다 훨씬 경제적이며, 유통업자나 가공업체에서 자체적으로 정선과 선별을 실시하지 않아도 되는 장점이 있다.

표 1-6. 대원콩의 정선과 선별 효율

계	종실의 크기 비율(%)			이물질 비율(%)			
	대 (7.10mm)	중 (6.30mm)	소 (4.00mm)	정선후	벨트선 별후	입자선 별후	찌꺼기
100.00	97.06	1.44	0.74	0.06	0.49	0.21	0.01

* 수분함량 12.1%에서 실험

* 대는 7.10mm 체를 통과하지 못하고 남은 콩의 비율임

표 1-7. 대원콩의 정선과 선별시 정상립 비율

계	정상립 비율(%)	깨진립 비율(%)
100.0	97.7	2.3

* 수분함량 12.1%에서 실험

* 깨진 립이 발생하는 것은 정선과 선별을 하기 위해 승강기를 타고 이동하는 것과 이동 후 정선기와 선별기로 이동시 떨어짐에 따라 깨진 콩의 비율임

표 1-8. 대원콩의 정선, 선별후 정립율

계	이품종(%)	이물(%)	순도(%)
100.00	0.14	0.18	99.68

표 1-9. 해품콩의 정선과 선별 효율

계	종실의 크기 비율(%)			이물질 비율(%)			
	대 (6.30mm)	중 (5.60mm)	소 (4.00mm)	정선후	벨트선 별후	입자선 별후	찌꺼기
100.00	0.10	98.65	0.50	0.10	0.56	0.08	0.01

* 수분함량 13.6%에서 실험

표 1-10. 해풀콩의 정선과 선별시 정상립 비율

계	정상립 비율(%)	깨진립 비율(%)
100.0	98.1	1.9

표 1-11. 해풀콩의 정선, 선별후 정립율

계	이품종(%)	이물(%)	순도(%)
100.00	0.13	0.14	99.73

(시험 3) SPC의 대용량 포대저장을 대비한 종실변이 발생 양상분석

산물콩(해풀)을 저온보관(4°C~10°C)시 21일간 보관시 수분함량의 변화가 없었다. 산물콩의 햇빛에 보관시 수분함량이 17.9%에서 13.0% 도달에 12일, 15.7%에서는 11.5일 걸렸고, 그늘에 보관시 17.9%에서 13.0% 도달에 21일, 15.7%에서는 18일이 걸렸다(본 실험은 수분 함량만 다르게 하여 같은 날에 진행하여 햇빛에 노출되는 정도는 동일 하였음). 대원콩은 해풀콩과 달리 24.7%의 초기 수분함량에서 햇빛에서 보관시 13.0% 도달에 8일이 소요 되었고, 저온에서도 수분함량의 변화가 진행되었다. 햇빛에 노출시 수분함량의 차이가 발생하는 것은 해풀콩과 대원콩의 차이는 립중의 차이로 추정되며, 햇빛이 콩알의 표면에 닿는 비율은 공극이 작은 해풀이 적은 것에서 기인한 것으로 추정되었다. 즉, 립중의 차이로 인한 공극율과 햇빛이 닿는 정도를 측정하는 보완 실험을 실시예정이다.

표 1-12. 산물콩(해품)의 보관조건별 수분함량 변화(보관 시작은 수분함량이 15.7%임)

처리후 일수 (일)	보관 조건별 수분함량(%)				
	4°C	6°C	10°C	햇빛	그늘
0	15.7	15.7	15.7	15.7	15.7
1	15.8	16.2	15.9	15.5	15.4
4	15.9	15.8	16.1	14.7	15.3
5	15.8	15.9	16.2	14.1	14.8
8	16.0	16.3	16.4	13.5	14.5
11	15.7	16.2	16.3	13.3	14.1
12	16.0	16.5	16.5	12.1	13.9
13	15.8	16.6	16.6	12.0	13.6
14	15.7	16.6	16.8	11.2	13.0
15	15.7	16.6	16.9	11.1	13.2
19	16.0	16.9	16.9	10.7	12.9
20	15.9	16.6	16.8	10.1	12.4
21	15.8	16.8	16.9	10.0	12.3

* 햇빛 건조는 코크리트 바닥위 햇빛에 건조를 실시하였음

* 그늘은 건물 내부에 콩을 깔아 건조를 실시하였음

표 1-13. 산물콩(해품)의 보관조건별 수분함량 변화(보관 시작은 수분함량이 17.9%임)

처리후 일수	보관 조건별 수분함량(%)				
	4°C	6°C	10°C	햇빛	그늘
0	17.9	17.9	17.9	17.9	17.9
1	18.3	17.8	18.3	18.2	17.7
4	18.2	17.9	18.4	16.4	17.1
5	17.9	18.0	18.1	15.7	16.4
8	17.8	17.9	18.2	14.7	15.9
11	17.6	17.9	18.1	14.1	15.3
12	17.8	18.1	18.4	12.8	15.3
13	18.0	18.0	18.3	12.5	14.9
14	17.7	18.1	18.4	11.9	14.2
15	17.8	17.9	18.4	11.4	14.0
19	17.8	18.2	18.6	11.1	14.0
20	17.6	18.0	18.3	11.0	13.7
21	17.6	17.9	18.3	10.6	13.0

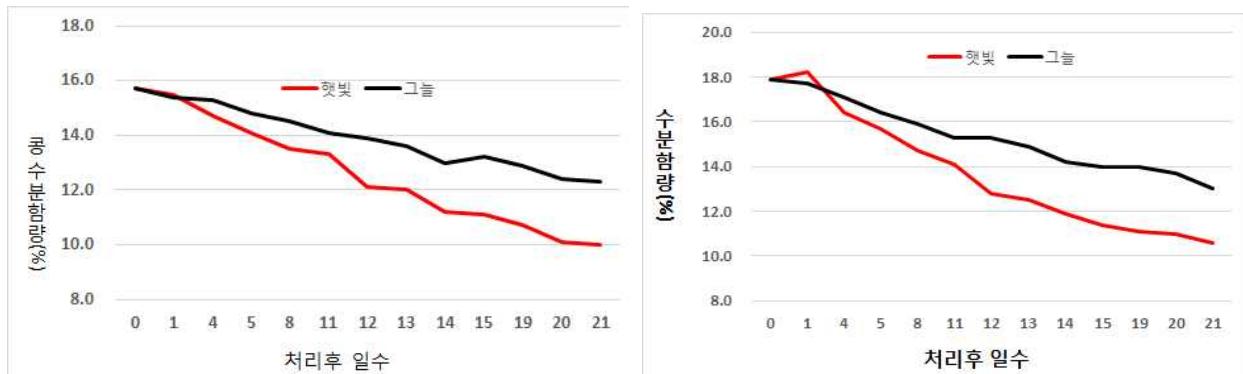


그림 1-5. 콩 보관방법별 보관일수 경과에 따른 수분함량 변화(좌, 15.7% 시작, 우 : 17.9% 시작)

표 1-14. 산물콩(대원콩)의 보관조건별 수분함량 변화(보관 시작은 수분함량이 24.7%임)

처리후 일수	보관 조건별 수분함량(%)				
	4°C	6°C	10°C	햇빛	그늘
0	24.7	24.7	24.7	24.7	24.7
1	24.7	24.7	24.9	19.8	24.1
3	24.5	24.1	24.6	20.1	23.6
4	23.9	23.3	24.4	18.0	21.3
5	23.8	22.8	24.2	16.2	19.4
6	23.6	22.6	23.7	14.5	17.8
7	23.2	21.8	23.4	13.4	16.0
8	23.0	21.5	23.3	12.5	15.5

원료콩의 초기 수분함량을 다르게 하여 진공 포장후 10개월간 상온 보관한 결과 수분함량이 20.7%는 황색에서 갈색으로 변질되고, 곰팡이 발생이 시작되었고, 16.0%에서는 변색은 되지 않았으나 곰팡이가 발생하였고, 13.0%는 변색이 되지 않고 곰팡이 발생도 없었다.



그림 1-6. 진공포장한 산물콩의 수분함량에 따른 콩 품질변화

수분함량이 12.2%인 콩을 저장 온도 및 기간별 발아율과 발아세를 조사한바, 6개월 저장까지는 저장온도별 차이를 보이지 않았다.

표 1-15. 저장 온도 및 기간별 콩의 종실변이

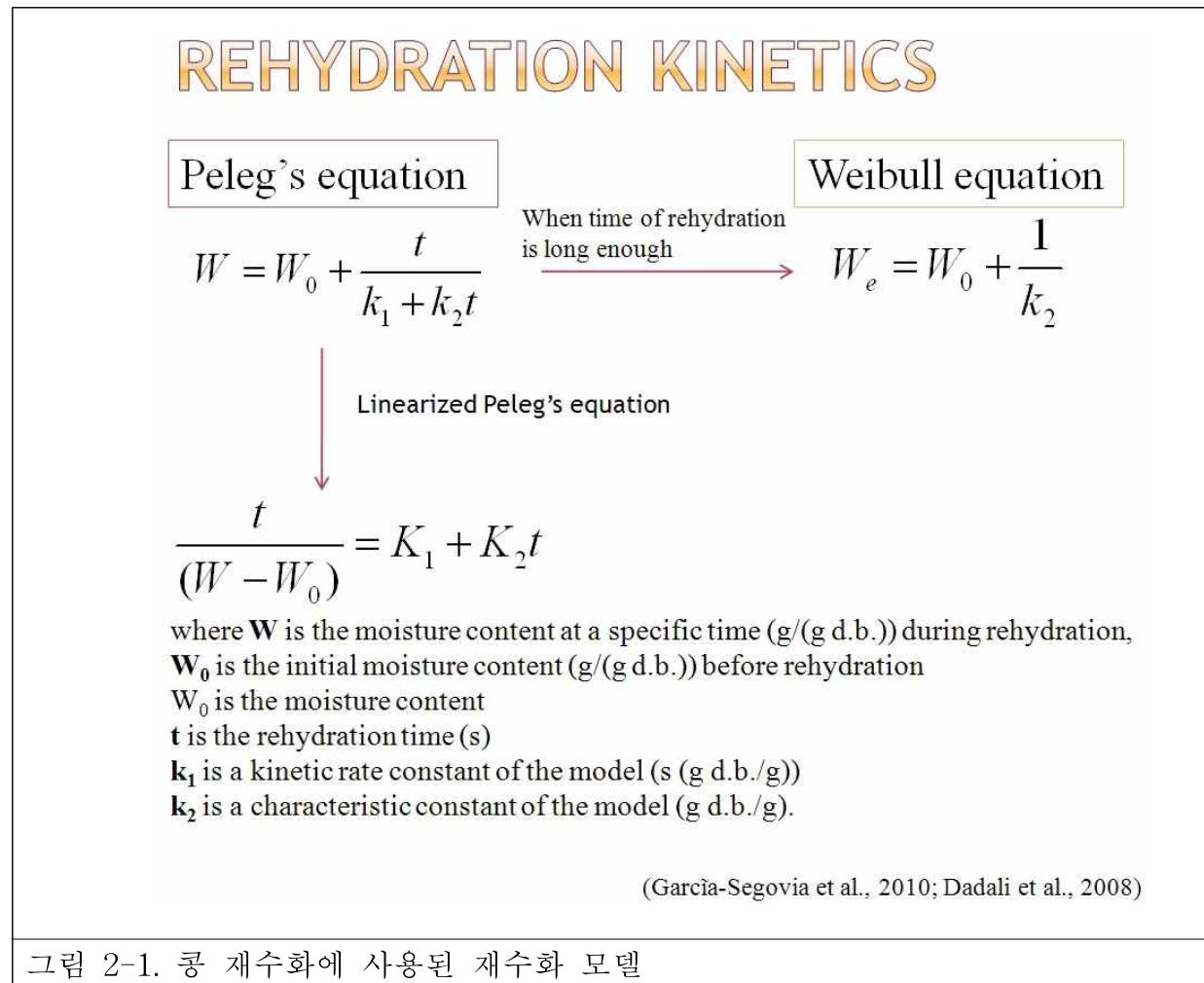
구분		저장 전			6개월 저장후		
발아특성	저장온도	해품	대원콩	평균	해품	대원콩	평균
발아율 (%)	실온	98.2	96.1	97.2	97.1	95.1	96.1
	4°C	98.1	96.3	97.2	97.5	94.8	96.2
발아세 (%)	실온	94.3	93.1	93.7	92.8	92.0	92.4
	4°C	94.4	92.7	93.5	93.5	92.5	93.0

<제 1 협동 과제> 콩 유통종합처리장(SPC) 설치 및 작업공정 개선 연구

◎ 열풍건조기 내에서의 콩의 특성에 따른 예측 모델 개발

국내에서 콩은 10월 상순에서 11월 상순사이에 수확이 이루어지므로 전년도에 수확하여 건조된 콩을 원물과 최대한 유사한 결과를 나타낼 수 있도록 일정시간 동안 재수화하여 원물과 유사한 수분함량을 나타내도록 하여 실험을 진행하였다.

콩 재수화 시 재수화시간은 0, 1, 3, 5, 7, 9, 11, 13, 15, 17, 19분으로 하여 각 재수화 시간에 따른 콩 시료의 수분함량을 측정하여 재수화 모델을 확인한 뒤 원물의 수분함량과 가장 유사한 재수화시간을 이용하여 재수화시킨 뒤 콩 표면의 수분이 내부로 확산될 수 있도록 수분 확산 시간을 24시간 동안 가진 뒤 건조실험을 진행하였다.



콩의 크기 및 수분함량에 따라 건조 시의 건조 속도 와 품질 변화가 다르게 나타나므로, 콩의 크기에 따른 건조 속도의 차이를 설명해줄 수 있는 건조 모델을 개발하기 위하여 무게별로 콩을 L, M, S의 3가지 군으로 나누어 건조 온도와 건조 시간에 따른 수분함량의 변화에 대한 연구를 수행하였다.

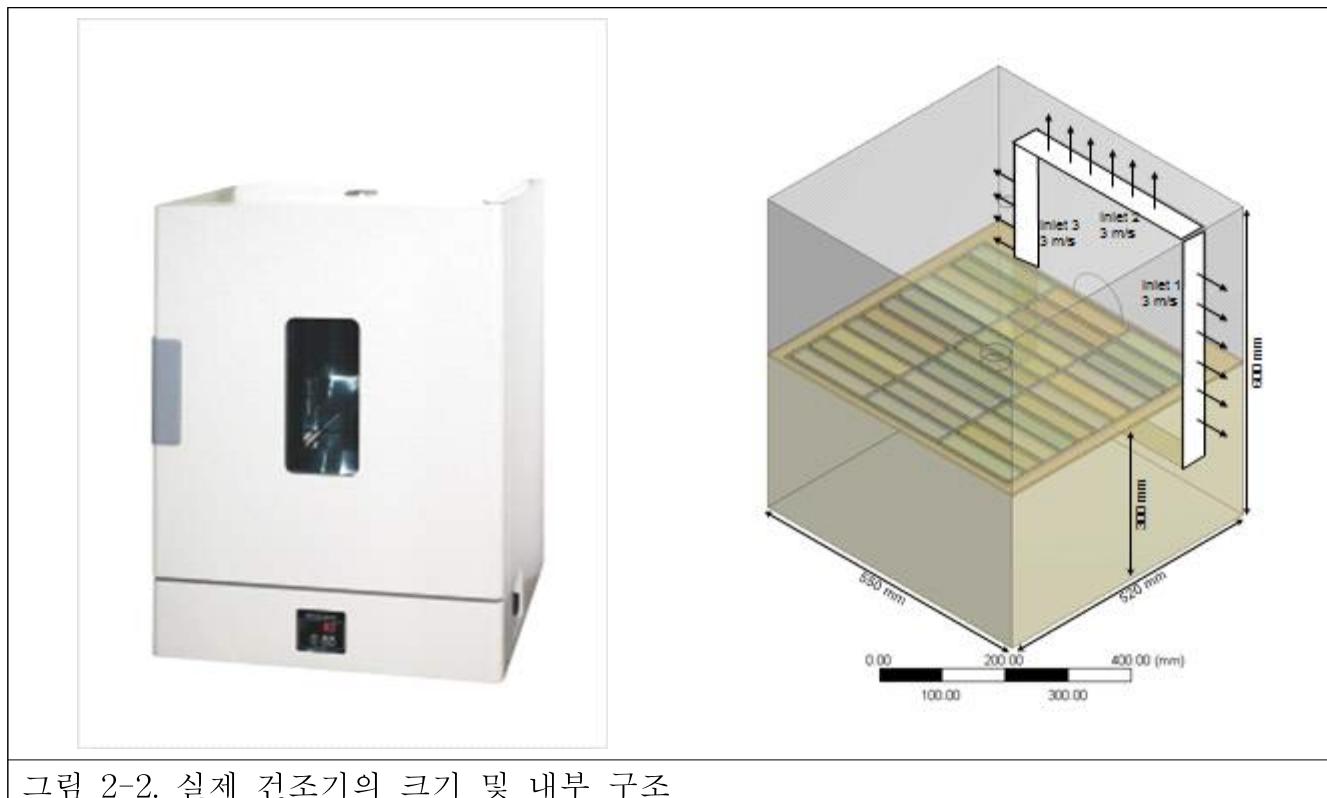


그림 2-2. 실제 건조기의 크기 및 내부 구조

건조기는 가로길이 550 mm, 세로길이 520 mm, 높이는 600 mm의 크기를 가지고 있으며, 벽면에 붙어있는 열풍생성기에서 3방향으로 열풍이 나오는 형태였다.

열풍건조기의 온도를 25, 35, 45 °C로 설정하여 건조 실험을 진행하였고, 건조 시간은 0, 10, 20, 30, 40, 60, 90, 150, 210, 300, 420, 540, 1050, 1650, 2250 분으로 하여 각 건조 시간에 따른 콩 시료의 수분함량과 무게를 측정하였다.

무게별로 분류한 20개의 콩을 얇은 판형으로 건조기의 중앙에 배치 후 건조 실험을 진행하였다.

For Fick's second law of diffusion,

$$\frac{\partial M}{\partial t} = \frac{1}{r} \left[\frac{\partial}{\partial r} \left(D_{\text{eff}} r \frac{\partial M}{\partial r} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(D_{\text{eff}} r \frac{\partial M}{\partial z} \right) \right]$$

for a sphere,

$$MR = \frac{M - M_e}{M_i - M_e} = \frac{6}{\pi^2} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{n^2} \times \exp \left(-n^2 \frac{\pi^2 D_{\text{eff}}}{r_s^2} \right)$$

D_{eff} is the effective moisture diffusivity (m^2/s)

t is the drying time (s)

r_s is the spherical radius (m)

$$\ln MR = A - B \times t$$

where B is $\pi^2 D_{\text{eff}} / r_s^2$ for a sphere

$$D_{\text{eff}} = D_0 \exp \left(\frac{E_a}{RT} \right)$$

$$\ln D_{\text{eff}} = \ln D_0 - \frac{E_a}{RT}$$

where D_0 is the pre-exponential/frequency factor of the Arrhenius equation (m^2/s); E_a is the activation energy (kJ/mol); R is the universal gas constant (kJ/mol K) and T is the absolute temperature (K).

그림 2-3. 콩 건조에 사용된 Fick's second law

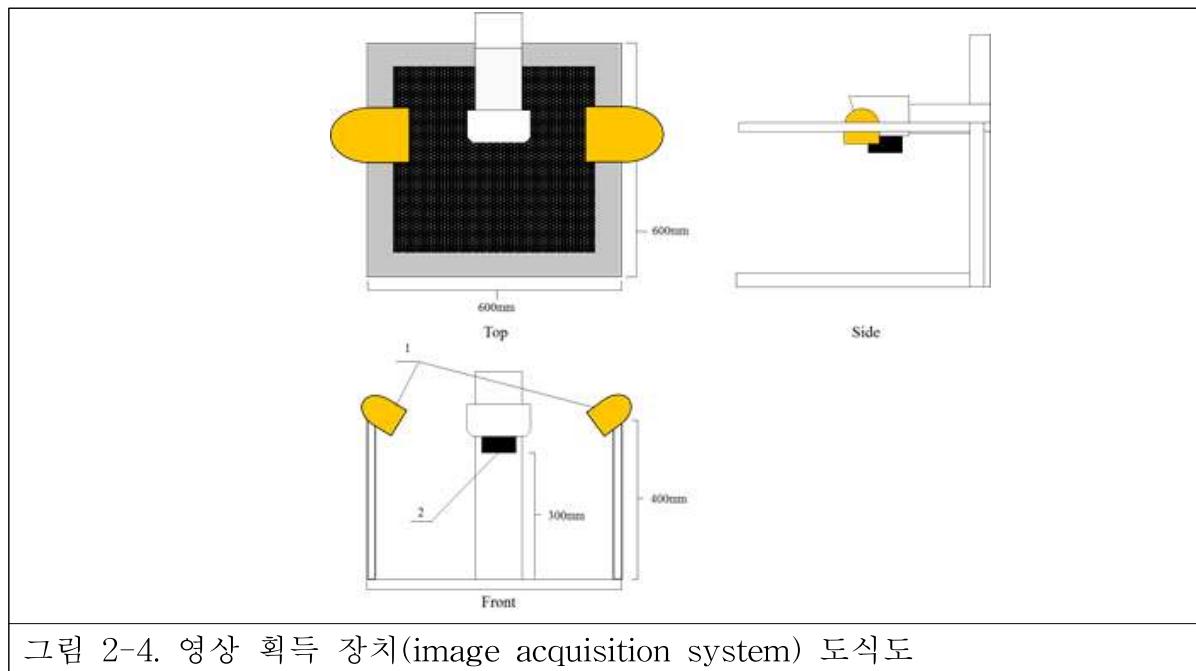
Fick's second law를 이용하여 건조 중 콩의 수분학산계수를 평가 후 콩 건조를 위한 활성화 에너지를 확인하였고, 건조 모델은 Thin layer model을 사용하였다.

표 2-1. 콩 건조에 대하여 사용된 건조 모델

No.	Model name	Model equation	References
1	Newton	$MR = e^{-kt}$	Lewis (1921)
2	Page	$MR = e^{-kt^n}$	Page (1949)
3	Henderson and Pabis	$MR = ae^{-kt}$	Henderson and Pabis (1961)
4	Midilli-Kucuk equation	$MR = ae^{-kt^n} + bt$	Midilli <i>et al.</i> (2002)

◎ 자동화 영상 분석 장치를 통한 콩의 영상분석 시스템 개발

콩의 영상분석은 건조실험에서와 같이 2013년도에 수확하여 건조된 콩을 재수화하여 수분화산 시간을 가진 뒤 영상분석을 진행하였다.



영상분석 시스템은 기본적으로 육안으로 나타나는 특징에 대해서 영상 획득 장치를 통해서 데이터를 획득하여, 영상정보를 획득하게 됨. 취득된 영상을 영상변환 절차를 거쳐, 이미지파일로서 저장하여 각 픽셀에 따른 정보값을 획득하여 콩의 외형적 특징을 분석하였다.



그림 2-5. 자동화 영상 분석 장치 개요도

기존에 개발했었던 영상 획득 장치를 토대로 하여 plant scale에서 영상분석을 자동화하는 시스템 개발을 위하여, lab scale에서 자동화 영상 분석 장치를 개발하였다. 일정한 속도로 컨베이어 벨트를 지나는 콩을 디지털 카메라를 이용하여 콩의 외형 영상을 자동으로 획득하여 이에 따른 외형적 특성을 평가할 수 있도록 하였다.



그림 2-6. 콩의 자동화 영상 분석 프로그램

자동화 영상 분석 장치를 이용하여 획득된 콩의 이미지를 분석하는 알고리즘을 개발하여, 자동화 영상 분석 장치를 구동하고 연속적으로 콩의 외형적 특성을 분석할 수 있는 프로그램을 개발하였다.

영상 분석이 진행되는 기간과 영상을 취득하는 간격을 입력하면 프로그램 자체적으로

콩을 분별하여 외형적 특성을 추출할 수 있도록 하였다.

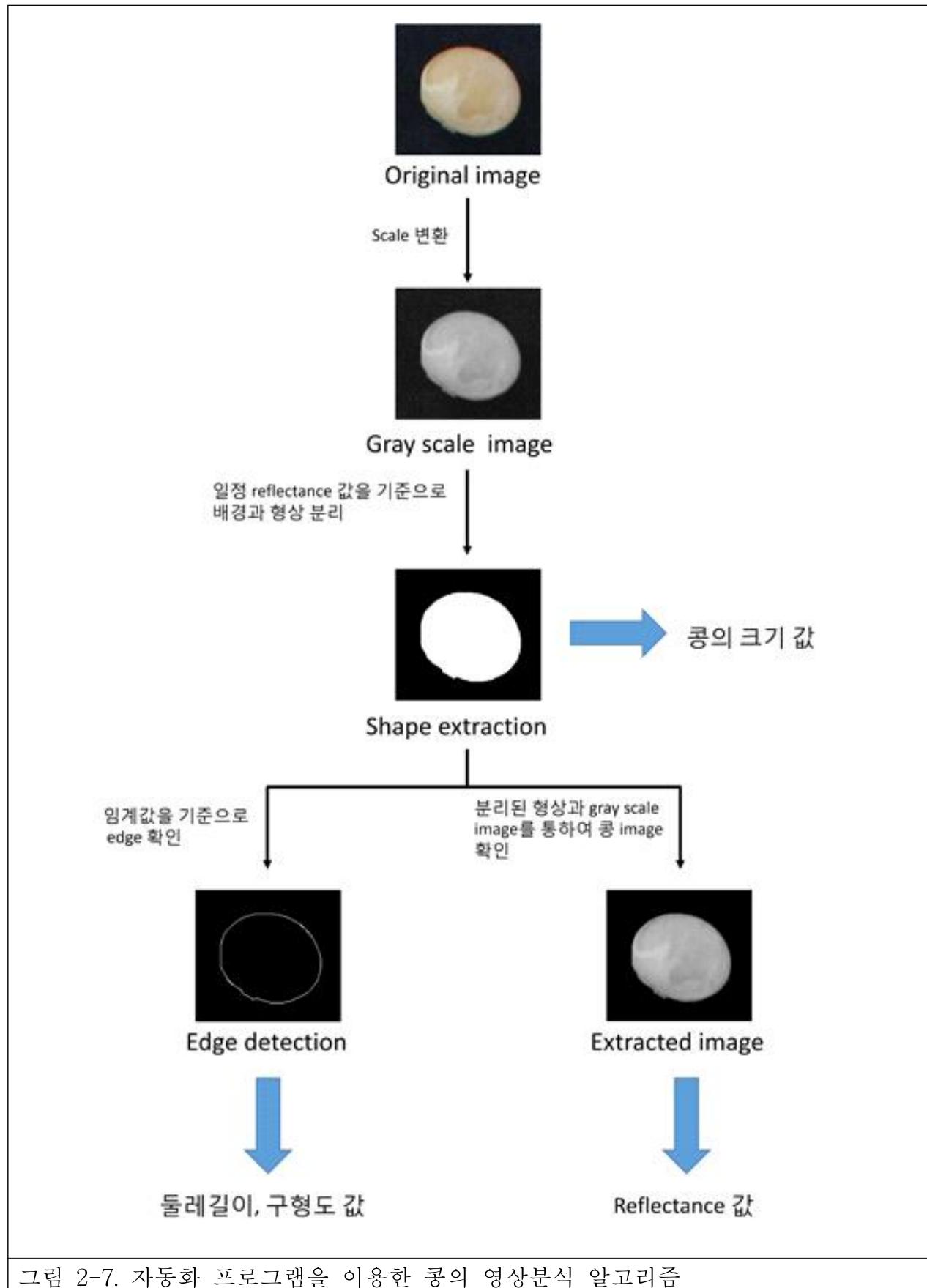


그림 2-7. 자동화 프로그램을 이용한 콩의 영상분석 알고리즘

건조된 콩을 재수화하여 원물 콩과 유사한 수분함량과 크기를 가진 콩을 이용하여 영상분석기법에 의해 콩의 외형적 특성을 평가하였다.

영상분석 알고리즘은 1) 이미지 분할, 2) 등급 변환, 3) 배경 분리 및 형상 추출, 4-1) 윤곽선 추출, 4-2) 콩 영상 추출의 단계로 이루어진다.

1) 이미지 분할: 콩의 개별적인 영상 분석을 진행할 수 있도록 획득되는 영상의 각 픽셀에 따른 정보값을 획득하여 일정 거리 안의 정보값의 평균을 이용하여 콩이라 판단할 수 없는 영역을 확인한 뒤, 각 콩을 기준으로 하여 사각형의 이미지로 분할함. 보다 정확한 콩의 특징을 얻어내기 위해서 밝기, 샤프니스 조정 등을 통한 전처리를 통하여 콩의 균일한 영상을 얻을 수 있도록 한다.

2) 등급 변환: 분할된 RGB의 3차원 정보값이 포함되어 있는 이미지를 영상분석이 용이하도록 1차원의 정보값을 가진 흑백 이미지로 바꾸어줌. 또한 변환된 이미지의 크기를 줄여서 영상 분석을 실시할 때, 프로그램의 처리 속도를 증가시킨다.

3) 배경 분리 및 형상 추출: 콩의 영상이 취득되는 배경인 컨베이어 벨트를 검은색으로 하여 콩의 영상 정보와 대비되도록 하였으므로, 배경 영상의 정보값과 콩의 정보값 사이의 값을 기준으로하여 배경과 콩의 이미지 정보값을 상반되도록 주었음. 이는 콩의 외형과 표면적을 확인할 수 있으므로 분리된 콩의 픽셀의 개수를 통하여 콩의 크기 값을 추출한다.

4-1) 윤곽선 추출: 콩의 형태를 파악하기 위해서 소벨(Sobel) 마스크를 이용하여 처리하였음. 소벨 마스크의 경우 잡음에 강하다는 장점과 수직, 수평 방향보다 대각선 방향과 곡선의 윤곽선을 추출하는데 더 민감하게 반응하기 때문에 콩의 윤곽선 추출에 적절한 것으로 판단하여 선정하였음. 이 이미지에서 픽셀의 개수를 계산하여 콩의 둘레를 판단하고, 콩의 중심을 기준으로 각 픽셀간의 거리를 확인하여 콩의 최대 반지름을 계산하여 콩의 구형도를 판단할 수 있다.

4-2) 배경이 분리되어 형상 부분만 추출해낸 이미지에서 배경부분 픽셀들의 위치값을 확인하여, 흑백 이미지에서 배경을 분리하여 순수 콩의 이미지만을 확인할 수 있음. 이를 이용하여 리플렉턴스 값을 확인하여 착색립 또는 이물질을 여부를 판단할 수 있다.

개발된 알고리즘을 이용하여 30개의 정상립의 외형적 특성을 확인하여 기준값을 확인한 뒤, 그 기준값을 벗어나는 형상을 이물질로 분류하는 영상분석을 진행하였다.

건조 중 콩의 크기와 둘레길이와 같은 외형적 특성을 분석하여 영상 분석을 통한 건조 공정 예측의 가능성을 확인하는 실험을 진행하였다.

◎ 콩의 열풍건조 시 Lab-scale 건조기 및 순환식 건조 내부의 온도 및 풍속구배를 예측하기 위한 시뮬레이션 모델 개발

건조기는 가로x세로x높이가 550x520x600 mm인 배치 유형(batch type)의 실험실 규모 장비로써 건조기 벽면에 붙어있는 열풍생성기에서 3방향으로 열풍이 나오는 형태이다.

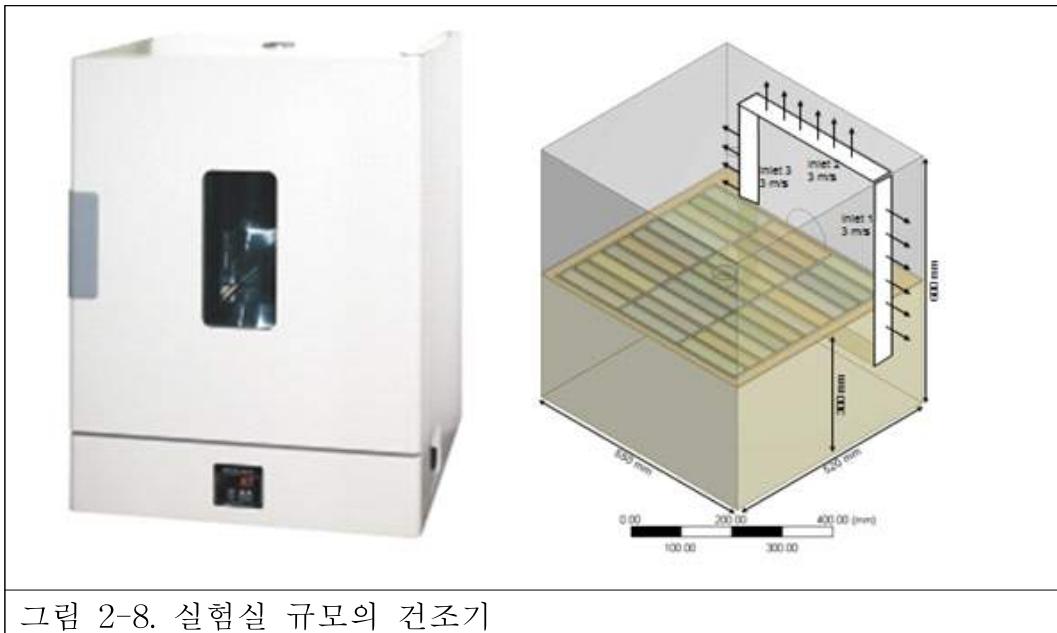


그림 2-8. 실험실 규모의 건조기

열풍 바람의 세기는 Air velocity meter를 이용하여 각 방향에 대해 10회 반복 측정하여 평균을 냈으며 이때 3면의 바람세기는 동일하게 3 ± 0.2 m/s였다.



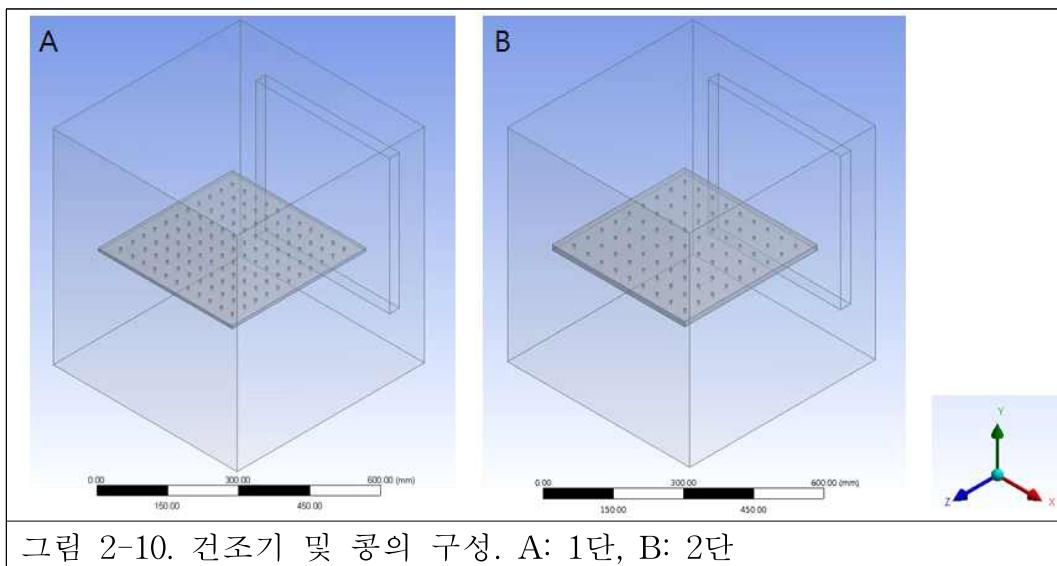
그림 2-9. 풍속 측정기

CFD 시뮬레이션이 이용된 콩의 열적 특성은 다음 표와 같았다.

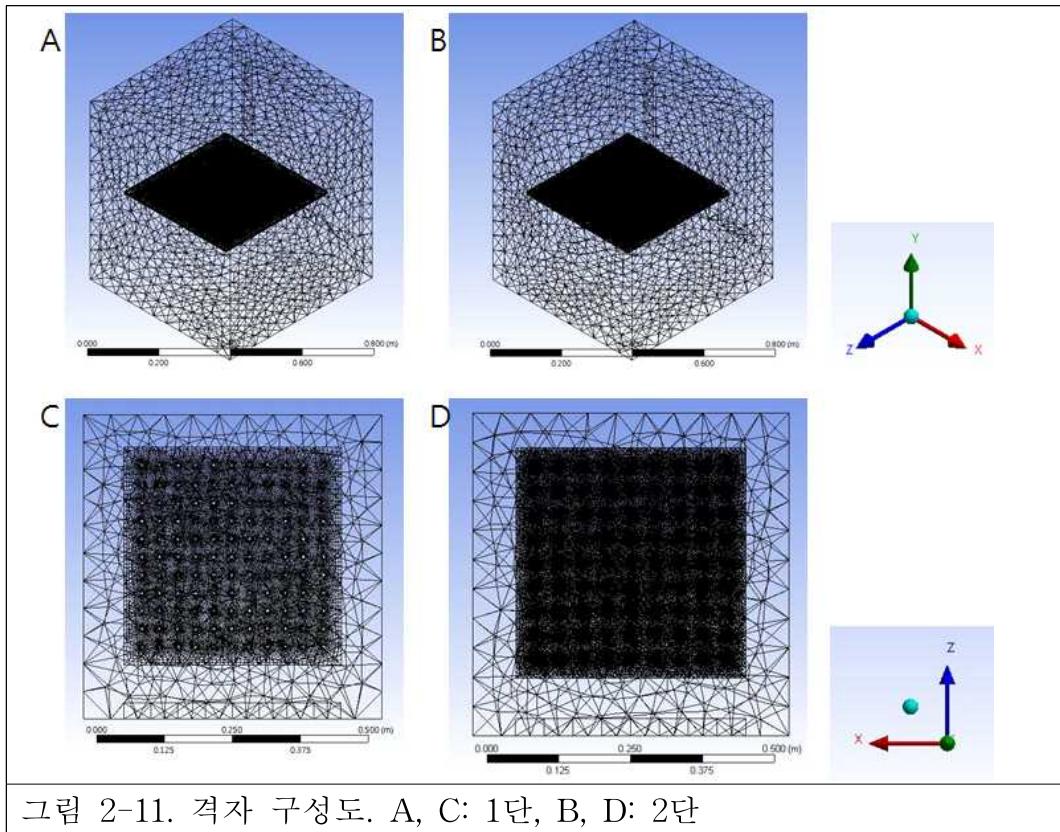
표 2-2. Thermal properties of air and bean

Property	Air	Bean
Density (ρ) (kg/m^3)	Idea-gas model	753
Thermal Conductivity (k) ($\text{W}/\text{m}\cdot\text{K}$)	$7 \times 10^{-5}T + 0.0238$	0.117
Specific Heat (C_p) ($\text{J}/\text{kg}\cdot\text{K}$)	$6 \times 10^{-7}T^2 - 4 \times 10^{-5}T + 1$	2040
Viscosity (μ) ($\text{Pa}\cdot\text{s}$)	$4 \times 10^{-8}T + 2 \times 10^{-5}$	
Thermal Expansion Coefficient (β) ($1/\text{K}$)	0.003325	
Source	Smolka et al.(2010)	Ravikanth et al.(2012)

시뮬레이션은 ANSYS Fluent 6.3 (ANSYS Inc., Canonsburg, PA, USA) 프로그램을 이용하여 수행하였다. 본 연구에서 사용된 건조기의 구성은 실험실 규모의 건조기를 실측하였으며 콩의 구성은 1단으로 쌓았을 때와 2단으로 쌓았을 때의 높이와 공극률을 측정하여 시뮬레이션에 이용하였다. 이때 콩의 배치는 공기의 흐름에 최대한 노출될 수 있도록 건조기의 중앙부에 위치시켰다.



건조기 및 콩의 격자 구성은 ANSYS Workbench 환경에서 구성되었으며 격자의 밀도를 조절하였는데, 이때 매우 조밀한 격자는 시뮬레이션 계산 정확도의 증가보다 계산 시간의 증가만을 야기하기 때문에 격자 품질을 acceptable 단계로 조절하였다.



3-D 형상에서 건조 유동의 강체 대류 움직임에 대한 지배 방정식은 연속, 운동량 및 에너지 보존 방정식이다. 아래 식에서 a 는 열 확산율, μ 는 동점도였다.

(연속 방정식)

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0$$

(운동량 방정식)

$$\rho \left(u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + w \frac{\partial u}{\partial z} \right) = - \frac{\partial p}{\partial x} + \mu \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \right)$$

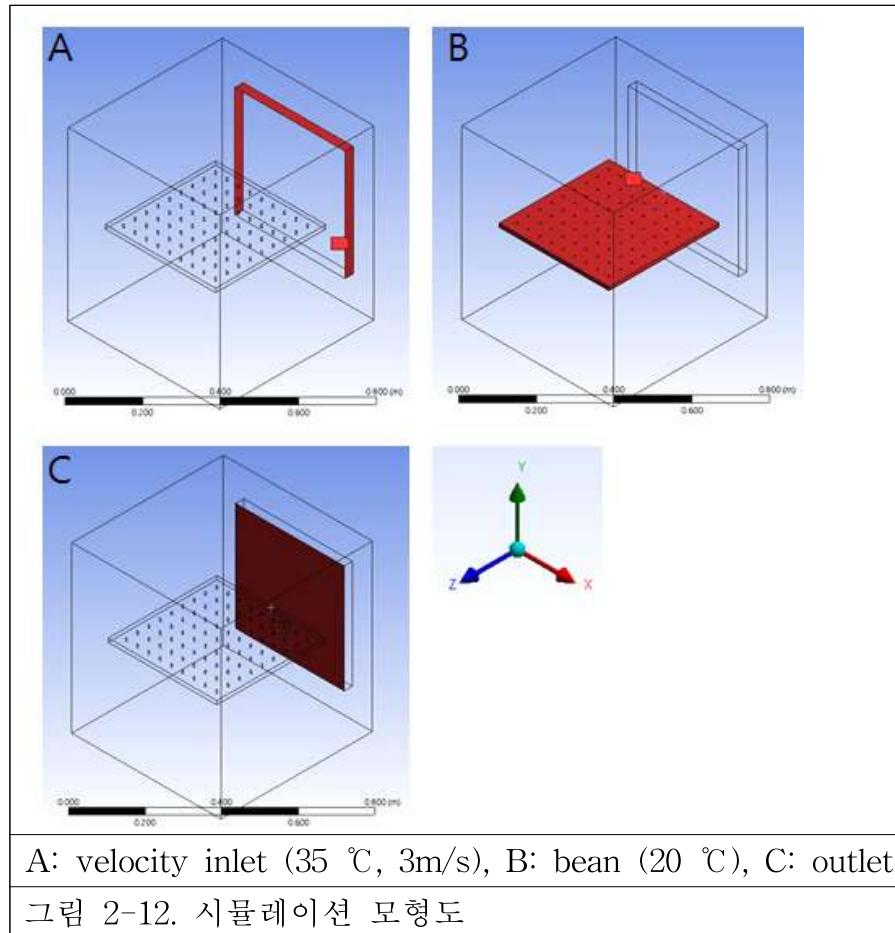
$$\rho \left(u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + w \frac{\partial v}{\partial z} \right) = - \frac{\partial p}{\partial y} + \mu \left(\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial z^2} \right)$$

$$\rho \left(u \frac{\partial w}{\partial x} + v \frac{\partial w}{\partial y} + w \frac{\partial w}{\partial z} \right) = - \frac{\partial p}{\partial z} + \mu \left(\frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial z^2} \right)$$

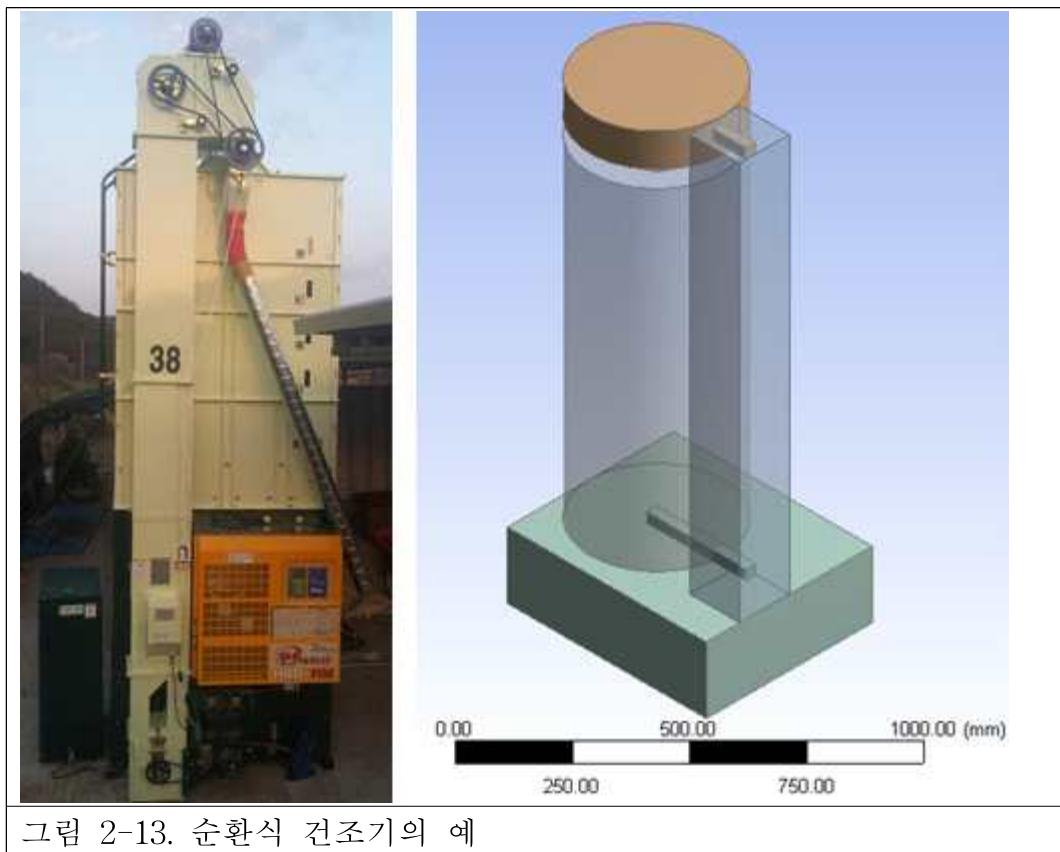
(에너지 방정식)

$$u \frac{\partial T}{\partial x} + v \frac{\partial T}{\partial y} + w \frac{\partial T}{\partial z} = \alpha \left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right)$$

시뮬레이션의 경계조건은 다음과 같이 설정되었으며, 입구에서 바람의 세기는 실측값 3 m/s, 온도는 35 °C이고 콩의 초기 온도는 20 °C로 설정하였다.



인공적인 곡물 건조 방법은 평면식 열풍 건조기와 순환식 건조기로 분류됨. 순환식 건조기는 평면식에 비해 능률적인 건조기로써 콩과 같은 작물이 건조실 내에서 연직으로 흘러내리는 동안 하부의 열풍이 작물층을 수평방향으로 통과하면서 건조가 이루어진다. 순환식 건조기의 성능은 건조속도, 소요에너지 및 곡물품질로 평가되었다.



건조 성능에 영향을 미치는 주요 인자는 송풍시간, 송풍량, 송풍온도, 곡물의 두께, 곡물 순환속도, 곡물 투입량, 초기 함수율 등이 있음. 순환식 건조기 개발의 가능성을 탐구하였다.

- ◎ 콩의 양, 물리적 상태, 건조기의 크기 및 조건에 따른 최적 건조공정 조건 도출

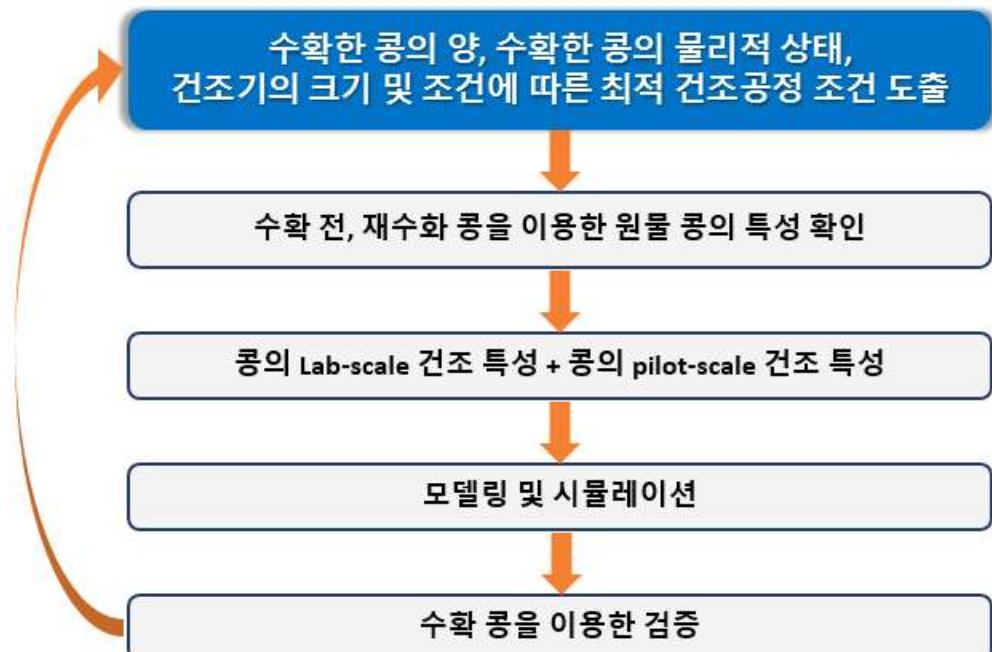


그림 2-14. 건조 공정 흐름도

콩을 용도에 맞게 이용하거나 저장하기 위한 수확 후 최적 건조공정 조건을 도출하기 위하여 대두의 수확 시기 이전, 수확 후 콩의 처리를 위한 선행 연구를 재수화 콩을 이용하여 수행함. 이를 통하여 콩의 건조에 대한 기초 연구를 확립하고 수확 후 원물 콩의 건조 연구에 이용하였고, Lab-scale 및 pilot-scale에서의 건조 특성을 확인한 후 모델링 및 시뮬레이션으로 콩의 건조를 해석하고 예측함. 또한 수확 콩의 건조 실험을 통하여 모델링과 시뮬레이션을 검증하고, 일련의 과정을 통하여 수확한 콩의 양, 물리적 상태, 건조기의 크기 및 조건에 따른 최적의 건조 조건을 도출하였다.

1. 수확후 원물 콩 연구를 위한 건조 선행 연구

가. 원물 콩 대체 재수화 건조콩 준비 조건

건조 실험에 이용된 대원 및 해품의 수화 시간에 따른 수분함량 변화는 다음과 같다.

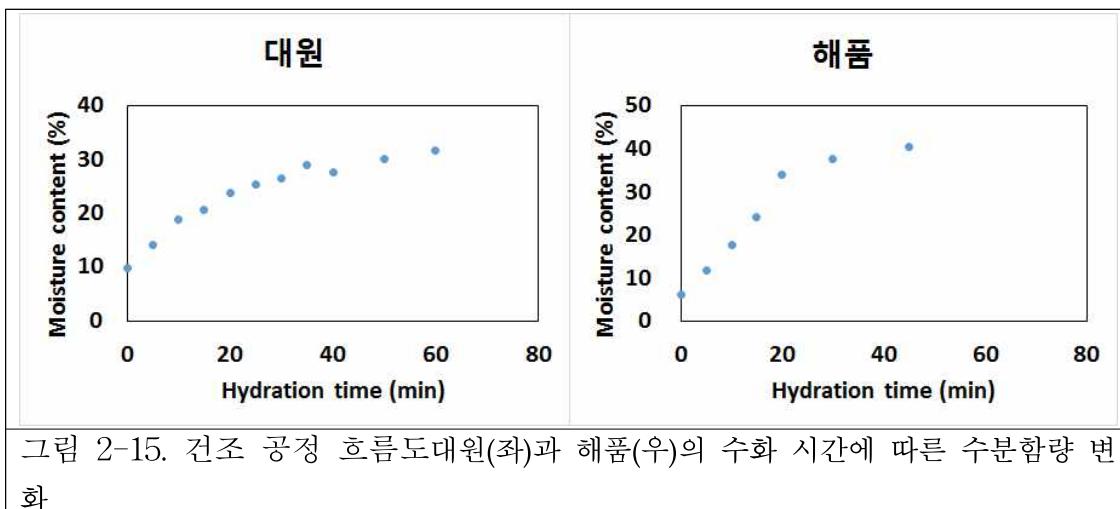


그림 2-15. 건조 공정 흐름도대원(좌)과 해풀(우)의 수화 시간에 따른 수분함량 변화

1) 수침 조건

국내의 대두 수확 시기는 10월 상순에서 11월 상순 사이로, 2015년 수확 이전에 2014년 수확 및 건조가 이루어진 건조콩을 원물의 수분 함량과 유사하게 재수화하여 선행 실험을 진행하였다. 목표 수분함량에 필요한 수침 시간을 확인하기 위하여 10, 15, 20, 30, 45, 60 min 동안 100 ml의 증류수에 20 g의 건조 콩을 수침한 후 수분 함량을 측정하고, 수침이 끝난 콩은 표면의 수분을 탈수시킨 후 36 h 동안 상온의 밀봉 상태의 플라스틱 백 내에서 방치하여 수분함량의 측정은 105 °C 건조법을 이용하여 건조 콩의 질량이 항량이 될 때 까지 건조하였다.

2) 재수화 콩 내부의 수분 구배

콩의 재수화 시 표면에서 발생하는 수화로 인한 수분 구배가 나타나므로, 연구에 이용한 대두의 내부 수분이 수분 확산 시간을 거친 후 원물과 마찬가지로 균일한 내부 수분을 나타내는지 검증이 필요해 대두 내부의 수분 분포가 균일함을 확인하기 위하여 수화 시 내부의 색도 변화를 이용한 이미지 분석을 수행함. 또한 이를 이용하여 재수화 후 필요한 방치 시간을 계산함으로써 재수화 콩이 원물과 유사한 상태로 실험에 이용될 수 있는 기준을 설정하였다.

수화 시간인 0, 5, 10, 15, 20, 30, 45, 60 min 수침 직후, 콩 단면의 이미지를 greyscale

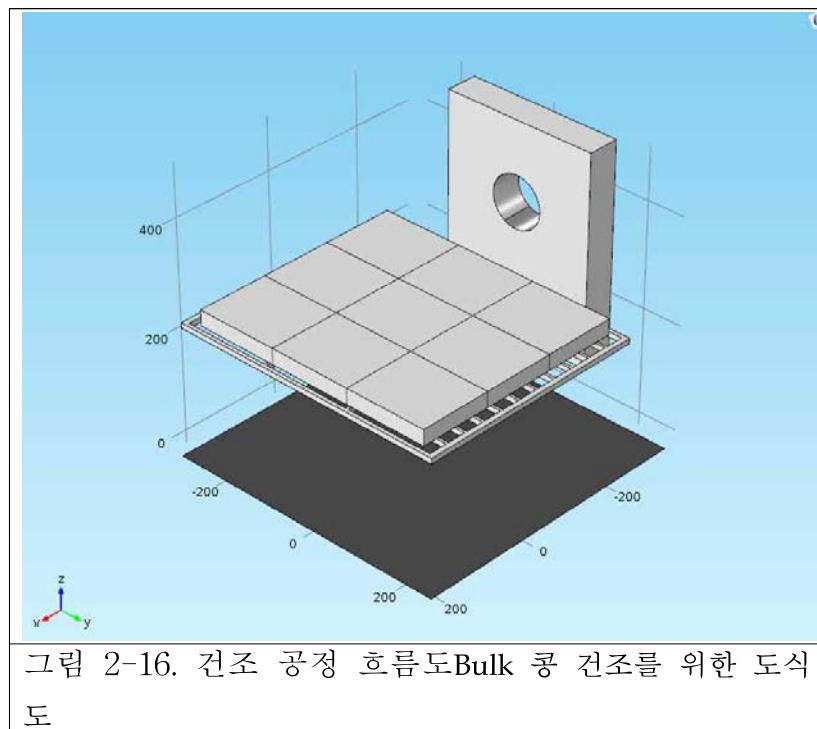
로 변환하여 수침 경계를 설정함. 수침 경계값을 기준으로 수침되는 부분을 검정색으로 처리하고 나머지는 흰색으로 하여 흰색 부분의 면적을 구하여 수분이 아직 이동하지 않은 부분을 확인한 이후 수침된 콩의 방치 시간에 따른 내부 수분의 이동을 단면으로 확인하여 면적이 0에 가까워지는 시점을 기준으로 실험에 콩을 이용하였다.

나. 재수화 콩의 lab-scale 건조 실험

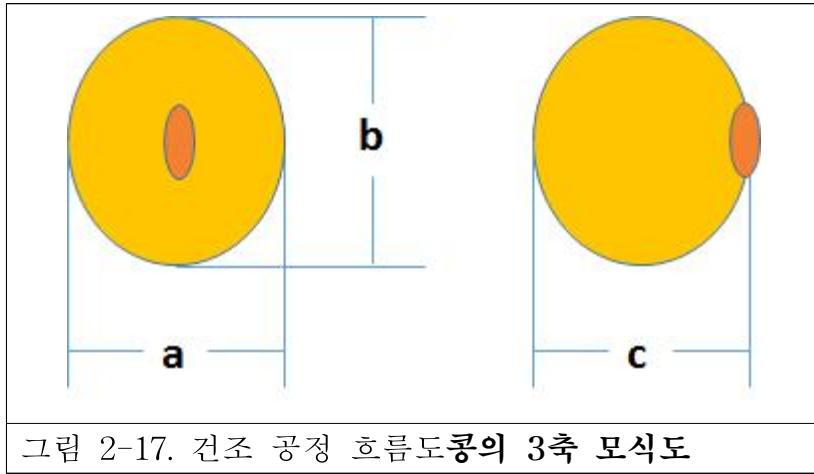
재수화 콩을 이용하여 Lab-scale 건조 실험을 진행하여 건조기의 특성에 맞는 건조도 비교 및 모델링과 시뮬레이션 결과의 도출이 가능하다. 이를 이용하여 수확 후 원물 콩에 적용할 사전 준비 선행 연구를 하였다.

1) Lab-scale 건조 실험

초기 수분함량 20%인 대원과 해품을 길이 12 cm의 직사각형 트레이에 각각 30 g, 18 g씩 적재하여 건조실험을 수행하였다. 건조 온도는 35 °C로, 목표 수분함량에 도달하는 데 걸리는 건조 시간을 확인하였고, 중앙에서 박층으로 건조한 콩의 실험 외에, 벌크로 건조를 하였을 때 건조의 영향을 확인하였다. 벌크 형태의 콩을 건조시키기 위해 가로 140mm, 세로 160mm, 높이 30mm의 트레이를 9개 배치하여 콩을 건조하였다.



열풍건조기의 온도는 35°C와 45 °C를 사용하여 건조 실험을 진행하였으며, 건조는 600분 동안 시행되었으며, 매 30분마다 각 건조 시간에 따른 콩 시료의 수분함량과 무게를 측정하였다. 또한 건조 시 수분 함량에 따른 콩의 직경 변화를 측정하여 부피의 변화를 확인하였고, 콩의 3축 변화는 건조 중 버니어 캘리퍼를 이용하여 측정하였다.



부피의 변화는 다음과 같이 계산하였다.

$$V = \frac{\pi}{6} \cdot a \cdot b \cdot c$$

2) 건조 중 열피립의 발생

일반 건조의 경우 건조가 시작되고 1시간 이내에 30%의 크랙이 발생하여 콩의 품질 및 경제성이 급감하게 돼있다. 콩은 건조에 의한 손상을 받는데, 건조 시간이 지남에 따라 콩의 표면에서 수분이 감소되고 조직의 변화가 발생하여 열피립이 생성됨. 표면 조직이 수축하면서 표면에서 인장력이 발생하고 이는 콩의 껍질 및 속이 갈라지는 크랙 현상을 초래해 SPC에서는 콩의 열피립 발생을 줄이기 위하여 순환식 건조기를 설치하였으며, 이는 간헐적 건조 (intermittent drying)의 원리에 해당된다. 간헐적 건조는 수분이 콩의 표면에서 공기로 확산되는 건조 조건을 가지는 건조 구간(drying)과 온도나 풍속과 같은 건조 조건을 없애 내부의 수분이 외부로 확산되는 시간을 가지도록 하는 템퍼링 구간(tempering)을 반복하는 건조 방법으로, 급격한 구조 변화를 막기 때문에 건조 품질의 저하를 방지해 따라서 콩의 간헐적 건조 시 건조 구간과 템퍼링 구간의 비를 조절함으로써 간헐적 건조의 조건이 콩의 건조도 변화 및 품질에 미치는 영향을 확인하고 간헐적 건조에서 건조 구간(D)을 각각 10(10D), 20(20D), 30(30D) min으로 설정하였으며 (35°C , 3m/s), 템퍼링 구간(T)은 30 min(30T)으로 고정하였다 (23°C , 0.1m/s). 대원과 해품 두 종류의 콩에 대하여 일반 건조와 같은 양의 콩을 적재한 채 해당 시간마다 건조 시 건조기의 내부에, 템퍼링 시 건조기의 외부에 위치시켜 일반 건조와 간헐적 건조의 건조 시간에 따른 열피립 발생을 비교하였다. 열피립의 육안 측정은 돋보기와 LED 빛을 이용하여 확인하고 열피립 측정은 다음과 같은 3 가지의 단계로 나누어 기준을 결정하였다.



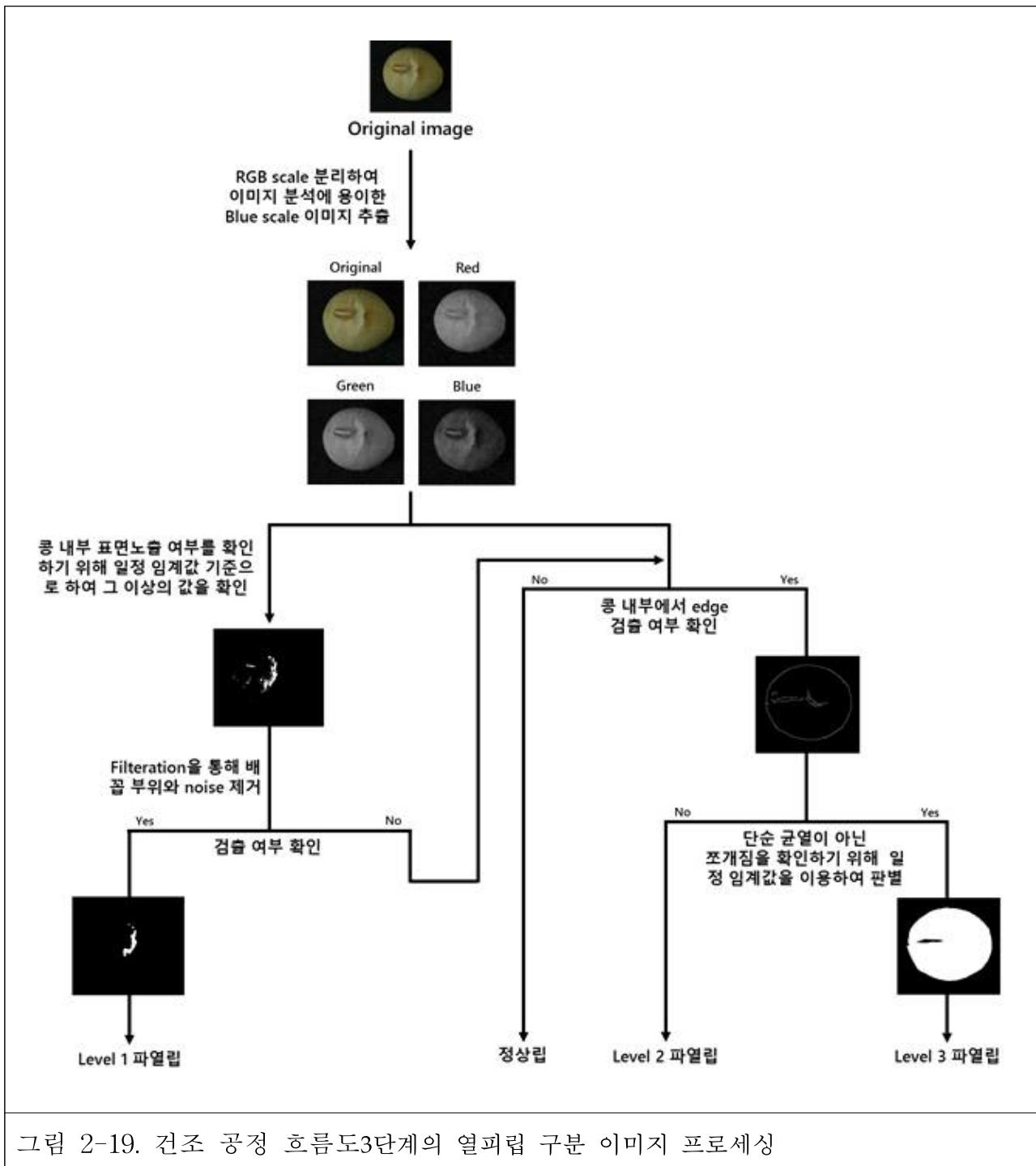
그림 2-18. 건조 공정 흐름도콩의 건조 중 발생하는 열피립의 종류

Level 1: Seed coat crack (종피 크랙)

Level 2: V-shape breakage (V자 열피립)

Level 3: Broken in half (이분 열피립)

각 Level의 열피립 발생을 이미지 프로세싱으로 구분할 수 있으며, 이를 육안으로 평가하는 것과 비교 분석을 진행하고 레벨을 평가하는 이미지 프로세싱 알고리즘은 다음과 같다.



위의 이미지 프로세싱 방법은 건조 콩을 샘플링하여 정체된 상태의 이미지들을 분리하고 처리하는 방법이며 실제 콩의 이미지를 통한 육안 분석과 이미지 프로세싱 사이의 차이를 확인하였다.

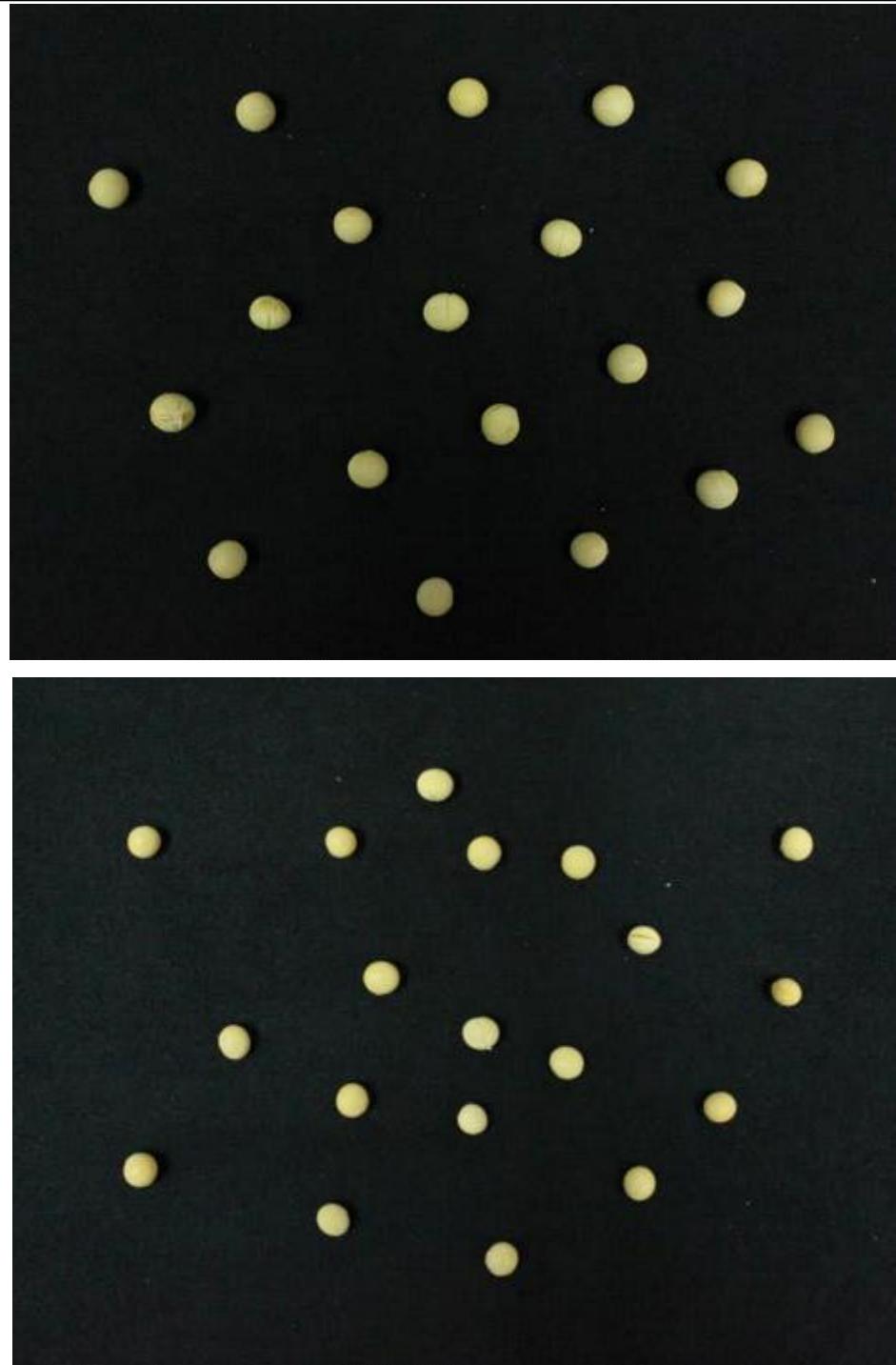


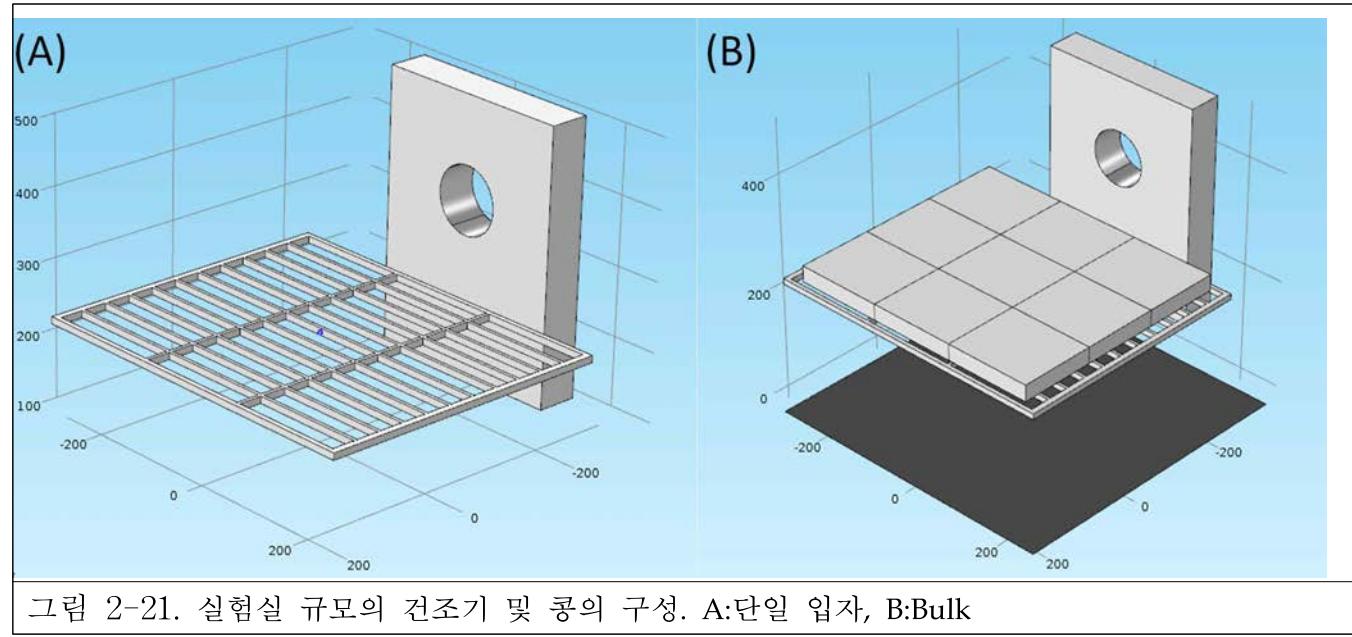
그림 2-20. 건조 공정 흐름도열파립 분석에 이용된 대원과 해품의 사진 (상: 대원, 하: 해품)

다. 건조 시뮬레이션 및 모델링

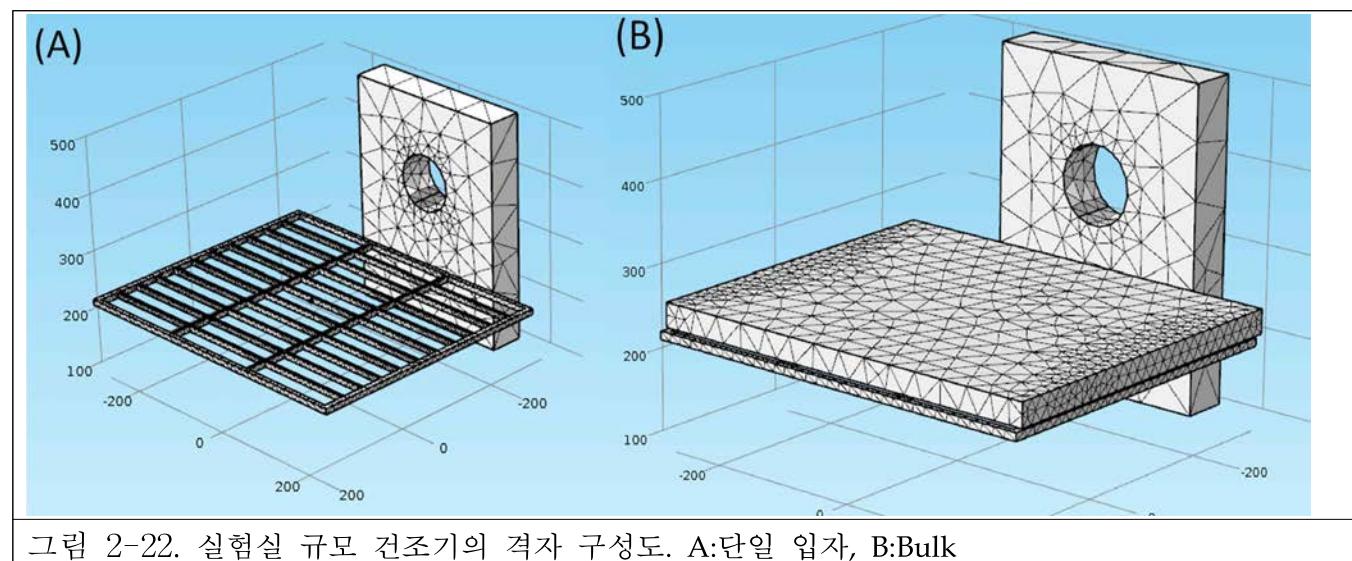
1) Lab-scale의 건조 시뮬레이션

시뮬레이션은 COMSOL 5.1 (COMSOL, Stockholm, Sweden) 프로그램을 이용하여 수행하였다. 본 연구에서 사용된 건조기의 구성은 실험실 규모의 건조기를 실측하였다. 실험실 규모의 건조기에서 콩의 구성은 콩의 배치가 공기의 흐름에 최대한 노출될 수 있도록 건조기

의 중앙부에 위치시킨 것과 bulk 콩의 시뮬레이션을 위해 가로 140mm, 세로 160mm, 높이 30mm의 트레이를 9개 배치하여 콩을 건조하였으며, 공정 규모의 건조기에서는 콩이 건조부를 가득 채우도록 배치하였다.



건조기 및 콩의 격자 구성은 COMSOL 내부에서 이루어졌으며 격자의 밀도를 조절하였는데, 이때 매우 조밀한 격자는 시뮬레이션 계산 정확도의 증가보다 계산 시간의 증가만을 야기하기 때문에 격자 품질을 acceptable 단계로 조절하였다.



3-D 형상에서 건조 공기의 난류 흐름을 예측하기 위해 다음의 난류 시뮬레이션 식을 사용하였다.

(난류 운동 에너지 방정식)

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho k) + \nabla \cdot (\rho \vec{v} k) = \nabla \cdot \left(\frac{\mu_t}{\sigma_k} \nabla k \right) + G_k - \rho \epsilon$$

(분산 속도 식)

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho \epsilon) + \nabla \cdot (\rho \vec{v} \epsilon) = \nabla \cdot \left(\frac{\mu_t}{\sigma_\epsilon} \nabla \epsilon \right) + \frac{\epsilon}{k} (C_1 G_k - C_2 \rho \epsilon)$$

본 시뮬레이션에서는 $k-\epsilon$ 모델을 사용하여 난류 모델을 시뮬레이션 하였으며 표준 모델에서의 상수는 다음과 같다.

$$C_\mu = 0.09, C_1 = 1.44, C_2 = 1.92, \sigma_k = 1.0, \sigma_\epsilon = 1.3$$

건조 중 콩의 수분함량 변화를 예측하기 위해 물질 전달 시뮬레이션이 진행되었으며, 유체 흐름 시뮬레이션 결과로부터 물질전달 계수는 다음 식에 의해 계산되었다.

$$Sh = 2 + \left(0.4 Re^{1/2} + 0.06 Re^{2/3} \right) Sc^{2/5}$$

$$h = \left\{ 2 + \left[0.4 \left(\frac{vd}{V} \right)^{1/2} + 0.06 \left(\frac{vd}{V} \right)^{2/3} \right] \left(\frac{V}{D_m d} \right)^{2/5} \right\} / D_m d$$

위의 유체흐름과 물질전달 계수 식으로부터 얻어진 결과를 이용하여 물질 전달의 지배 방정식은 다음과 같다.

$$\frac{1}{D} \frac{\partial M}{\partial t} = \frac{\partial^2 M}{\partial r^2}$$

초기 조건과 경계조건은 다음과 같이 설정되었다.

$$M = M_i; t = 0, 0 \leq r \leq r_s$$

$$-(D \nabla M) \Big|_{SF} = h(M_{SF} - M_e); \quad t > 0$$

건조 시뮬레이션의 성능을 확인하기 위해 표준오차를 사용하였으며 건조 실험결과 값과 해당 지점에서 시뮬레이션 값의 오차의 평균값을 이용하였다.

2) 콩 건조의 수학적 모델링

Bulk 건조에서 Fick's second law를 이용하여 건조 중 콩의 수분학산계수를 평가 후 콩 건조를 위한 활성화 에너지를 확인하고, Bulk 건조 모델은 Thin layer model, Lab-scale에서의 실험 결과를 통하여 일반 건조 뿐 아니라 간헐적 건조에도 적용 가능한 thin-layer 모델을 확인하였다. 일반건조 및 간헐적 건조에서는 8가지의 thin-layer 모델을 확인하였으며, 모델 중 Midilli-Kucuk equation이 일반 건조와 간헐적 건조 모두에 적합하였다.

Model No.	Model name	Model equation
1	Newton	$MR = e^{-kt}$
2	Henderson and Pabis	$MR = ae^{-kt}$
3	Page	$MR = e^{-kt^n}$
4	Logarithmic	$MR = ae^{-kt} + c$
5	Two term model	$MR = ae^{-kt} + ce^{-gt}$
6	Two-term exponential	$MR = ae^{-kt} + (1-a)e^{-kat}$
7	Verma	$MR = ae^{-kt} + (1-a)e^{-gt}$
8	Midilli-Kucuk equation	$MR = ae^{-kt^n} + bt$

그림 2-23. 콩의 일반건조 및 재수화건조의 모델링에 이용된 thin-layer 방정식

실제 실험 및 CFD simulation을 통하여 얻은 온도 및 풍속, 건조기 내 습도를 통하여 REA(reaction engineering approach) 건조 모델링이 가능하다. REA 모델링은 적은 실험 수를 통하여 수분 차와 활성화 에너지 비의 관계를 구하여 정교한 모델을 도출할 수 있고, REA 모델은 샘플에서 공기 중으로의 건조의 활성화 에너지와 공기에서 샘플로의 응축 활성화 에너지의 비로 나타내며, 샘플과 공기 중의 수분 차와 활성화 에너지 비의 관계를 통하여 특유의 지문(fingerprint)과 같이 물리적 특성을 설명할 수 있는 관계를 도출할 수 있다.

일반적으로 건조 속도는 다음과 같이 샘플과 공기의 경계에 있는 공기의 표면 수증기 압과 건조 공기의 수증기압의 차에 대하여 나타내며, 표면 수증기압은 포화 수증기압에 대하여 다음과 같이 나타낼 수 있다 (Chen and Xie, 1997, Food Bioprod. Proc. 75, 213-222).

$$m_s \frac{dX}{dt} = -kA(\rho_{v,s} - \rho_{v,b})$$

$$\rho_{v,s} = \exp\left(\frac{-\Delta E_v}{RT}\right) \rho_{v,sat}(T)$$

활성화 에너지 ΔE_v 는 샘플의 free water 효과 후 건조가 어려워지는 것을 나타내며 (additional difficulty) 수분 함량에 의존하며 포화 수증기압은 Keey의 연구를 바탕으로 샘플 온도 T에 대하여 계산하였다 (1992, Drying of Loose and Particulate Materials, Hemisphere publishing).

$$\begin{aligned} \rho_{v,sat} = & 4.844 \times 10^{-9} (T - 273)^4 - 1.4807 \times 10^{-7} (T - 273)^3 \\ & + 2.6572 \times 10^{-5} (T - 273)^2 - 4.8613 \times 10^{-5} (T - 273) \\ & + 8.342 \times 10^{-3} \end{aligned}$$

다음의 mass balance 식을 통하여 활성화 에너지를 계산하였다.

$$m_s \frac{dX}{dt} = -kA \left[\exp\left(\frac{-\Delta E_v}{RT}\right) \rho_{v,sat} - \rho_{v,b} \right]$$

샘플의 활성화 에너지와 공기 중의 활성화 에너지의 비는 샘플의 수분함량과 공기의 수분 함량 차에 비례하는 수식으로 나타낼 수가 있다.

$$\frac{\Delta E_v}{\Delta E_{v,b}} = f(X - X_b)$$

위의 비는 건조 조건과 샘플 사이의 특수한 관계로, 활성화 에너지 비의 식을 구하게 되면 건조 시간에 따른 모델링이 가능하며 건조의 heat balance는 아래와 같다.

$$\frac{d(mC_p T)}{dt} \approx hA(T_b - T) + m_s \frac{dX}{dt} \Delta H_v$$

콩의 활성화 에너지 비에 대한 수식은 mass balance, heat balance 수식과 함께 Matlab(Mathworks, Natick, MA, USA)을 이용하여 해석하였다.

2. 수확 후 원물 콩의 건조 특성

수확 후 수분 함량이 약 20%인 해품 콩 및 초기 수분 함량이 약 14%인 해품과 대원 콩을 이용하여 Lab-scale 실험을 진행하였다. 초기 수분 함량 20%의 대원 콩의 수확시기는 11 월 중순으로 추후 원물 확보 후 실험 진행 예정이다.

가. SPC 건조 공정 분석을 통한 건조 실험 계획

순환식 건조기는 열풍이 통과하는 부분인 건조부와 콩의 양이 건조부에 포화되는 양 이상일 때 열풍의 영향을 받지 않는 부분인 적층부로 나누어진다. 건조부에서의 콩의 포화량은 약 100 kg이며, 건조기에서 콩의 최대 처리량은 200 kg, 순환식 건조기에서 콩의 방출은 방출 모터를 통하여 이루어지며, 1회 방출 시 약 2.7 kg의 콩이 방출되며 순환식 건조기에서 콩이 방출되는 시간 및 방출된 콩이 다시 건조기 내부로 순환되는 시간은 72 s로 내부에서의 정상 상태가 유지된다. (스크류 컨베이어: 60 s, 엘리베이터: 12 s).

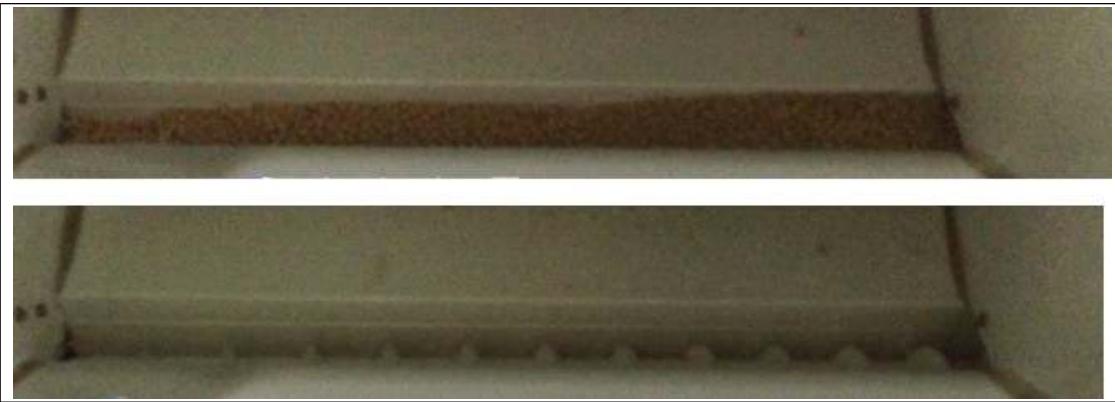


그림 2-24. 방출 모터에서 방출된 콩의 스크류 컨베이어 이동

이를 계산하여 콩이 건조부에 포화되는 양인 100 kg을 처리 시 콩이 건조기를 순환하며 열풍에 의하여 건조가 되는 시간은 약 40분이며, 100 kg 이하의 적재량에서는 템퍼링 시간 없이 콩이 순환하게 된다. 건조부 포화량인 100 kg 이상의 콩을 순환식 건조기로 처리 시 적재부의 양에 따라 템퍼링 구간을 가지게 된다. 따라서 콩의 처리량이 150 kg, 200 kg일 때 콩의 건조 시간은 40 min이며 각각의 템퍼링 시간은 20 min, 40 min였다. 이상의 순환식 건조기의 원리를 통하여 콩의 적재량을 가정한 Lab-scale 건조를 수확 후 원물 콩을 이용하여 선행 연구를 하였다.

나. 수확 후 원물 콩을 이용한 lab-scale 건조 실험

수확 후의 초기 수분함량 20% 콩을 이용하여 Lab-scale 건조 실험을 수행하였다. Lab-scale 건조 조건은 순환식 건조기에서 적재량이 각각 100 kg, 150 kg, 200 kg일 때를 가정하여 일반 건조, 40 min 건조와 20 min 템퍼링 (40D-20T), 40 min 건조와 40 min 템퍼링 (40D-40T)의 조건으로 건조 실험을 진행하고, Pilot-scale에서 콩은 다풍 상태로 건조가 되므로 수확 후 콩의 건조는 길이 6 cm의 트레이 내에 25 g의 콩을 적재하였으며, 건조 시간에 따른 무게 변화를 기록하여 수분 함량의 변화를 확인하였다.

다. 수확 후 원물 콩을 이용한 pilot-scale 건조 실험

Lab-scale 연구를 통하여 tempering 구간의 변화에 의해서는 건조도 및 열피립의 발생에 큰 차이가 나타나지 않음을 확인하였다. 따라서 공정 시간을 고려하여 150 kg의 콩을 적재하는 것을 기준으로 pilot-scale 실험을 진행하고, Pilot-scale에서의 건조 공기 온도는 35 °C이며 풍속은 11.6 m/s이다. 원물 콩은 파종일 및 수확 시기에 따라 수분 함량이 달라지며, 콩깍지가 건조가 된 상태에서 탈곡이 이루어져야하기 때문에 초기 수분함량이 기후에 따라 다양할 수 있었다.



그림 2-25. 수확한 깍지콩의 상태

일반적으로 콩의 건조는 초기 수분함량 20%를 기준으로 하지만 본 pilot-scale 건조 연구에서는 파종일, 수확일, 기후 및 탈곡 시기로 인하여 초기 수분함량 14%의 콩으로 건조를 진행하였다. Pilot-scale에서의 실험 방법은 콩을 건조부에만 약 15 kg을 적재한 상태로 수행하였으며, 순환 과정을 건조기의 on/off로 조절하였다. 건조를 40 min 동안 진행한 후 건조기를 off하고 방출 모터의 작동을 통하여 샘플링을 하였으며, 작동을 멈춘 상태에서 20 min 동안 템퍼링을 수행하였다. 해품 원물의 경우 초기 수분함량 20%의 콩 15 kg으로 공정 스케일에서 일반 건조(Conventional) 시 건조도 및 열피립의 발생을 확인함. 이외에 해풀 및 대원의 건조 조건은 모두 초기 수분함량이 약 14%인 콩으로 이루어진다.

라. 건조 시 습도 변화에 의한 건조도 확인

Pilot-scale 건조 시 일교차에 의한 영향은 heater의 작동으로 조절된다. 그러나 습도의 경우 일교차 및 기후에 의하여 변화하며, 저습 및 고습에 의하여 물질전달 속도가 영향을 받아 콩의 건조 시간에 영향을 미친다. 고습으로 인하여 낮아진 물질전달속도는 고온의 조건을 통하여 물질전달속도를 증가시킬 수 있으며, Pilot-scale 건조에서 우천 시 최대 습도는 42%였다.

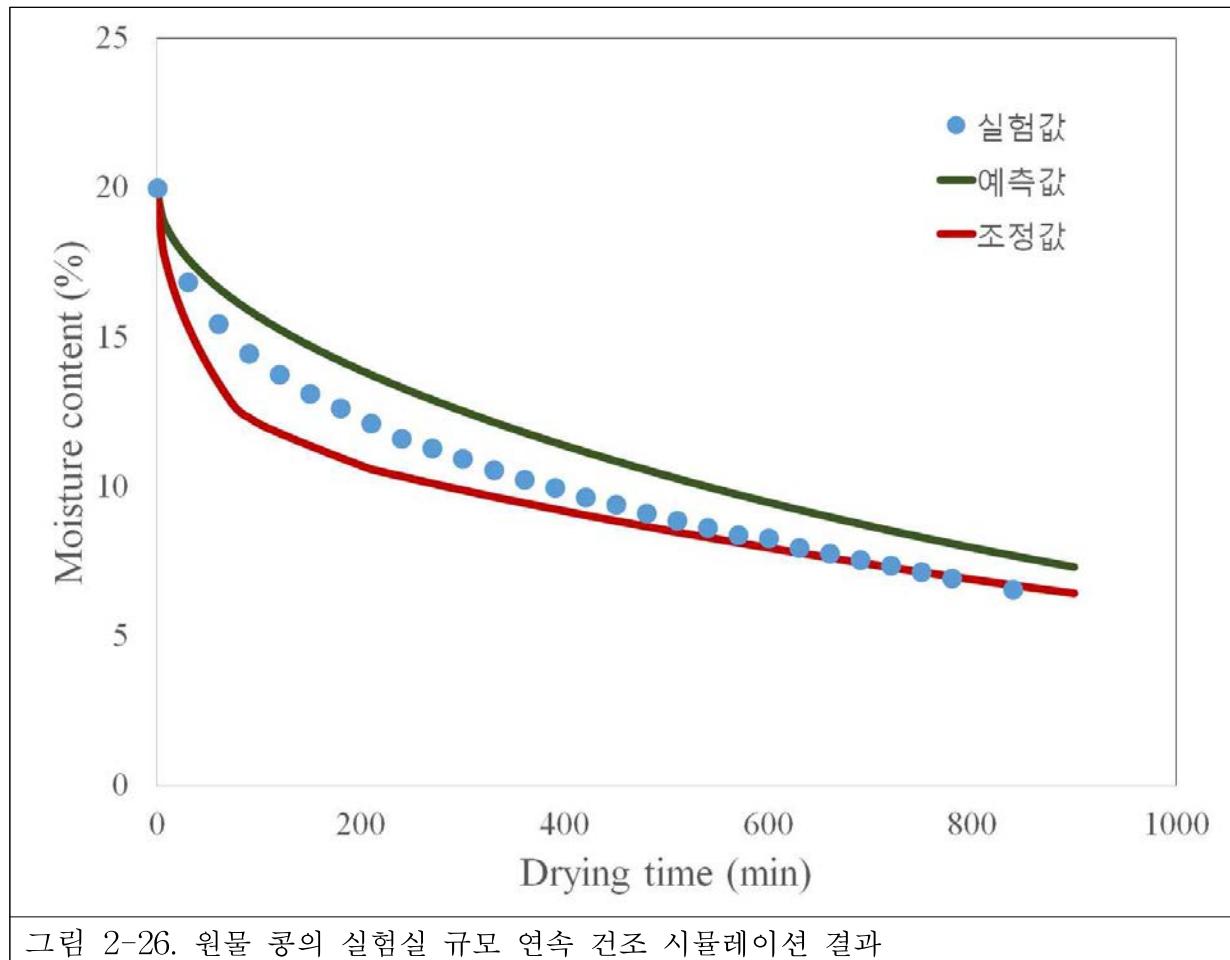
이를 psychometric chart를 이용하여 온도를 45 °C로 증가시켰을 때 약 25%의 상대 습도를 나타내게 되며, 이는 우천이 아닌 평소의 날씨에서 수행한 35 °C 건조 실험에서의 평균 상대습도와 유사하였다. 또한 Lab-scale에서의 35 °C 건조 실험 역시 약 25%의 상대 습도로 유사하며, Lab-scale에서 45 °C 건조 시 상대습도가 15%임을 이용하여 각 건조 조건에 따라서 다른 온도와 습도에서의 건조도 및 열피립 발생을 확인하였다.

마. 수확 후 원물 콩을 이용한 시뮬레이션 및 모델링

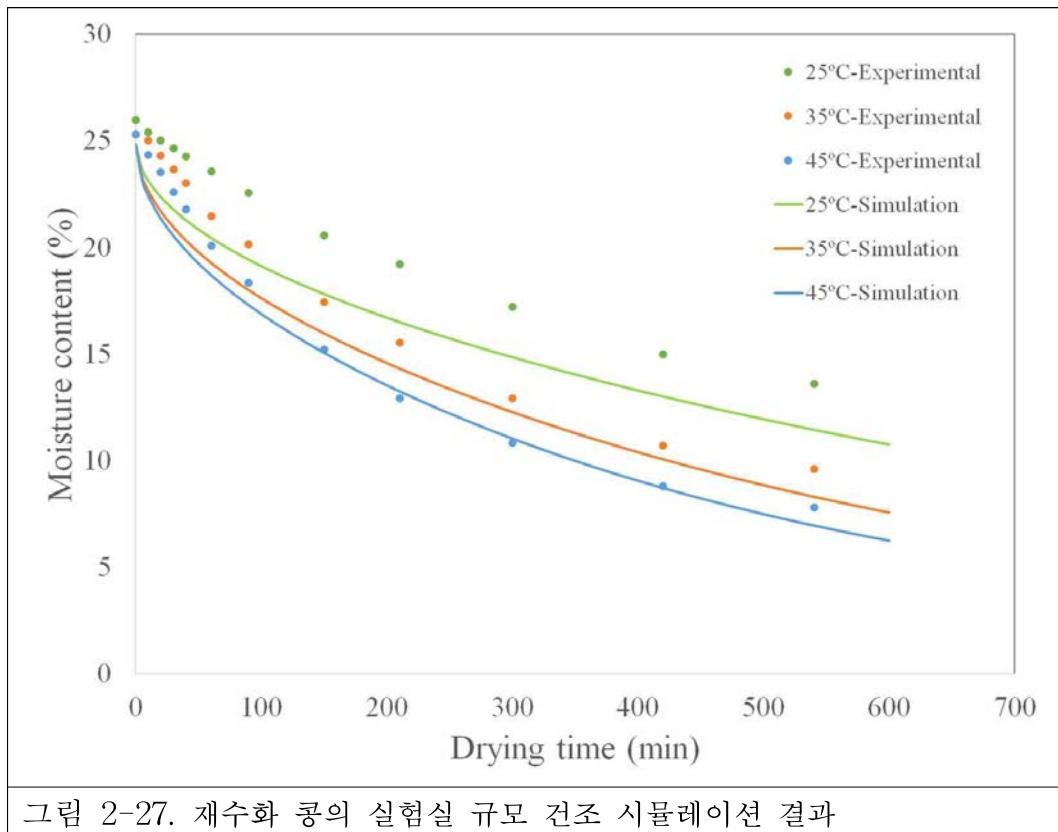
1) 건조 시뮬레이션

원물콩의 실험실 규모 건조기에서의 35°C 건조를 시뮬레이션하였으며, CFD 시뮬레이

션 모델의 검증을 위해 이를 실제 건조 실험결과와 비교하였으며, 그 결과를 아래 나타내었다.



건조 시뮬레이션은 콩의 수분학산계수를 기반으로 예측되었으며, 그 예측된 건조값은 실제 실험결과보다는 건조속도가 느린 것을 나타내어 다소 차이가 있음을 나타내었으며, 표준 오차 값은 1.379%를 나타내었다. 건조 시뮬레이션 성능을 개선시키기 위해 수분함량을 기준으로 콩의 수분학산계수를 3단계로 나누어 도출하였으며, 해당 결과를 시뮬레이션에 적용하였다. 조정된 시뮬레이션 결과는 건조가 진행됨에 따라 예측값과 비교하여 상대적으로 실험값과 일치하여 0.817%의 값을 나타내었으나, 건조 초기의 높은 수분학산계수에 의해 건조 속도가 매우 높게 나타났으며 이것이 실제 실험값과의 오차를 만들었음을 알 수 있었다. 재수화한 콩에서 건조결과와 시뮬레이션 모델을 비교하기 위해 25, 35 그리고 45°C의 건조 온도에서 기준의 건조 시뮬레이션을 진행한 결과를 아래에 나타내었다.



원물 콩의 건조에서 기 개발 모델이 실제 건조 결과보다 느린 건조 속도를 나타낸 것과는 대조적으로 빨리 건조되는 결과를 나타내었으며, 이는 콩이 건조된 뒤 재수화되는 과정에서 콩의 내부 구조 또는 수분 분포 등의 조건 변화가 발생하였음을 확인할 수 있었다. 재수화 콩을 이용하여 3단계로 수분확산계수를 나누어 적용한 건조 시뮬레이션 모델링을 진행한 결과를 아래에 나타내었다.

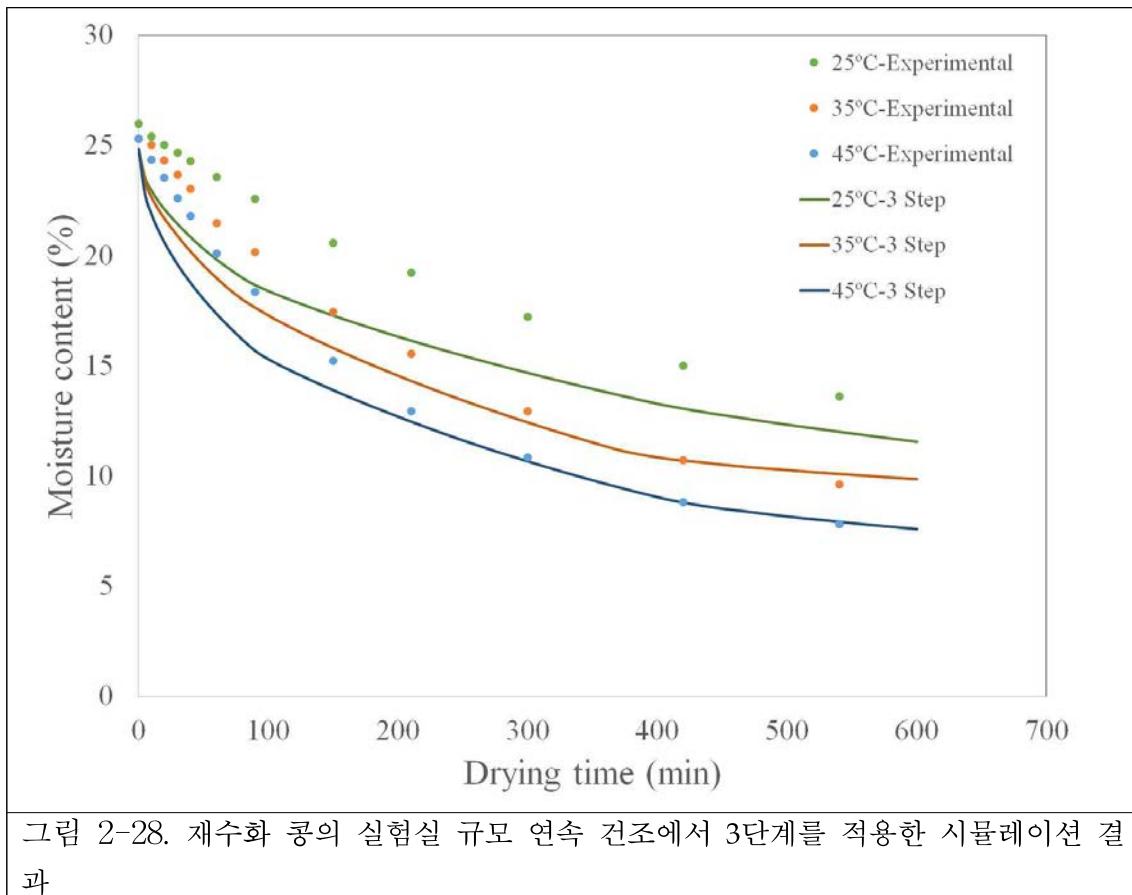
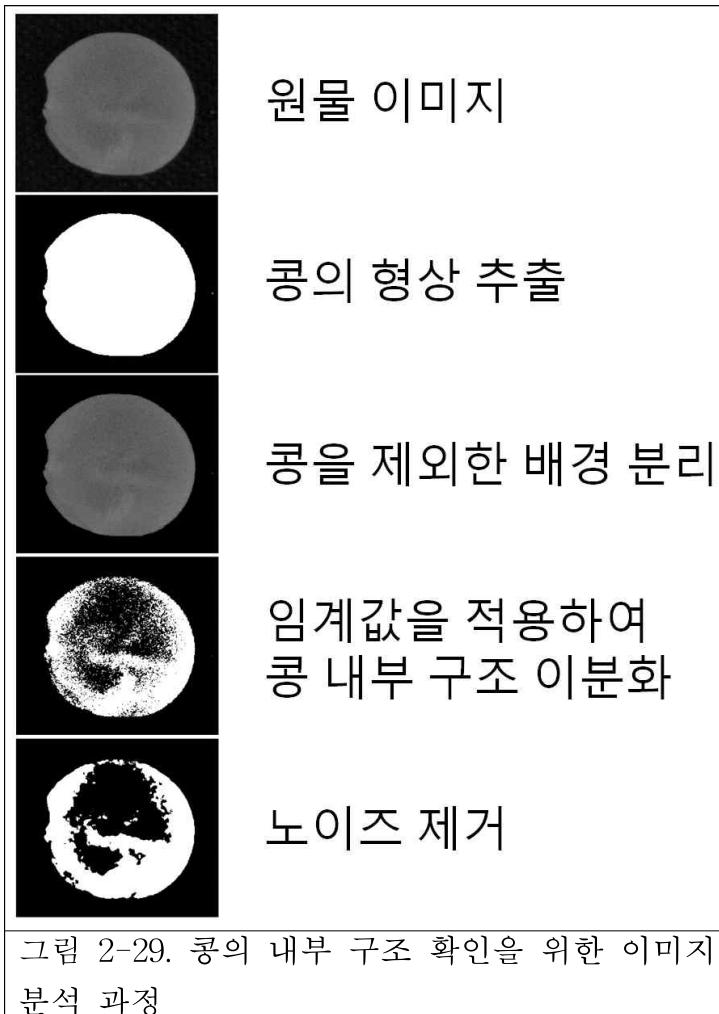
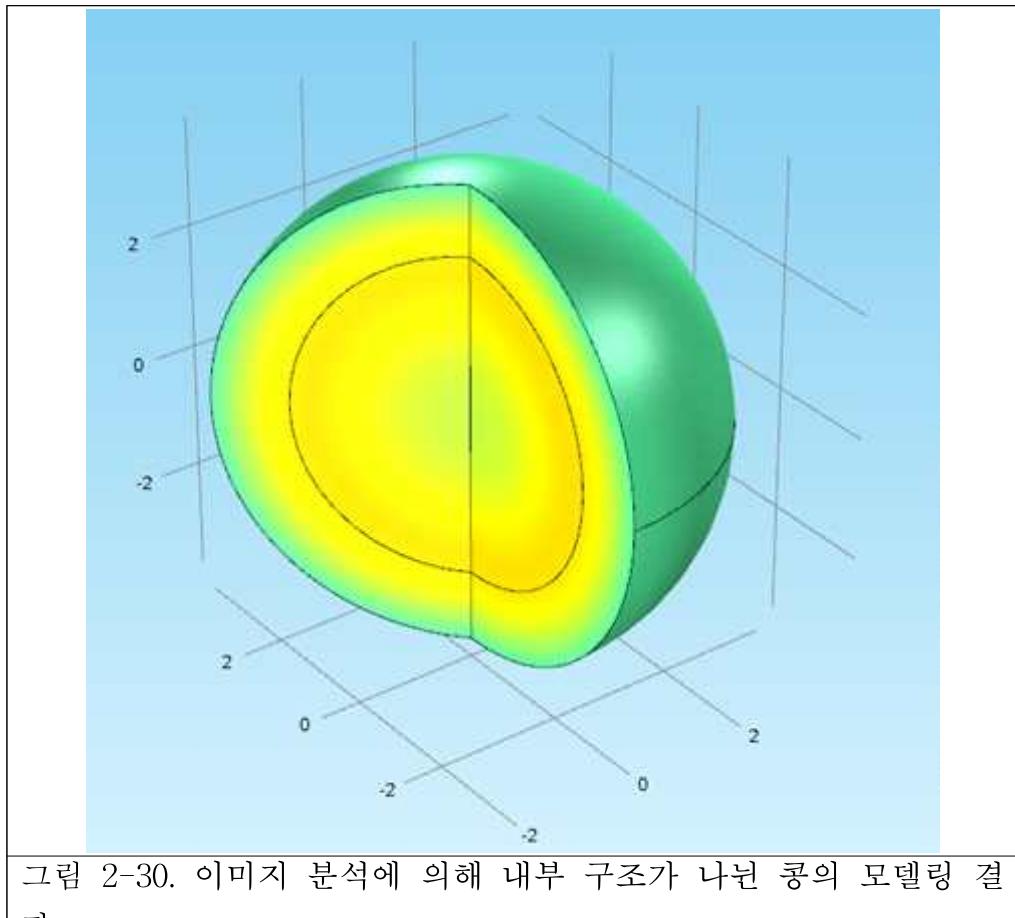


그림 2-28. 재수화 콩의 실험실 규모 연속 건조에서 3단계를 적용한 시뮬레이션 결과

3 단계로 나누어 수분학산계수를 적용한 시뮬레이션 모델역시 기존 모델과 마찬가지로 실제 건조 결과보다 빠르게 건조되는 값을 나타내었음. 이를 통해 시뮬레이션을 통한 콩의 건조를 예측하기 위해 콩 내부 구조에 대한 분석이 필요함을 확인하였다. 콩 내부에서 수분함량이 고르게 분포되어 적용되었던 건조 시뮬레이션과는 달리, 실제 콩에서는 콩의 위치에 따른 수분 분포가 다를 수 있으며, 콩의 내부 구조를 확인하기 위해 콩을 수화하여 24시간 방치시킨 콩의 단면적 이미지 분석하였으며, 그 과정은 아래와 같다.





이와 같은 이미지 분석과정을 통해 콩을 이미지 임계값을 기준으로 외부와 내부로 나눌 수 있음을 확인하였으며, 2단계로 나뉜 내부 구조의 평균값이 지름의 30.4%임을 확인하여, 이를 이용하여 콩의 내부 구조를 나누어 모델링을 진행하였다.

2) 콩 건조의 수학적 모델링

원물 콩의 모델링은 앞서 도출한 콩에 가장 적합한 thin-layer model인 Midilli-Kucuk equation을 이용하여 해석하였다. 또한 REA modeling으로 원물 콩과 Lab-scale 콩의 활성화 에너지 비를 구하여 모델링을 수행하였다.

3. SPC 건조 공정의 최적화

공정 최적화



이상의 연구를 통하여 SPC 건조 공정의 최적화를 도출할 수 있다. 먼저, 밭에서 콩을 수확할 때 수확 시기에 따른 수분 함량을 확인하여야 하며, 초기 수분 함량과 콩의 용도에 알맞은 건조 목표 수분함량을 설정하여 전체 건조 시간을 설정하여야 한다. 콩의 크기 및 종류에 따라 적합한 건조 방법의 설정이 이루어져야 하고, 건조에 다른 열피립의 발생이 적은 조건에서는 일반 건조를 통하여 건조 시간을 단축시킬 수 있으며, 열피립의 발생이 강한 경우 간헐적 건조를 통하여 정상립의 비율을 높일 수 있었다. 품질과 건조 시간 사이의 적절한 건조 공정을 선택하여야 한다. 건조 시 건조 대기에 의하여 건조도가 변화할 수 있으며, 대기의 습도가 높은 경우 온도를 높여줌으로써 물질전달 속도를 높일 수 있었다.

위의 과정을 통하여 해품과 대원 콩의 건조 시간 및 건조 조건을 확인하였다.

◎ 건조 콩의 사일로에서의 수직적 흐름연구를 통한 사일로 설계인자 도출 및 포장 생산성 계산

건조콩의 흐름도는 입자의 크기 및 수분 함량에 따라 달라지기 때문에 원활한 흐름도를 가져야 흐름 및 포장이 원활하다. 공정 스케일의 사일로를 STAR-CCM+의 DEM 기능을 이용하여 콩 grain의 특성을 확인하는 과정에 있으며, 콩의 수분 함량에 따른 friction factor가 사일로에서 흐름도에 미치는 영향을 연구 중에 있다.

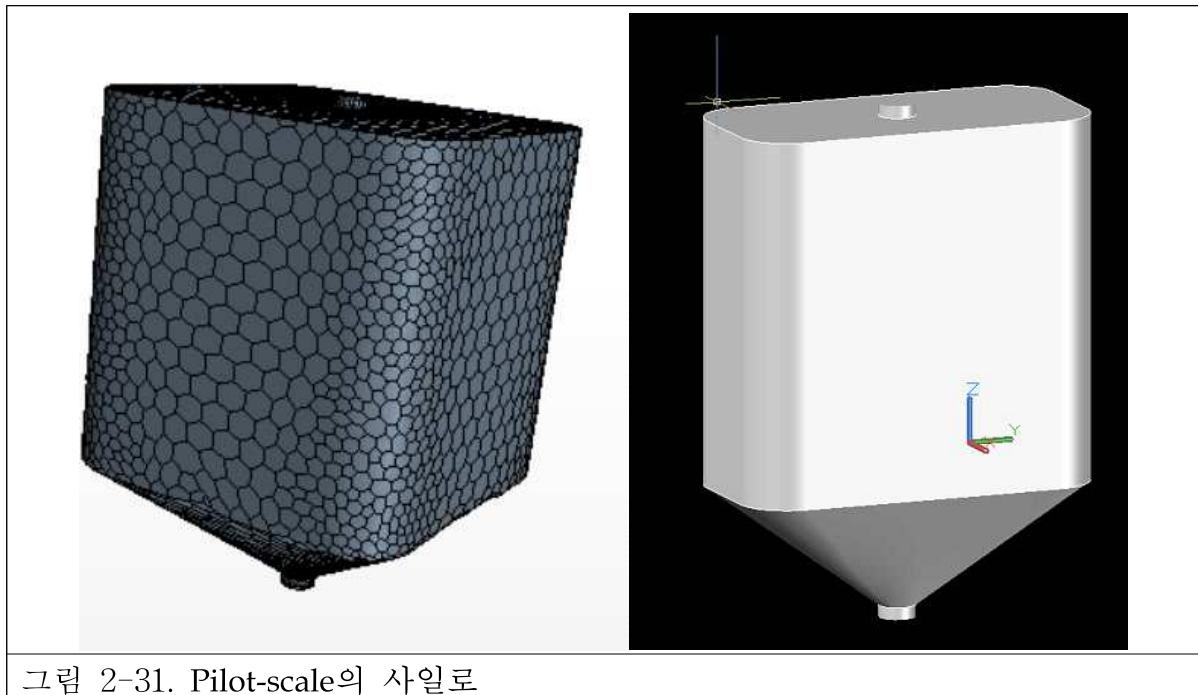


그림 2-31. Pilot-scale의 사일로

Particle의 크기는 해품의 실측 크기에 맞추어 시뮬레이션을 수행한다. Kashaninejad et al. (2008, Powder Technology 188:1-8)의 연구를 통하여 실측된 마찰 계수를 이용하여 시뮬레이션을 수행하고, Descrete Element Model(DEM)을 이용하여 Lagrangian multiphase로 입자의 거동을 해석하였다. 수분함량 11% 콩의 호퍼와의 정마찰계수는 0.37, 콩 간의 정마찰계수는 0.46이었으며, 수분함량 20% 콩의 호퍼와의 정마찰계수는 0.48, 콩 간의 정마찰계수는 0.55이다.

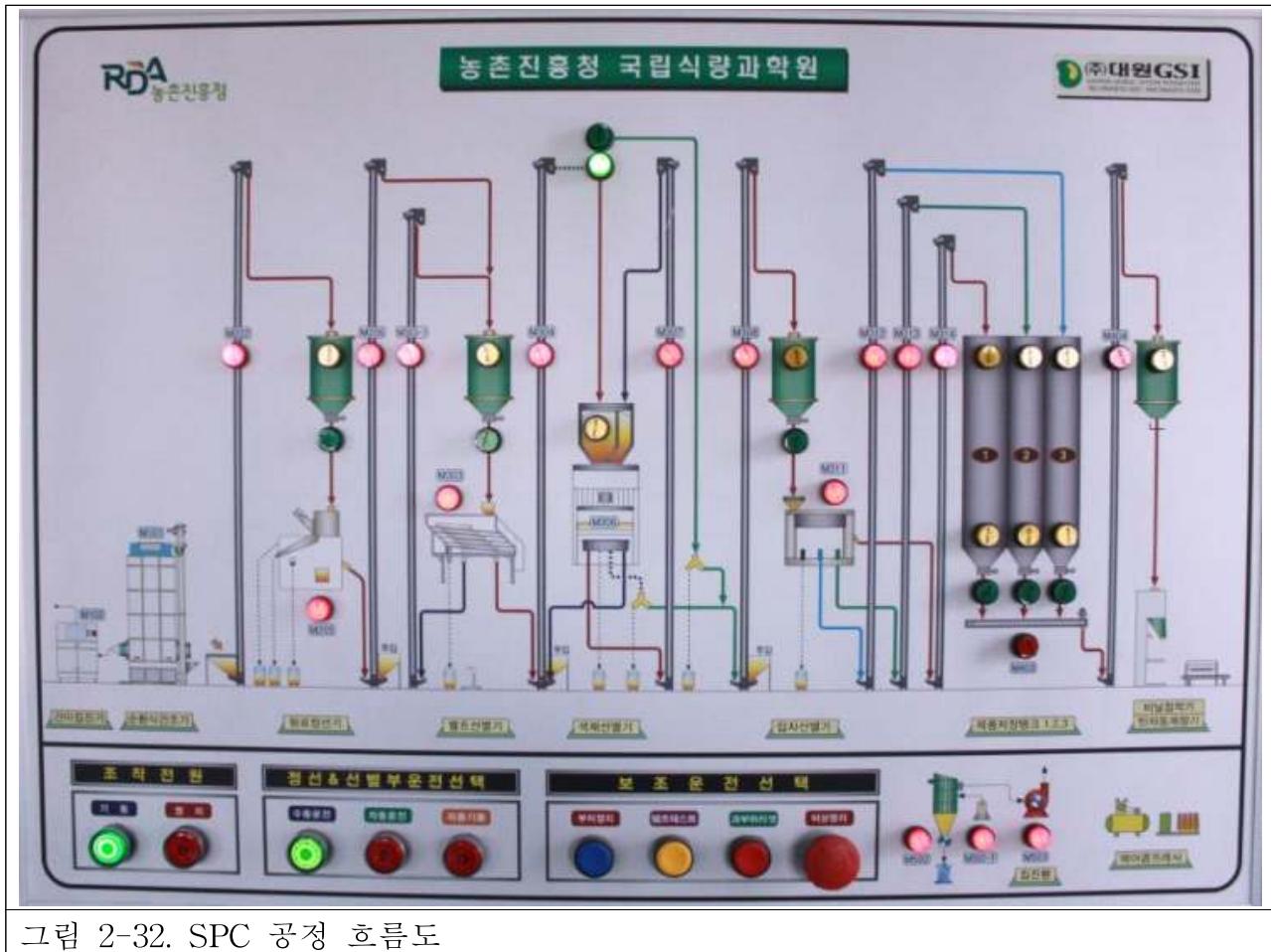
◎ 수확량, 건조량, 포장량에 따른 총 처리 시설의 생산성과 에너지 효율 모델 개발

가. 프로그래밍의 목적

- 1) 수확 직후 콩의 양을 분석하여 물질수지(Mass balance)를 계산하고, 각 공정에서의 생산량을 계산하여 최종 건조 콩의 생산량의 계산
- 2) 물질수지(Mass balance)를 통하여 계산된 소요시간을 바탕으로 각 기기의 소요 동력을 통한 총 에너지 소모도 계산
- 3) 각 공정의 생산량과 각 지역의 생산량을 고려한 SPC의 규모 및 대지의 평수 계산

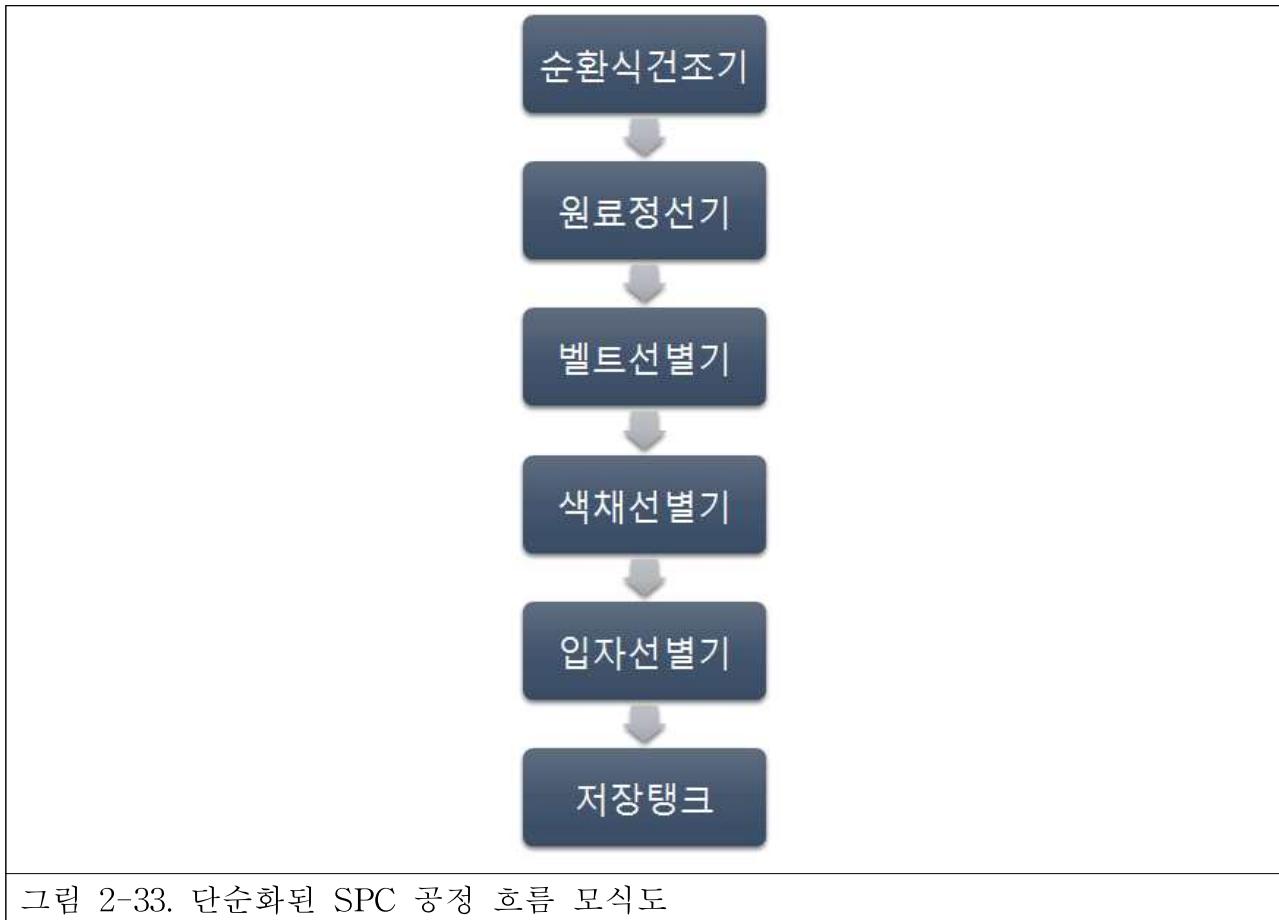
나. 연구개발 과정

- 1) 공정 흐름을 분석하기 위한 프로그램을 제작하기 위하여 VB.NET을 사용하였다.
- 2) 각 공정의 속도, 이물질의 비율, 입자의 비율은 예상되는 값으로 가정하였다.
- 3) 분석 하여야 하는 공정 흐름도는 아래와 같다.



4) 공정 분석의 첫 번째는 공정흐름을 단순화 하여 제작하였다.

공정 흐름도는 질량의 흐름을 나타내는 물질수지(Mass Balance)와 에너지의 소모량을 나타내는 에너지소모(Energy Consumption)으로 나누었다. 공정은 순환식건조기 - 원료정선기 - 벨트선별기 - 색채선별기 - 입자선별기-저장탱크의 순서로 진행된다. 단순화된 모식도는 아래와 같다.



◎ 생산성, 품질과 에너지 효율을 고려한 선별, 건조, 저장/포장 공정의 복합 최종공정 도출

콩의 수확 후 처리에서 품질 변화에 가장 큰 영향을 미치는 건조 공정에 따른 콩의 품질 변화 특성을 확인한다. 실제 SPC에서 콩의 건조는 대기의 습도에 따라 그 공정 처리 속도가 달라지며 품질 변화 또한 야기할 수 있다. 따라서 lab-scale에서 습도에 따른 콩의 건조 특성을 확인 후 모델링 및 시뮬레이션으로 검증하여 콩의 건조를 해석하고 예측하여 품질 변화를 최소화 할 수 있는 건조 공정 도출하였다. 이후 pilot-scale에서 건조 실험을 진행하여 품질 변화 확인 및 개발된 시뮬레이션 모델을 검증하였다. 일련의 과정을 통하여 선별, 건조, 저장/포장 공정에서의 에너지 소비 및 물질 수지를 분석하여 일일 대기 습도, 생산성, 품질과 에너지 효율을 고려한 복합 최종 공정을 도출하였다.

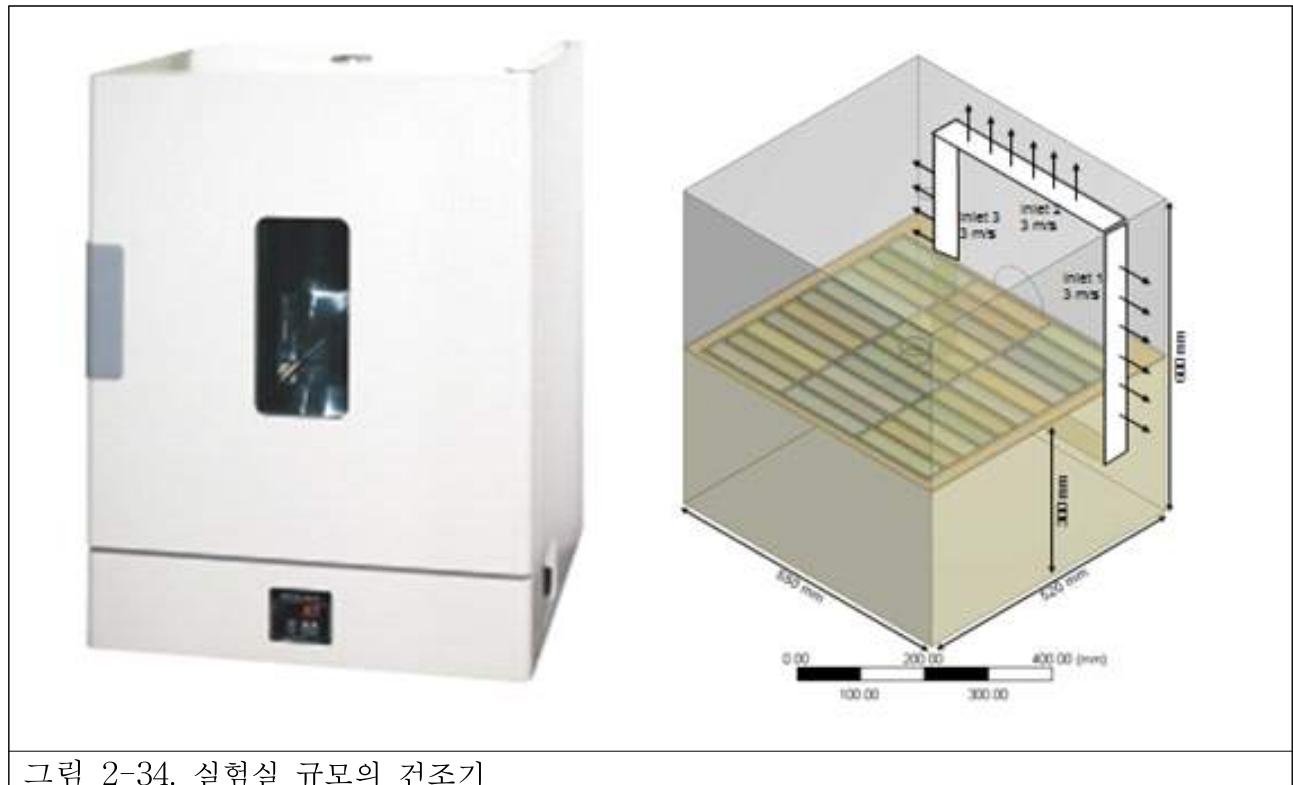
1. 콩의 품질을 고려한 건조 공정 최적화

가. 습도에 따른 콩의 건조 특성

SPC에서 일일 대기 습도에 따른 건조 특성을 확인 및 예측하여 품질을 고려한 건조 조건을 설정해야한다. 습도에 따른 콩의 건조 특성 변화를 확인하기 위해 습도를 조절할 수 있는 lab-scale 건조 실험을 진행하여 습도에 따른 건조 특성 확인 및 모델링과 시뮬레이션 결과의 도출이 가능하다.

1) Lab-scale 건조기의 특성

실험실 규모의 건조기는 가로x세로x높이가 550x520x600 mm인 배치 유형(batch type)의 실험실 규모 장비로써 건조기 벽면에 붙어있는 열풍생성기에서 3방향으로 열풍이 나오는 형태이다.



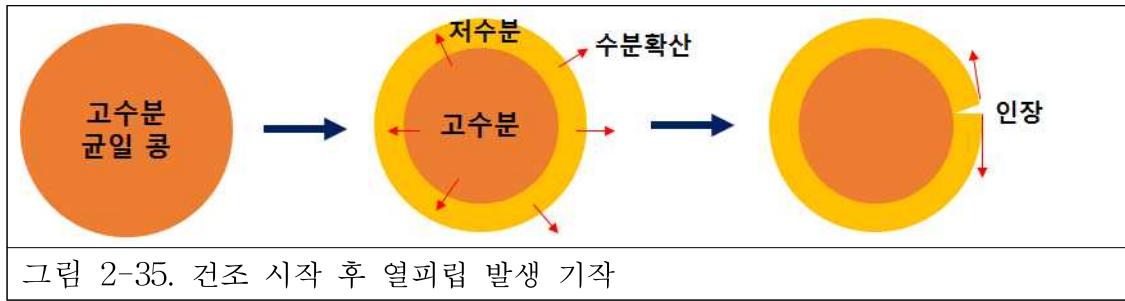
2) 습도 조절 건조 실험

초기 수분함량 15%인 대원과 해품을 길이 12 cm의 직사각형 트레이에 각각 30 g 씩 적재하여 건조실험을 수행하였다. 습도 조절기를 직접 개발하여 이용하였으며 건조기 내부의 습도는 20, 30, 40, 50, 60, 70% 조절되었다.

건조 온도는 35 °C로, 습도에 따른 콩의 건조 특성을 확인하고, 건조는 목표수분함량 까지 건조하기 위해 최대 3000분까지 건조되었으며, 콩 시료의 무게를 측정 및 최종 수분함량을 측정하였다.

3) 건조 중 열피립의 발생

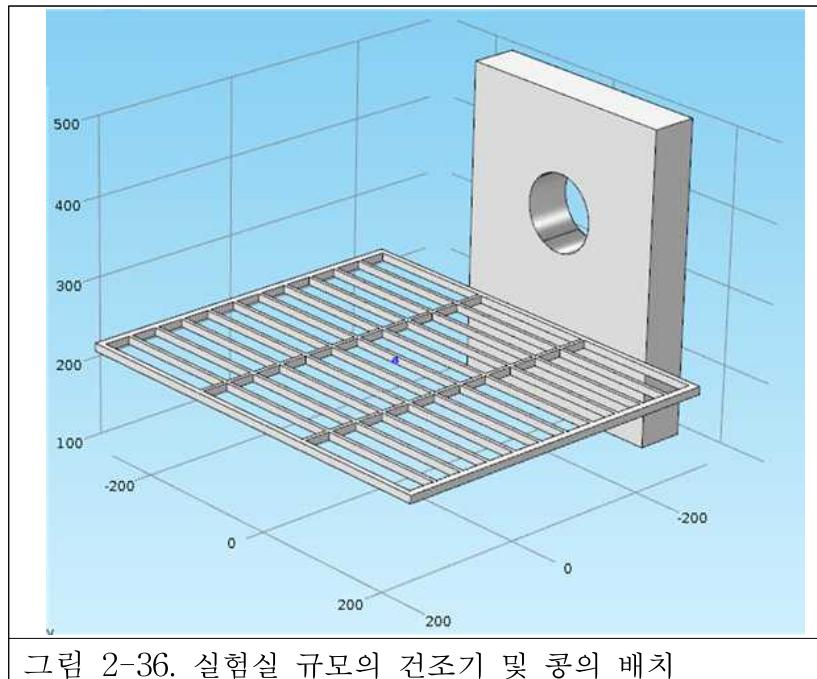
일반 건조의 경우 건조가 시작되고 건조 초기에 약 30%의 콩에서 크랙이 발생하여 콩의 품질 및 경제성이 급감하게 된다. 콩은 건조에 의한 손상을 받는데, 건조 시간이 지남에 따라 콩의 표면에서 수분이 감소되고 조직의 변화가 발생하여 열피립이 생성됨. 표면 조직이 수축하면서 표면에서 인장력이 발생하고 이는 콩의 껍질 및 속이 갈라져 열피립이 발생하게 된다.



이러한 열파립의 발생은 급격한 건조가 이루어졌을 때 발생하여 습도는 같은 건조 온도에서 건조가 이루어졌을 때 건조 속도를 결정짓는 요소가 된다. 따라서 습도에 따라 콩의 건조를 진행하면서 습도에 따른 열파립 발생률을 개발된 영상분석 시스템을 통하여 확인하였다.

4) Lab-scale 건조 시뮬레이션

시뮬레이션은 COMSOL 5.1 (COMSOL, Stockholm, Sweden) 프로그램을 이용하여 수행하였다. 본 연구에서 사용된 건조기의 구성은 실험실 규모의 건조기를 실측하여 시뮬레이션 내에 투입하였다. 실험실 규모의 건조기에서 콩은 건조기의 중앙부에 위치하였다.



건조기 및 콩의 격자 구성을 COMSOL 내부에서 이루어졌으며 격자의 밀도를 조절하였는데, 이때 매우 조밀한 격자는 시뮬레이션 계산 정확도의 증가보다 계산 시간의 증가만을 야기하기 때문에 격자 품질을 acceptable 단계로 조절하였다. 건조 중 열파립의 발생은 콩 내부의 수분 구배가 커짐에 의해 발생하며, 이렇게 수분 구배는 개발된 시뮬레이션 모델을 통하여 확인할 수 있으며 이를 통해 열파립이 발생하는 시점에서의 수분 구배를 확인하여 품질 손상을 최소화 할 수 있다

2. SPC 건조 공정 최적화

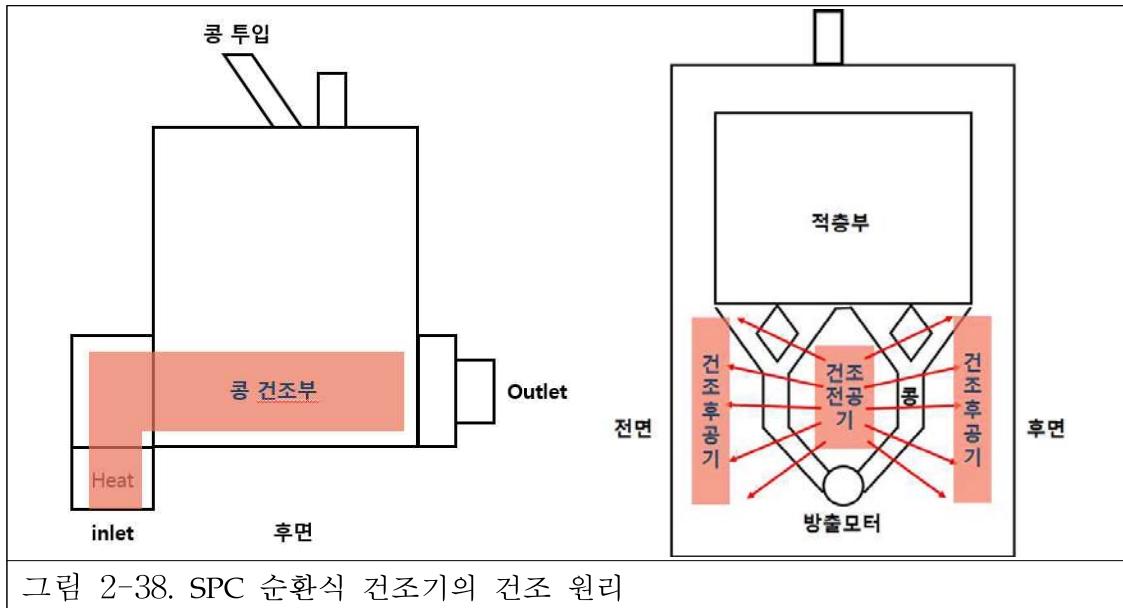
가. SPC 건조 공정 분석을 통한 건조 실험 수행

1) 대기 조건에 따른 콩의 건조 특성

SPC 공정의 핵심 단위 공정인 건조공정에 이용되는 순환식 건조기의 원리는 간헐적 건조로, 건조기의 형상 및 원리는 아래와 같다.



그림 2-37. SPC 순환식 건조기 (좌: 전면, 우: 후면)



건조부에서의 콩의 포화량은 약 100 kg이며, 건조기에서 콩의 최대 처리량은 200 kg이다. 순환식 건조기에서 콩의 방출은 방출 모터를 통하여 이루어지며, 그 방출 속도는 2.43kg/min이며 방출된 콩이 다시 건조기 내부로 순환되는 속도는 4.28kg/min으로 배출 속도에 의해 그 순환이 조절되게 된다. 순환식 건조기에서 콩이 방출되는 시간 및 방출된 콩이 다시 건조기 내부로 순환되는 시간은 72 s로 내부에서의 정상 상태가 유지된다. (스크류 컨베이어: 60 s, 엘리베이터: 12 s)

따라서 콩의 건조 속도를 조절하기 위한 간헐도는 건조기 내 콩 투입량에 의해 결정되며 이는 열피립 발생 여부에 영향을 미치게 된다.

나. Pilot-scale 시뮬레이션 및 모델링

1) Pilot-scale 시뮬레이션

시뮬레이션은 COMSOL 5.1 (COMSOL, Stockholm, Sweden) 프로그램을 이용하여 수행하였다. 본 연구에서 사용된 건조기의 구성은 공정 규모의 건조기를 실측하였다.

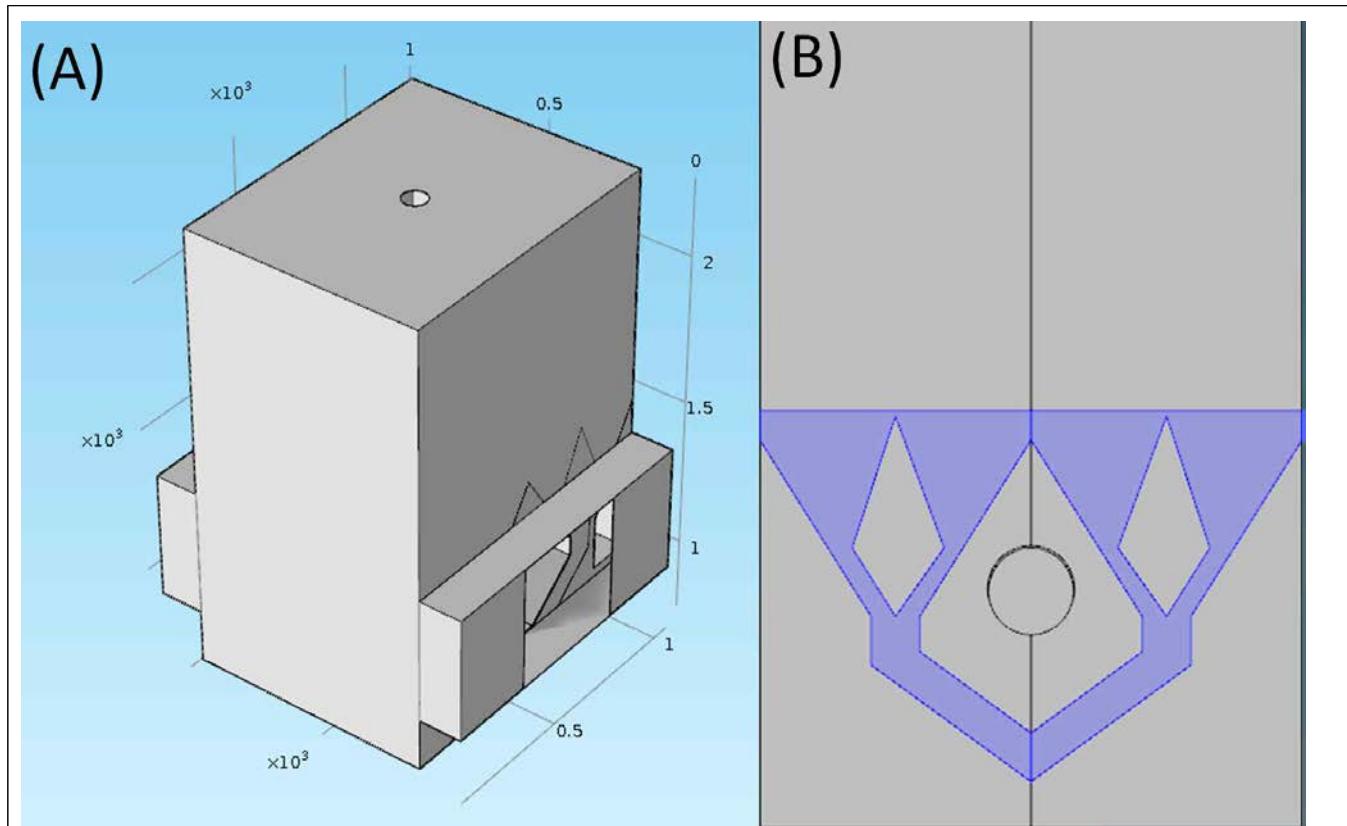


그림 2-39. 파일럿 규모의 건조기 및 콩의 구성. A:건조기 모식도, B:건조부

건조기 및 콩의 격자 구성은 COMSOL 내부에서 이루어졌으며 격자의 밀도를 조절하였는데, 이때 매우 조밀한 격자는 시뮬레이션 계산 정확도의 증가보다 계산 시간의 증가만을 야기하기 때문에 격자 품질을 acceptable 단계로 조절하였다.

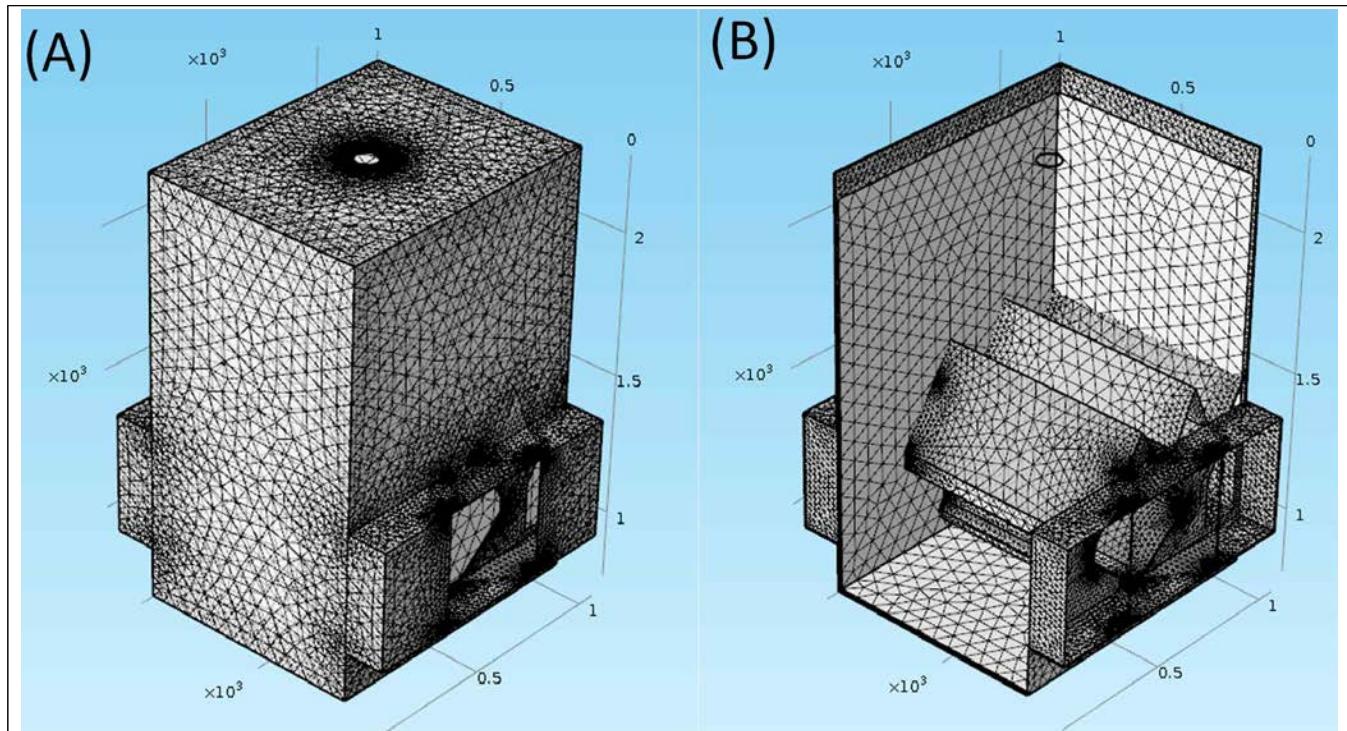


그림 2-40. 파일럿 규모 건조기의 격자 구성도. A:외부, B:내부

Lab-scale 건조 실험 및 시뮬레이션으로부터 개발된 모델의 검증을 Pilot-scale 시뮬레이션에서 진행하였으며 건조 시뮬레이션의 성능을 확인하기 위해 표준오차를 사용하였으며 건조 실험 결과 값과 해당 지점에서 시뮬레이션 값의 오차의 평균값을 이용하였다. 또한, 검증된 시뮬레이션 모델을 토대로 하여 실제 건조 공정 중 수분구배를 확인하여 열피립 발생 여부를 예측하여 실제 결과와 비교 검증 하였다.

2) 품질을 고려한 콩의 건조 모델링

Plant-scale 건조기에서 콩의 건조에 영향을 미치는 인자는 일일 대기 습도, 초기 수분함량, 목적 수분함량, 콩의 품종 등이 있으며 건조 공정을 최적화하기 위해 이러한 변수들을 고려하여야 한다. 따라서 이러한 변수들의 영향을 반영하여 건조를 예측할 수 있는 모델을 박충건조 모델을 통해 개발하였으며 각 변수들이 모델 내 파라미터에 미치는 영향을 분석하였다. 또한, 컴퓨터 시뮬레이션 결과를 통해 확인한 열피립 발생 시점 결과를 통하여, 열피립이 발생하지 않을 수 있도록 공정 조건을 컨트롤 할 수 있는 공정 최적화를 위한 건조 모델을 개발하여 실제 결과와 비교 검증하였다.

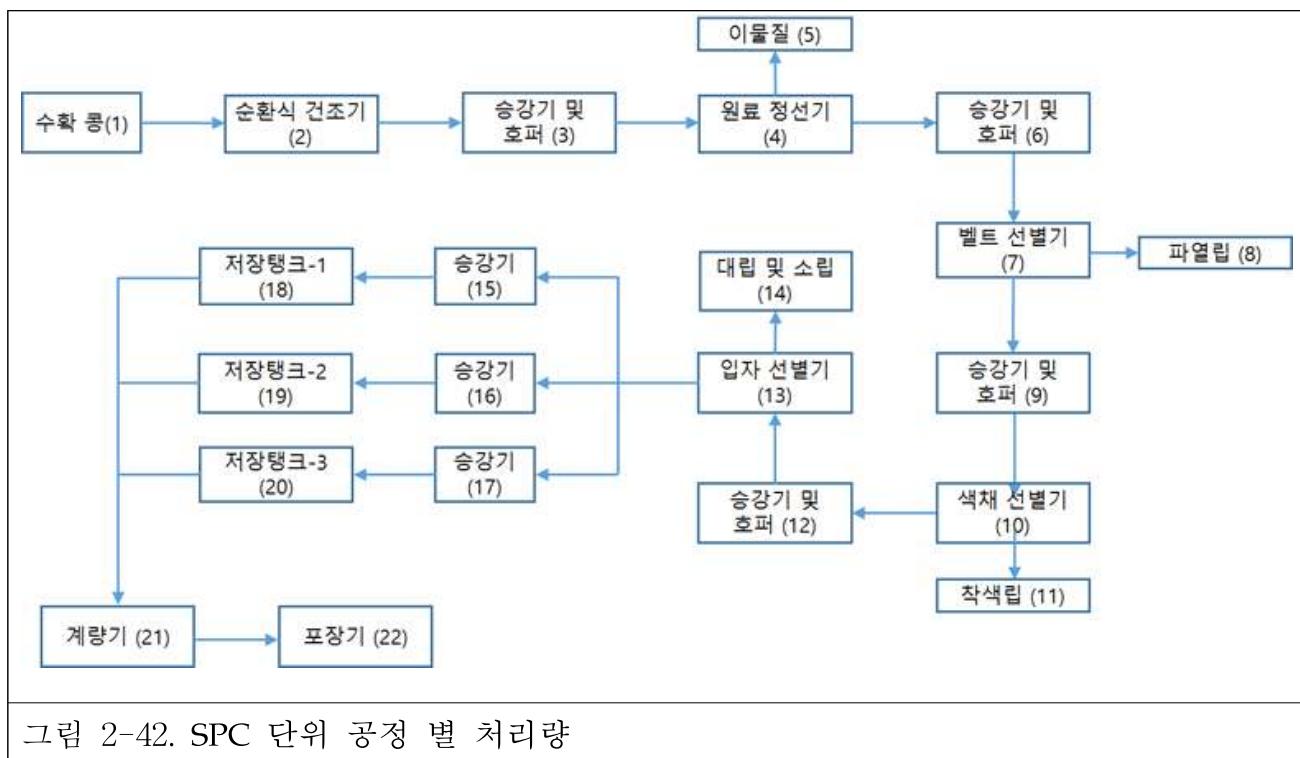
No.	Model name	Model equation	References
1	Newton	$MR = e^{-kt}$	Lewis (1921)
2	Page	$MR = e^{-kt^n}$	Page (1949)
3	Henderson and Pabis	$MR = ae^{-kt}$	Henderson and Pabis (1961)
4	Midilli-Kucuk equation	$MR = ae^{-kt^n} + bt$	Midilli <i>et al.</i> (2002)

그림 2-41. 콩 건조에서 공정 변수를 고려한 건조 모델 개발을 위한 박충 건조 모델

3. SPC 콩 수확 후 처리 복합 공정 최적화

가. SPC 공정 분석

기본적인 SPC 공정 흐름도는 다음과 같다.



SPC의 공정을 분석하기 위해 건조기 외 각 공정 별 단위 시간 당 처리량을 분석하였다.

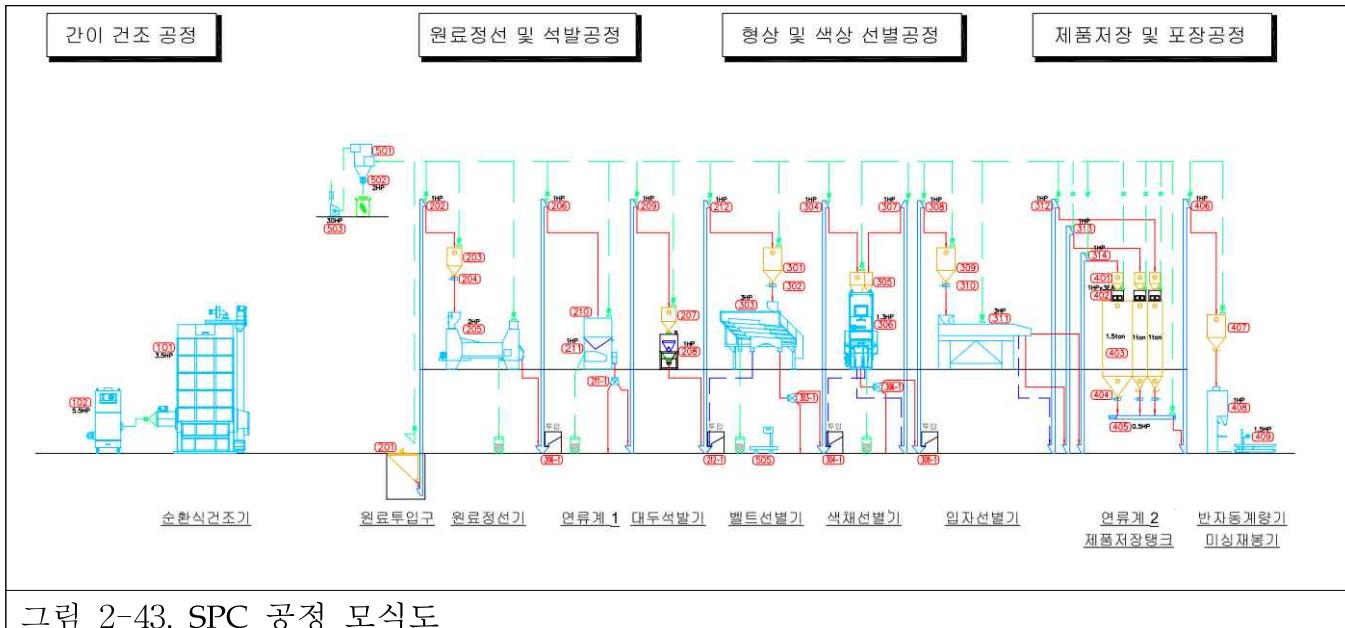


그림 2-43. SPC 공정 모식도

건조기의 경우 원료 정선, 형상 및 생산 선별, 제품 저장 및 포장공정에 비하여 오랜 시간이 걸리는 공정이며, 건조기 외의 이후 공정은 연속식 공정으로 처리 되게 되었다.

공정	기기	처리량 (ton/h)
원료정선 및 석발공정	원료 정선기	15
	연류계1	2.5~3
	대두석발기	5~15
형상 및 색상 선별공정	벨트선별기	2~4
	색채선별기	1.5~4
	입자선별기	2.5~3.5
제품저장 및 포장공정	연류계2	2.5~3
	제품저장탱크	2~6
	반자동계량기	-
	미싱재봉기	-

그림 2-44. SPC 단위 공정 별 처리량

따라서 연속식 공정 중에서 가장 처리 속도가 낮은 공정이 건조 이후 전체 공정의 속도를 조절하는 인자가 되었으며 각 공정별 단위 시간당 처리 속도를 표를 통해 나타내었다.

나. 소프트웨어 개발

1) 프로그래밍의 목적

대규모 SPC의 공정 조건 설계는 각 단위 공정의 최적화와 함께 핵심 공정이 연결된 복합공정의 최적화가 이루어져야 하며, 복합공정에 대한 효율성평가가 이루어져야 한다. 건조

공정에 영향을 미치는 인자인 대기습도, 초기 수분함량, 목적 수분함량 및 콩의 품종 등을 고려한 건조 공정은 실제 예측하기 매우 어려운 인자로 개발된 수학적 모델을 사용하여 예측할 수 있지만 전문 지식이 없는 SPC 공정 사용자에게는 활용도가 낮은 단점이 있다. 건조 공정은 각 변수에 따라 열파립에 의한 품질 손상이 일어날 수 있으므로 이에 따라 컨트롤 하는 것이 필요하다. 또한 이후의 공정은 각 공정별 처리 속도가 가장 낮은 공정에 의해 컨트롤 되게 되어 전체 공정 소요 시간 및 처리 속도 등을 확인하기 매우 어렵다., 아울러 각 공정에 따른 물질 수지 및 에너지 소모량 등을 분석할 시 콩의 수확 처리량에 따른 생산성과 에너지 효율을 분석하여 최적화가 가능하다. 개발된 콩의 품질 손상을 최소화 하는 건조 예측 모델 및 각 건조 공정을 분석하여 생산성과 에너지 효율을 분석 및 최적화가 가능한 모델을 소프트웨어 내로 투입하여 사용자는 단순히 공정 처리 시의 대기습도, 초기 수분함량, 목적 수분함량 및 콩의 품종만을 입력하여 생산성, 품질과 에너지 효율을 고려한 선별, 건조, 저장/포장 공정의 복합 최종 공정을 도출할 수 있도록 하였다.

2) 연구개발 과정

JAVA를 사용하여 공정 흐름 분석 및 공정 조건을 설정하기 위한 소프트웨어를 개발하였다. 각 공정의 처리 속도, 이물질의 비율, 입자의 비율 등을 실제 측정값을 기준으로 하였다. 입력 인자로는 콩의 품종, 대기 습도, 초기 수분함량, 목적 수분함량, 공정 투입량이 들어가게 된다. 가장 먼저 투입 인자를 토대로 하여 개발된 최적 건조 예측 모델로부터 품질 손상을 최소화하면서 건조 조건을 최적화하여 분석할 수 있다. 건조 공정 처리 이후 각 공정에서의 처리 속도 및 이물질 및 입자 크기별 분별 등의 물질 수지를 계산하여 각 공정 별로 분석하여 사용자가 전체 공정을 손쉽게 분석 및 최적화가 가능하도록 하였다.

◎ 산지별 특성에 따른 종합처리 시설의 공정모델 개발 및 시뮬레이션 툴 개발

1. 프로그래밍 목적

대규모 SPC의 설계는 단순히 경험에 의해 설계하게 될 경우 공정 비효율성 및 수확량 및 유통량과 가동률에 따른 경제성 등 다양한 부분에 영향을 미치게 된다. 이 같은 지역별 수확량 및 유통량, 그리고 이에 따른 가동률과 기기의 에너지 소비 등을 수학적인 모델로 구현하여 최적화가 이루어져야만 콩의 수확량과 유통량에 따른 적절한 SPC의 설계가 이루어 질 수 있다. 따라서 본 소프트웨어를 통하여 대규모 SPC 공정 개발에 적합한 공정 설계 및 각 산지에서 출하되는 콩의 수확량과 유통량을 고려하여 각 채배 지역을 cluster화하여 공정 처리량에 따라 종합처리시설을 설계할 수 있는 공정지표 및 설계 지표를 제시하여 반복적인 설계비용을 절감할 수 있도록 하였다.

2. 연구개발 과정

JAVA를 사용하여 수확량, 유통량, 가동률, 공정 운영비용을 고려한 대규모 SPC를 설계 및 시뮬레이션하기 위한 소프트웨어를 개발하였다. 전국 지역별 콩 채배 농가수, 수확면적,

생산량 및 유통량은 아래 표와 같다.

표 2-3. 전국 지역별 콩 재배 농가수, 수확면적, 생산량 및 유통량 비교

행정구역1	행정구역2	농가수	수확면적 (ha)	생산량 (ton)	유통량 (ton)
제주도	제주시	5492	5296	8897.28	4448.64
전라남도	무안군	3313	1559	2338.5	1169.25
경상북도	안동시	7076	1557	2117.52	1058.76
제주도	서귀포시	1386	1554	2610.72	1305.36
강원도	정선군	1952	1429	2172.08	1086.04
충청북도	충주시	4818	1283	1834.69	917.345
충청북도	제천시	4397	1199	1714.57	857.285
강원도	영월군	2353	1135	1725.2	862.6
충청북도	괴산군	2968	1102	1575.86	787.93
전라남도	고흥군	7496	1078	1617	808.5
경기도	연천군	2283	1038	1525.86	762.93
충청북도	단양군	2427	923	1319.89	659.945
전라남도	신안군	4109	820	1230	615
경상북도	예천군	3925	785	1067.6	533.8
경상북도	문경시	3152	779	1059.44	529.72
충청남도	태안군	2940	777	1204.35	602.175
경기도	파주시	3972	753	1106.91	553.455
경상북도	청송군	2629	685	931.6	465.8
충청남도	서산시	5798	637	987.35	493.675
경상북도	영주시	3411	611	830.96	415.48
강원도	홍천군	3157	547	831.44	415.72
강원도	삼척시	2946	538	817.76	408.88
경상북도	상주시	4764	536	728.96	364.48
경상북도	봉화군	2746	525	714	357
경상북도	영양군	1699	524	712.64	356.32
경상북도	김천시	5131	487	662.32	331.16
충청남도	천안시	4965	465	720.75	360.375
충청남도	공주시	4438	465	720.75	360.375
강원도	인제군	1544	463	703.76	351.88
전라남도	함평군	2555	454	681	340.5
경기도	양평군	4455	451	662.97	331.485
경기도	화성시	5882	449	660.03	330.015
전라남도	해남군	2736	448	672	336
충청북도	청원군	5068	442	632.06	316.03
강원도	횡성군	2550	439	667.28	333.64
전라남도	영광군	2721	429	643.5	321.75
충청남도	당진군	5317	426	660.3	330.15
충청북도	음성군	2652	423	604.89	302.445
경기도	포천시	3230	422	620.34	310.17
충청북도	보은군	2410	422	603.46	301.73
강원도	원주시	3447	415	630.8	315.4
경기도	용인시	3676	414	608.58	304.29
전라북도	순창군	2547	411	620.61	310.305
경상북도	경주시	6112	401	545.36	272.68
경상북도	의성군	3580	401	545.36	272.68
전라북도	정읍시	3553	395	596.45	298.225

전라북도	고창군	2710	386	582.86	291.43
충청북도	옥천군	2930	382	546.26	273.13
충청남도	홍성군	5821	382	592.1	296.05
인천광역시	인천광역시	5581	373	298.4	149.2
전라남도	강진군	2929	355	532.5	266.25
경상북도	영천시	3550	351	477.36	238.68
충청남도	예산군	4194	349	540.95	270.475
경기도	안성시	3552	346	508.62	254.31
경상북도	포항시	3778	346	470.56	235.28
경기도	이천시	3267	341	501.27	250.635
충청남도	부여군	4148	340	527	263.5
전라북도	완주군	3005	340	513.4	256.7
충청남도	아산시	4187	337	522.35	261.175
강원도	평창군	1722	336	510.72	255.36
전라북도	부안군	4216	330	498.3	249.15
강원도	강릉시	3678	329	500.08	250.04
경상남도	거창군	4307	328	465.76	232.88
경기도	평택시	3773	326	479.22	239.61
전라남도	나주시	3004	319	478.5	239.25
경상남도	합천군	4055	309	438.78	219.39
경상남도	함양군	3898	308	437.36	218.68
전라남도	화순군	4501	305	457.5	228.75
전라남도	장흥군	3208	300	450	225
강원도	춘천시	3000	293	445.36	222.68
경상북도	청도군	3383	291	395.76	197.88
전라남도	보성군	3819	288	432	216
전라남도	영암군	3029	288	432	216
전라북도	임실군	2970	287	433.37	216.685
전라남도	순천시	4302	285	427.5	213.75
경상남도	밀양시	3255	285	404.7	202.35
경기도	양주시	2502	282	414.54	207.27
전라남도	완도군	2600	279	418.5	209.25
전라남도	여수시	4722	278	417	208.5
대구광역시	대구광역시	4003	268	305.52	152.76
강원도	양구군	944	265	402.8	201.4
충청남도	청양군	3130	265	410.75	205.375
전라북도	김제시	4623	256	386.56	193.28
충청남도	금산군	2594	250	387.5	193.75
경상남도	남해군	3657	248	352.16	176.08
충청남도	보령시	4021	244	378.2	189.1
충청남도	논산시	4003	244	378.2	189.1
경상북도	군위군	2142	243	330.48	165.24
경기도	여주군	2986	241	354.27	177.135
경기도	가평군	2540	233	342.51	171.255
경상남도	진주시	3837	231	328.02	164.01
충청남도	서천군	3497	227	351.85	175.925
대전광역시	대전광역시	3119	222	219.78	109.89
충청북도	진천군	2028	221	316.03	158.015
강원도	화천군	1063	218	331.36	165.68
전라남도	장성군	2221	218	327	163.5

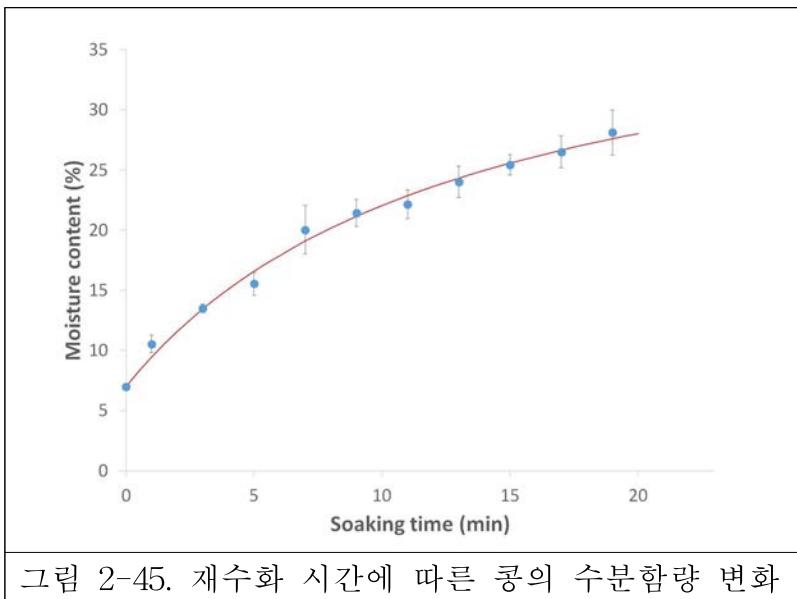
경상북도	구미시	2845	217	295.12	147.56
경상북도	영덕군	1670	212	288.32	144.16
경상남도	창녕군	2172	209	296.78	148.39
광주광역시	광주광역시	3135	207	296.01	148.005
전라북도	익산시	3896	206	311.06	155.53
경기도	광주시	2292	205	301.35	150.675
전라북도	진안군	1878	205	309.55	154.775
전라남도	곡성군	3004	205	307.5	153.75
충청남도	연기군	2199	198	306.9	153.45
경상남도	산청군	2335	193	274.06	137.03
전라북도	전주시	2059	189	285.39	142.695
전라북도	남원시	3631	187	282.37	141.185
경기도	남양주시	2688	186	273.42	136.71
경기도	김포시	3266	186	273.42	136.71
강원도	철원군	1608	186	282.72	141.36
충청북도	청주시	2327	186	265.98	132.99
경기도	고양시	2398	183	269.01	134.505
경상남도	의령군	1672	175	248.5	124.25
경상남도	창원시	2905	173	245.66	122.83
충청북도	영동군	1600	158	225.94	112.97
경상남도	하동군	2014	157	222.94	111.47
경상북도	경산시	2267	153	208.08	104.04
경상북도	울진군	2176	153	208.08	104.04
경상북도	칠곡군	1664	151	205.36	102.68
경상남도	함안군	2685	147	208.74	104.37
전라북도	무주군	1805	140	211.4	105.7
울산광역시	울산광역시	3374	139	215.45	107.725
경상남도	고성군	1951	137	194.54	97.27
강원도	동해시	1440	131	199.12	99.56
전라남도	구례군	1831	131	196.5	98.25
전라남도	담양군	2176	119	178.5	89.25
전라남도	진도군	1265	119	178.5	89.25
경상북도	성주군	1619	116	157.76	78.88
전라북도	장수군	1878	113	170.63	85.315
경상남도	사천시	2115	112	159.04	79.52
서울특별시	서울특별시	1063	111	135.42	67.71
강원도	양양군	1607	110	167.2	83.6
전라북도	군산시	2032	102	154.02	77.01
경상북도	고령군	1308	90	122.4	61.2
충청북도	증평군	695	87	124.41	62.205
경기도	수원시	1198	79	116.13	58.065
경상남도	김해시	1295	77	109.34	54.67
경상남도	거제시	2530	77	109.34	54.67
강원도	고성군	1041	73	110.96	55.48
전라남도	광양시	1847	73	109.5	54.75
경상남도	양산시	1245	68	96.56	48.28
전라남도	목포시	502	63	94.5	47.25
경기도	동두천시	398	60	88.2	44.1
부산광역시	부산광역시	1081	55	50.05	25.025
경기도	시흥시	944	54	79.38	39.69

강원도	속초시	556	53	80.56	40.28
경상남도	통영시	1130	45	63.9	31.95
경기도	하남시	606	42	61.74	30.87
경기도	의정부시	513	39	57.33	28.665
경기도	안산시	577	38	55.86	27.93
경기도	오산시	556	36	52.92	26.46
경기도	성남시	284	30	44.1	22.05
강원도	태백시	230	26	39.52	19.76
경기도	의왕시	376	24	35.28	17.64
경기도	구리시	205	20	29.4	14.7
경기도	군포시	222	20	29.4	14.7
경기도	광명시	249	17	24.99	12.495
경기도	부천시	241	16	23.52	11.76
충청남도	계룡시	237	15	23.25	11.625
경기도	안양시	131	12	17.64	8.82
경기도	과천시	75	3	4.41	2.205
경상북도	울릉군	49	2	2.72	1.36

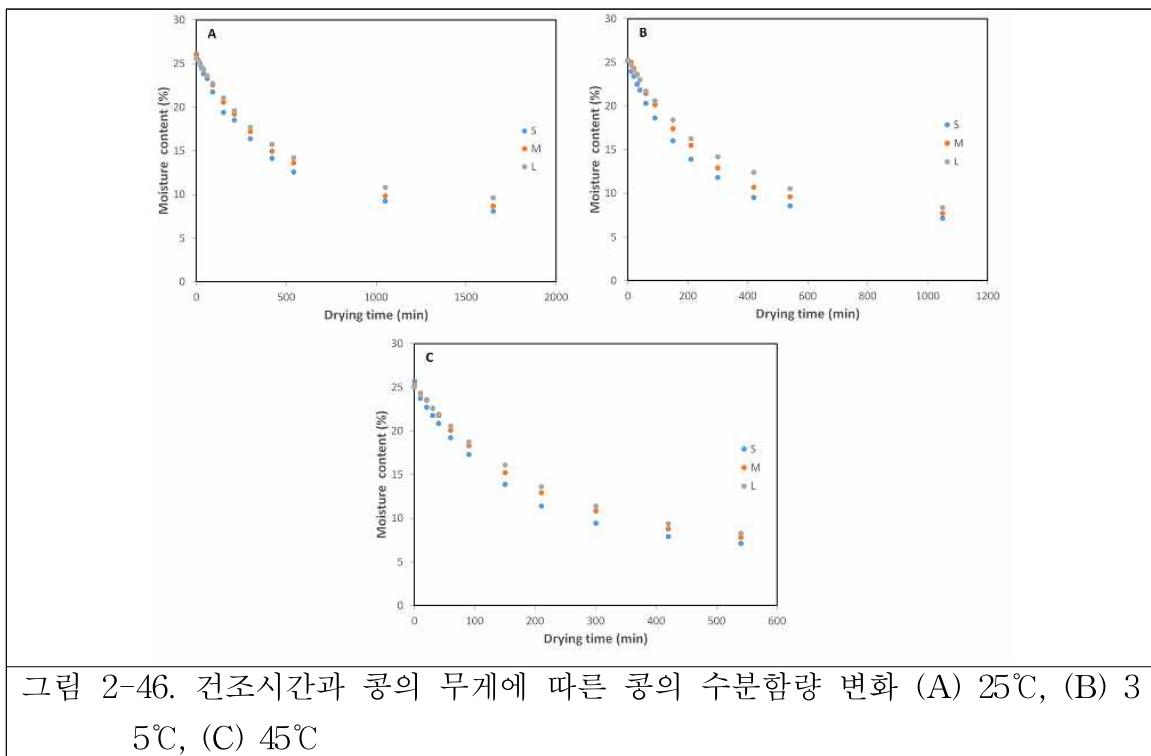
총 종합처리시설의 효율성을 높이기 위해 각 시군별 수확량 및 유통량을 고려하여 지역을 구분하였으며 해당 지역별 최적의 에너지 효율을 나타내면서 목적 가동률에 맞추어 경제성을 높일 수 있는 시뮬레이션 알고리즘을 개발하였다. SPC 각 공정에 필요한 기기를 회사별로 조사하여 단위 시간당 처리량 소요 동력, 차지 면적 등을 조사하여 데이터베이스화하였다. 각 지역별 총 수확 후 필요 처리량을 입력하면 경제성을 고려한 가동률을 기준으로 하여 높은 습도 및 초기 수분함량 등의 약조건에서도 해당 목표를 달성할 수 있도록 공정 별 기기 모델 및 개수를 에너지 효율을 고려하여 설계할 수 있도록 하였다. 또한 지역별 SPC 공정 설계가 이루어지면 해당 설계를 기준으로 하여 종합 처리시설을 설립하기 위한 필요 부지 면적을 계산하여 실제 종합처리시설을 설치하기 위한 종합적인 정보를 제공할 수 있도록 하였다.

□ 연구 결과

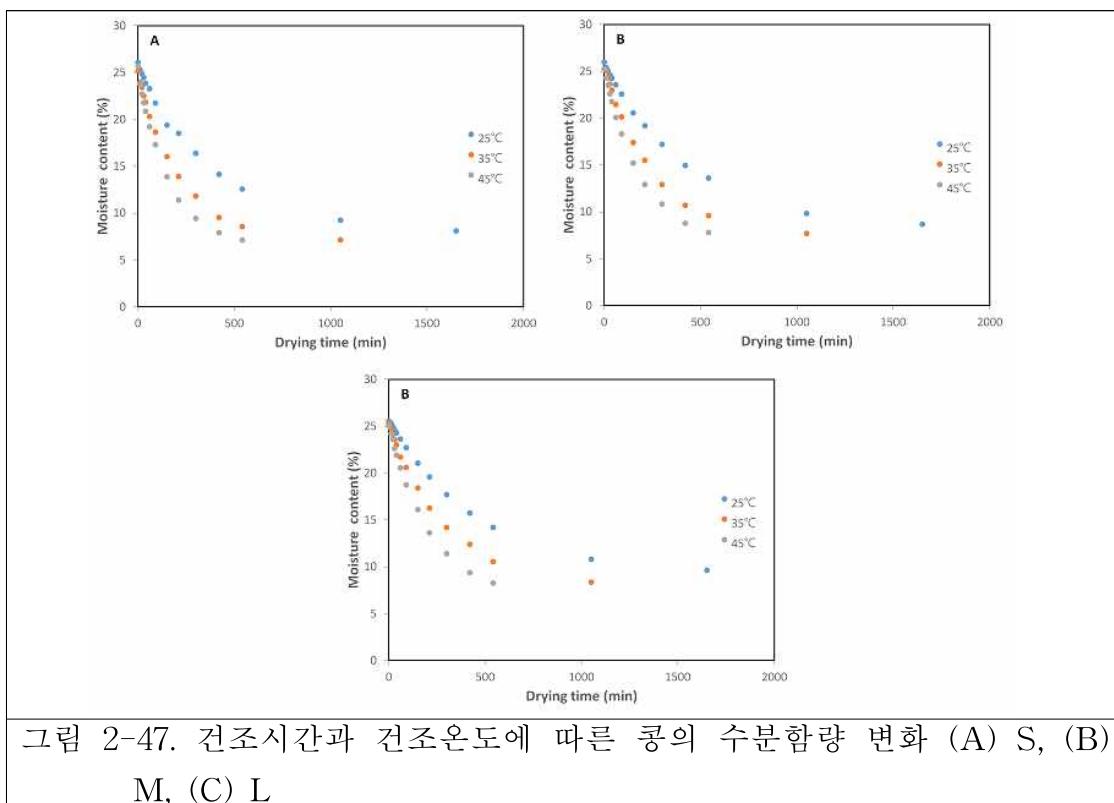
1. 열풍건조기 내에서의 콩의 건조 특성 분석 및 예측 모델 개발



건조 콩의 초기 수분함량은 6.9%로 확인되었으며 재수화 시간이 증가함에 따라 수분 함량이 증가하지만 재수화 시간이 증가할수록 수분함량 증가폭은 줄어드는 것을 확인할 수 있었다. 콩의 재수화에 대해서 Peleg식을 적용한 결과 높은 값의 R^2 (0.9913)을 나타내었고 K_1 과 K_2 은 각각 0.3788과 0.0286으로 확인되었으며 확인된 값들이 재수화 모델에 적용된다. 재수화 실험을 통해 확인한 K_1 과 K_2 를 적용한 콩의 재수화 모델을 통하여 일반적인 원물 콩의 수분함량 (25.0%)과 유사한 재수화 시간이 15분임을 확인하였으며, 확인된 재수화 시간은 모든 실험 전 건조 콩의 재수화에 적용되었다.



콩의 무게에 따른 건조속도의 차이를 확인하기 위해 무게에 따라 세 군으로 나누어 실험을 진행하였고. S, M, L은 콩의 무게를 기준으로 각각 2.5, 3.5, 4.5g (± 0.03 이하)로 분류하였다. 25, 35, 45°C 모두에서 무게가 가장 작은 S가 가장 빨리 건조되고, 무게가 가장 큰 L이 가장 늦게 건조되는 것을 확인할 수 있었고, 이는 콩이 작을수록 상대적으로 체적 당 표면적이 넓어 건조 효율이 높기 때문이다. 초기 수분함량(25%)에서 최종 목표수분함량(10%)까지 도달하는 시간이 25°C 건조에서는 56.6%, 35°C 건조에서는 53.1%, 45°C 건조에서는 36.4%의 차이를 나타내어 건조 온도가 높을수록 초기 무게에 의한 건조속도의 차이가 적음을 확인할 수 있었다.



S, M, L군 모두에서 온도가 증가할수록 콩의 건조 시간이 단축되는 것을 확인하였고, 이러한 온도에 따른 건조 속도의 차이는 결과적으로 수분확산계수의 차이를 나타낸다. 초기 수분함량(25%)에서 최종 목표수분함량(10%)까지 도달하는 시간이 S군에서는 225.9%, M군에서는 233.3%, L군에서는 265.3%의 차이를 나타내어 콩의 무게보다 건조온도가 콩의 건조속도에 더욱 지배적인 영향을 미치는 것을 확인할 수 있었다. 건조 온도를 높게 설정함으로써 건조 시간을 단축할 수 있으나, 열피립과 착색립 등의 불량립의 발생을 억제하기 위해서 적절한 건조 온도를 설정하는 것이 필요하다.

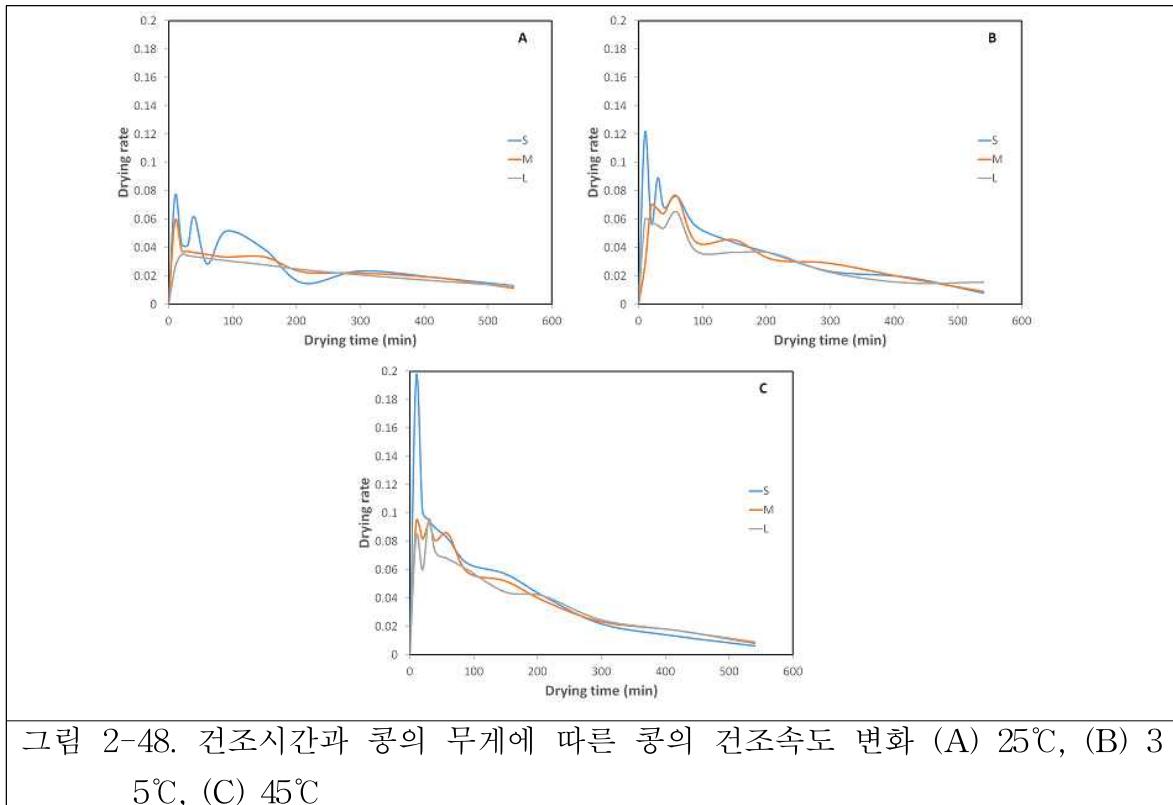


그림 2-48. 건조시간과 콩의 무게에 따른 콩의 건조속도 변화 (A) 25°C, (B) 35°C, (C) 45°C

25, 35, 45°C 모두에서 전체적으로 무게가 가장 작은 S의 건조속도가 가장 빠르고, 무게가 가장 큰 L의 건조속도가 가장 늦은 것으로 나타났다. 35°C 건조에서 다른 군에 비해 콩의 무게 간의 속도차이가 작아 높은 효율의 건조가 가능할 것으로 판단된다. 그러나 35°C를 포함한 모든 건조온도에서 모두 항률 건조 기간이 보이지는 않았고, 이는 콩의 얇은 막 층이 수분을 일정하게 이동시키지 못하고, 단지 수분 확산에 의해 내부로부터 표면으로 수분이 이동하기 때문에 생기는 현상이라 판단된다.

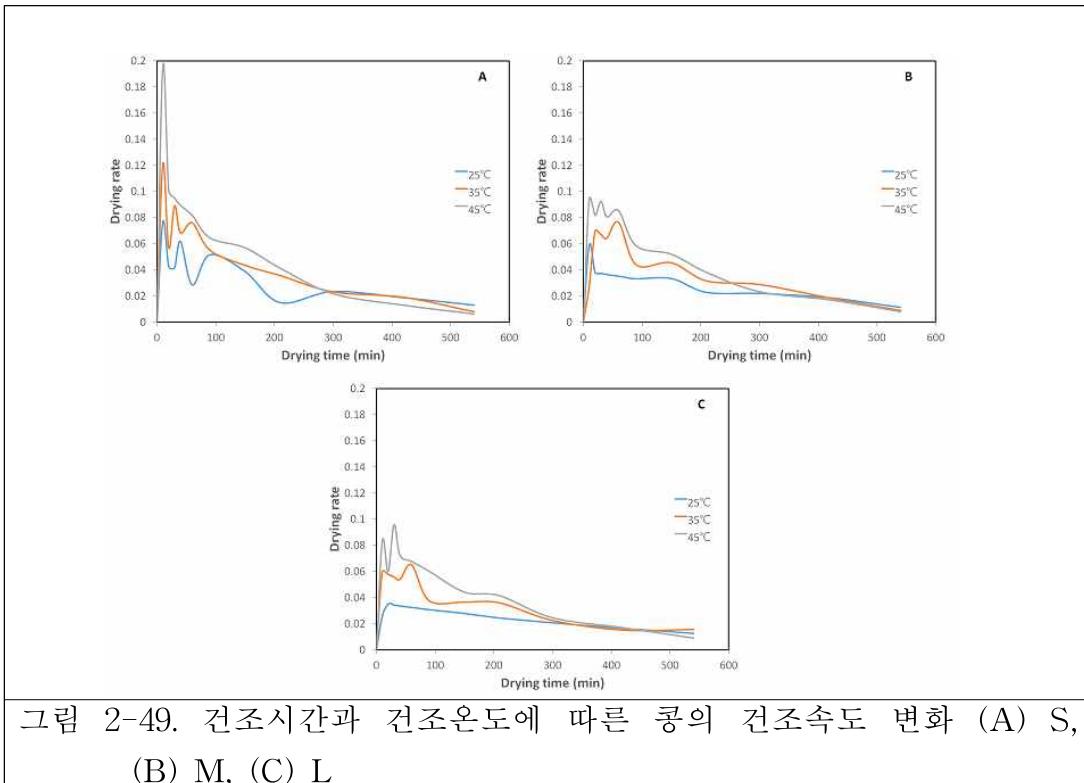
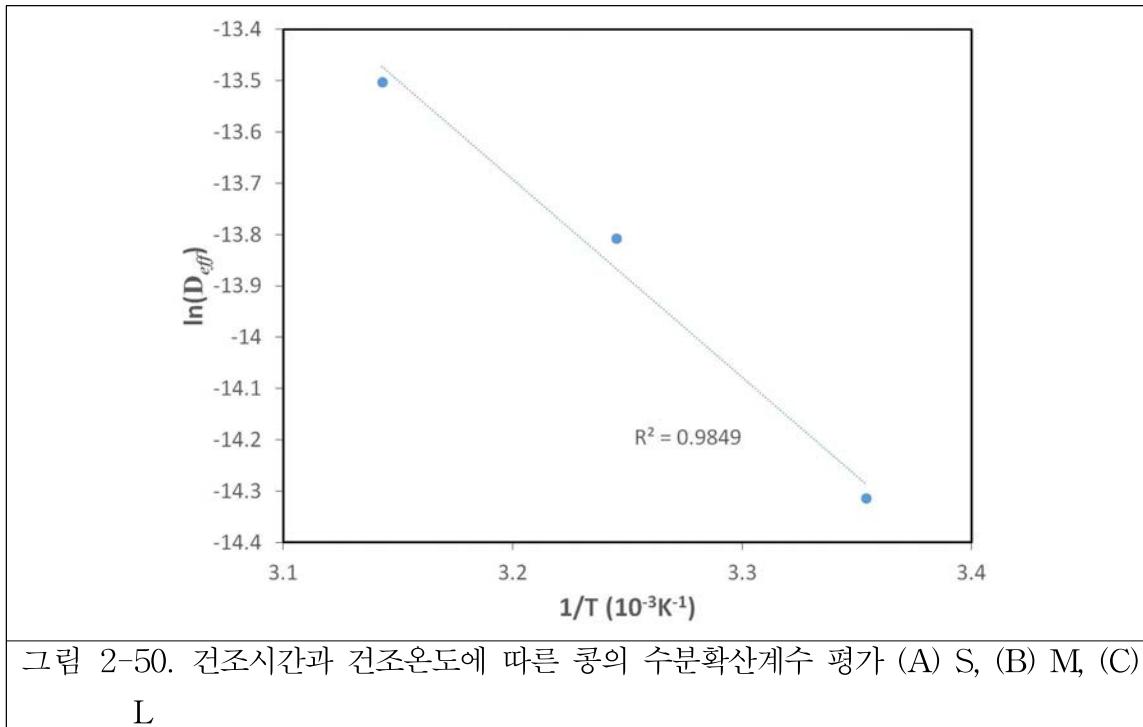
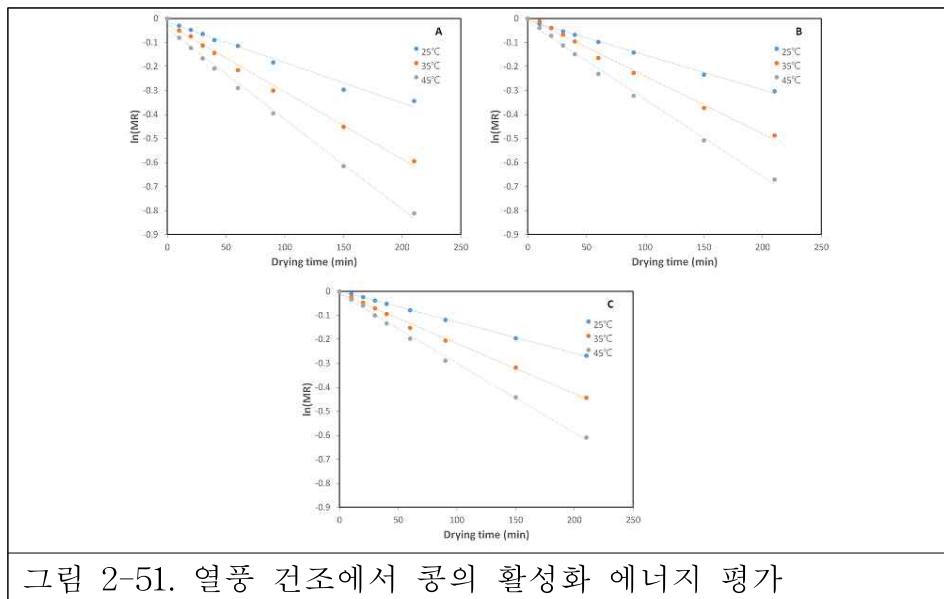


그림 2-49. 건조시간과 건조온도에 따른 콩의 건조속도 변화 (A) S, (B) M, (C) L

S, M, L군 모두 온도가 증가할수록 콩의 건조속도 차이가 명확한 것을 알 수 있다. S군에서 45°C 건조와 25°C건조의 최대 건조 속도는 각각 0.196 g.water/g.solid min과 0.077 g.water/g.solid min을 나타내었다. 건조시간이 증가함에 따라 건조온도별 건조속도차이가 작아지는 경향을 나타냄. 이는 건조 초기에 건조속도차이에 의해 수분함량의 차이가 발생하고 건조 후반부로 갈수록 빠른 건조가 이루어진 45°C 건조에서의 콩 표면과 내부의 수분 구배가 적어져 건조속도가 느려지기 때문으로 판단된다.



콩의 수분확산계수를 평가하기 위해 $\ln(MR)$ 값이 가장 선형적인 구간을 확인하여 Fick's second law를 이용하여 건조 중 콩의 수분확산 계수를 평가하였다. S, M, L군 모두에서 온도가 증가할수록 수분확산계수가 증가하는 것을 나타내어 건조 온도가 증가할수록 건조 속도가 더 빠르다는 것을 확인할 수 있었다. 수분확산계수는 S, M, L군에서 각각 $5.66 \sim 12.65 \times 10^7 \text{ m}^2/\text{s}$, $6.18 \sim 1.41 \times 10^7 \text{ m}^2/\text{s}$, $6.39 \sim 1.43 \times 10^7 \text{ m}^2/\text{s}$ 의 범위를 나타내었다.



콩의 무게별 수분확산계수의 평균값을 이용하여 열풍 건조를 적용한 콩의 활성화 에너지를 평가하였음. 활성화 에너지는 반응을 위한 최소한의 에너지를 뜻하며 값이 작다는 것은

더 작은 에너지로 콩 내의 수분 이동이 가능하다는 것을 뜻함. 열풍 건조가 적용된 콩의 활성화 에너지는 32.07kJ/mol의 값을 나타내었다.

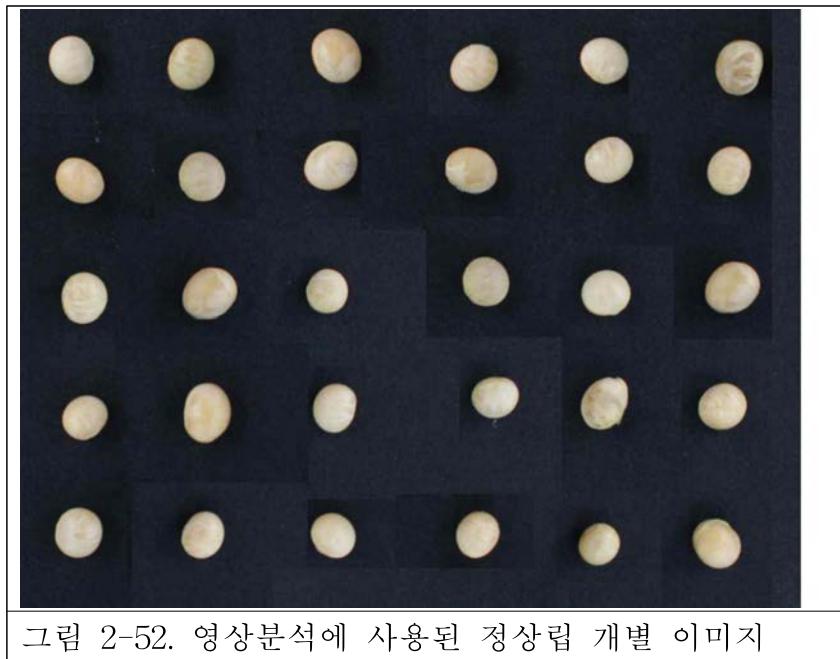
표 2-4. 건조 온도 및 콩의 무게별 각 건조 모델의 적용 결과

Model name	Temperature(° C)	Weight	R ²	a	b	k	n
Newton	25	S	0.9084			0.00125	
		M	0.9258			0.00108	
		L	0.9244			0.00092	
	35	S	0.915			0.00237	
		M	0.9413			0.00195	
		L	0.9387			0.00168	
	45	S	0.9399			0.00349	
		M	0.9684			0.00285	
		L	0.9761			0.00257	
Page	25	S	0.9865			0.00940	0.6739
		M	0.9869			0.00688	0.7063
		L	0.9826			0.00567	0.7168
	35	S	0.9808			0.01409	0.6828
		M	0.9775			0.00813	0.7523
		L	0.9862			0.00816	0.7308
	45	S	0.9937			0.01595	0.7162
		M	0.9939			0.00899	0.7907
		L	0.9951			0.00719	0.8147
Henderson and Pabis	25	S	0.9364	0.9416		0.00106	
		M	0.9462	0.9533		0.00095	
		L	0.9406	0.9616		0.00082	
	35	S	0.9376	0.9388		0.00204	
		M	0.9481	0.9679		0.00181	
		L	0.9534	0.9582		0.00151	
	45	S	0.9669	0.9313		0.00302	
		M	0.9779	0.962		0.00263	
		L	0.9830	0.9693		0.00241	
Midilli-Kucuk equation	25	S	0.9990	1.004	0.0001247	0.00452	0.8372
		M	0.9998	1.001	0.0001372	0.00281	0.8996
		L	0.9996	1.007	0.0001574	0.00227	0.9232
	35	S	0.9996	1.003	0.0002070	0.00677	0.8596
		M	0.9991	1.014	0.0002223	0.00401	0.9312
		L	0.9994	1.005	0.0002009	0.00410	0.8985
	45	S	0.9995	0.9929	0.0002983	0.00851	0.8782
		M	0.9997	1.005	0.0003088	0.00550	0.9319
		L	0.9998	1.003	0.0003404	0.00434	0.9550

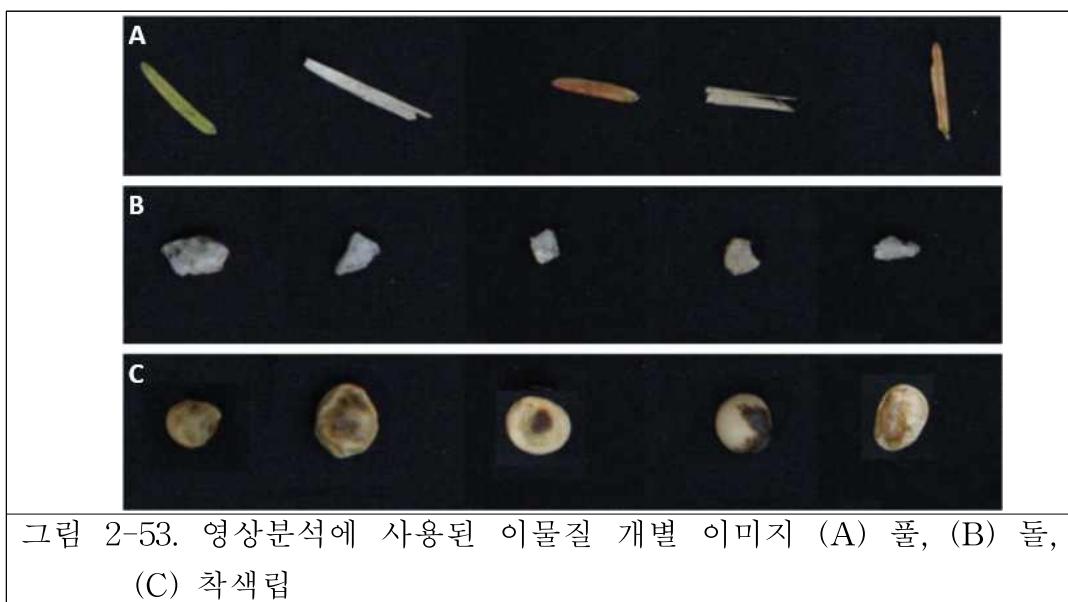
콩의 건조에 대해서 4가지 건조모델을 적용한 결과, Page와 Midilli-Kucuk equation에서 높은 값의 R²값을 나타내는 것이 확인되었다. Page 모델에서 같은 건조온도에서는 콩의 무게가 클수록 상수 k의 값이 커지는 경향을 나타냈으며 이는 건조속도가 느려짐을 의미함. 또한 같은 콩의 무게에서 건조온도가 높을수록 k의 값이 감소하는 것 역시 확인할 수 있었다.

Midilli-Kucuk equation 모델에서도 마찬가지로 콩의 무게가 작아짐과 함께 상수 k 의 값이 작아지고 건조온도역시 감소할수록 k 의 값이 감소하는 것을 나타내어 콩의 무게가 작고 건조온도가 높을수록 건조속도가 빨라지는 것을 모델을 통해 확인할 수 있었다.

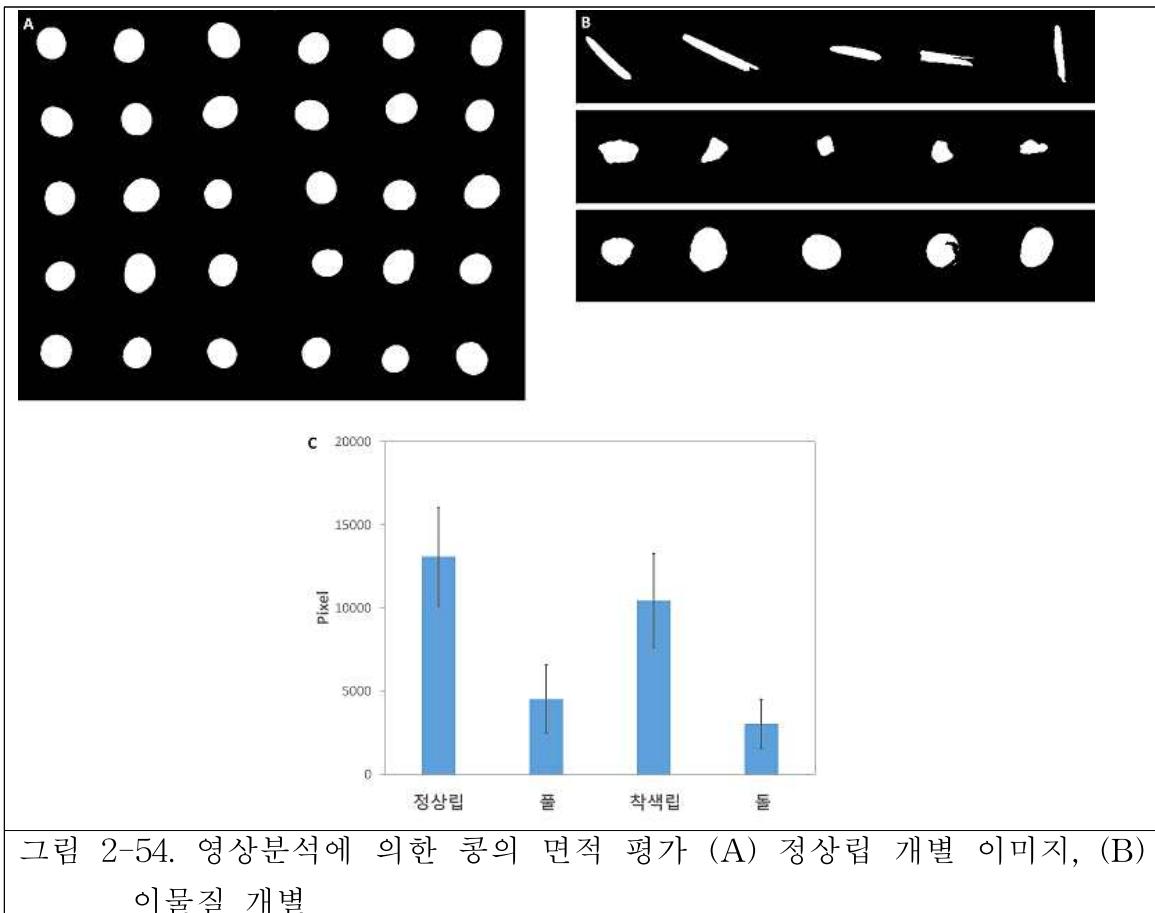
2. 자동화 영상 분석 장치를 통한 콩의 영상분석 시스템 개발



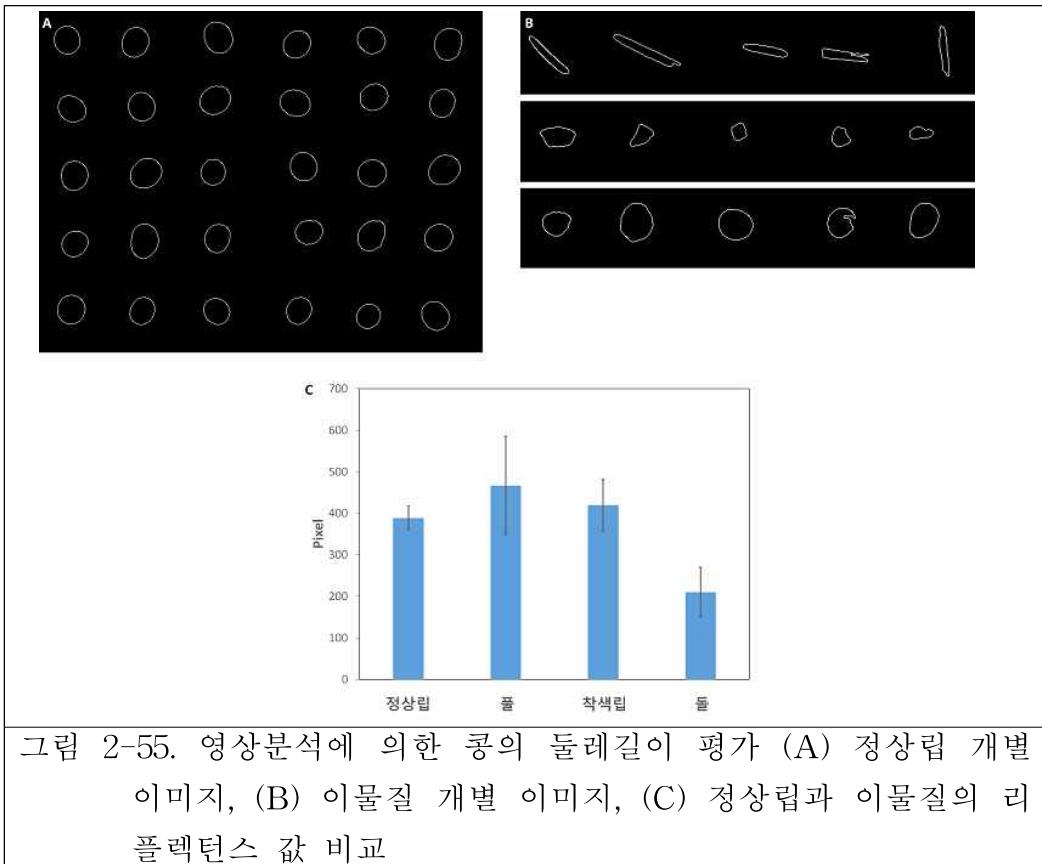
자동화 영상 분석 장치를 이용하여 콩의 이미지를 획득한 뒤, 분할된 이미지에서 30개의 정상립으로부터 크기, 둘레길이, 리플렉턴스, 구형도 등의 외형적 특성에 대한 영상 분석을 진행하였다.



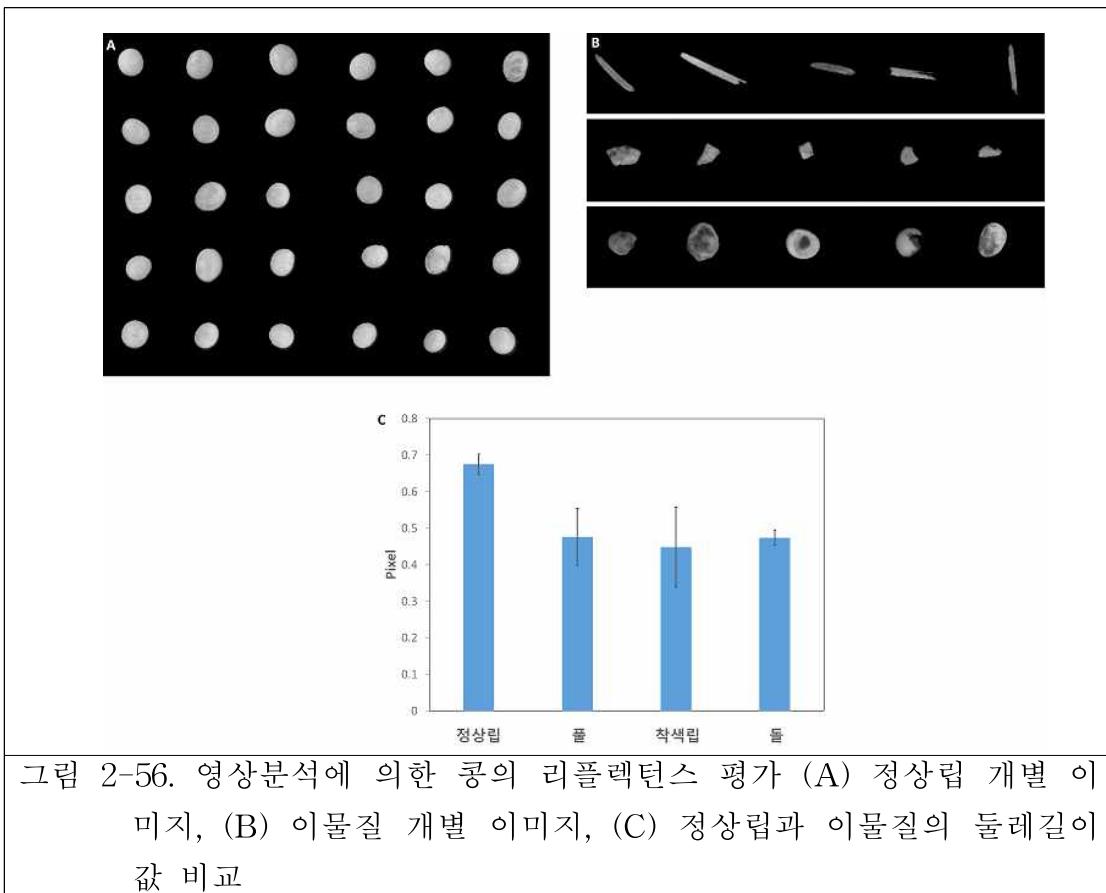
정상립의 평균 면적과 옆지길이는 각각 13092.95, 388.71 pixel의 값을 나타내었으며 리플렉턴스는 0.68, 구형도는 0.86의 값을 확인하였음. 다음과 같은 평균값과 각 판단인자들의 오차범위를 확인하여 정상립의 외형적 판단인자들의 규격을 확립하였다. 콩 수확 후 처리 시 함께 혼입될 수 있는 풀과 돌등의 이물질과 착색립등의 불량립에 대한 외형적 특성을 분석하여 정상립으로부터 구분할 수 있는 판단인자에 대해 확인하였다.



정상립에서 콩의 형태를 분리하기 위해 필요한 최소 리플렉턴스 값을 기준으로 하여 영상분석을 사용하여 개별 이미지 영역의 픽셀을 계산하여 정상립과 이물질의 넓이를 측정하였다. 풀과 돌의 경우 크기에서 매우 차이가 나기 때문에 면적값에서 정상립과 유의적 차이를 보이는 것을 확인할 수 있었다. 착색립은 대부분 곰팡이에 의해 일어나거나 과건조에 의해서 발생되므로 수분함량감소등에 의해 전체적으로 평균면적은 정상립보다 낮은 경향을 나타냈지만, 유의적 차이를 보이는 수준은 아닌 것을 확인하였다.



정상립과 이물질의 면적값 추출에 따라서 분리된 형상 이미지에서 관심영역추출기법을 이용해서 배경과 형상을 분리한 후 윤곽선 추출 기법을 사용하여 정상립과 이물질의 둘레길이 값을 평가하였다. 돌의 경우 면적 값에서와 같이 크기가 정상립에 비해서 작기 때문에 둘레길이에서도 면적값에서와 같이 정상립보다 낮은 값을 나타냈으며, 착색립 또한 유의적 차이를 보이지 않았다. 면적이 정상립보다 작았던 풀은 둘레길이 값에서 유의적 차이를 나타내지 않았으며 평균값은 정상립보다 높은 값을 나타냄. 이는 돌과 착색립등의 구형에 가까운 이물질과는 달리 풀은 구형과는 거리가 멀기 때문에 면적당 둘레길이가 매우 높기 때문이다.



정상립과 이물질의 면적값 추출에 따라서 분리된 형상 이미지로부터 배경부분 굀셀들의 위치값을 확인하여, 흑백이미지에서 배경을 분리하여 리플렉턴스 값을 확인할 수 있다. 이를 이용하여 정상립보다 리플렉턴스 값이 높거나 낮은 값을 갖는 이물질을 판별할 수 있다.

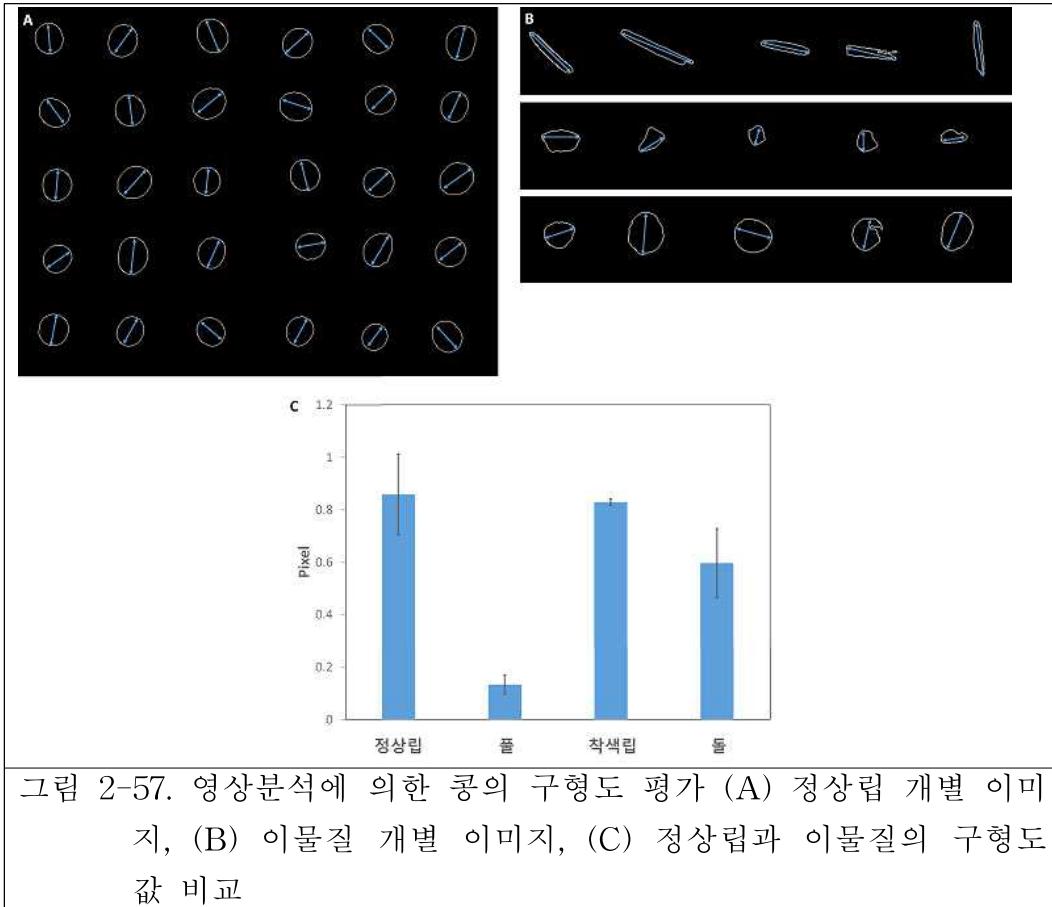


그림 2-57. 영상분석에 의한 콩의 구형도 평가 (A) 정상립 개별 이미지, (B) 이물질 개별 이미지, (C) 정상립과 이물질의 구형도 값 비교

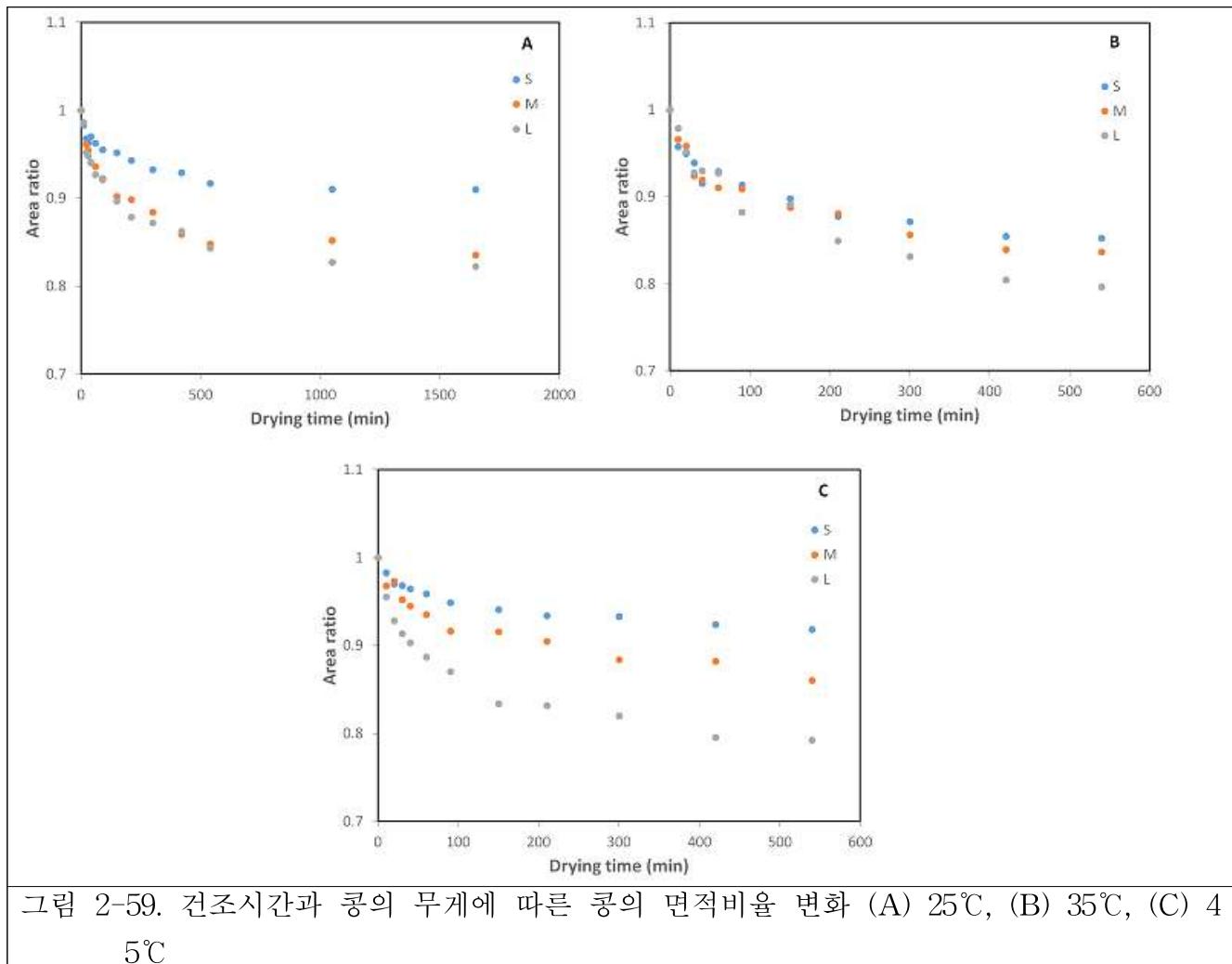
리플렉턴스 값에서 풀, 볼, 착색립 모두 정상립과의 유의적 차가 있음을 나타내었다. 이는 풀과 볼이 콩보다 어두운 픽셀값을 나타내며 착색립 역시 곰팡이나 과건조에 의해 정상립의 색보다 어두워졌기 때문이다.

$$HSC = \frac{4\pi \text{ area}}{\text{perimeter}^2}$$

where the area is the number of pixels in the particle image for each particle size, the perimeter is the circumference of a circle with diameter of the longest distance of pixels.

그림 2-58. 영상분석에 의한 구형도 판별법

윤곽선을 추출한 이미지로부터 픽셀간의 거리를 계산하여 확인한 최장축과 해당하는 이미지의 면적값으로부터 구형도를 확인할 수 있다. 이를 이용하여 콩과 같이 구형을 나타내지 않는 이물질을 판별할 수 있다. 착색립의 경우, 곰팡이나 과건조에 의해 콩의 색은 변하였지만 형상자체의 변화는 크지 않으므로 구형도 값은 정상립과 매우 유사한 값을 나타내었다. 볼은 둘레길이에서는 정상립과 유의적 차이를 보였으나 구형도를 분석하였을 경우 정상립으로부터 영상분석에 의해 구별이 불가능한 것을 확인하였다. 풀은 둘레길이에서의 결과와 같이 매우 가느다란 형태이기 때문에 최장축은 콩보다 길면서도 면적은 콩보다 작기 때문이다.



결국, 정상립으로부터 풀의 판별인자는 면적, 리플렉턴스, 구형도이며 착색립의 판별인자는 리플렉턴스이고 돌의 판별인자는 면적, 둘레길이, 리플렉턴스인 것으로 나타남. 이를 이용하여 각 판별인자 중 어느 하나라도 만족하지 못하는 형상을 이물질로 판단하여 정상립으로부터 분별해낼 수 있다. 콩의 건조 시 별도의 접촉 없이 수분함량 및 건조시간을 예측하기 위하여 열풍건조기 내에서 콩의 건조 중 외형적 특성의 변화를 확인하기 위해 건조 실험과 함께 영상분석을 진행하였다. S, M, L군의 영상분석에 의한 초기 면적은 각각 10543.4, 13947.7, 17009.5 pixel로 측정되었으므로 콩의 무게에 따른 면적 변화를 확인하기 위해 초기면적을 이용하여서 건조시간에 따른 면적비율을 확인하였다. 건조 중 면적비율의 변화는 수분함량변화와 유사한 곡선을 나타내는 것을 확인하였다. 25°C, 35°C 건조에서는 건조시간에 따른 면적비율변화에서 콩의 무게에 의한 차이를 확인하기 어려웠으나 45°C 건조에서는 콩의 무게별 면적비율의 감소의 차이가 확연히 나타났음을 알 수 있다.

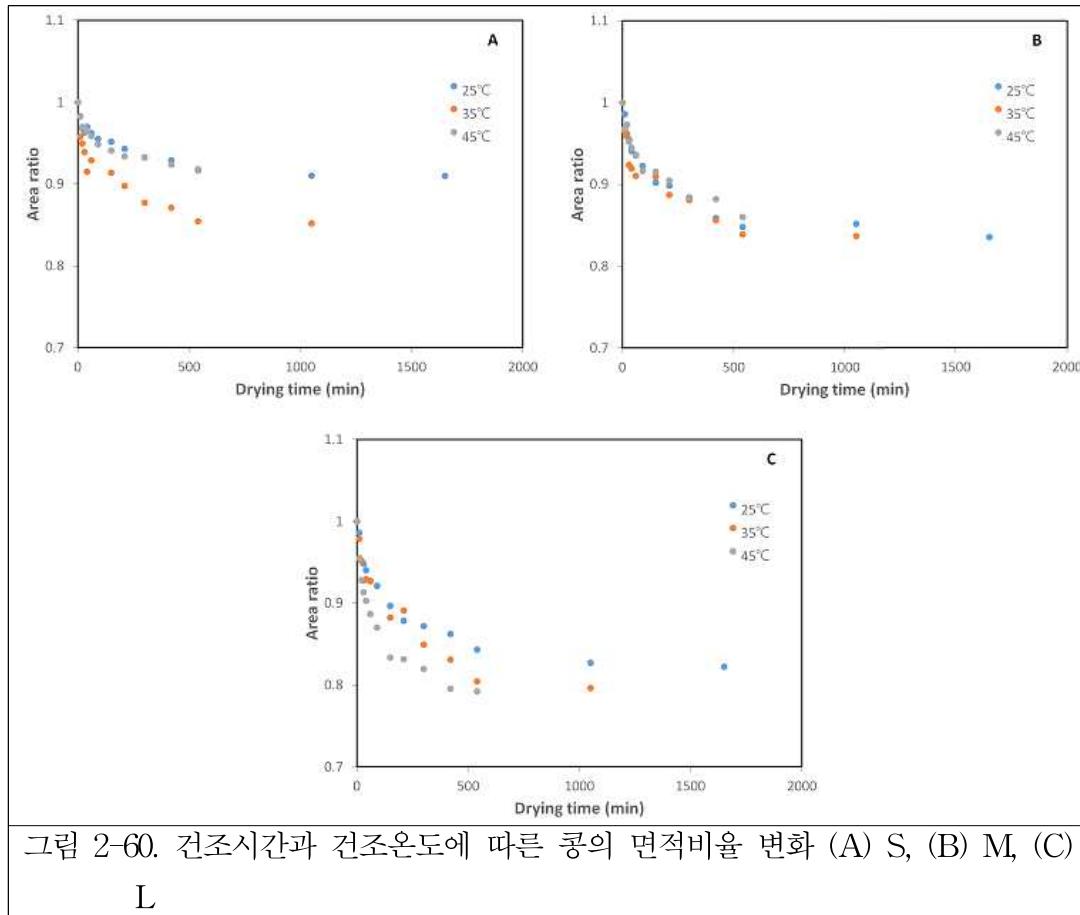


그림 2-60. 건조시간과 건조온도에 따른 콩의 면적비율 변화 (A) S, (B) M, (C) L

같은 건조무게 군에서 건조 온도별 건조시간에 따른 면적비율의 변화를 확인하였고, 수분함량의 경향과는 달리, S군에서 45°C 건조의 콩의 면적비율은 25°C 건조 시와 거의 유사하였으며, 콩의 무게가 커질수록 수분함량에서와 유사한 패턴을 보이는 것을 확인하였다. 이는 빠른 건조에 의해 콩 내부의 수분이 표면으로 확산되기 전에 건조가 이루어져 수축이 제대로 이루어지지 않았기 때문으로 판단되고, 이는 45°C 또는 그 이상의 건조온도에서의 건조는 빠른 건조속도에 의해 영상분석을 이용한 면적비율변화로는 확인하기 어려울 것이라는 것을 의미하나, 두류 등 콩과 같이 건조속도를 일정 이하로 유지해 주어야 하는 식품에서 영상분석을 이용한 건조의 예측 가능성을 확인하였다.

3. 콩의 열풍건조 시 건조기 내부의 온도 및 풍속구배를 예측하기 위한 시뮬레이션 모델 개발

CFD 시뮬레이션 모델의 검증을 위해, 크기가 작아 센서의 설치가 어려운 콩을 대신해 두께가 다른 감자 슬라이스를 이용하여 온도분포를 관찰하였다. 감자 슬라이스의 두께를 3가지로 조절하여 제작하였으며 모든 조건은 콩의 시뮬레이션과 동일하게 유지하였다.

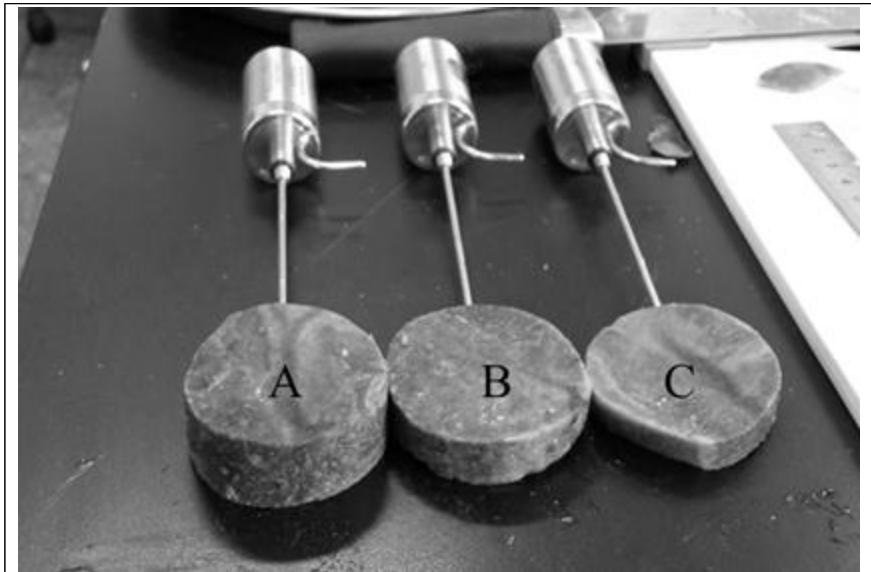


그림 2-61. 감자 슬라이스, 두께 A: 20 mm; B: 15 mm; C: 10 mm

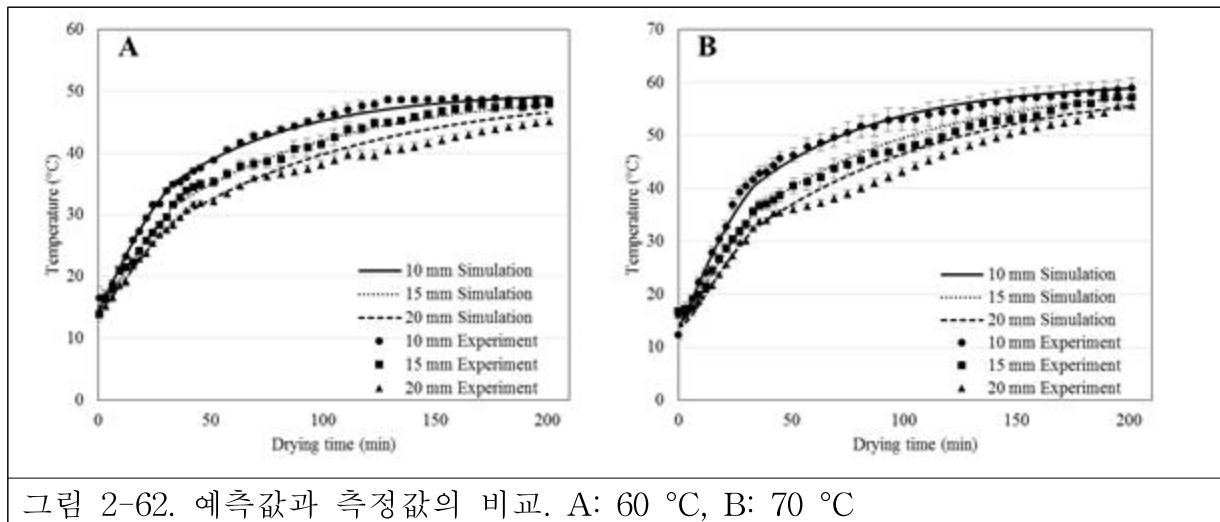
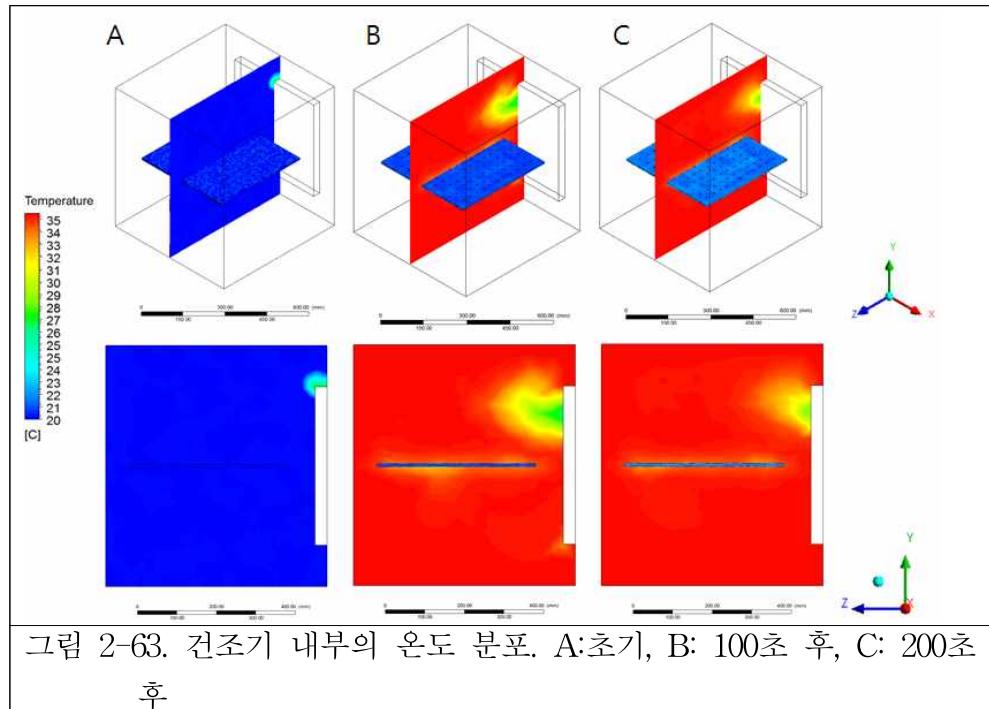


그림 2-62. 예측값과 측정값의 비교. A: 60 °C, B: 70 °C

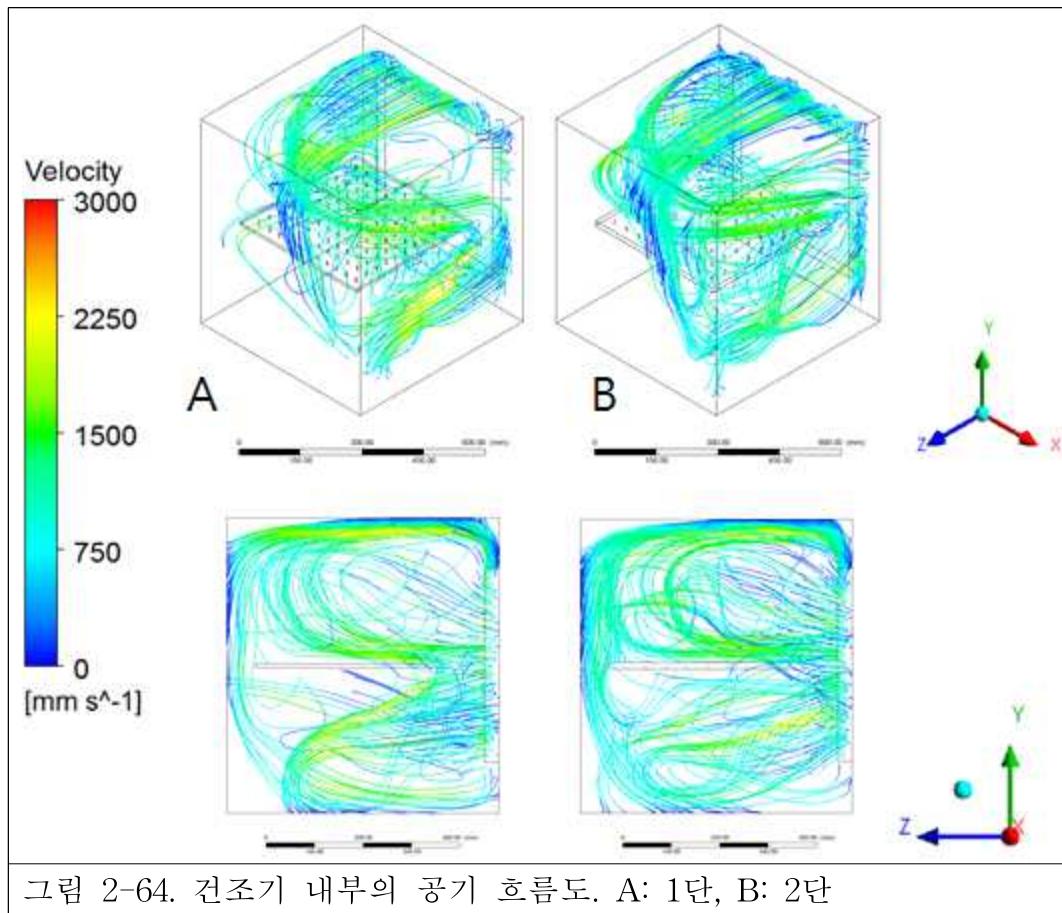
예측값과 측정값의 비교 결과에 따르면 CFD 시뮬레이션을 통해 예측한 온도 분포값이 실제 측정값과 합리적으로 일치하는 것으로 나타난다. 따라서 기 개발한 시뮬레이션 모델을 통해 건조기 내부의 온도 및 풍속 분포를 예측하고 시간에 따른 콩의 온도 분포 데이터를 수집하는 것은 건조기 설계를 위한 기초자료로 활용될 수 있음을 확인하였다. 한편 두께가 두꺼울수록 온도의 상승 정도가 더디고 비교적 큰 온도 차이를 보였는데 이것은 건조기 내에 콩의 두께, 즉 쌓는 정도를 조절하는 것의 중요성을 시사한다.

콩의 열풍 건조 시 가장 문제시 되는 점은 건조기 내 위치에 따른 비 균일한 건조와 너무 빠른 건조에 의한 콩의 갈라짐 현상임. 이것은 건조기 내의 공기의 유동, 즉 기류와 풍속 및 온도 분포의 차이에 의한 것일 수 있다.



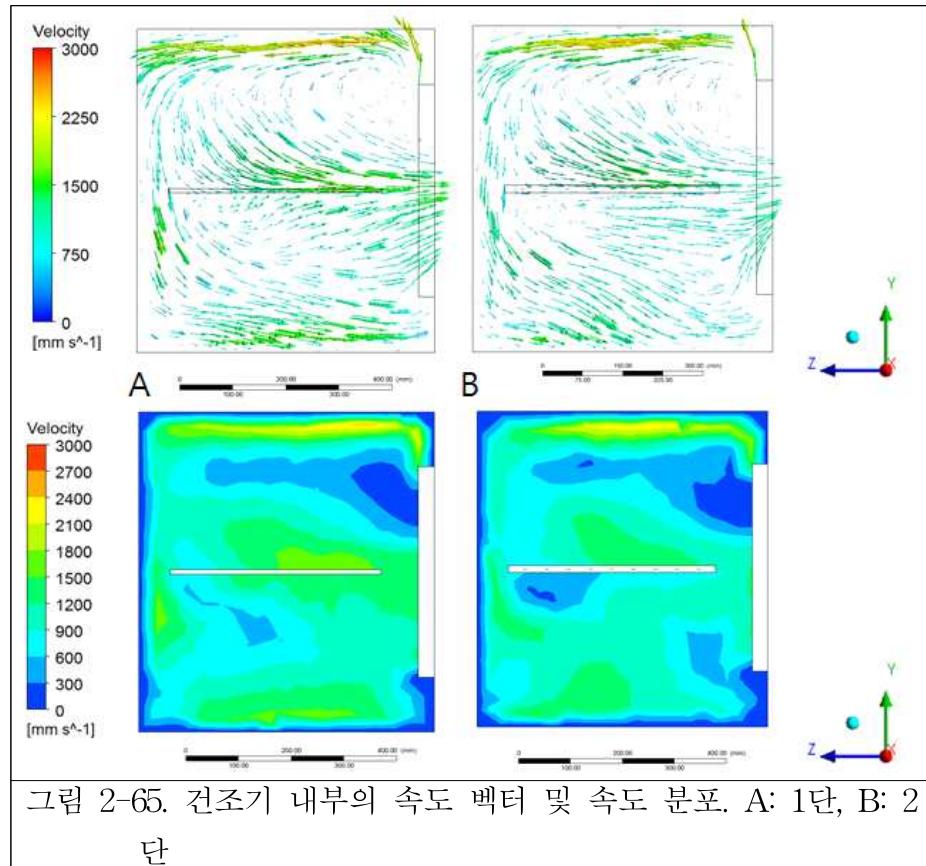
위의 결과에 따르면 건조기 내부의 온도는 피 건조물의 두께에 상관없이 공정의 시작 단계부터 전체적으로 열풍의 온도에 도달하였으며 비교적 균일하게 분포되었다. 이러한 결과는 건조기 내부에서 콩의 건조 속도가 차이가 나는 이유가 온도 분포 차이에 의한 것이 아니라 기류 또는 풍속의 차이 때문이라는 것을 시사한다.

건조기 내부에서의 공기 흐름을 나타내는 스트림라인은 다음과 같이 나타났다



출구의 3면에서 나오는 바람은 건조기 벽면을 만나 방향이 변경되면서 다양한 풍속과 방향을 가진 기류를 생성하였으며, 건조기 중심에 위치한 콩에 의해 흐름이 차단되어 건조기의 상하부로 나뉘어져 와류하는 흐름으로 발전하였다. 많은 양의 콩을 건조하기 위해 다층으로 쌓을 경우 콩 사이의 공극이 최소화되어 바람의 흐름이 더욱 차단되고 상하로의 공기 순환이 제한을 받을 것으로 예상되었으나, 양옆으로 순환하는 공기의 흐름이 존재하기 때문에 건조기 내 공기의 흐름은 크게 차이가 나지 않았다. 하지만 콩의 사이로 흐르는 바람은 여전히 제한되어지기 때문에 쌓여져 있는 콩의 경우 내부에 위치한 콩의 건조 속도가 크게 감소할 것으로 예상될 수 있다.

건조기 내부에서의 속도 벡터 및 속도 분포는 다음과 같이 나타났다.



건조기 내부의 속도 벡터 결과에서 1단으로 놓여 있는 콩일 경우 콩 사이의 간격을 통해 공기의 흐름이 비교적 많이 발생한 것으로 나타난 반면, 2단으로 쌓은 콩을 건조하는 경우에는 콩 사이 간격이 감소하여 공기의 흐름이 크게 차단된 것으로 나타났다. 이때 공기는 콩의 최상층과 최하층 부분을 따라 흐르면서 출구로 빠져나갔는데, 이것은 표면이 노출된 부위에서 과한 건조가 일어나고 내부 부위에서는 부족한 건조가 일어날 수 있음을 시사한다. YZ단면에 대한 기류 분포를 나타내는 윤곽선 그래프를 통해 1단으로 쌓은 콩일 때에 비해 2단으로 쌓은 콩일 경우 속도 편차가 더 크게 나타났음을 확인할 수 있다. 열풍이 나오는 곳에서 가장 멀고 콩의 하단부인 지점에서 속도가 가장 낮았고 콩의 상단부에서 출구 쪽으로 바람이 빠져나가는 지점에서 속도가 높은 것으로 나타난다.

건조 시간동안 임의의 지점에서 콩의 온도 변화 양상은 다음과 같이 나타난다.

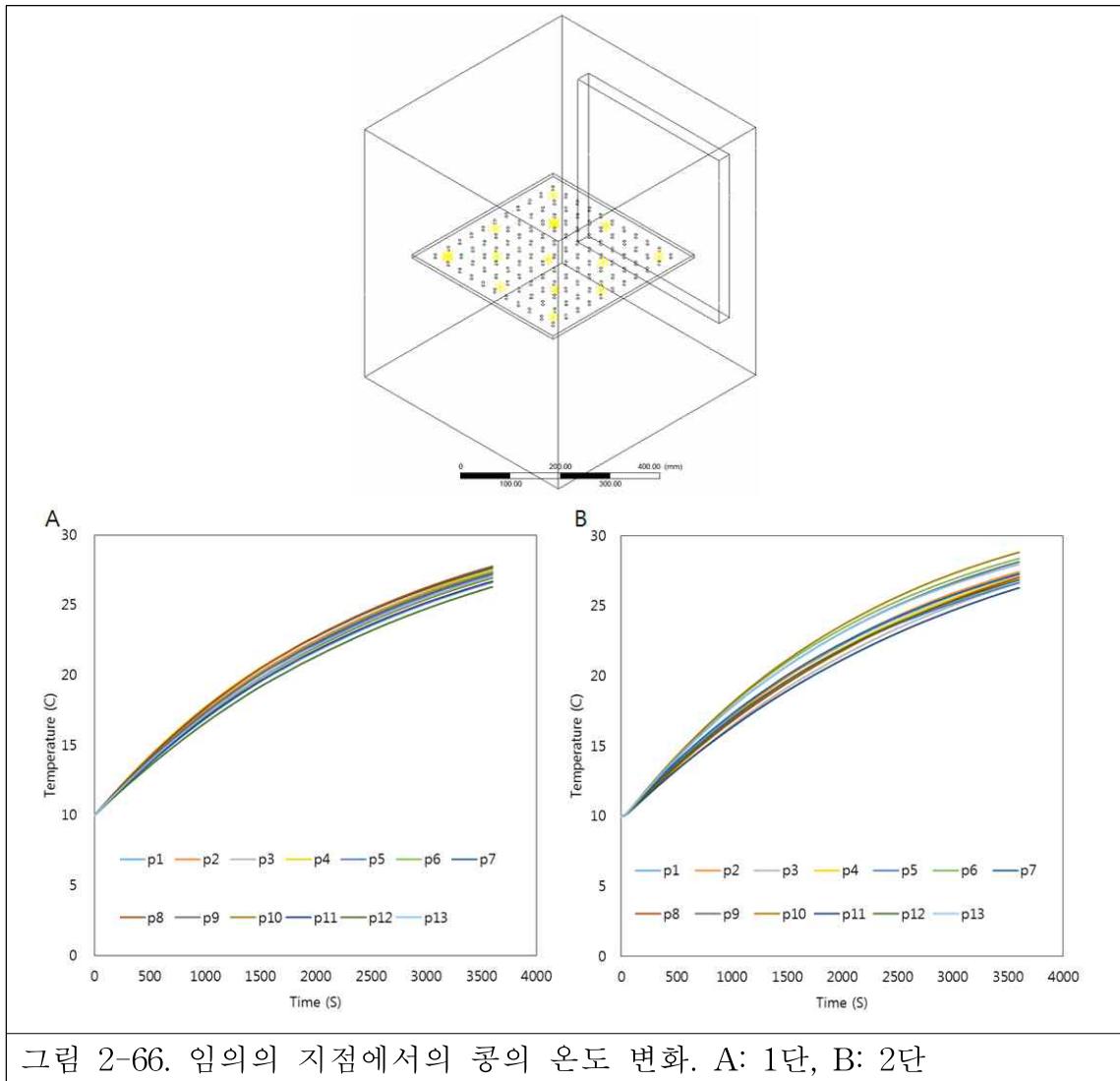
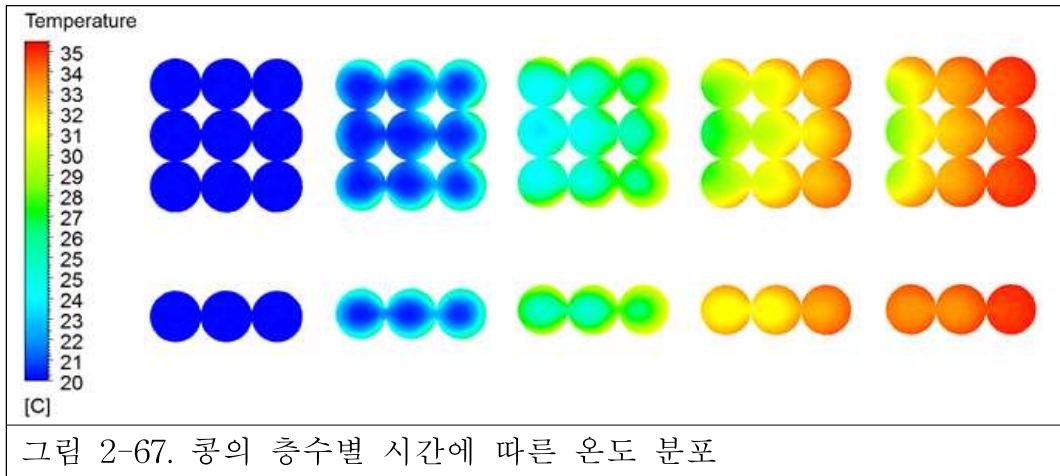


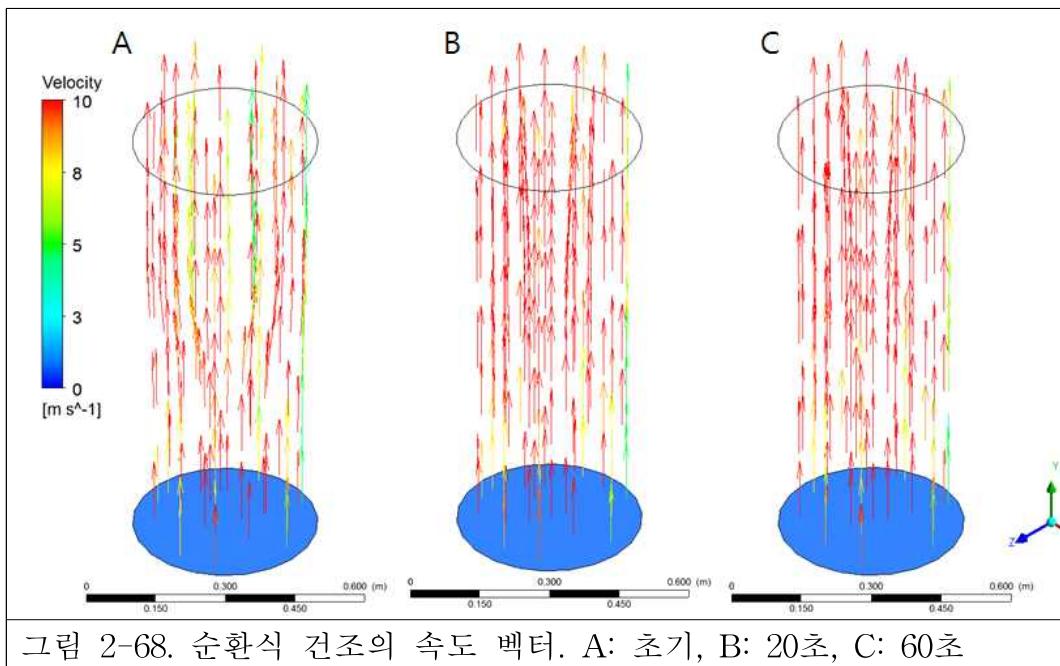
그림 2-66. 임의의 지점에서의 콩의 온도 변화. A: 1단, B: 2단

건조 동안 임의로 지정한 13개의 위치에서 콩의 온도 변화는 위치에 따라 차이가 있는 것으로 나타난다. 특히 1단으로 쌓았을 때보다 2단으로 쌓았을 때 온도의 차이는 더 크게 나타났는데, 가장 높은 온도를 보이는 구간은 풍속의 세기가 큰 콩의 상단부였고, 낮은 온도를 보이는 구간은 풍속의 세기가 가장 작았던 열풍 출구에서 면 쪽이면서 콩의 하단부인 지점이었다. 이와 같이 온도의 편차는 풍속에 직접적으로 영향을 받았으며 기류의 흐름이 제한된 구역에서 주로 낮은 온도 분포를 보인다. 콩의 층수에 따른 차이를 확인하기 위해 1단 및 3단으로 쌓았을 때의 온도 분포 양상을 예측하였다.



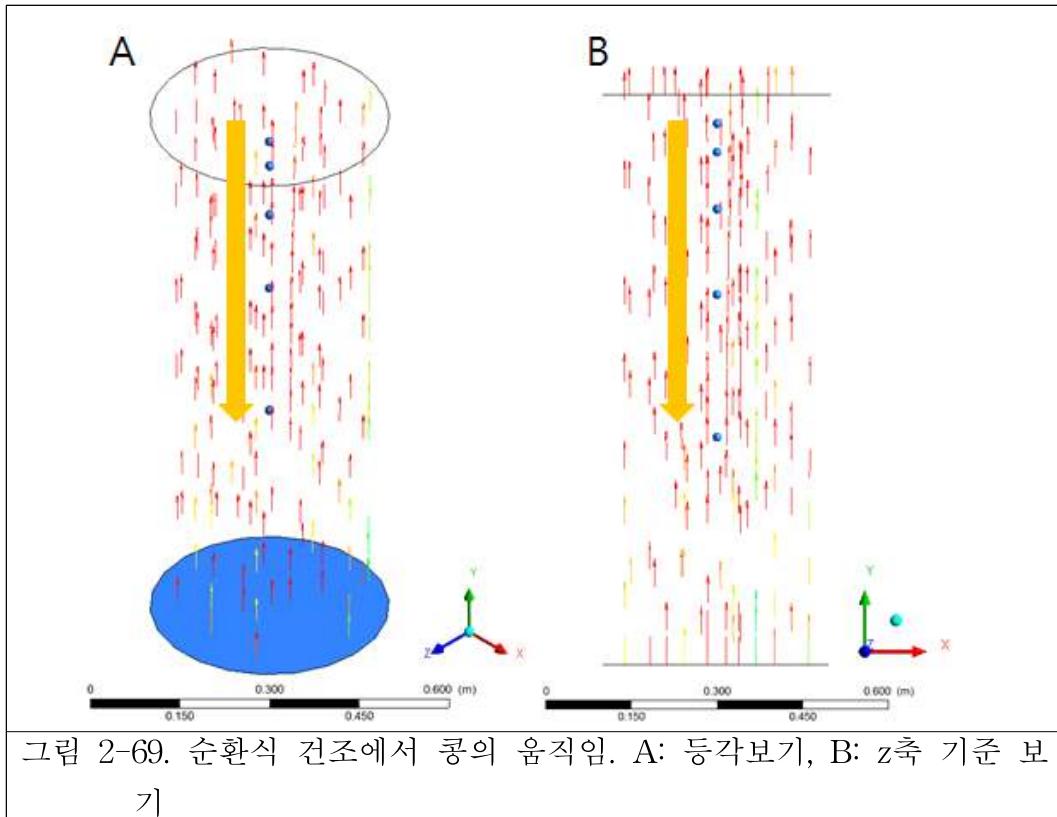
콩이 쌓아진 정도가 커질수록 콩의 온도는 더디게 상승하는 것으로 나타남. 이것은 외부 기류에 직접적으로 노출된 지점에의 온도 상승이 빠르고, 다른 콩에 의해 열풍의 흐름이 차단된 내부의 콩은 온도가 더디게 상승함으로써 건조 속도가 차이가 날 수 있음을 시사한다.

순환식 건조기는 평면식에 비해 능률적인 건조기로써 콩과 같은 작물이 건조기 내에서 떨어지는 동안 하부의 열풍이 작물층을 수평방향으로 통과하면서 건조가 이루어진다. 건조 성능에 영향을 미치는 주요 인자는 송풍시간, 송풍량, 송풍온도, 곡물의 두께, 곡물 순환속도, 곡물 투입량, 초기 함수율 등이 있음. 순환식 건조기 개발의 가능성을 탐구하기 위해 기수행한 시뮬레이션 모델을 적용하여 순환식 건조 시 기류 분포, 풍속, 콩의 온도 분포를 살펴보았다.

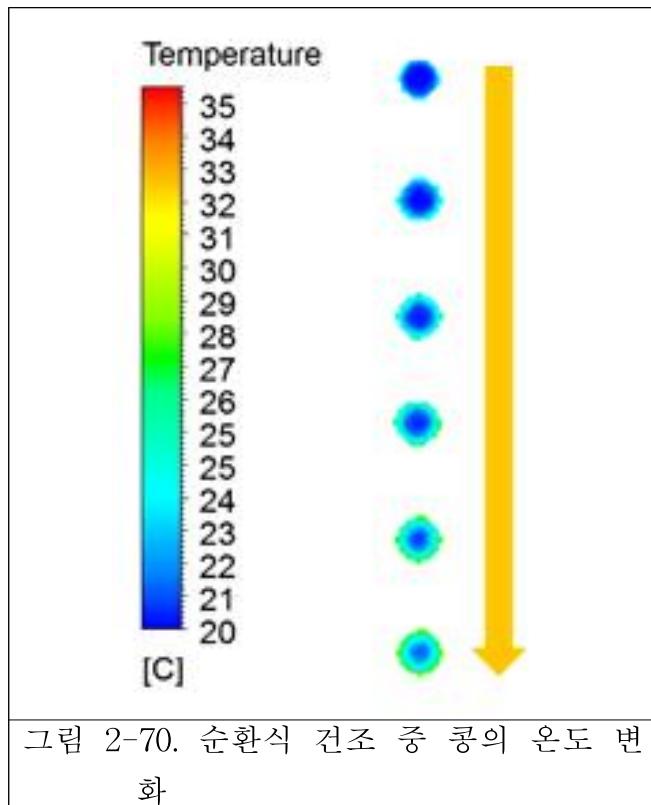


하부에서 수직방향으로 송풍되는 바람의 온도와 세기는 각각 35 °C와 10 m/s로 설정하였다. 바람의 세기는 공정 초기부터 건조기 내 전반에 걸쳐 균일하게 분포되었다. 반면 건조

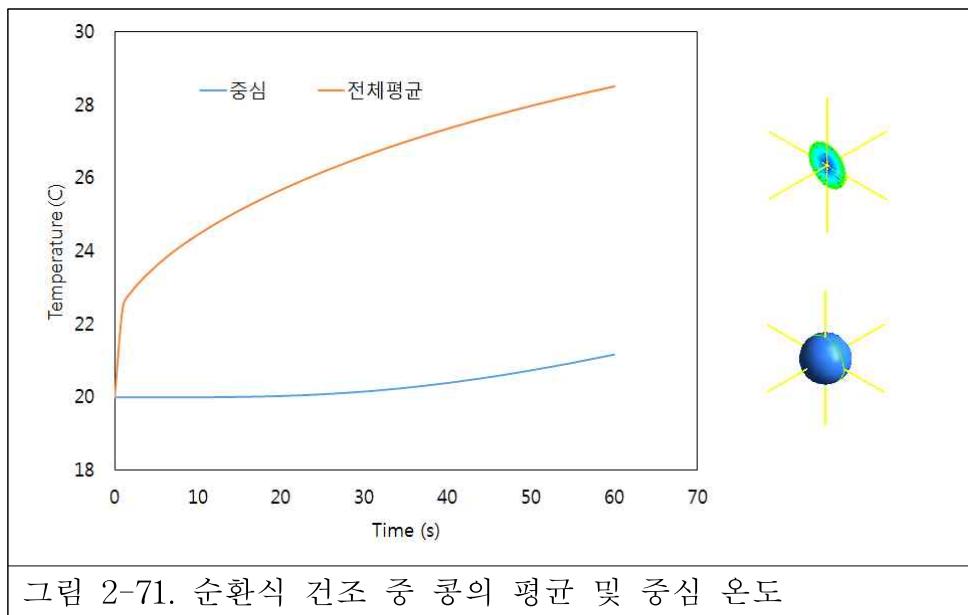
기 벽면부분에서의 흐름 저항으로 인해 속도가 다소 감소하는 것으로 나타났다.



순환식 건조에서 중력의 힘으로 떨어지는 콩은 하부 방향에서 불어오는 바람의 저항을 받아 천천히 떨어지게 되고 더 오랜 시간 건조기 내에 채류하게 된다. 결국 순환식 건조기의 길이와 바람의 세기는 건조기 내에서 콩의 채류시간을 결정하는 가장 큰 변수가 되는데, 이 두 가지는 설비비용 및 에너지 소모비용의 관점에서 자유롭게 변경하기 힘든 변수이다. 따라서 CFD 시뮬레이션을 통한 예측은 기기 디자인뿐만 아니라 공정 조건 설정에 중요한 기초 데이터를 활용될 수 있다.



순환식 건조 중 하강하는 콩의 온도는 콩의 표면부터 중심으로 이동하는데 바람의 세기 및 채류 시간에 직접적으로 영향을 받는다. CFD 시뮬레이션을 통해 예측된 콩의 온도 분포 결과는 적절한 채류 시간을 계산하는데 필수적인 데이터로 활용될 수 있음. 또한 추가적인 계산 및 예비 실험을 통해 콩의 투입량에 따른 공기 흐름의 제한 및 채류 시간과의 상관관계를 도출한다면 최적의 건조 조건을 찾을 수 있을 것으로 기대된다.



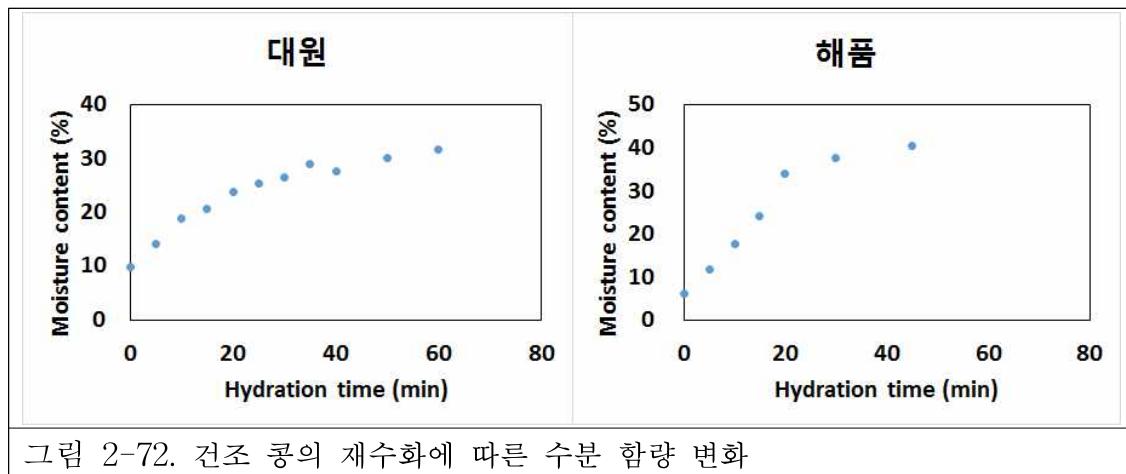
순환식 건조기 내에서 하강하는 콩은 하부에서 발생하는 바람의 저항을 받게 되고 채류 시간 및 바람의 세기에 따라 건조 속도가 결정된다. 콩 한 개의 전체 평균 온도와 중심 온도의 분포 그래프 결과는 내부, 외부의 건조 속도가 차이가 있을 수 있음을 나타냄. 외부에서의 급격한 온도 상승은 표면 경화 및 표면 갈라짐을 야기할 수 있고 이것은 콩의 품질에 직접적인 악영향을 미친다. 순환식 건조 동안 콩의 온도 분포를 예측하는 것은 공정 조건을 수정하는 것에 도움은 준다. 순환식 건조의 특성상 내-외부에서 큰 온도차이가 있는 것으로 나타날 때 곡물 투입량과 송풍 온도, 송풍 세기를 조절하거나 템퍼링 과정, 즉 콩의 내-외부의 수분차이를 완화시켜주는 과정을 길게 가져가는 조작을 수행함으로써 공정을 개선할 수 있다.

CFD 시뮬레이션을 통해 건조 공정의 온도 및 속도 분포를 예측하는 것은 실험의 한계를 극복하고 공정 조건 설정 및 건조기 설계에 필요한 정보를 제공할 수 있기 때문에 기 개발된 시뮬레이션 모델은 추후 진행될 건조 실험 및 건조기 설계에 직접적으로 활용될 수 있을 것으로 기대할 수 있다.

4. 수확후 원물 콩 연구를 위한 건조 선행 연구

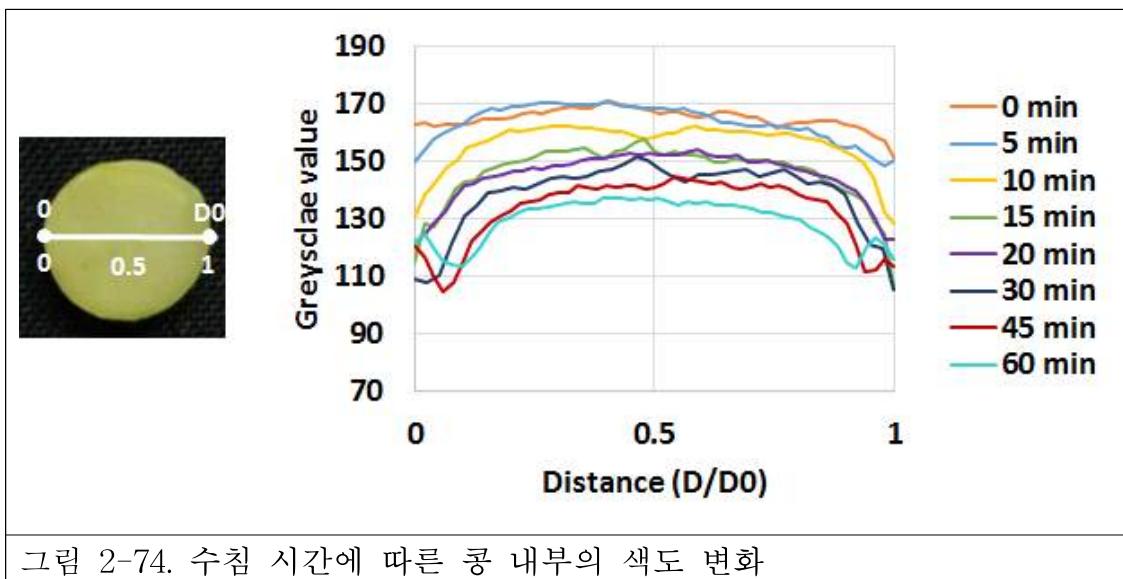
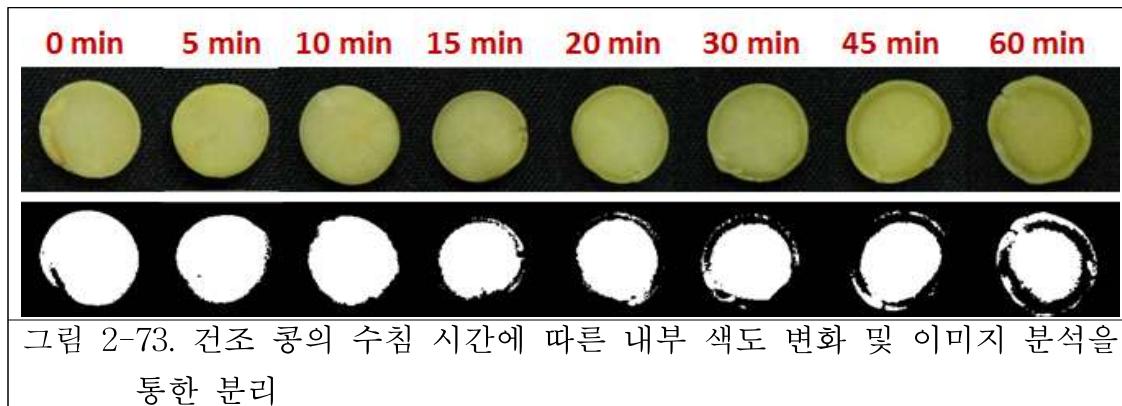
가. 원물 콩 대체 재수화 건조콩 준비 조건

1) 수침 조건



건조 콩의 재수화 후 수분 함량의 측정 결과, 수침 약 10 min에 목표 수분함량인 20%에 도달함을 확인하였다.

2) 재수화 콩 내부의 수분 구배



면적의 구분 시 수분에 의하여 변화한 색도값을 확인한 후 이미지를 분리한다. 수침 시간이 증가할수록 전체적인 색도가 감소하며 외부로부터 유입되는 수분이 중심부로 이동하는 것을 확인하였다.

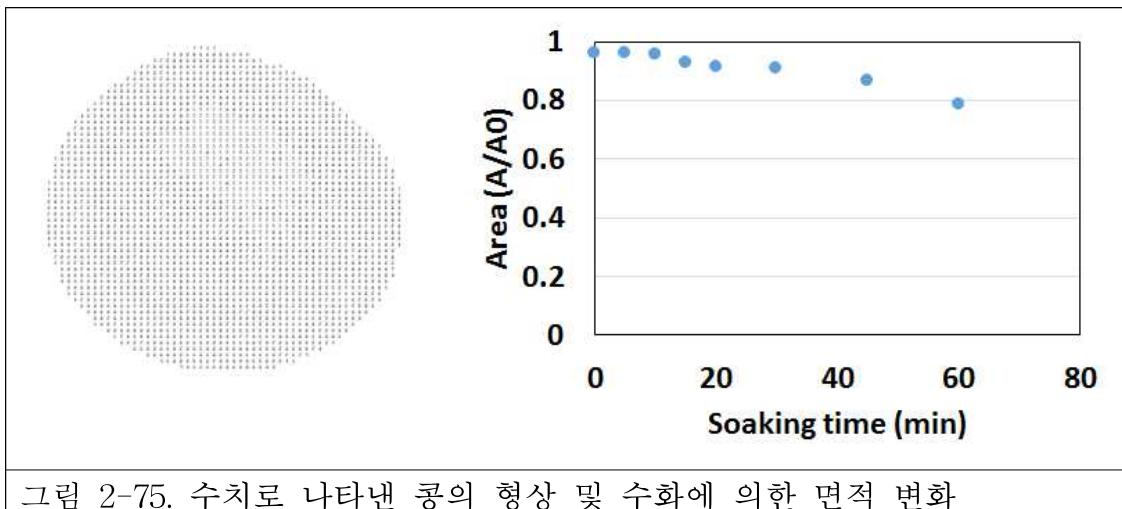


그림 2-75. 수치로 나타낸 콩의 형상 및 수화에 의한 면적 변화

수침 시간에 따른 면적 변화는 위와 같다

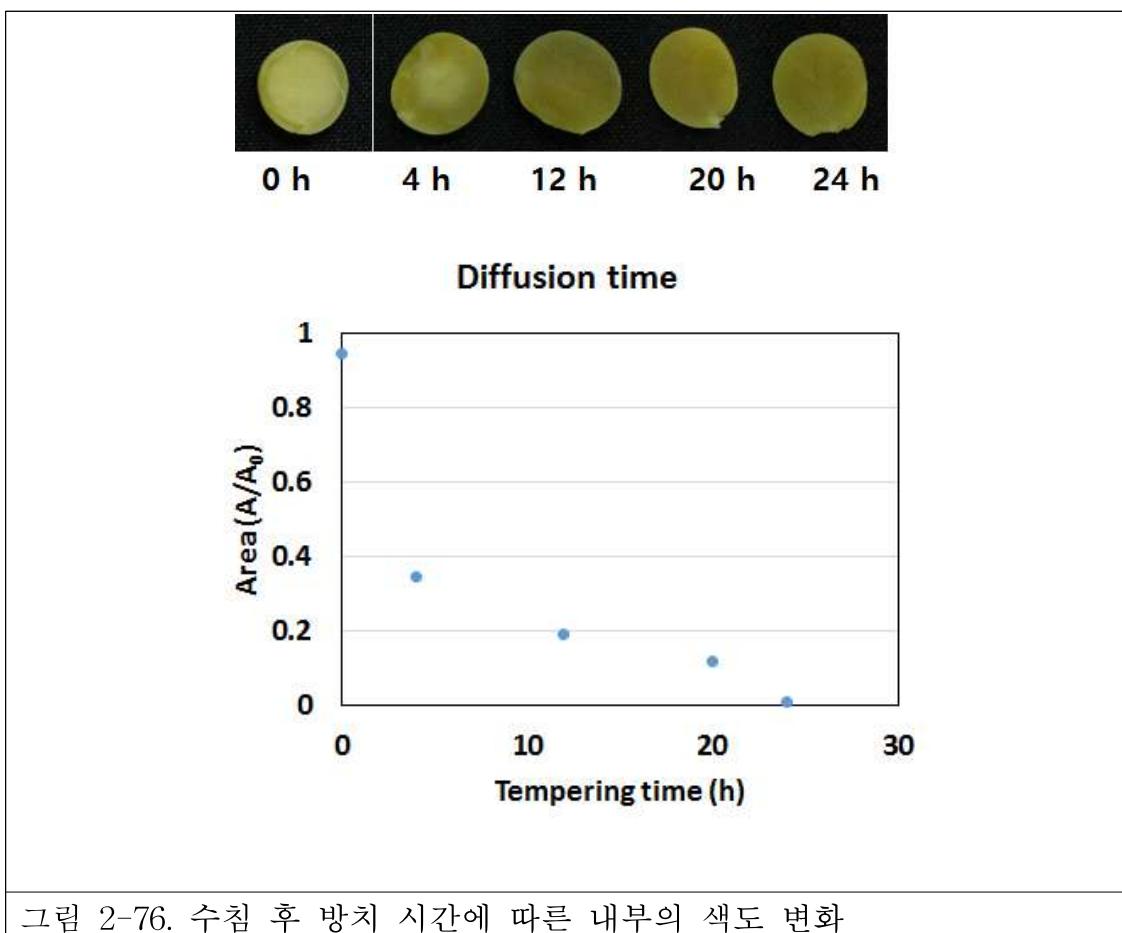


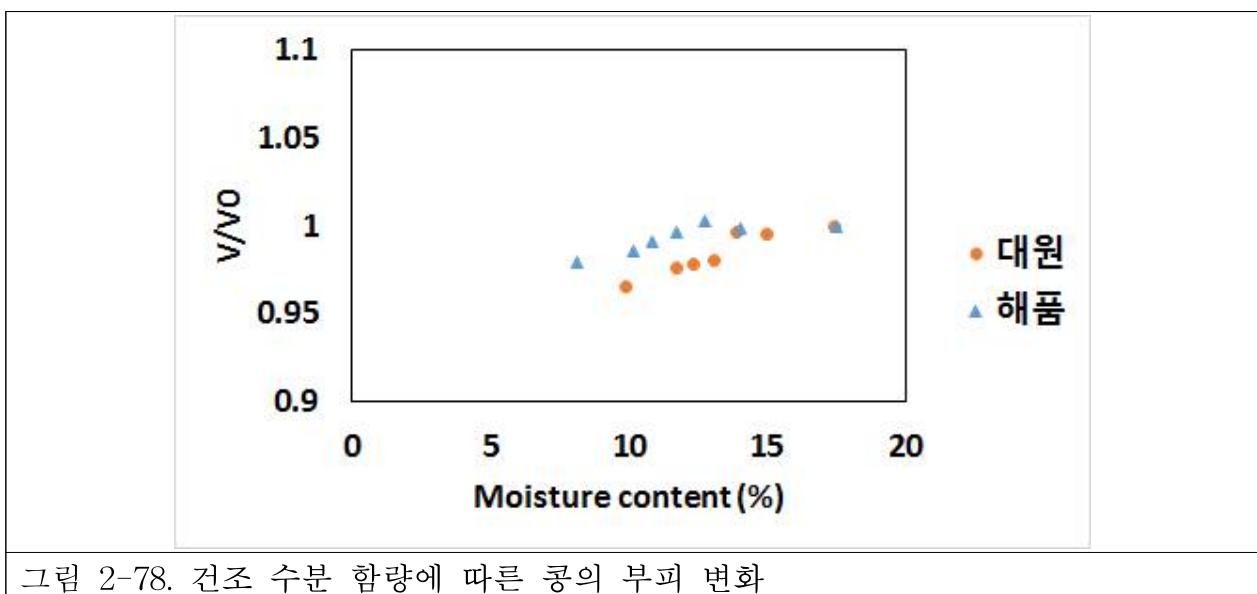
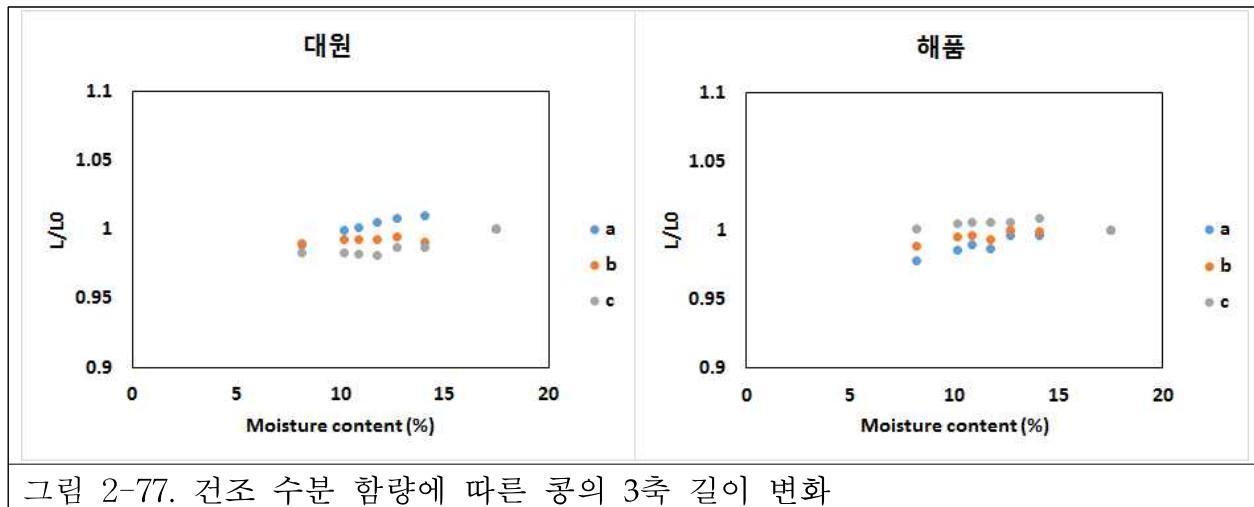
그림 2-76. 수침 후 방치 시간에 따른 내부의 색도 변화

수침 후 방치 시간에 따른 단면의 색 변화를 통하여 방치 24시간에서 수화로 인하여 콩 내부의 색도가 모두 변화하였음을 확인하였다. 이로써 재수화 콩이 원물 콩과 유사하게 고른 수분 분포를 나타내도록 수화 후 24 h 이후 실험에 이용을 하는 것으로 기준을 설정하였다.

나. Lab-scale 건조 실험

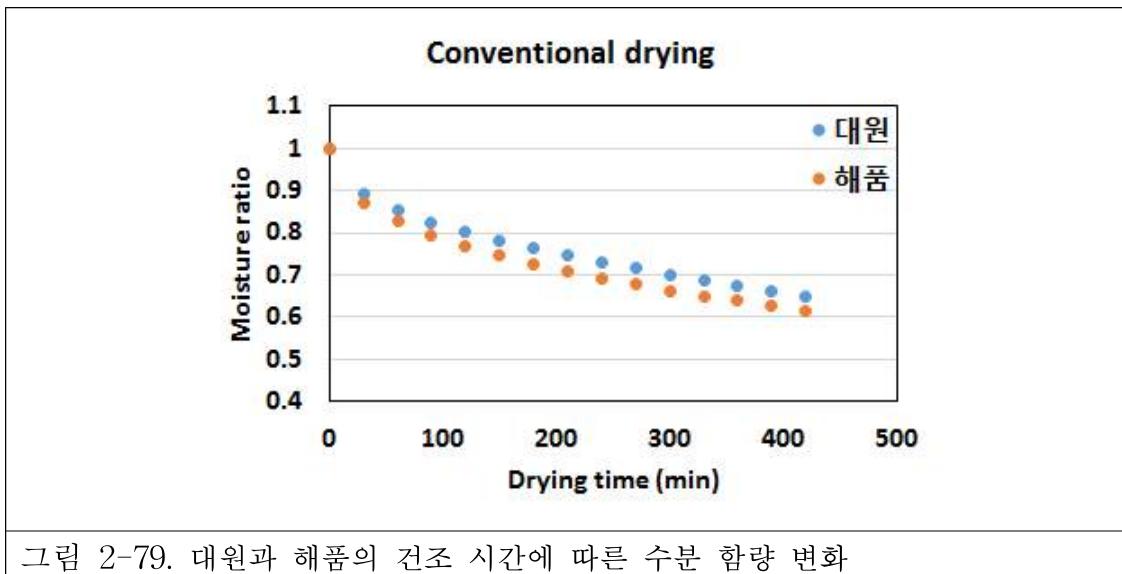
1) 콩의 길이 및 부피 변화

해품 및 대원의 길이 및 부피 변화 결과는 아래와 같다.

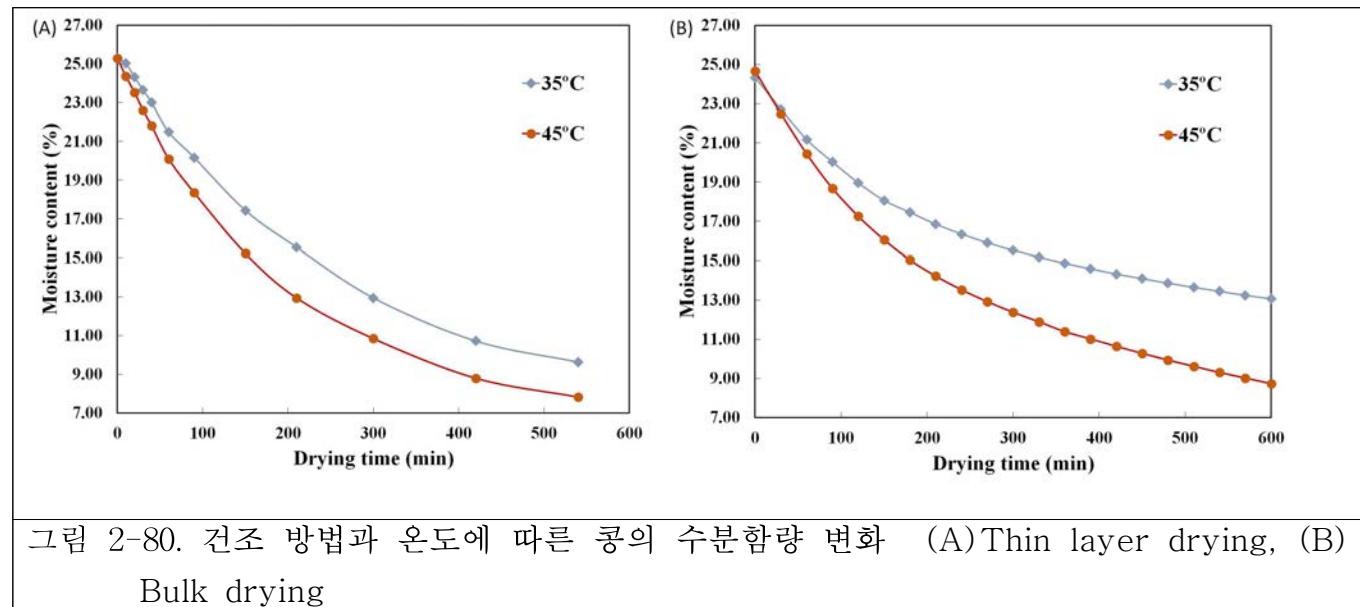


콩의 건조 시 해품과 대원 모두에서 장축인 a의 길이 변화가 가장 크다. 건조에 의한 길이 변화 및 부피 변화는 건조 최종 상태에서 콩의 크기에 의한 분류에 이용될 수 있다. 본 결과를 통하여 콩의 초기 길이를 통한 목표하는 크기의 건조 콩 생산이 가능하다.

2) Lab-scale 건조 실험



대원은 건조 약 180 min 후 15% (w.b.), 약 300 min 후 14% (w.b.), 약 420 min 후 13% (w.b.)에 도달함을 확인하였으며, 해품은 건조 약 150 min 후 15% (w.b.), 약 210 min 후 14% (w.b.), 약 330 min 후 13% (w.b.)에 도달함을 확인하였다. 건조 직경이 작은 해품의 경우 대원에 비하여 내부 수분이 외부에 도달하여 건조에 의한 공기 중으로의 물질 전달이 용이하기 때문에 건조 속도가 더 빠른 것으로 사료된다. 건조기의 중앙에서 박층으로 건조한 콩의 실험 외에, 별크로 건조를 하였을 때 건조의 영향을 확인하였다.



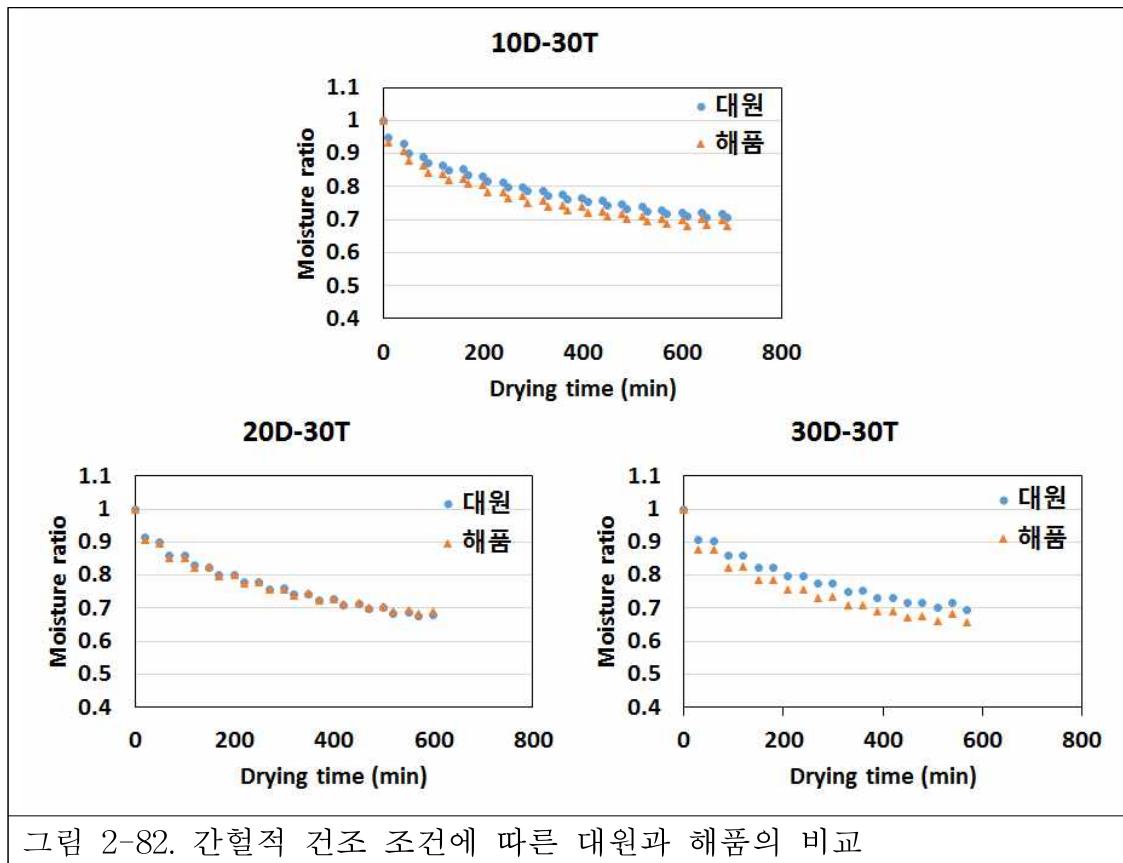
Lab-scale 건조기에서 thin layer 건조와 bulk 건조의 영향을 확인하기 위해 35°C와 45°C의 건조 온도에서 건조가 진행되었다. Thin layer 건조에서 bulk 건조보다 높은 건조 속도를 나타내었는데, 이는 bulk 건조가 상대적으로 체적 당 표면적이 작아 건조 효율이 낮으며 그에 따라 건조 온도와 건조 공기가 bulk 중심부로 침투하기 어렵기 때문이다. Thin layer와

bulk 건조 모두에서 온도가 증가할수록 콩의 건조 시간이 단축되는 것을 확인하였고, 이러한 온도에 따른 건조 속도의 차이는 결과적으로 수분확산계수의 차이를 나타내었다. 35°C와 45°C 건조 온도에서 건조 방법에 관계없이 모두 항률 건조 기간이 보이지는 않았고. 이는 콩의 얇은 막 층이 수분을 일정하게 이동시키지 못하고, 단지 수분 확산에 의해 내부로부터 표면으로 수분이 이동하기 때문에 생기는 현상이라 판단된다. 건조 온도를 높게 설정함으로써 건조 시간을 단축할 수 있으나, 열피립과 착색립 등의 불량립의 발생을 억제하기 위해서 적절한 건조 온도를 설정하는 것이 필요하다. Thin layer와 bulk 건조에서 수분확산계수는 thin layer는 sphere, bulk건조는 slab으로 하여 계산 되었으며, 그 값은 각각 35°C에서 $4.52 \times 10^{-11} \text{ m}^2/\text{s}$, $3.8 \times 10^{-8} \text{ m}^2/\text{s}$ 이였고, 45°C에서 $5.47 \times 10^{-11} \text{ m}^2/\text{s}$, $6.5 \times 10^{-8} \text{ m}^2/\text{s}$ 를 나타내어, bulk건조에서 공극에 의한 높은 수분확산계수를 나타내었다.

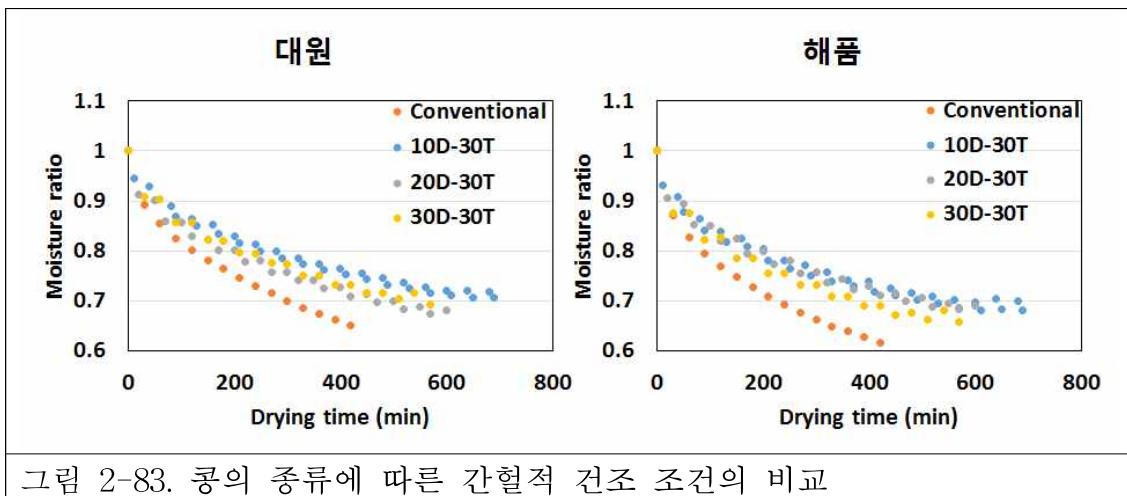
Model name	Temperature(° C)	Method	R ²	a	b	k	n
Newton	35	Thin	0.984			0.00213	
		Bulk	0.8386			0.00130	
	45	Thin	0.968			0.00285	
		Bulk	0.922			0.00213	
Page	35	Thin	0.994			0.004598	0.8639
		Bulk	0.9896			0.01409	0.5997
	45	Thin	0.994			0.008994	0.7907
		Bulk	0.994			0.01292	0.6919
Henderson and Pabis	35	Thin	0.9865	0.9853		0.002065	
		Bulk	0.9264	0.9124		0.001041	
	45	Thin	0.9779	0.962		0.002632	
		Bulk	0.9585	0.9137		0.001833	
Midilli-Kucuk equation	35	Thin	0.9993	1.009	0.0003298	0.003086	0.9944
		Bulk	0.9986	1.006	0.0003688	0.006325	0.8116
	45	Thin	0.9997	1.005	0.0003088	0.005503	0.9319
		Bulk	0.9987	1.008	0.0002459	0.007276	0.8372

그림 2-81. 건조 온도 및 건조 방법 별 각 건조 모델의 적용 결과

콩의 thin layer와 bulk 건조에 대해서 4가지 건조모델을 적용한 결과, 두 건조 방법 모두 Midilli-Kucuk equation에서 높은 값의 R²값을 나타내는 것이 확인되었다. Page 모델에서 같은 건조온도에서는 콩의 무게가 클수록 상수 k의 값이 커지는 경향을 나타냈으며 이는 건조 속도가 느려짐을 의미한다. 또한 같은 콩의 무게에서 건조온도가 높을수록 k의 값이 감소하는 것 역시 확인할 수 있었다. Midilli-Kucuk equation 모델에서 bulk 건조가 k값이 크고 thin layer 건조가 n값이 작은 경향을 나타내었다.



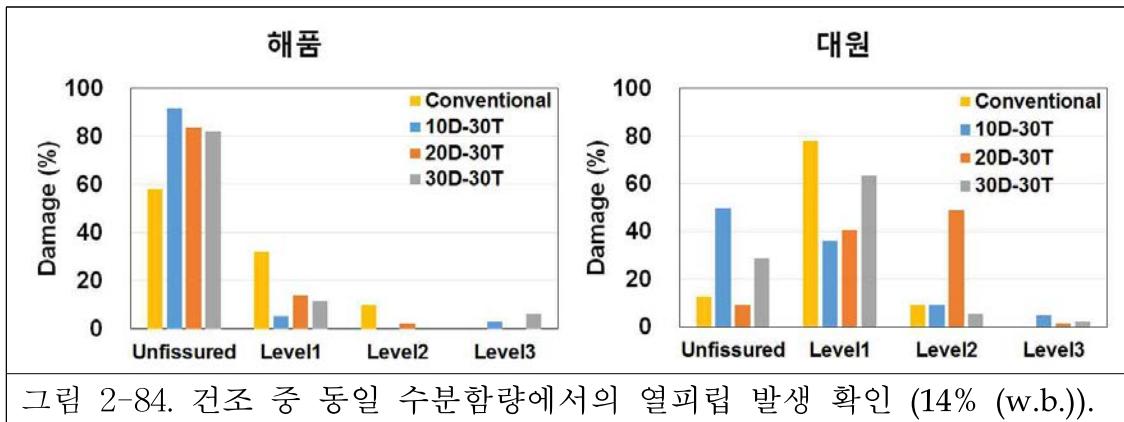
간헐적 건조에서도 일반 건조와 마찬가지로 해풀의 건조 속도가 대원의 건조 속도보다 높은 것을 확인하였으나 20D-30T에서는 대원의 건조 속도가 증가하여 두 콩의 건조 속도가 유사함을 나타내었음. 30D-30T에서는 해풀의 건조 속도가 빨라져 두 콩의 건조도 차이가 발생함을 확인하였다.



건조 시 일반 건조의 속도가 가장 빠르며 10D-30T의 건조 속도가 가장 느림을 확인하였음. 대원과 해풀 모두에서 20D-30T와 30D-30T의 건조 속도가 유사하므로 열피립의 발생에

따라 건조 조건을 설정하여야 함을 확인하였다.

3) 건조 중 열피립의 발생



열피립 측정 결과, 일반 건조(Conventional)에서 정상립의 비율이 가장 낮았으며 건조 구간의 길이가 감소할수록 정상립의 비율이 높음을 확인하였다. 해품은 대원에 비하여 열피립의 발생이 적으며 특히 Level 2 열피립의 경우 발생률이 확연히 적음을 확인하였다. 대원의 경우 Level 1 열피립 발생 비율이 매우 높아 건조 시 종피의 균열이 빠르게 발생함을 확인하였다. 간헐적 건조는 일반 건조에 비하여 열피립의 발생을 감소시킬 수 있음을 확인하였으며 pilot scale 건조기에서도 동일한 결과가 도출될 것으로 사료된다. 건조 콩의 종류에 따라 최종 품질과 건조 시간을 고려하여 건조 구간과 템퍼링 구간의 비를 설정해야 함을 확인하여 후에 pilot scale 실험을 진행하였다.

열피립발생도	IMP	육안
대원	29.41%	35.29%
해품	15.79%	15.79%

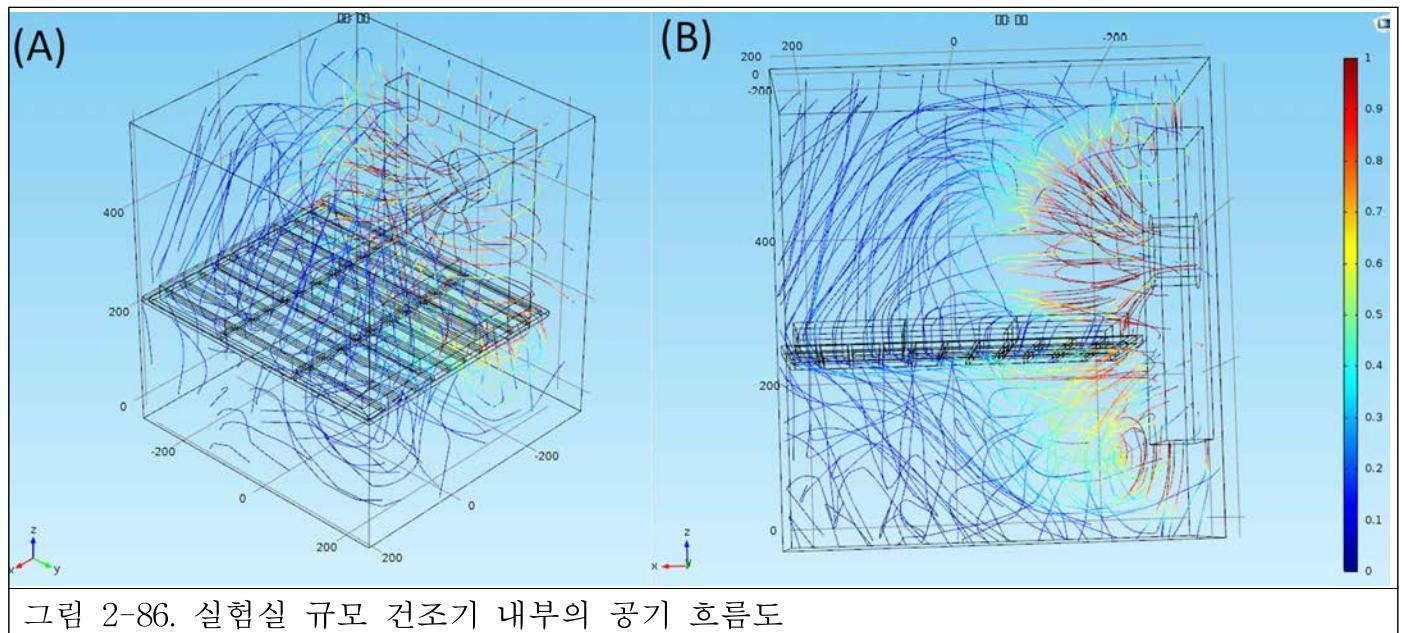
그림 2-85. 콩의 열피립 IMP 이미지 분석 결과

IMP 알고리즘에 따른 열피립의 분석 결과, 육안과 비교하였을 때 대원의 경우 검출률이 더 낮았으며 해품의 경우 같은 검출률을 나타내었다. 열피립의 IMP 분석은 또한 샘플을 채취하여 이미지를 얻을 때 열피가 발생한 부분이 위를 향하고 있어야 검출이 가능하다.

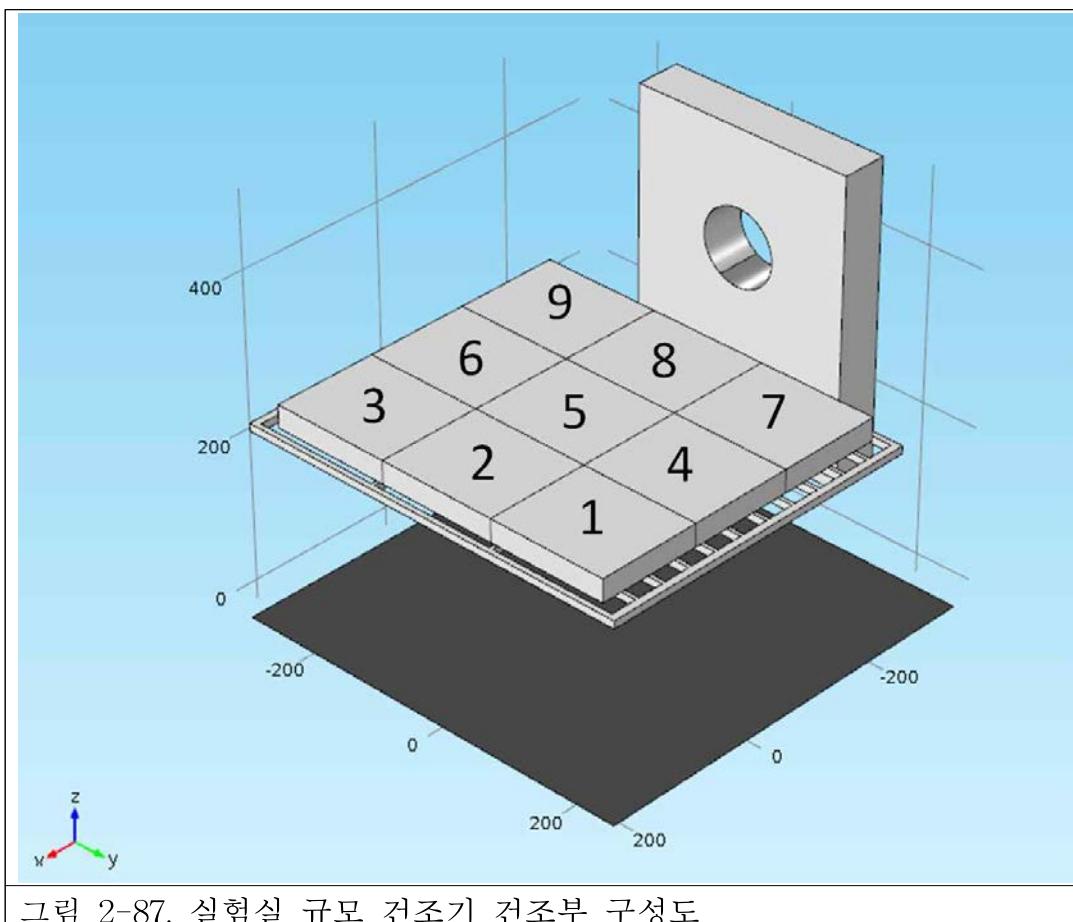
다. 건조 시뮬레이션 및 모델링

실험실 규모 건조기에서 콩의 열풍 건조 시 가장 문제시 되는 점은 건조기 내 위치에 따른 비균일한 건조와 너무 빠른 건조에 의한 콩의 열피 현상임. 이것은 건조기 내의 공기 유

동, 즉 기류와 풍속의 차이에 의한 것일 수 있음. 실험실 규모 건조기의 건조 중 내부에서의 공기흐름을 나타내는 스트림 라인은 다음과 같이 나타났다.



출구의 4면에서 나오는 바람은 건조기 벽면을 만나 방향이 변경되면서 다양한 풍속과 방향을 가진 기류를 생성하였으며, 건조기 중심에 위치한 콩에 의해 흐름이 차단되어 건조기의 상하부로 나뉘어져 와류하는 흐름으로 발전하였다. Bulk 형태로 콩을 건조하기 위해 다층으로 쌓을 경우 콩 사이의 공극이 최소화되어 콩의 사이로 흐르는 바람은 제한되어지기 때문에 내부에 위치한 콩의 건조 속도가 크게 감소할 것으로 예상될 수 있다. 이때 공기는 tray의 윗면과 아랫면을 따라 흐르면서 출구로 빠져 나갔는데, 이것은 표면이 노출된 부위에서 과한 건조가 일어나고 내부 부위에서는 부족한 건조가 일어날 수 있음을 시사한다. 건조기 내부에서 실제 건조가 일어나는 건조부의 위치에 따른 풍속 결과를 확인하기 위해 건조되는 부분을 9부분으로 나누어 thin layer 건조와 bulk 건조에서의 풍속 결과를 확인하였다.



Air velocity (m/s)

	Thin layer	Bulk
Bed 1	0.074	0.040
Bed 2	0.095	0.041
Bed 3	0.104	0.043
Bed 4	0.272	0.047
Bed 5	0.162	0.052
Bed 6	0.227	0.050
Bed 7	0.594	0.144
Bed 8	0.589	0.143
Bed 9	0.574	0.147

그림 2-88. 실험실 규모 건조기의 위치에 따른 풍속 변화

Thin layer 건조에 비하여 bulk 건조에서 상대적으로 낮은 풍속 결과를 나타냈으며, 이는 콩을 쌓을 경우 콩 사이의 공극이 최소화되기 때문에 bulk 물질 내부로 바람의 흐름이 차단되어지기 때문이며, thin layer 건조에 비교하여 bulk 건조에서의 콩의 건조 속도가 감소할 것으로 예상할 수 있다.

35°C와 45°C의 건조 온도에서 콩의 thin layer 건조와 bulk 건조 결과는 다음과 같다.

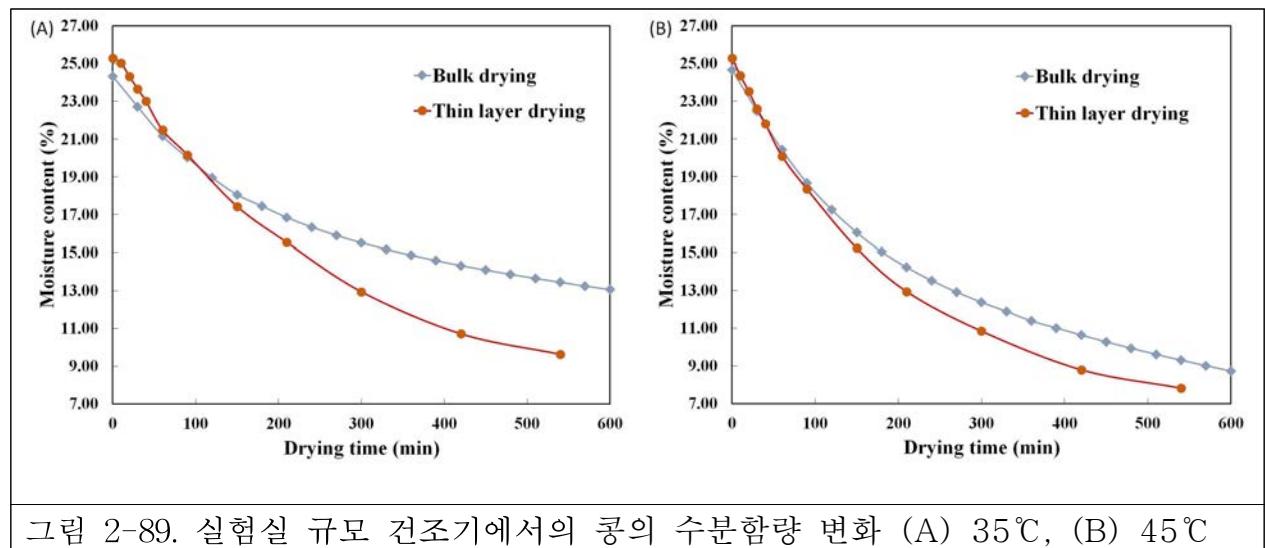


그림 2-89. 실험실 규모 건조기에서의 콩의 수분함량 변화 (A) 35°C, (B) 45°C

콩의 건조 속도는 건조 온도에 관계없이 bulk 건조를 하였을 때 낮았으며, 이는 외부 기류에 직접적으로 노출된 tray 표면 지점과 달리 내부의 콩은 기류의 흐름이 차단되어 건조 속도가 차이가 날 수 있음을 나타낸다. 건조 방법에 관계없이 열풍이 나오는 곳에서 면 지점에서의 풍속이 가장 낮았고 콩의 상단부에서 출구 쪽으로 바람이 빠져나가는 지점에서 속도가 높은 것으로 나타났다. 건조부의 위치에 따른 풍속차이에 의한 건조속도의 차이를 확인하기 위해 bed 3, 5 그리고 7로 bulk 콩의 위치를 달리하여 35°C와 45°C에서 600분간 건조하였으며 그 결과는 다음과 같다.

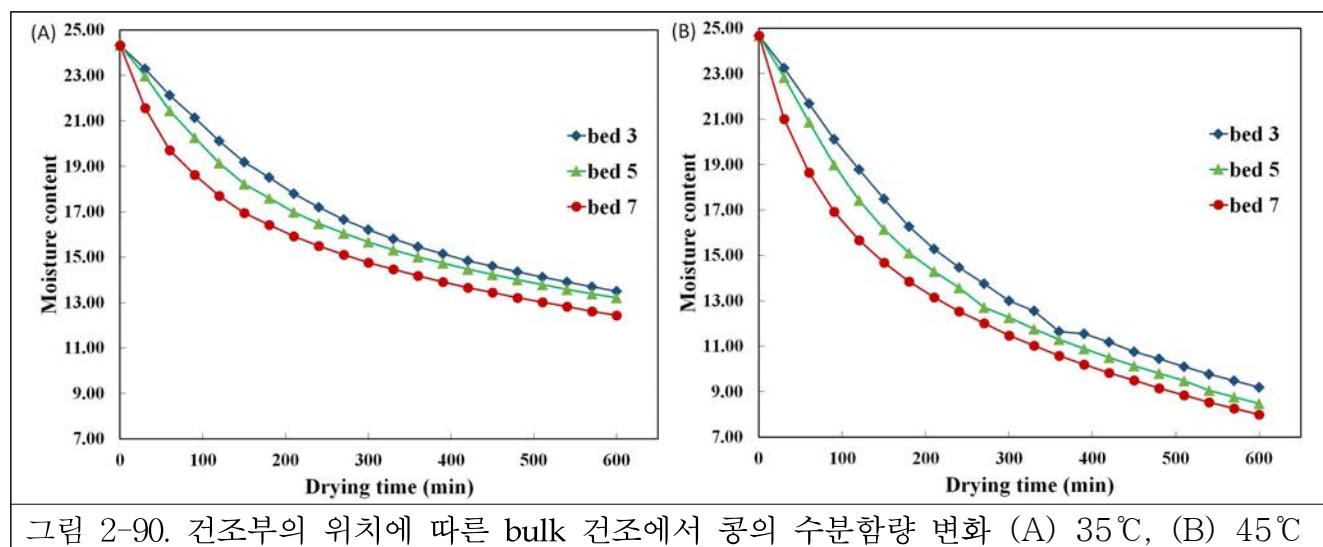
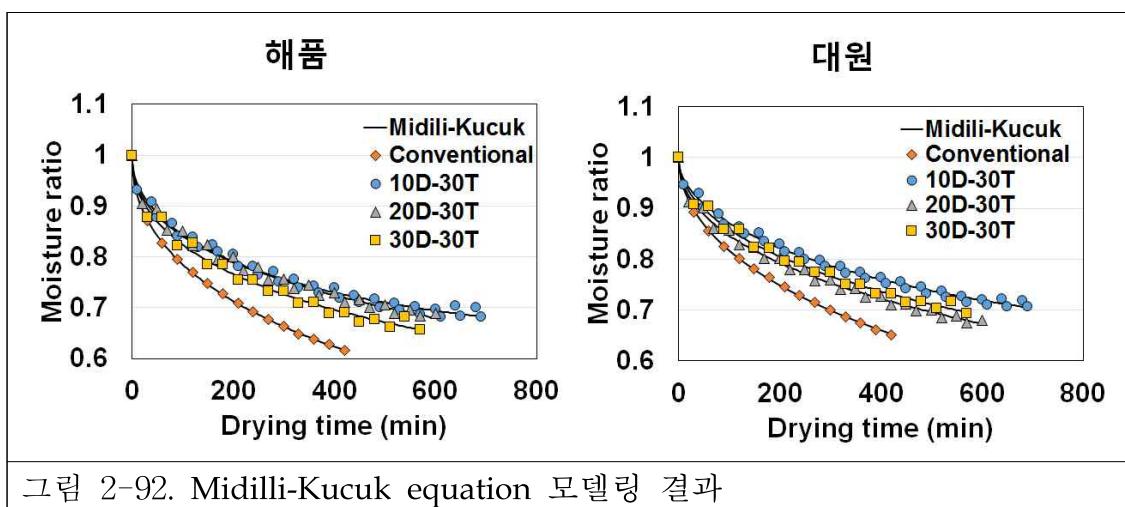
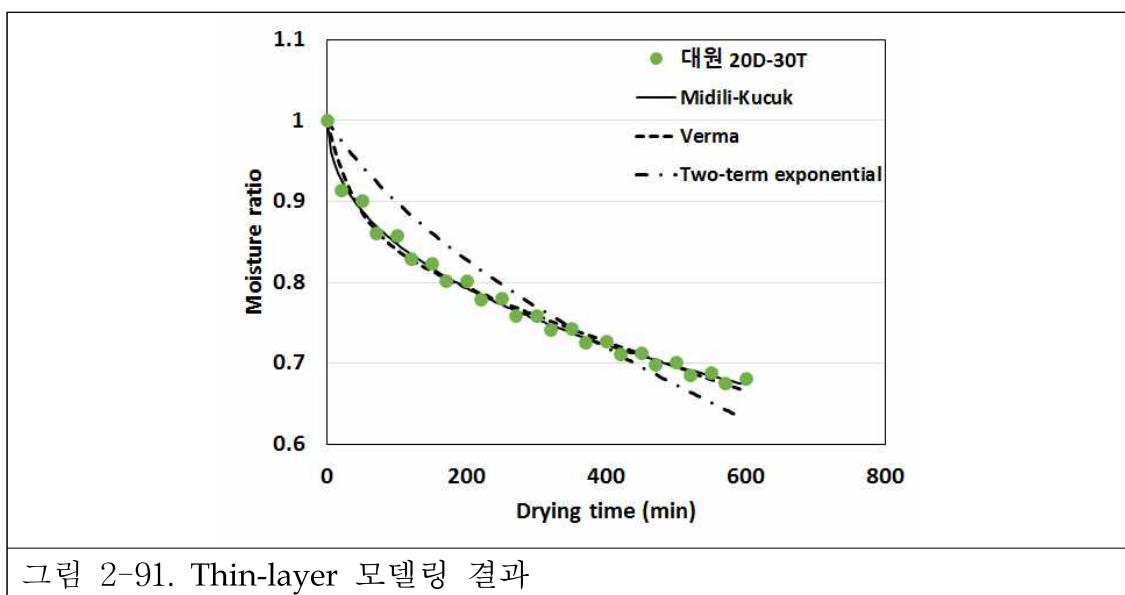


그림 2-90. 건조부의 위치에 따른 bulk 건조에서 콩의 수분함량 변화 (A) 35°C, (B) 45°C

건조부의 위치에 따른 bulk 건조에서의 콩의 건조 속도는 온도에 관계없이 bed 7이 가장 빨랐고 bed 3이 가장 낮게 나타났으며, 이는 열풍이 유입되는 곳에서 가장 먼 부분이 풍속이 낮고 건조부 상단에 있는 건조 공기 출구 지점에서 풍속이 가장 낮았던 풍속 분포 결과를 통해 건조기 내부의 위치에 따른 풍속의 차이가 건조 속도의 차이를 만들어 낼 수 있음을 확인하였다.

2) 콩 건조의 수학적 모델링

재수화 콩을 이용하여 도출한 thin-layer modeling 결과는 다음과 같음. 모델링은 가장 적합한 모델인 Midilli-Kucuk equation을 이용하여 수행하였다.



Model	Samples	Intermittency	a	b (10^{-5})	k	n	R ²
Midilli-Kucuk equation	DW	Conventional	0.9985	0.01775	0.01799	0.5231	0.9995
		10D-30T	0.9955	7.629	0.01038	0.5670	0.9920
		20D-30T	0.9975	0.05074	0.01714	0.4899	0.9926
		30D-30T	0.9982	2.534	0.01353	0.5266	0.9901
	HP	Conventional	0.9992	0.001302	0.02571	0.4856	0.9998
		10D-30T	0.9946	12.77	0.01433	0.5478	0.9877
		20D-30T	0.9983	0.149	0.02167	0.4499	0.9885
		30D-30T	0.9981	4.370	0.02112	0.4847	0.9867

그림 2-93. 콩의 종류와 각 건조 조건에서의 Midilli-Kucuk equation의 파라미터 값 (DW: 대원; HP: 해품)

Thin-layer modeling 결과, 콩의 종류 및 건조 방법과 간헐적 건조의 건조와 템퍼링 비에 따른 계수들을 확인할 수 있었으며, 이를 이용하여 건조 시간의 예측이 가능하다.

REA 모델링은 샘플의 길이, 표면적, 물질전달계수, 열전달계수, 공기의 습도에 의하여 도출되는 값으로, 정교한 모델링이 가능하다. REA 모델링을 통하여 Lab-scale 건조기의 온도, 풍속, 상대습도를 구하여 재수화 콩의 건조를 성공적으로 모델링하였으며, 수확 후 콩의 Lab-scale 건조 데이터 역시 같은 온도와 풍속, 상대습도로 원물 콩 특유의 REA fingerprint를 구하여 모델링이 가능하다. 또한 pilot-scale 건조기의 특성을 확인하여 원물 콩의 수분차와 활성화에너지 비의 관계를 같은 방법으로 구하여 모델링을 할 수 있다.

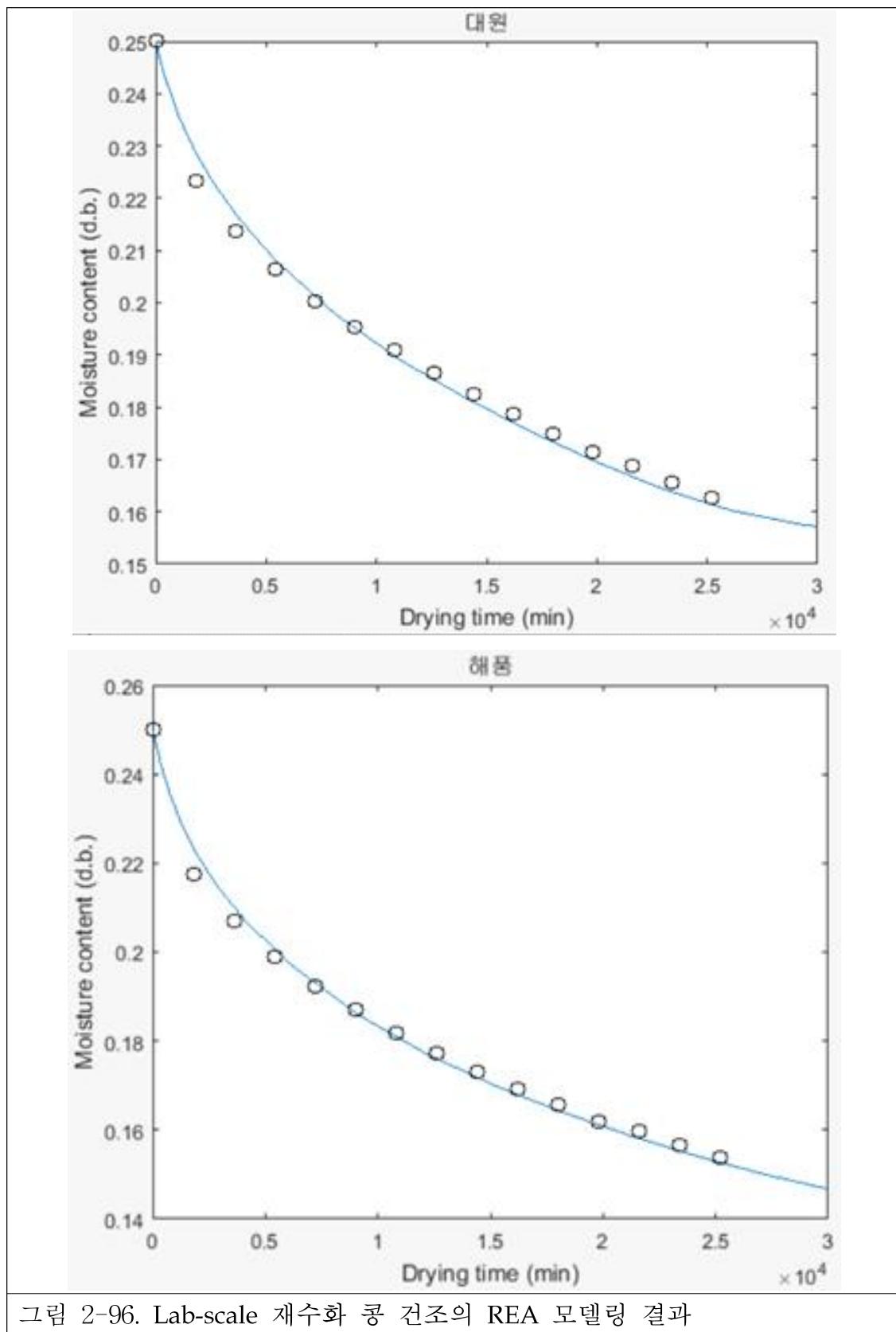
대원과 해품의 활성화 에너지 수식은 다음과 같다.

$$\frac{\Delta E_v}{\Delta E_{v,b}} = -630211(X - X_b)^5 + 1339860(X - X_b)^4 - 73077(X - X_b)^3 \\ + 7806.2(X - X_b)^2 - 414.2(X - X_b) + 9.7091$$

그림 2-94. 재수화 대원의 활성화에너지 비 수식

$$\frac{\Delta E_v}{\Delta E_{v,b}} = -206089(X - X_b)^5 + 96850(X - X_b)^4 - 18123(X - X_b)^3 \\ + 1675.2(X - X_b)^2 - 76.758(X - X_b) + 2.3838$$

그림 2-95. 재수화 해품의 활성화에너지 비 수식



5. 수확후 원물 콩의 건조 특성

가. 수확 후 원물 콩의 Lab-scale 건조 특성

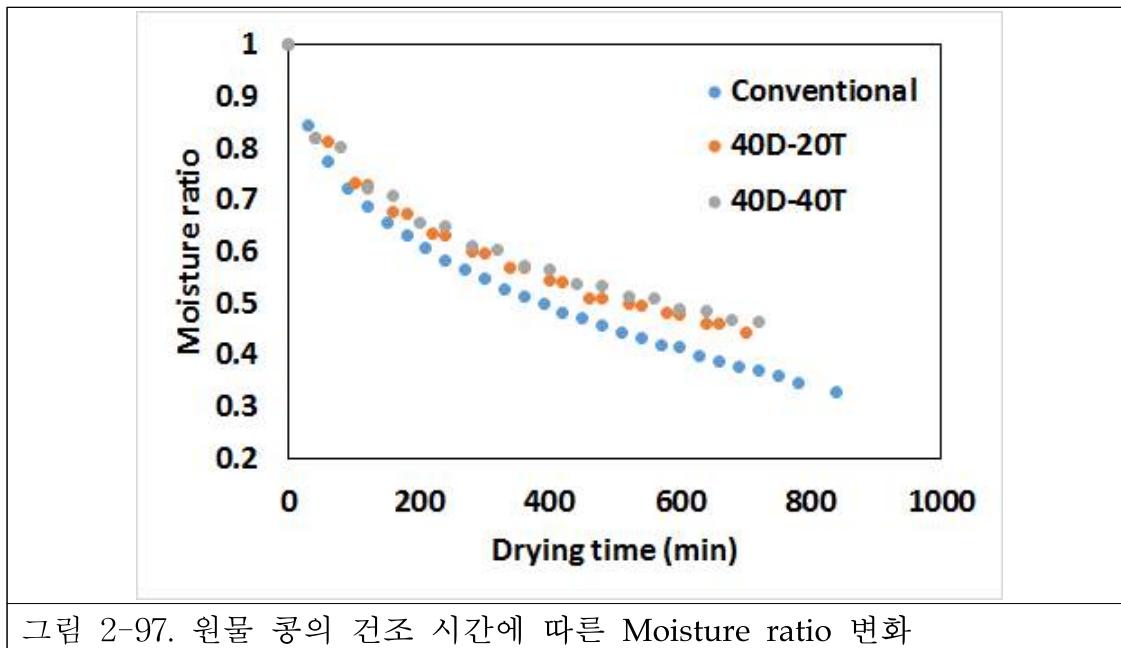


그림 2-97. 원물 콩의 건조 시간에 따른 Moisture ratio 변화

세 가지 건조 조건에서 Moisture ratio의 변화를 확인한 결과, 일반 건조의 건조가 가장 빠르게 이루어지며 템퍼링 시간에 따라서는 큰 차이를 나타내지 않았다. 40D-40T의 경우 템퍼링 구간동안 확산이 발생하여 각 건조 구간에서의 건조 속도의 향상으로 40D-20T와 건조 속도에서 큰 차이를 나타내지 않았다. 원물 콩을 각각 35 °C에서 14%, 11%까지 건조하였을 때 열피립 발생의 차이를 확인하였다.

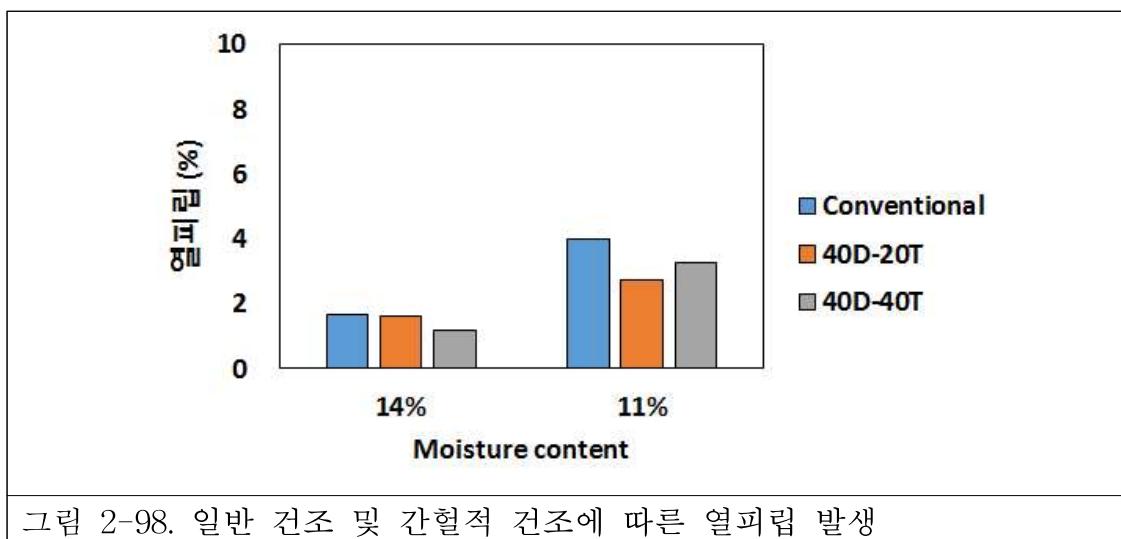
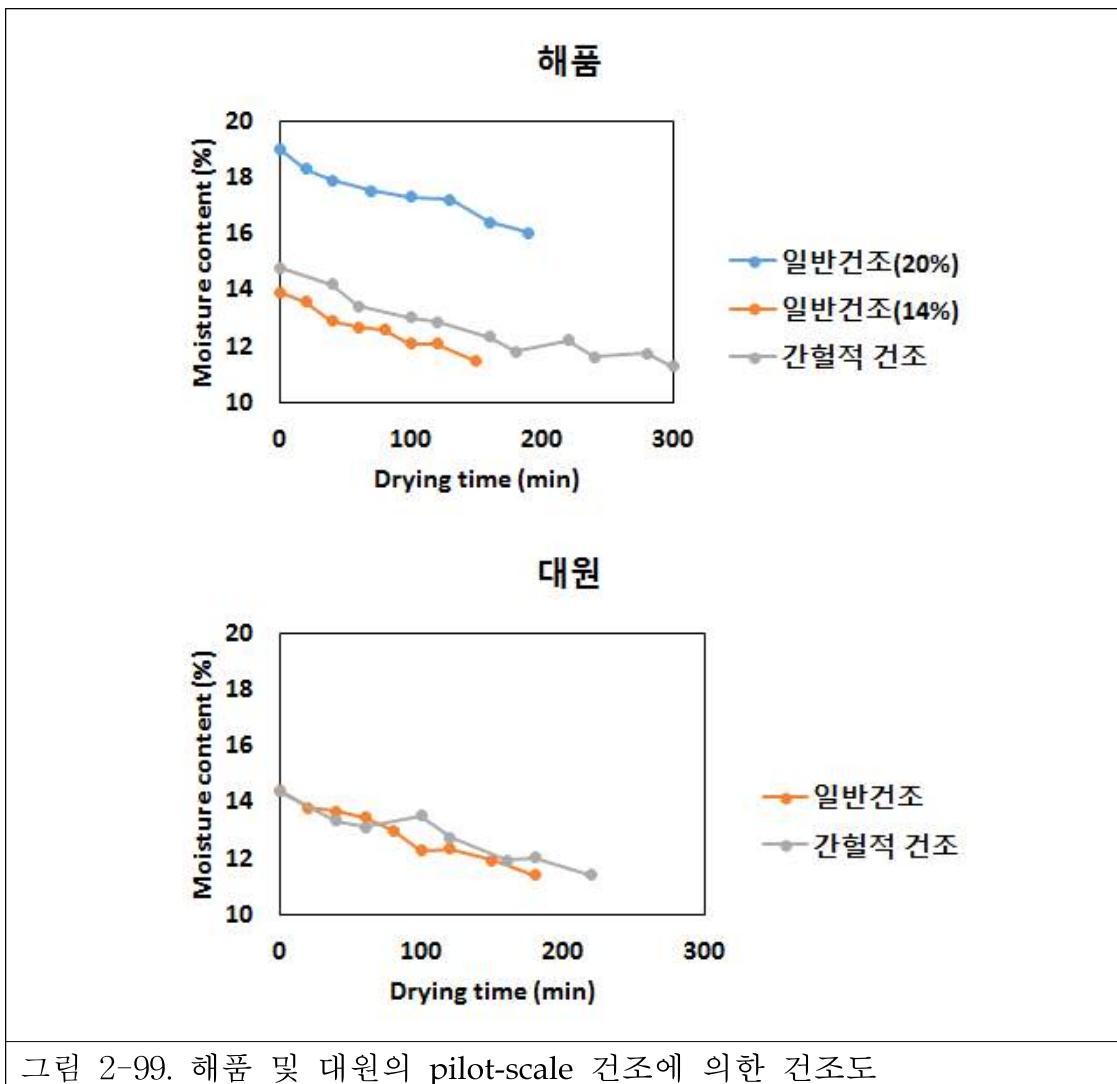


그림 2-98. 일반 건조 및 간헐적 건조에 따른 열피립 발생

Lab-scale 원물 건조 시 최종 수분함량이 14%일 때에는 세 가지의 건조 조건에서 모두 2% 미만의 열피립 발생을 나타낸다. 원물의 최종수분함량이 11%일 때에는 일반건조 (Conventional)에서 가장 높은 3.98%의 열피립 발생이 확인되었으며 간헐적 건조 시 일반 건

조에 비하여 낮은 열피립의 발생을 확인하였다. 템퍼링 시간에 따라서는 20 min과 40 min 템퍼링 사이에 큰 차이가 나타나지 않았음을 보아 전체 공정 시간을 고려하였을 때 20 min 템퍼링 시 가장 적은 열피립의 발생과 적절한 전체 공정 시간을 나타냄을 확인하였다. 그러나 해품 최종 제품의 상등급 조건은 불량립 10% 미만이므로 Lab-scale의 실험 결과로는 해풀의 건조 시 일반 건조 방법으로도 상등급의 최종 건조물을 생산할 수 있음을 확인하였다.

나. 수확 후 원물 콩의 Pilot-scale 건조 특성



일반건조 및 간헐적 건조의 목표 수분함량은 11%로 설정하였으며, 건조 조건은 대기의 상태에 따라 차이를 나타내었다.

- 해품 일반건조, 초기수분함량 20%

	공정 내	건조전 공기	건조후 공기
습도 (%)	39.8-54.6	23.2-27.5	27.0-46.1
온도 (°C)	17.3-21.6	30.5-34.5	23.2-31.1

- 해풀 일반건조, 초기수분함량 15%

	공정 내	건조전 공기	건조후 공기
습도 (%)	36.3-41.7	18.5-39.4	32.8-38.0
온도 (°C)	16.8-17.8	31.8-33.8	24.1-24.8

- 해풀 간헐적 건조, 초기수분함량 15% (우천)

	공정 내	건조전 공기	건조후 공기
습도 (%)	52.2-76.2	26.6-42.0	47.8-67.3
온도 (°C)	15.0-20.0	26.6-34.8	22.3-25.6

- 대원 일반건조, 초기수분함량 15%

	공정 내	건조전 공기	건조후 공기
습도 (%)	48.4-66.5	21.5-30.1	38-47.1
온도 (°C)	12.8-16	32.3-34.2	20.1-23.6

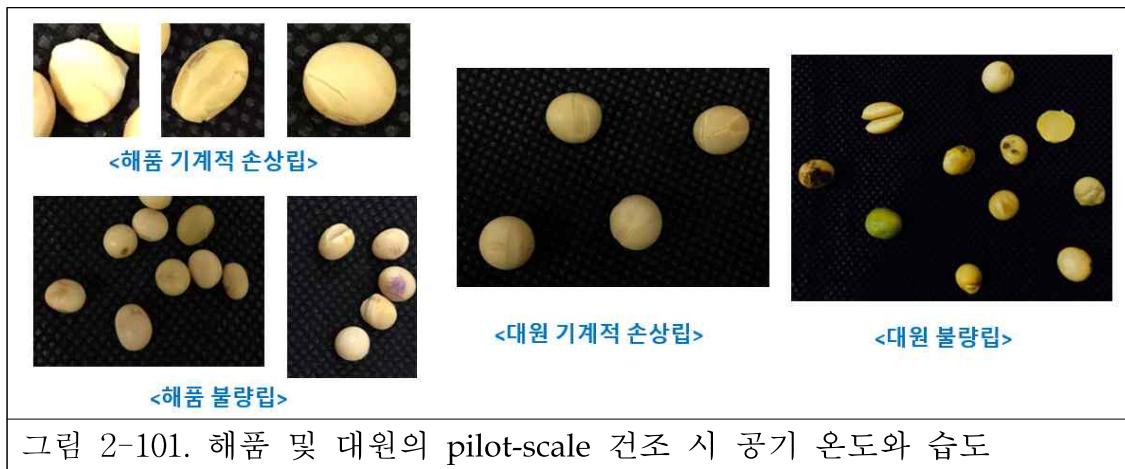
- 대원 간헐적건조, 초기수분함량 15%

	공정 내	건조전 공기	건조후 공기
습도 (%)	31.9-40.0	18.6-27.2	26.8-41.7
온도 (°C)	17.8-20.1	26.7-34.3	18.7-24.4

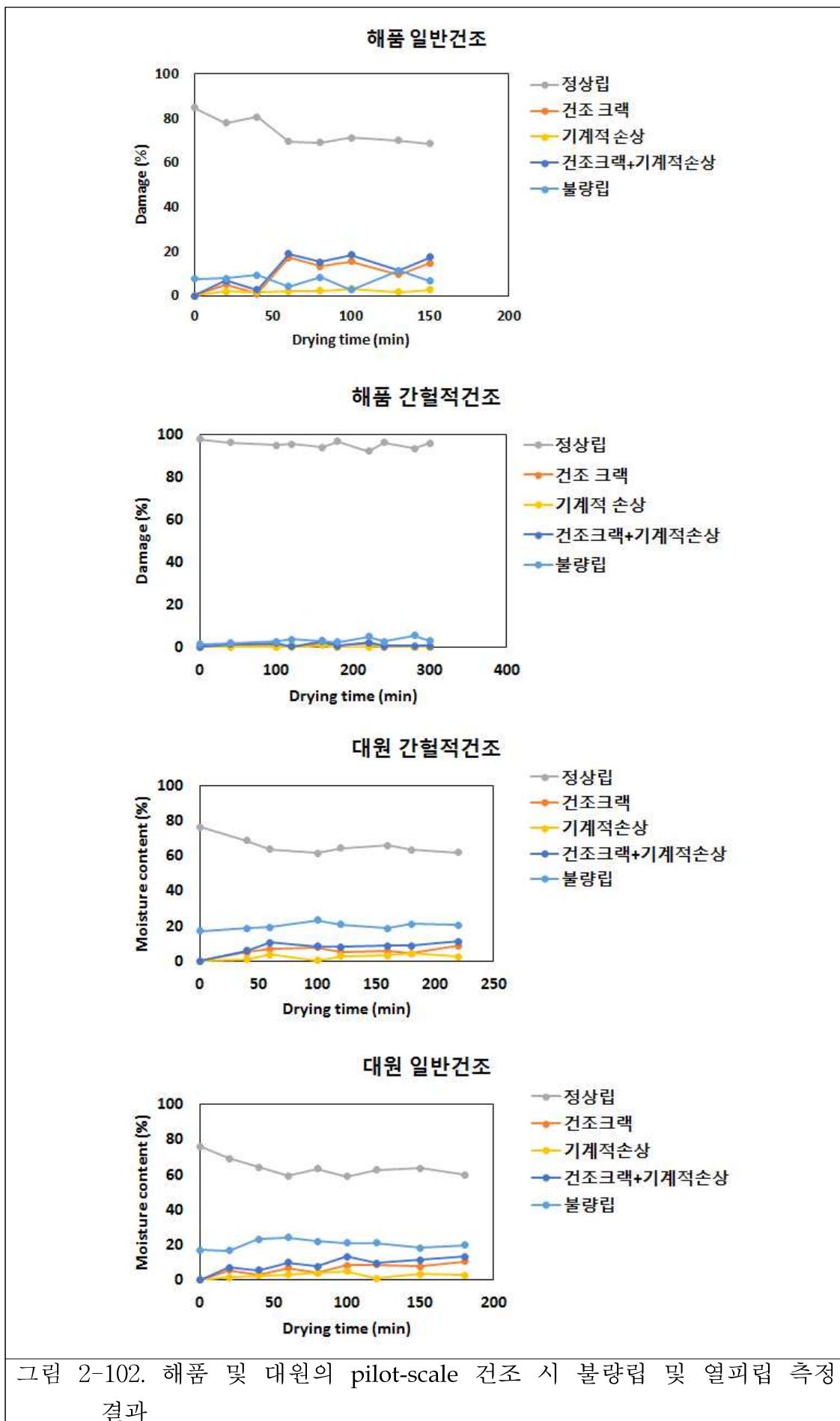
그림 2-100. 해풀 및 대원의 pilot-scale 건조 시 공기 온도와 습도

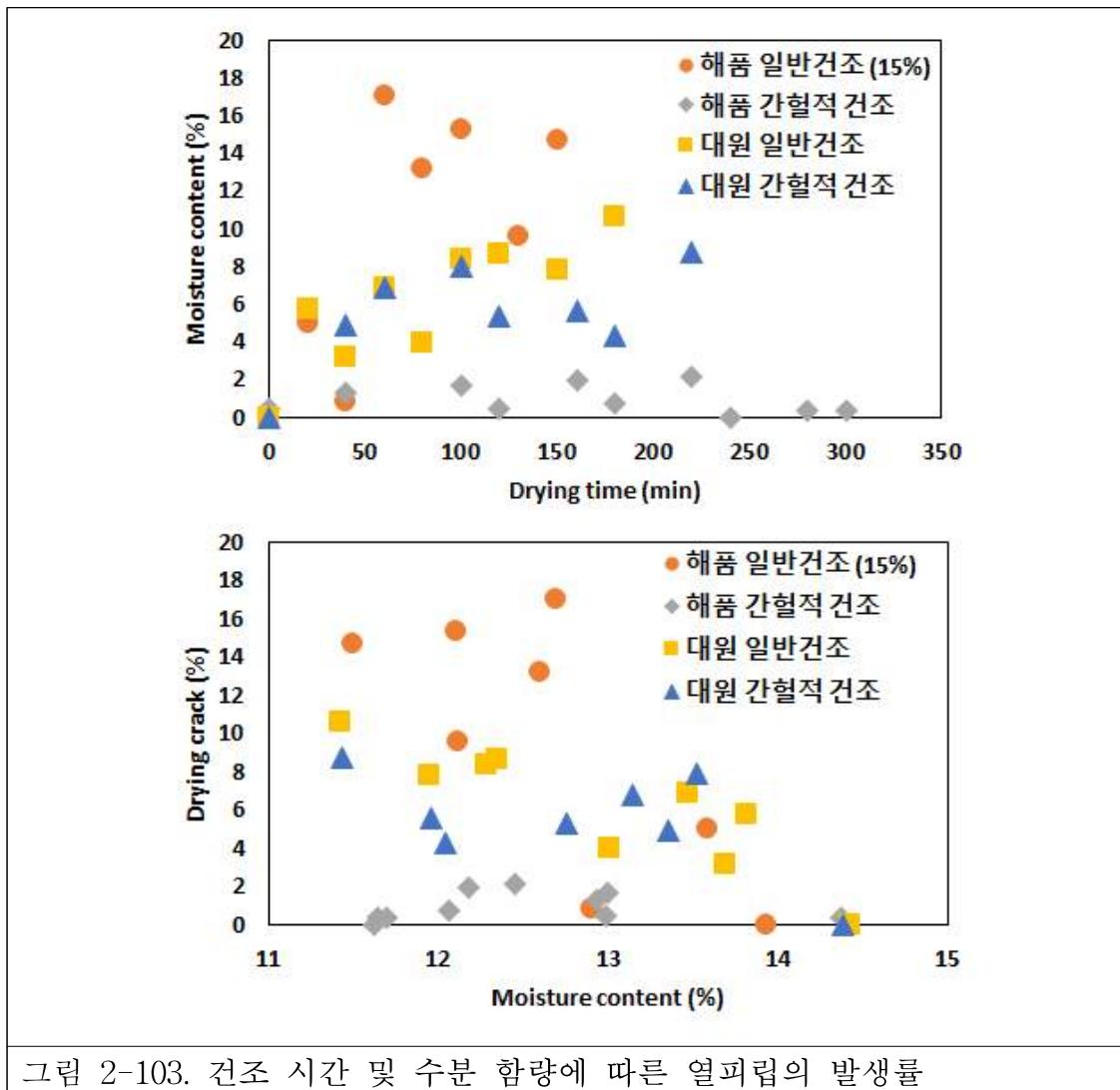
공정 내의 공기 온도 및 습도는 일교차 및 대기의 영향을 받았으며, 대기가 건조기 내부로 송풍이 되면서 히터의 영향으로 약 35 °C의 건조 전 공기가 됨. 이후 건조전 공기가 콩을 통과하여 건조 후 공기로 변화하면서 열이 손실되며 콩의 수분이 공기 중으로 확산되어 습도가 증가하였다. 해풀의 건조 시 우천에 의한 영향으로 건조 전 공기의 습도가 증가하게 되었다. 습도에 의하여 콩과 건조 공기의 수분 차이의 변화가 발생하면 건조 속도에도 영향을 미치게 되었다. 해풀의 경우 대원에 비하여 간헐적 건조 시 동일 수분 함량의 도달에 더 긴 시간이 소요된 점으로 보아 우천에 의한 고습도의 건조 공기로 건조 속도가 느려진 것으로 사료된다. 건조도의 확인과 함께 시간 별 열피립 발생 정도를 확인하였다.

해풀 및 대원의 불량립과 열피립의 구분은 다음과 같다

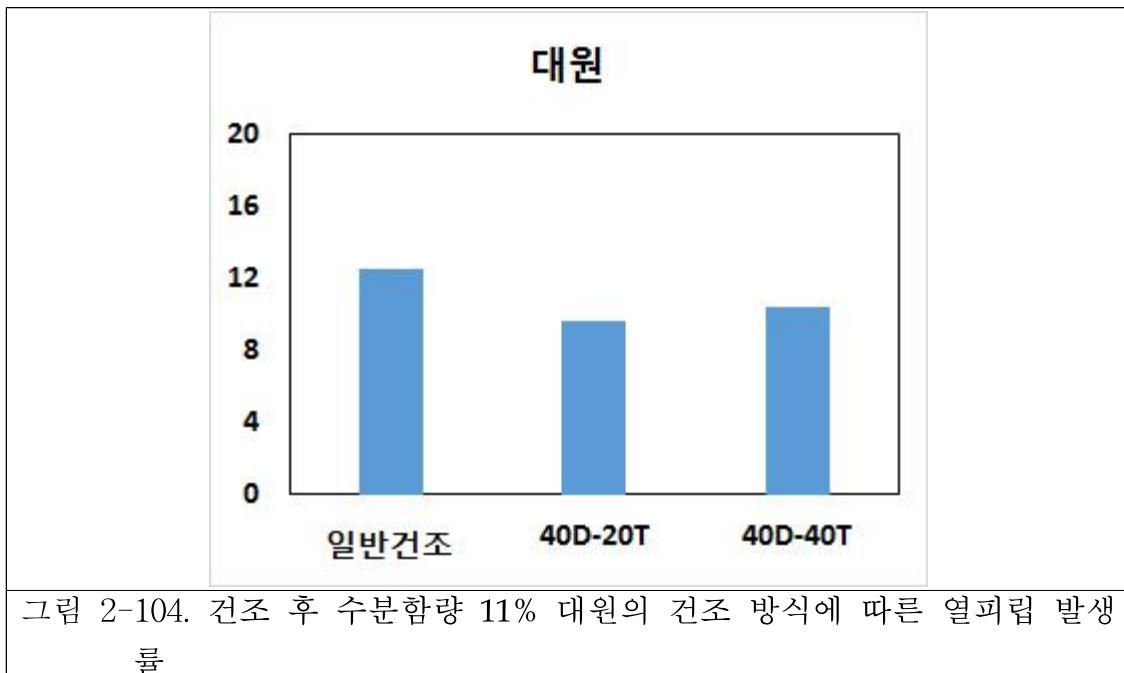


Pilot-scale 실험은 원물 콩의 초기 불량립, 열피립을 포함하고 있으며 건조 시간이 경과함에 따라 건조에 의한 열피립과 순환 과정에서 발생하는 기계적 열피립이 증가하게 된다. 건조에 의한 파열립은 콩의 배꼽과 수직 방향으로 발생하거나 이분되어 열피립이 발생한다. 해풀 및 대원의 초기 불량립 비율은 각각 평균 5.24%와 20.23%로, 건조에 의한 열피립 및 기계적 손상의 측정 시 초기 불량립 중 크랙 형태의 불량립이 발생한 비율을 제외하고 계산한다.





해품의 일반건조 시 건조 시간의 증가와 함께 건조 크랙의 발생이 증가한다. Lab-scale 건조와 pilot-scale의 열피립 결과가 상이한 원인으로는 pilot-scale의 건조 시 더 강한 풍속에 의하여 높은 물질전달이 발생하기 때문이다. 해품의 초기 수분함량이 20%일 때 열피립은 최종 수분함량이 16%일 때 1.44%로 증가함. 이를 Lab-scale 건조와 비교하였을 때 해품의 수분 함량이 14~16%가 될 때 까지 건조 시에는 열피립의 발생률이 낮음을 확인하였다. 불량립을 제외한 해품의 건조 및 기계적 손상에 의한 크랙은 50 min 건조 이후에 10% 이상으로 증가한다. 해품의 간헐적 건조의 경우 우천 시 이루어졌기 때문에 고습으로 인하여 물질전달속도가 낮아 건조 속도가 낮아 최종 수분함량이 11%가 될 때 까지 건조에 의한 콩의 손상은 5% 미만이었다. 대원의 경우 일반건조 및 간헐적건조 모두에서 건조에 의한 손상립의 비율이 유사하였다. Pilot-scale에서 대원의 일반건조 및 간헐적 건조 조건 사이에 손상립의 비율의 차이가 나타나지 않아 템퍼링 구간의 길이를 조절하여 Lab-scale 실험을 수행하였다.



대원의 열피립 발생은 템퍼링 시간에 따라 큰 차이가 나타나지 않았고, 이는 대원과 같이 해품에 비하여 직경이 클 경우 건조 구간이 더 짧아야 함을 나타난다. 공정 실험을 통하여 해품의 경우 40 min 건조, 20 min 템퍼링이 적합함을 확인하였으나 대원의 경우 40 min 건조, 20 min 템퍼링이 적합하지 않음을 도출한다. 또한 대원에서는 건조 시간에 따른 기계적 손상립의 발생 비율이 높았으며, 이는 해품에 비하여 큰 직경을 가져 콩이 순환 중 스크류 컨베이어를 거치면서 열피립이 발생하기 때문이다.



다. 건조 시 습도 변화에 의한 건조도 확인

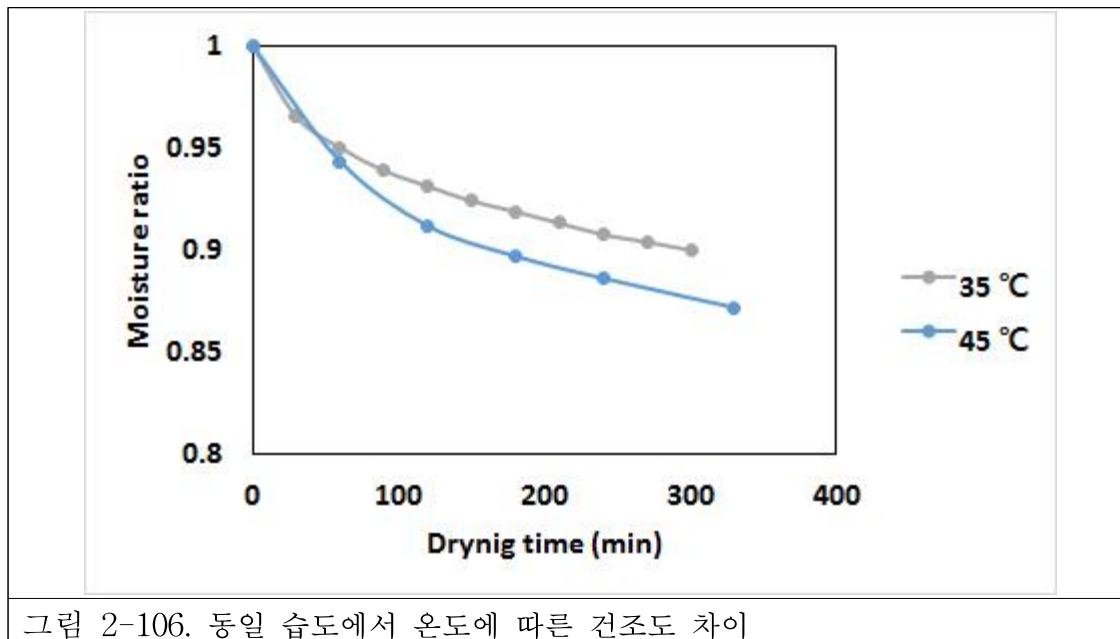


그림 2-106. 동일 습도에서 온도에 따른 건조도 차이

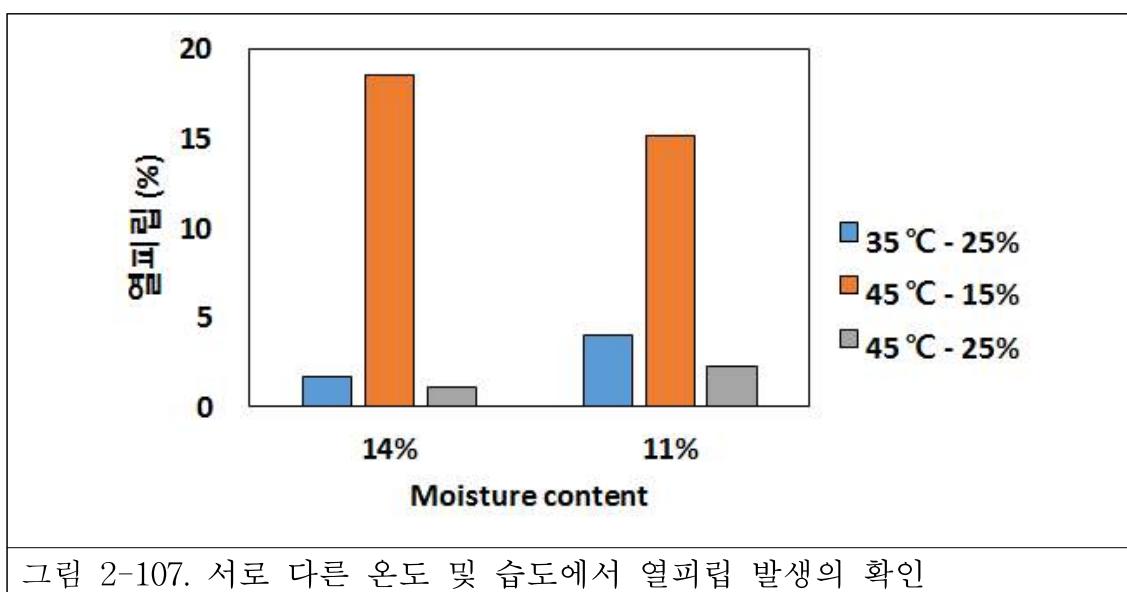


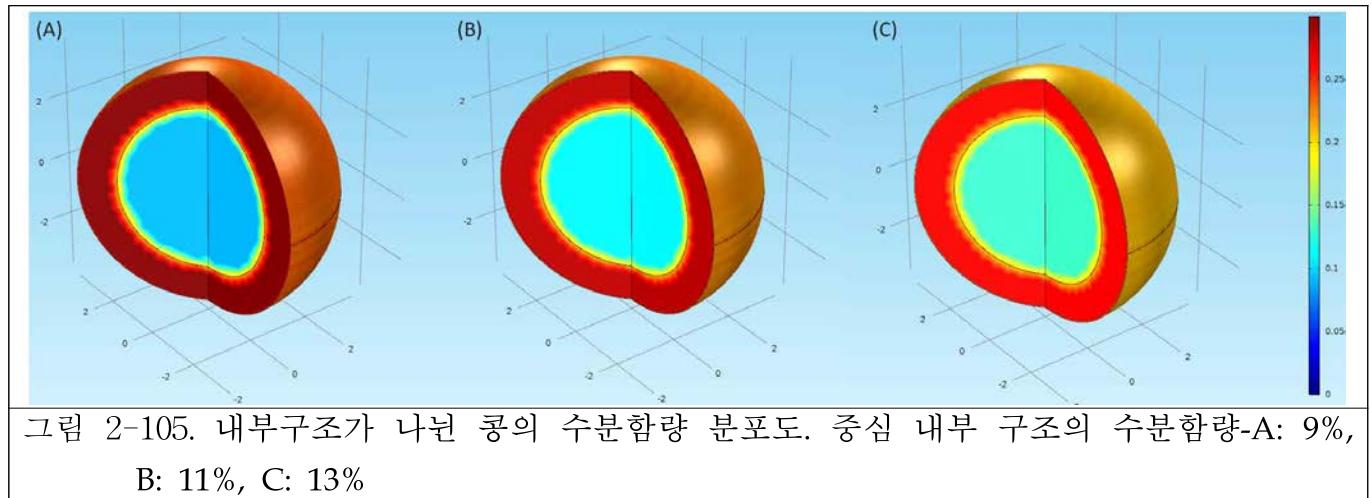
그림 2-107. 서로 다른 온도 및 습도에서 열피립 발생의 확인

동일 습도 및 온도의 영향을 확인한 결과, 동일 습도에서 고온일 경우 건조 속도가 더 빠르고 열피립의 발생이 감소함을 확인하였다. 그러나 높은 건조 온도에서 낮은 습도를 보일 경우 열피립의 발생이 매우 높아짐진다. 따라서 공정 실험에서도 우천 시에는 온도의 조절을 통하여 건조도의 속도를 조절할 수 있으며, 또한 열피립의 발생을 감소시키는 결과를 얻을 수 있다. 또한 대원의 경우 건조 시간을 조절할 수 없는 순환식 건조기의 특성 상 공기의 습도 향상을 통하여 건조 속도는 유지하면서 열피립의 발생을 감소시킬 수 있을 것으로 사료된다.

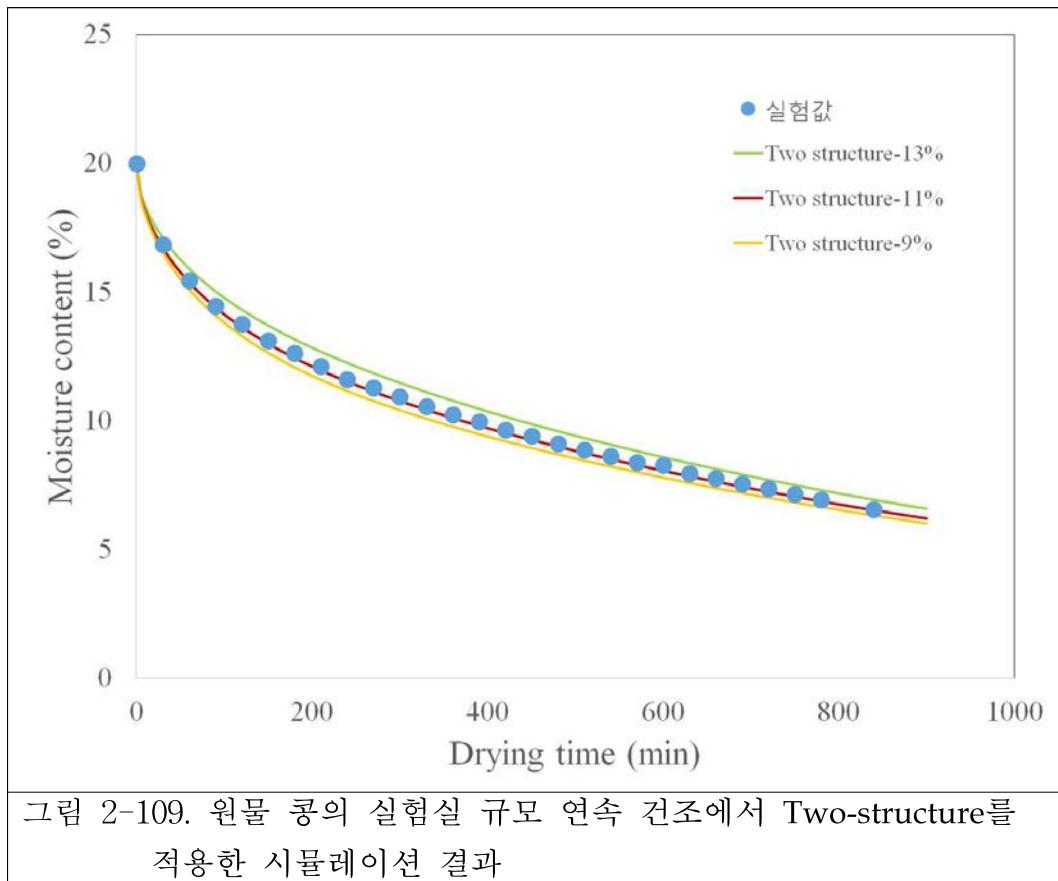
라. 수확 후 원물 콩을 이용한 시뮬레이션 및 모델링

1) 건조 시뮬레이션

실제 콩의 건조 결과는 시뮬레이션 결과에 비하여 초기부터 빠른 값을 나타내었으며, 이를 통해 콩의 바깥 외부 구조의 수분함량이 더 높게 분포된다고 예측할 수 있으며, 이를 검증하기 위해 중심 내부 구조의 수분함량을 9%, 11%, 13%로 설정하였으며 바깥 내부 구조의 수분함량은 전체 수분함량이 콩의 초기 수분함량인 20%가 될 수 있도록 설정하였으며, 그 수분분포도를 아래에 나타내었다.



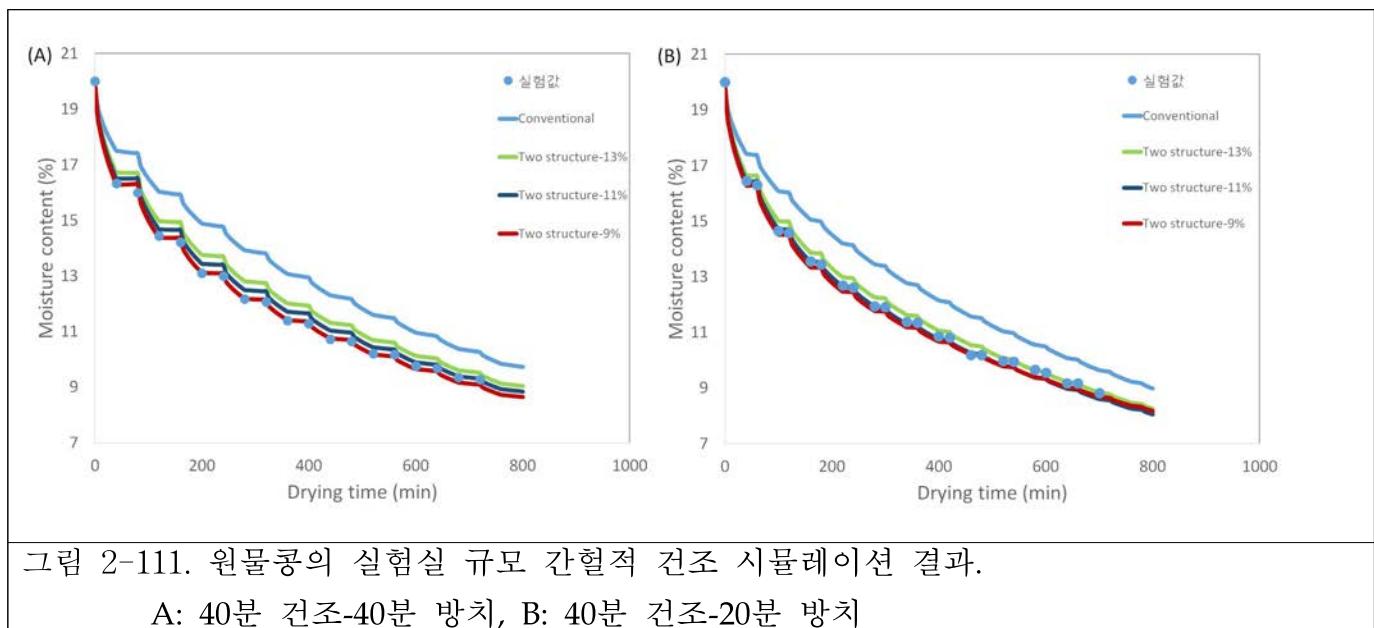
이를 건조 시뮬레이션에 다시 투입하였으며, 해당 결과를 건조 실험값과 비교하여 아래에 나타내었다.



	Conventional	3-Step	Two structure-13%	Two structure-11%	Two structure-9%
Standard error (%)	1.379	0.817	0.467	0.129	0.415

그림 2-110. 표준오차를 이용한 건조 시뮬레이션의 성능 평가

Two-structure를 적용한 콩의 건조 시뮬레이션을 진행한 결과 기존 시뮬레이션 결과와 비교하여 개선된 성능을 보임을 확인하였으며, 표준오차를 이용하여 기존 모델링 결과와 two structure 모델의 성능을 비교분석하였으며, 해당 결과를 아래에 나타내었다. 기존의 시뮬레이션 모델과 3-step 모델의 결과와 비교하여 two structure 모델을 적용하였을 때 상당한 성능 향상을 확인하였으며, 중심 내부 구조의 수분함량을 11%로 설정하였을 때, 실제 건조 데이터와 가장 합리적으로 일치하는 것으로 나타났다. 콩이 급속 건조될 경우 발생하는 열피립은 최종 콩의 품질을 판단하는 가장 중요한 인자 중 하나이며, 반드시 건조 중 컨트롤되어야 하는 부분이다. 열피립은 콩이 급속 건조될 시 콩 입자 내에서의 급격한 수분함량 차이에 의해서 발생하며, 이를 위해 내-외부의 수분차이를 완화시켜주기 위해 간헐적 건조의 적용이 필요하다. 따라서 기 개발된 건조 모델을 이용하여 간헐적 건조의 예측에 적용 가능성 여부를 확인하기 위해 40분 건조-40분 방치와 40분 건조-20분 방치의 두 가지 건조 조건을 이용하여 건조 실험과 시뮬레이션을 진행하였으며, 그 결과를 아래에 나타내었다.



두 조건의 간헐적 건조에서도 연속 건조와 같이 기존 건조 시뮬레이션 모델링 결과보다 더 실험값과 일치하는 결과를 나타내었으며 그 표준오차 값을 분석하여 성능을 평가하였다.

Condition	Conventional	Two structure-13%	Two structure-11%	Two structure-9%	
Standard error (%)	40-40 40-20	1.465 1.233	0.530 0.217	0.266 0.108	0.090 0.158

그림 2-112. 표준오차를 이용한 건조 시뮬레이션의 성능 평가

40분 건조-40분 방치 조건에서는 Two structure-9%가 가장 실험결과와 일치하는 것으로 나타났으며, 40분 건조-20분 방치의 경우 연속 건조에서와 같이 Two structure-11%가 가장 일치하는 결과를 나타내었다. 연속공정에서의 시뮬레이션 모델링결과와 비교하여 간헐적 건조에서 실험결과와 더 일치하는 결과를 나타내었으며, 따라서 연속 공정에서 적용한 시뮬레이션 모델링을 통해 건조와 방치를 반복하는 간헐적 건조에서의 적용 또한 가능함을 확인하였다. 공정 규모의 건조는 실제 투입되는 원물의 양이 많으며, 인력 소모 및 에너지 소모 비용의 관점에서 건조 실험 및 예측에서 쉽게 접근하기 어려우므로 건조 시뮬레이션을 통한 콩의 건조 예측은 품종 및 건조 환경에 따른 공정 조건 설정에 시간과 비용의 관점에서 최적의 조건을 제공할 수 있다. 실험실 규모 건조에서 Two structure 모델이 연속 건조와 간헐적 건조에 관계없이 실험 결과와 일치하는 결과를 나타내었음. 이를 토대로 하여 실제로 공정 컨트롤 및 품종에 따른 콩의 건조 예측이 가능하며, 대원과 해품 품종의 콩에서 공정 규모 연속 건조의 시뮬레이션 결과와 성능 평가 결과를 아래에 나타내었다.

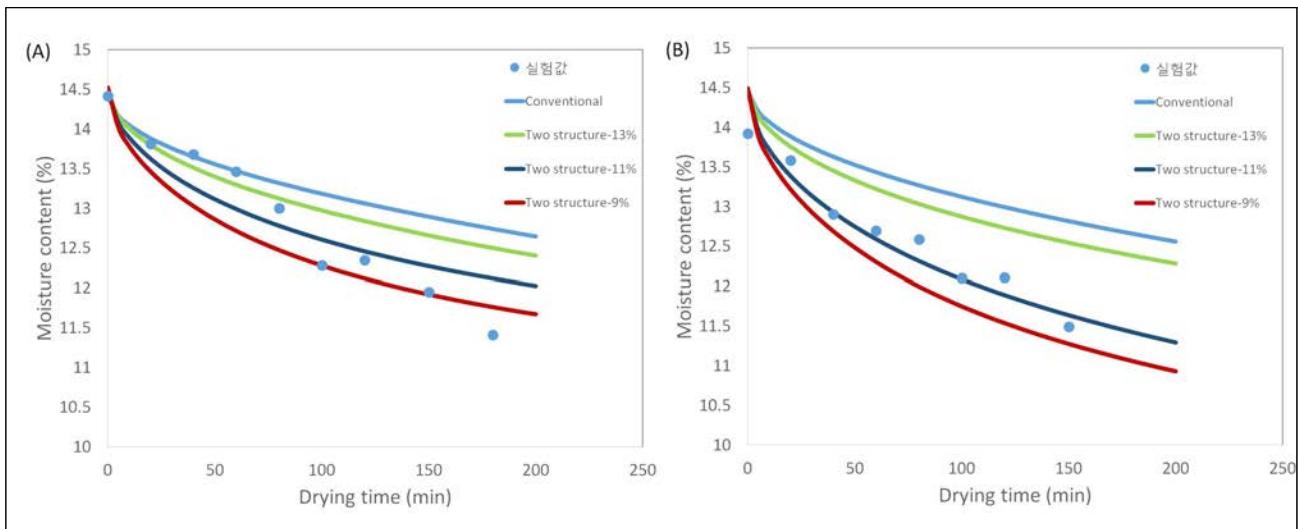


그림 2-112. 공정 규모 연속 건조 시뮬레이션 결과. A: 대원, B: 해품

	Species	Conventional	Two structure-13%	Two structure-11%	Two structure-9%
Standard error (%)	대원	0.539	0.432	0.347	0.361
	해품	0.811	0.592	0.141	0.386

그림 2-113. 표준오차를 이용한 건조 시뮬레이션의 성능 평가

공정 규모의 건조에서도 품종에 관계없이 two structure 모델을 활용한 건조 시뮬레이션이 가능함을 확인하였으며, 두 품종 모두 two structure-11%가 가장 실제 건조 데이터와 가까운 값을 보였다. 실험실 규모 건조에서 확립한 건조 시뮬레이션 모델을 이용하여 공정 규모 건조에서의 건조 예측 가능성을 확인하였으며, 이를 이용해 실제적으로 공정 규모 건조기를 이용해 콩이 순환되는 건조를 나타내는 간헐적 건조의 시뮬레이션이 진행되었으며, 그 결과와 그 시뮬레이션 모델링의 성능 평가를 아래에 나타내었다.

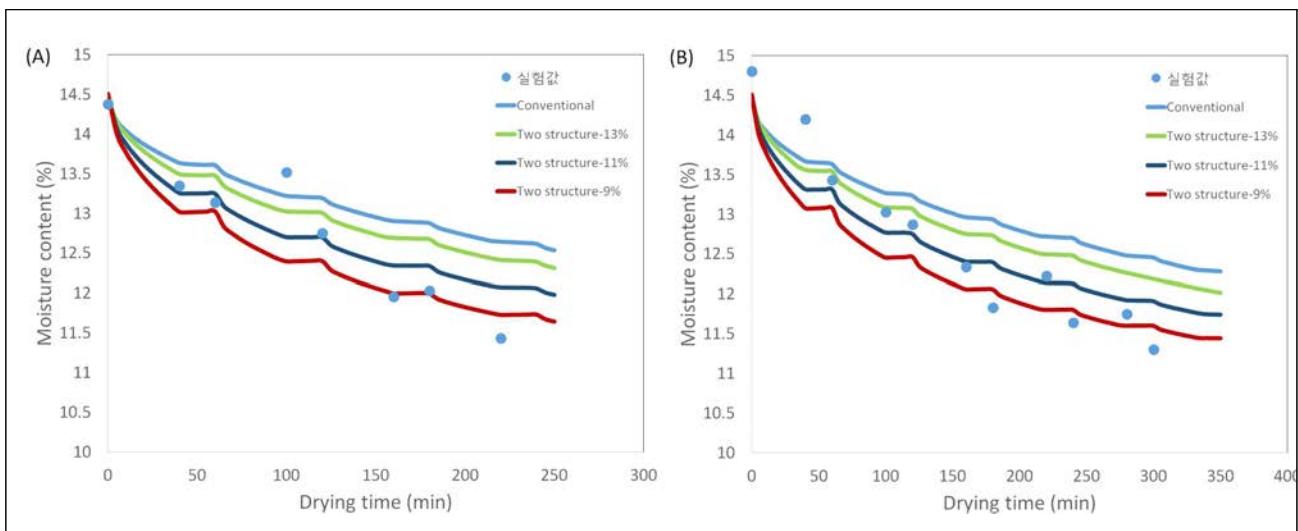


그림 2-114. 공정 규모 간헐적 건조 시뮬레이션 결과. A: 대원, B: 해품

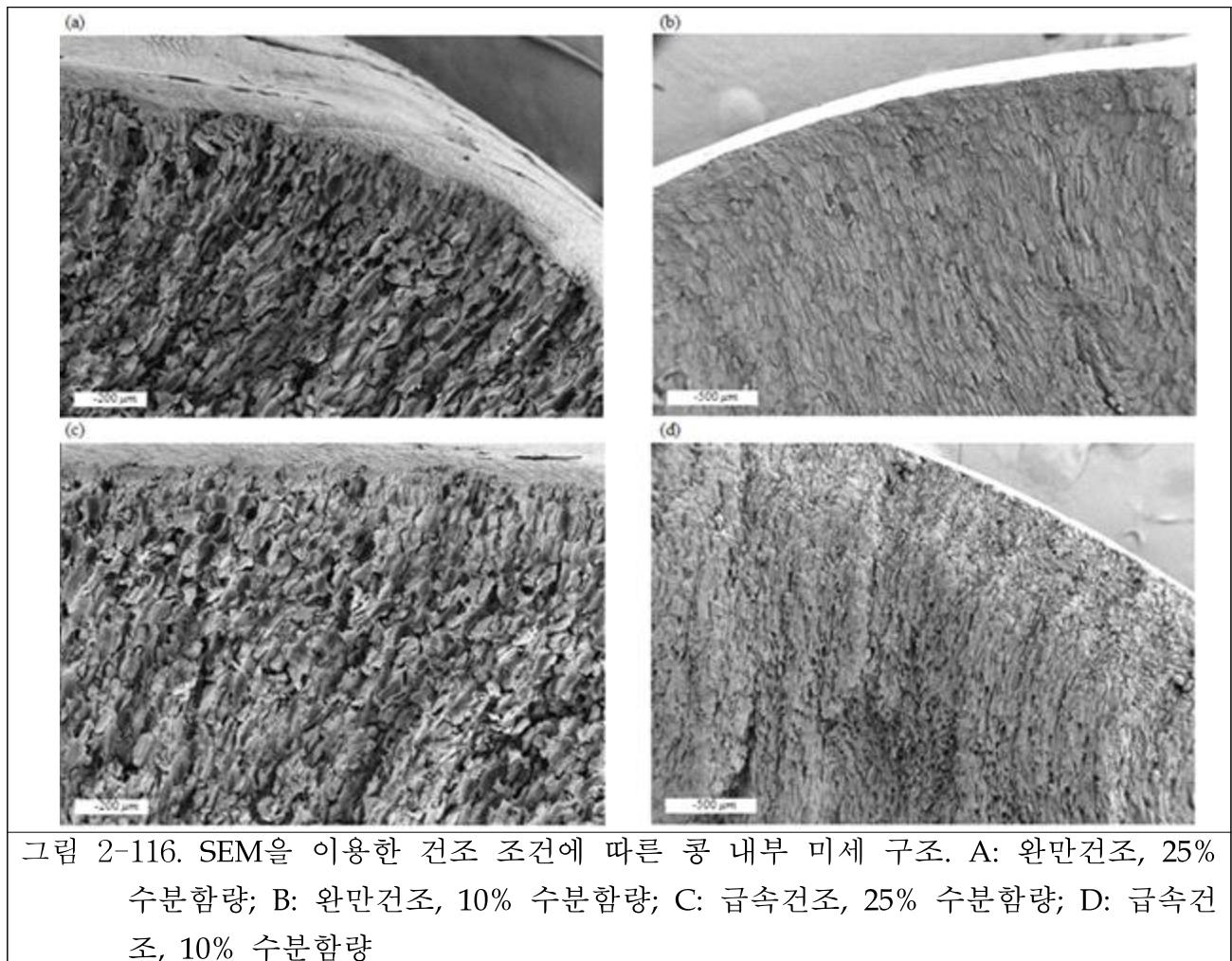
	Species	Conventional	Two structure-13%	Two structure-11%	Two structure-9%
Standard error (%)	대원	0.642	0.513	0.343	0.327
	해품	0.649	0.483	0.337	0.400

그림 2-115. 표준오차를 이용한 건조 시뮬레이션의 성능 평가

대원과 해품의 간헐적 건조에서도 실험값과 시뮬레이션 모델링의 결과가 유사한 값을 나타내는 것을 확인하였다. 표준 오차를 이용한 건조 시뮬레이션의 성능 평가 역시 다른 성능 평가 데이터와 유사한 범위에 있는 것을 확인하였으며, 대원의 경우 two structure-9% 가, 해품의 경우 two structure-11%가 가장 실험값에 가까운 결과를 나타내었다. 공정 규모 간헐적 건조의 시뮬레이션 결과는 공정 규모 연속 건조에 비해 모델간의 차이가 적은 결과를 나타내었는데, 이는 건조-방치 기간에 의해 콩의 내-외부의 수분차이를 완화시켜주는 과정이 모델간의 차이를 줄였다.

* 열피립과 수분구배의 상관관계

열피립은 콩의 품질에 영향을 미치는 중요한 인자이며, 건조 중 발생하기 때문에 최적 건조 조건을 설정하기 위해서는 반드시 고려되어야 할 부분이며, 대부분의 열피립은 건조 개시 후 30분 ~ 1시간에 콩표피의 인장응력에 의해 발생한다. 열피립은 건조가 시작되면서, 입표면에서의 건조가 이루어지면서 표면 근처의 수분이 낮고 콩 내부는 여전히 고수분 상태를 유지하게 되면서 일어남. 콩 표면의 수분이 낮아지면, 표면은 수분에 비례하여 수축하려고 하지만, 콩 내부의 고수분 지역은 자유롭게 수축할 수 없어 입 표면에 인장응력이 발생하여 인장응력이 표피의 인장 파괴 한계를 초월하였을 때 열피립이 발생하게 된다. 콩의 건조 조건에 따른 콩의 미세구조를 확인하기 위해 SEM (Scanning electron microscope)을 이용하여 콩의 수분 함량에 따른 미세구조를 관찰하였다.



콩 내부의 수분확산이 충분히 주어진 완만건조의 경우, 건조가 진행됨에 따라 콩의 미세구조가 전영역에 걸쳐 수축하는 것과 달리, 급속건조를 하였을 시 건조 전 콩의 미세구조가 전영역에 걸쳐 균일하였던 것과 대조적으로 건조가 진행됨에 따라 콩 표면의 수축이 먼저 진행되는 것을 확인할 수 있었다. 건조에 의해 수분함량이 줄어들면서 그에 의해 미세구조가 수축하였으며, 이는 수분함량 구배에 의해 설명이 가능하다. Two structure-11% 모델이 콩의 공정 규모 건조의 모델링에 사용되었으며, 이를 이용해서 콩 내부의 수분 분포를 확인할 수 있으며, 해품과 대원의 건조 시간에 따른 수분 분포도를 아래에 나타내었다.

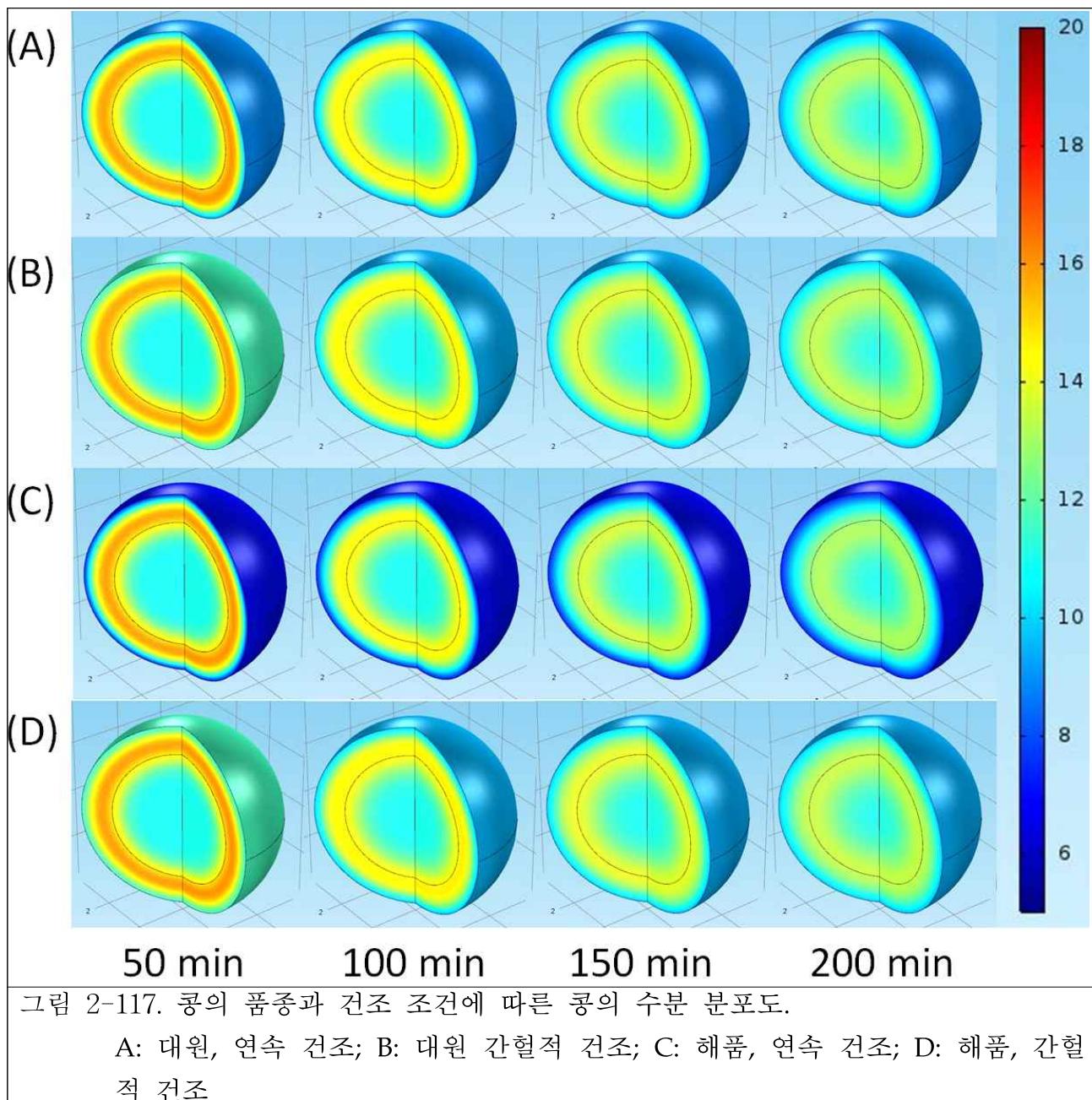


그림 2-117. 콩의 품종과 건조 조건에 따른 콩의 수분 분포도.

A: 대원, 연속 건조; B: 대원 간헐적 건조; C: 해풀, 연속 건조; D: 해풀, 간헐적 건조

대원과 해풀 모두에서 간헐적 건조를 할 경우 연속 건조에 비해 수분이 비교적 고르게 분포되어 있는 것을 확인할 수 있으며, 건조 시간에 따른 열피립의 발생 비율과 열피립을 발생시키는 콩의 표면과 콩 내부의 고수분 영역의 수분구배를 확인하였다.

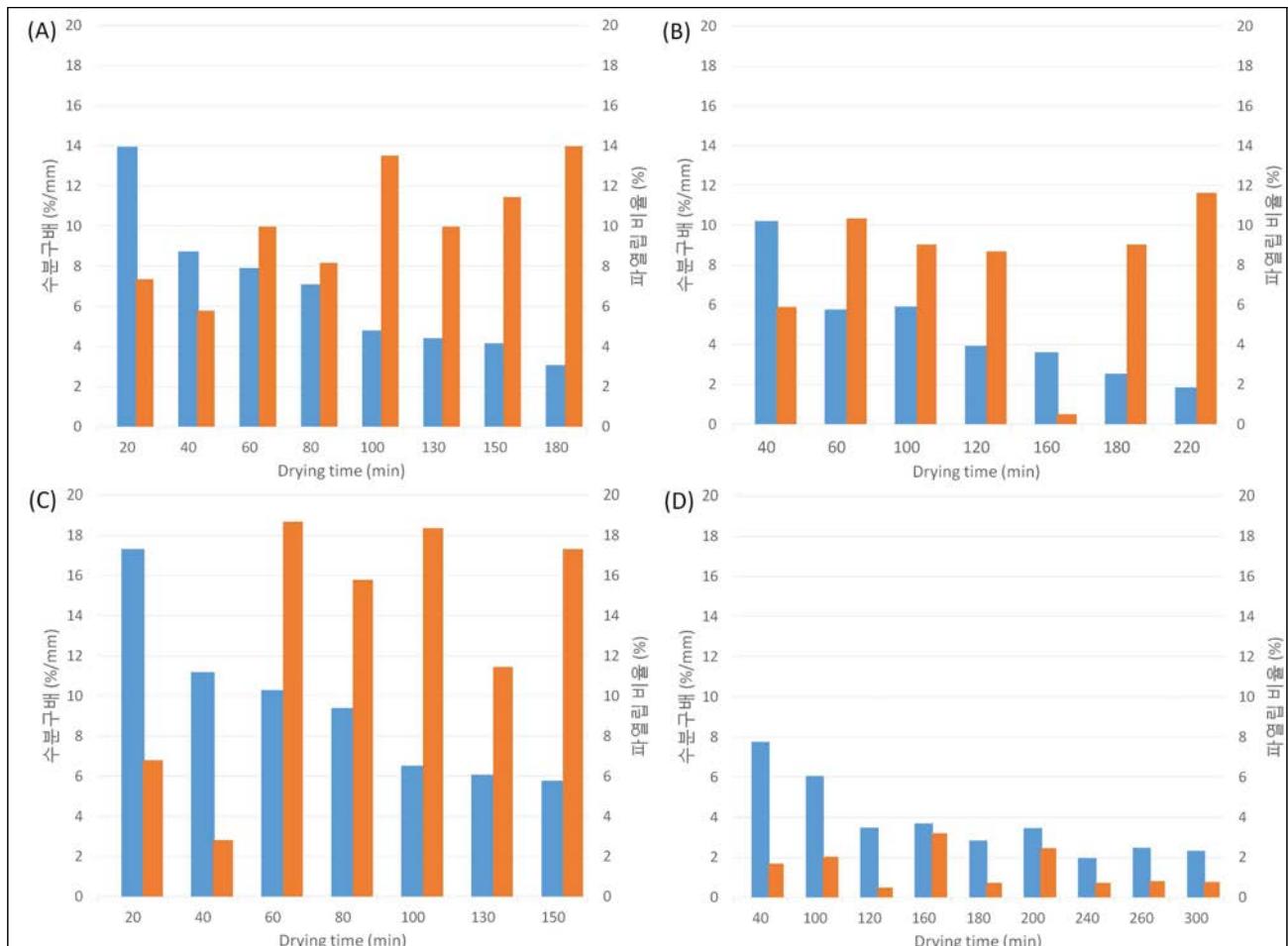


그림 2-118. 콩의 품종과 건조 조건에 따른 콩의 수분 구배와 열피립 비율.

A: 대원, 연속 건조; B: 대원 간헐적 건조; C: 해풀, 연속 건조; D: 해풀, 간헐적 건조

예상했던 바와 같이, 대원과 해풀 모두에서 간헐적 건조 시 수분구배 값이 상대적으로 작은 것을 확인하였다. 이는 건조기간 사이의 방치 기간에서 콩의 수분구배가 내부의 수분확산에 의해 완화되기 때문이다. 해풀의 간헐적 건조를 제외한 모든 조건에서 건조 중 발생하는 열피립 비율이 높으며, 반드시 건조 조건을 통해 조절되어야 함을 확인하였다. 모든 조건에서 건조가 진행됨에 따라 수분 구배가 감소함을 나타내었으며, 이는 급격한 수분 구배가 건조 초기에 발생되고 건조 시간에 따라 수분확산에 의해 콩 내부 역시 수분함량이 감소하기 때문이다. 간헐적 건조에서 대원의 열피립 발생비율이 해풀과 비교하여 상대적으로 높은 값을 나타내었으며, 이는 입경이 큰 품종일수록 콩 표면이 건조되는 속도에 비하여 콩 내부의 수분함량이 감소하기 어려워 수분 구배가 상대적으로 입경이 작은 품종보다 크게 발생함에 따른 인장응력에 의한 것이다. 해풀의 간헐적 건조의 경우 최고 수분 구배는 $7.77\%/\text{mm}$ 였으며, 대원 간헐적 건조의 경우 $10.22\%/\text{mm}$ 의 값을 나타내었다. 따라서, 열피립을 발생시키는 임계 수분 구배 값이 이 범위 내에 있음을 확인할 수 있으며, 이는 콩의 공정 규모 공정에서 콩의 초기 수분함량 및 품종에 따른 건조 조건을 설정하는 데 필수적으로 고려되어야 한다.

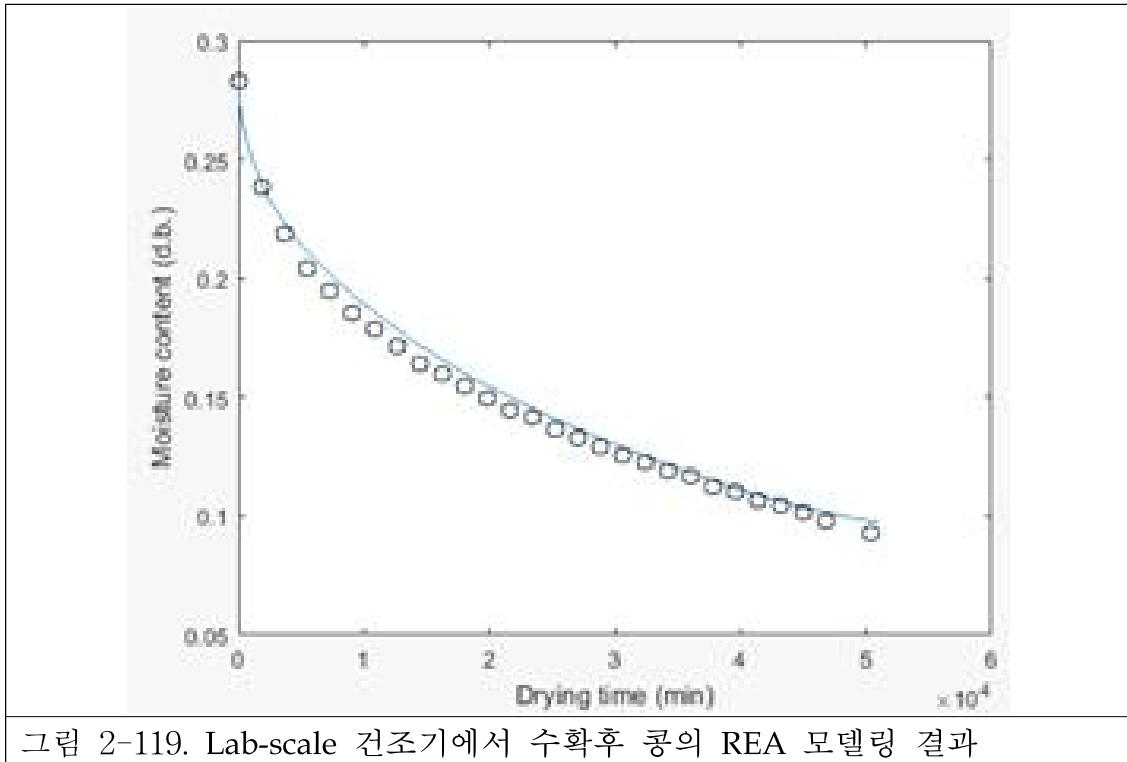
시뮬레이션을 통해 콩의 건조 공정의 풍속 분포 및 건조도를 예측하는 것은 실험의 한계를 극복하고 최적 공정 조건 설정 및 건조기 설계에 반드시 필요한 정보를 효과적으로 제공

할 수 있기 때문에, 기 개발된 시뮬레이션 모델을 이용하여 콩의 사용 목적, 품종, 건조 환경 등 다양한 건조 조건의 설정이 필요할 때 최적 공정 조건 설정에 직접적으로 활용될 수 있을 것으로 기대할 수 있다.

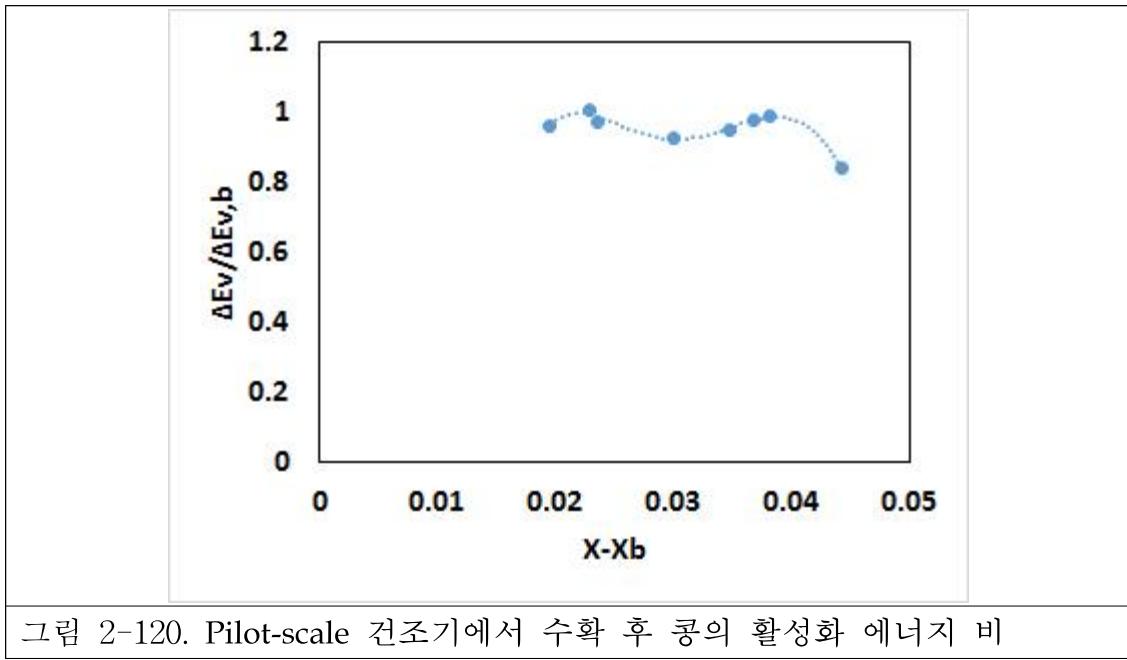
2) 콩 건조의 수학적 모델링

REA 모델링으로부터 도출한 Lab-scale 건조에서의 활성화에너지 수식은 다음과 같다.

$$\frac{\Delta E_v}{\Delta E_{v,b}} = -47407(X - X_b)^5 + 24093(X - X_b)^4 - 4773.4(X - X_b)^3 \\ + 455.04(X - X_b)^2 - 21.246(X - X_b) + 1.3578$$



REA modeling은 재수화 콩과 마찬가지로 원물 콩에서도 높은 정확도를 나타낸다. REA modeling을 위하여는 샘플의 내부 온도 및 공정 공기의 온도가 섬세하게 측정되어야 정확한 모델링이 가능하다. 공정 건조기의 경우 심한 오차로 인하여 활성화 에너지의 비를 구하는 것이 어렵다. 추후 공정에서 콩의 온도 및 공정 공기의 온도를 더 자세히 분석한다면 REA 모델링으로도 건조의 예측이 가능하다.



6. SPC 건조 공정의 최적화

본 건조 연구를 통하여 SPC의 순환식 건조기에서 건조 공정의 최적화를 위한 변수들을 확인하였다. 높은 품질의 최종 건조 콩을 위해서는 초기 수분함량, 건조 온도, 건조 습도, 건조 조건 및 시간, 목표 수분함량에 따라 다양한 건조 최적화를 이룰 수 있다. 현재까지 도출한 열피립을 최소화시키기 위한 최적 건조 공정은 다음과 같다.

콩의 종류	초기 수분함량	목표 수분함량	건조 방법	습도
해품	20%	14~16%	일반건조	일반
	14%	11%	간헐적건조	일반~고습
	20%	-	-	-
대원	14%	11%	일반건조 및 간헐적건조	고습

그림 2-120. 해품과 대원의 최적 건조 조건

7. 건조 콩의 사일로에서의 수직적 흐름연구를 통한 사일로 설계인자 도출 및 포장 생산성 계산

수분함량이 각각 11%, 20%인 해품이 사일로 내에서 출구로 유동하는 모습은 다음과 같다.

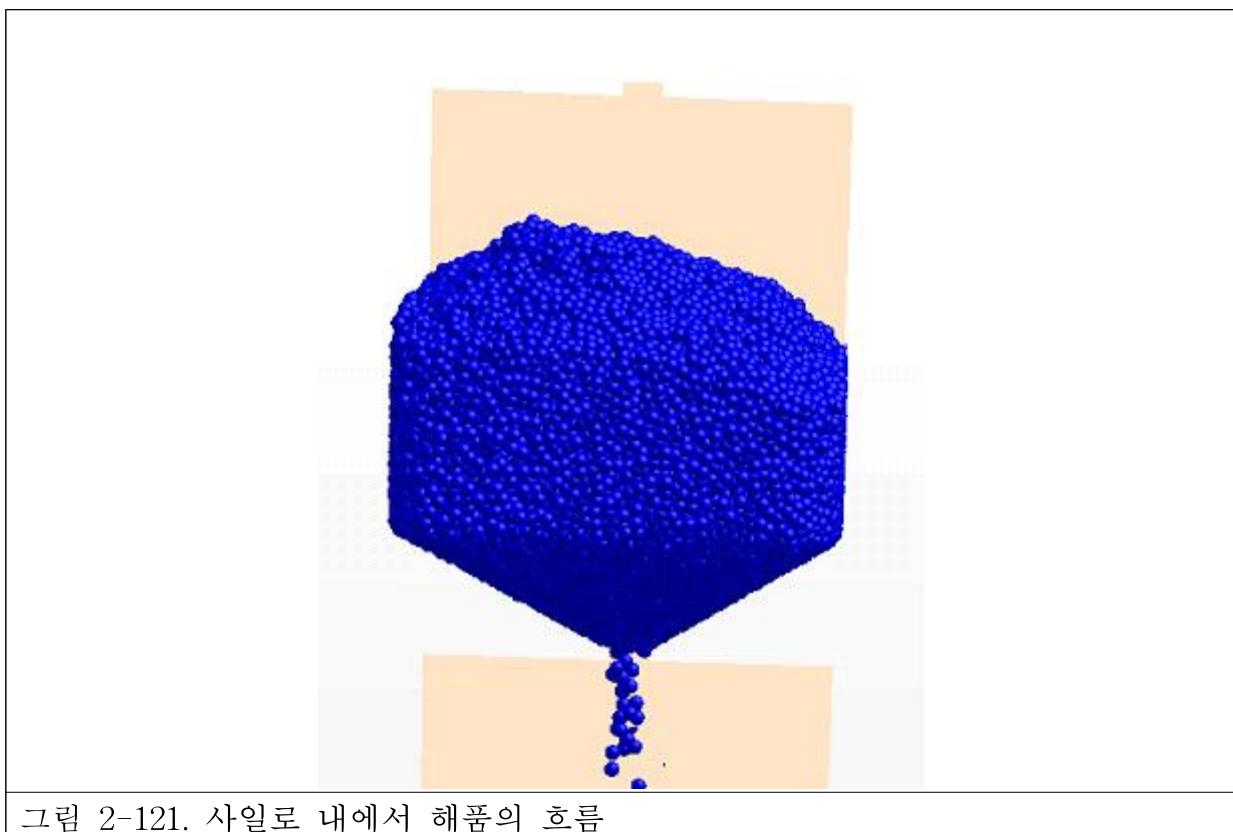


그림 2-121. 사일로 내에서 해품의 흐름

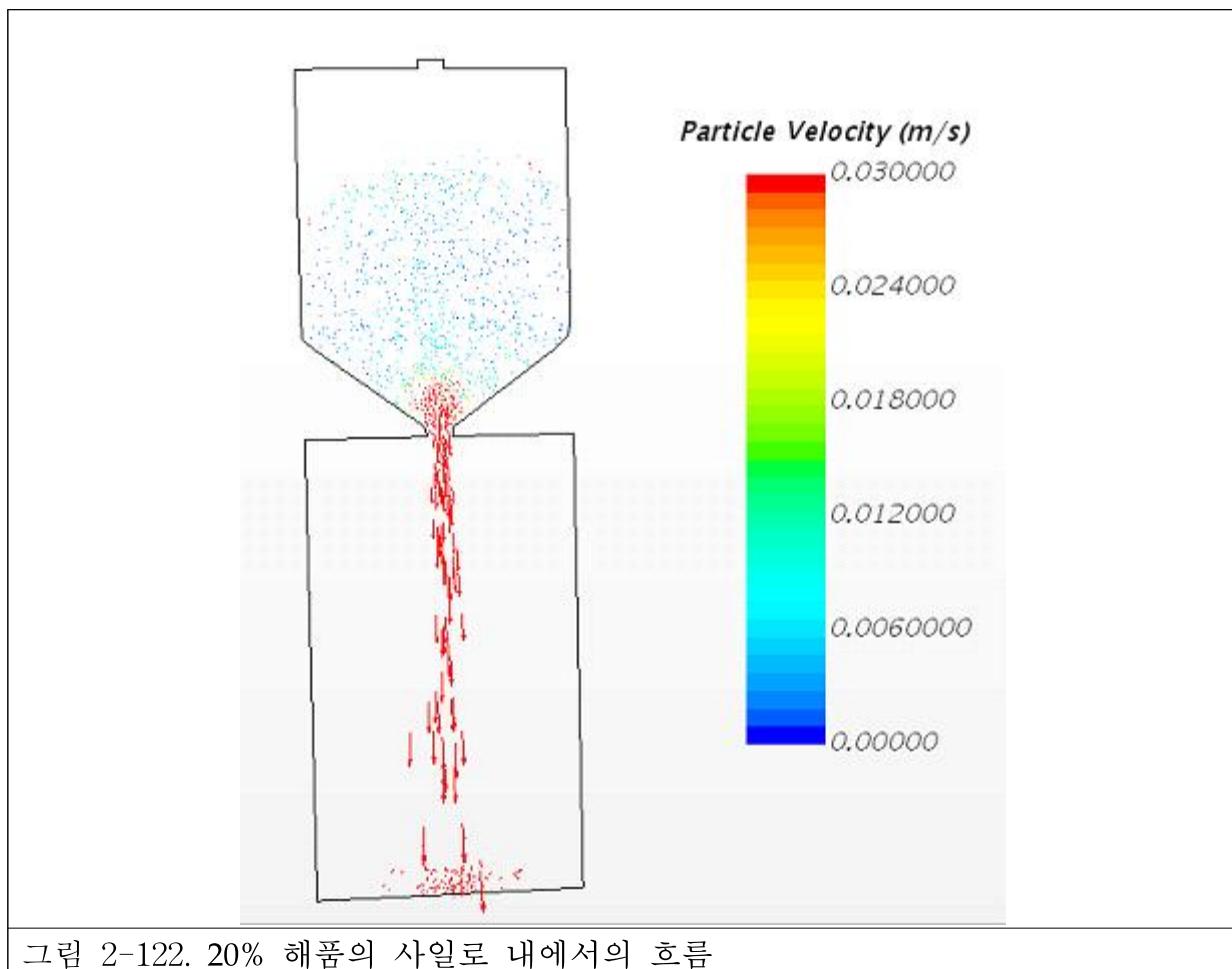


그림 2-122. 20% 해품의 사일로 내에서의 흐름

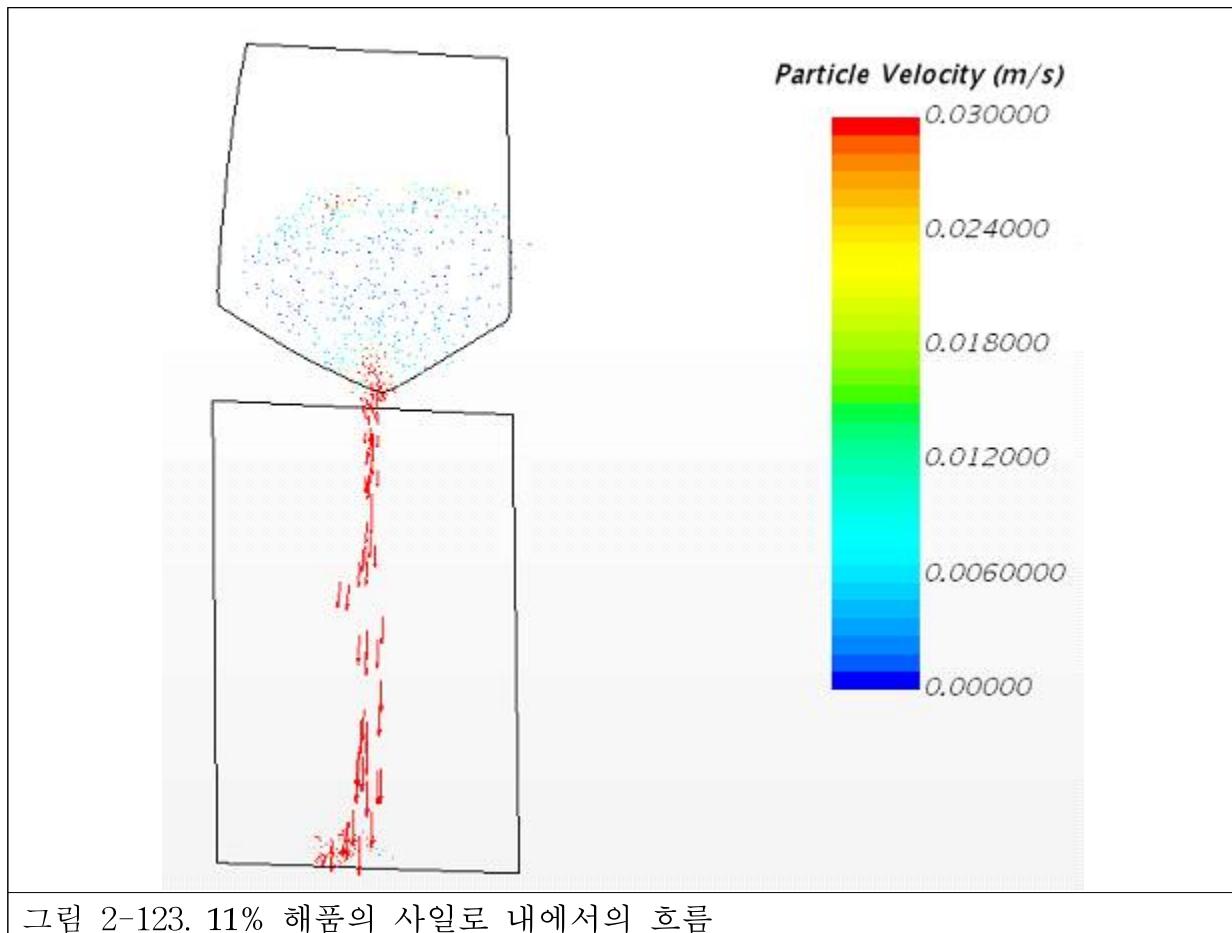


그림 2-123. 11% 해품의 사일로 내에서의 흐름

20% 해품과 11% 해품의 사일로 내에서의 흐름은 다른 양상을 나타낸다. 20% 해품의 경우 초기에 출구에 도달하는 시간이 11% 해품에 비하여 느렸으며, 출구에 콩이 모두 도달하였을 때 빠른 속도로 다량이 한번에 낙하함을 확인하였다. 그에 비하여 11% 해품은 투입과 동시에 콩이 출구로 빠르게 향하여 쏟아지기 때문에 출구에서의 속도는 20% 해품이 더 높은 것으로 측정된다.

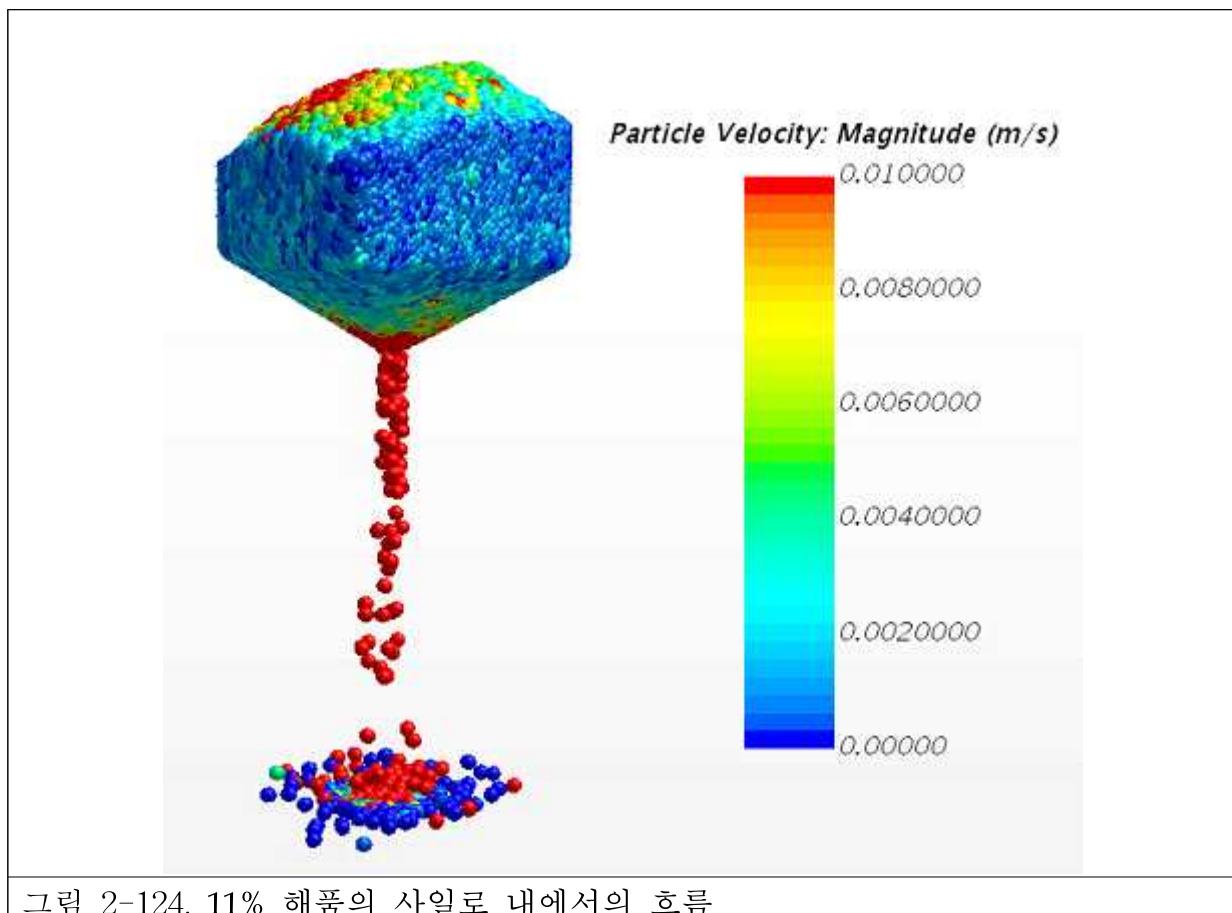


그림 2-124. 11% 해품의 사일로 내에서의 흐름

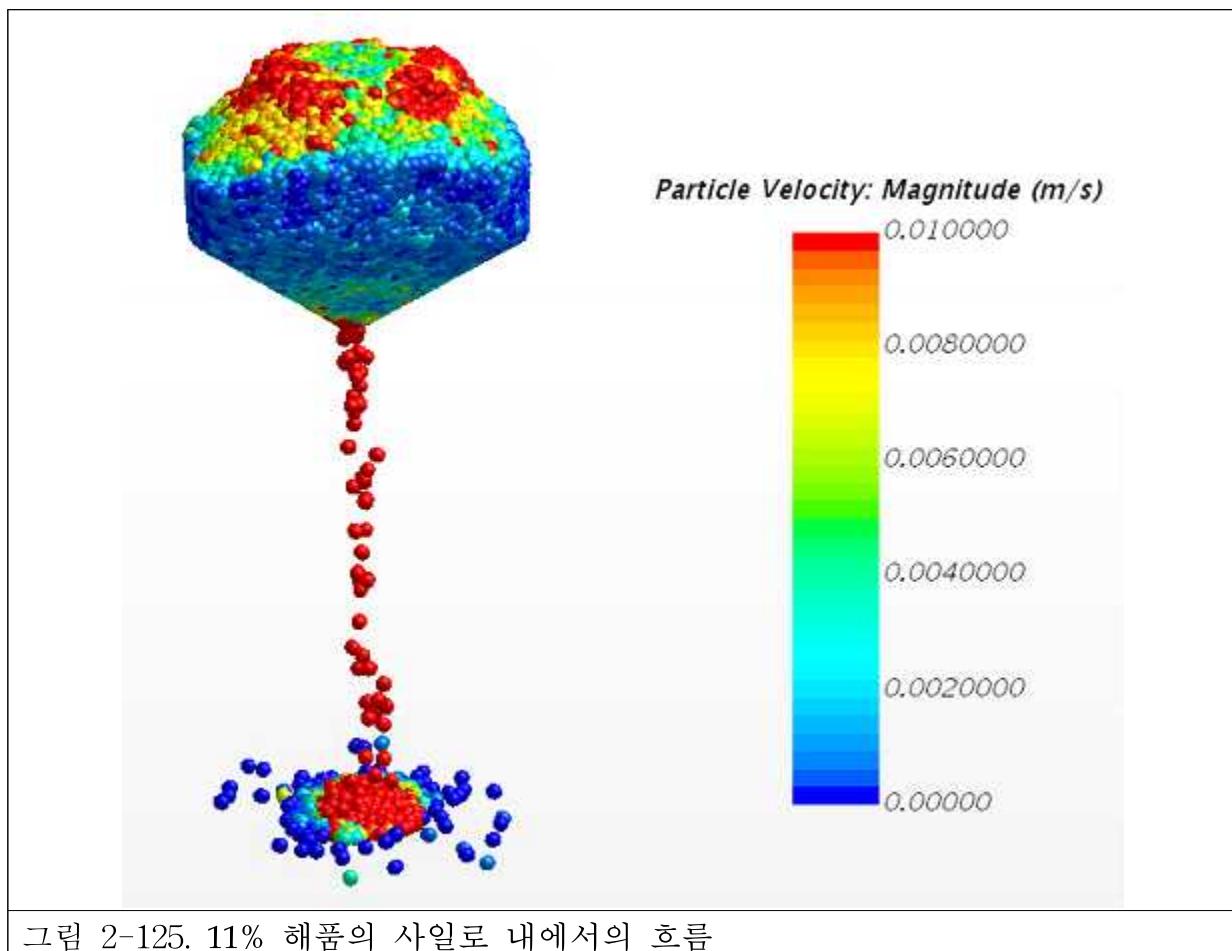
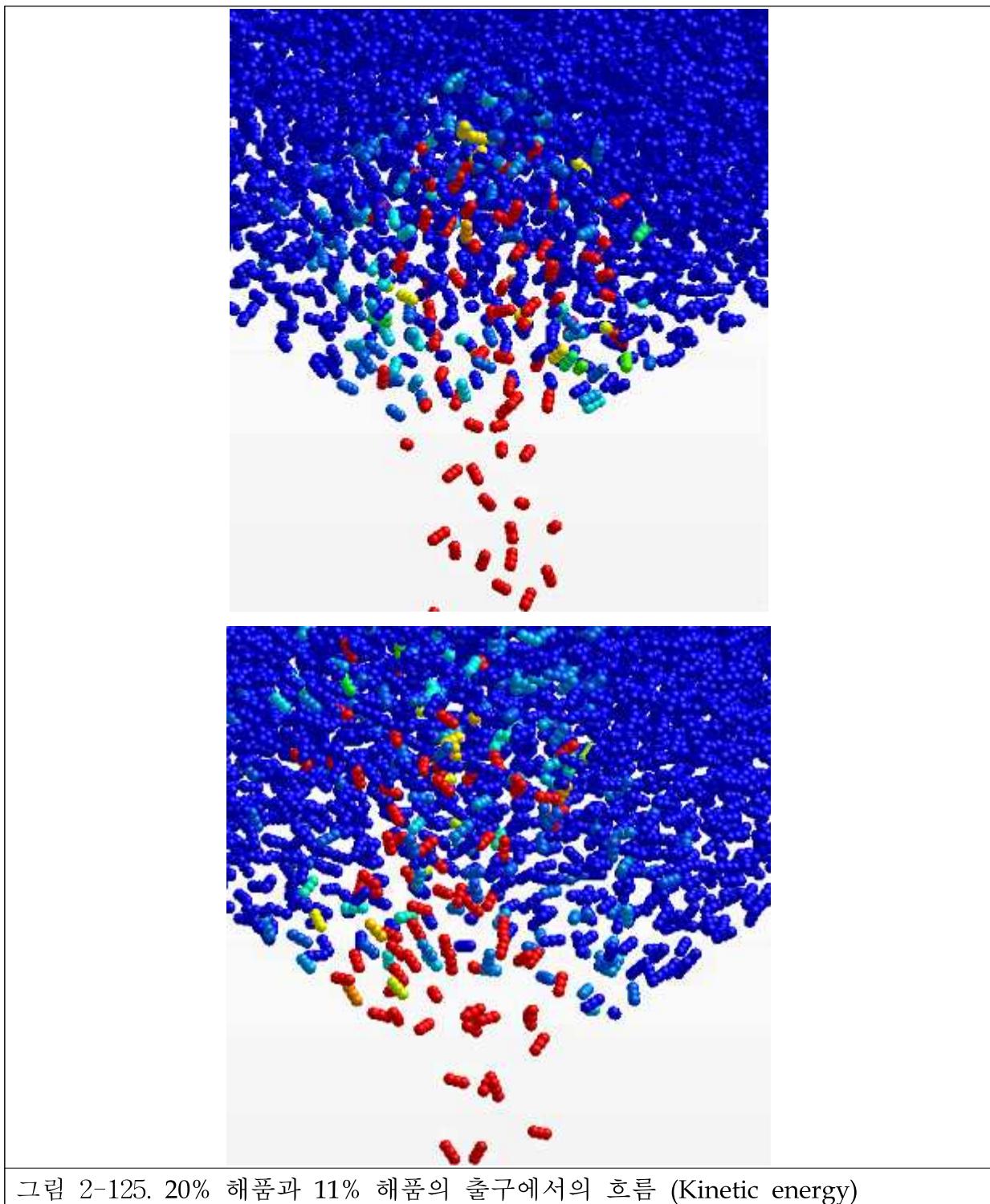


그림 2-125. 11% 해품의 사일로 내에서의 흐름

3D 형상을 통하여 확인한 결과, 11% 해풀이 11 s 동안 사일로에서 유동된 결과와 20% 해풀이 10 s 동안 사일로에서 유동된 결과, 11% 해풀에서 더 많은 양이 낙하하였다.



수분 함량이 다른 해품의 사일로 방출 시 운동 에너지(Kinetic energy)를 확인한 결과, 11% 해품의 경우 사일로 내부의 중앙부에서 높은 운동 에너지를 가짐을 확인하였다. 즉 수분 함량이 낮을 때 흐름성이 증가함을 확인하였다.

8. 수확량, 건조량, 포장량에 따른 총 처리 시설의 생산성과 에너지 효율 모델 개발

가. 건조



건조 공정은 시간에 따라 무게가 감소하고 초기 수분함량과 목적 수분함량에 따라 무게가 변화한다. 밀양 SPC의 공정에서 사용하는 건조기는 순환식 건조기로 콩이 순환하며 건조가 되는 방식이다.



그림 2-126. 사진: 순환식 건조기

프로그래밍을 하기 위해서 입력 인자로 초기수분함량(Initial moisture content), 목적수분함량(Target moisture content), 초기 콩의 질량이 존재한다. 입력인자(Input data)와 하기의 식을 이용하여 연산을 진행하며 연산의 결과는 수분손실[kg], 소요시간[s], 생산속도[kg/s]이다.

$$\text{Water loss[kg]} = \text{Input[kg]} \times (\text{Initial[kg]} - \text{Target[kg]}) / 100$$

$$\text{Time}_{\text{dry}} = (-72 \times \text{Target} + 7200) - (-72 \times \text{Initial} + 7200)$$

$$\text{Rate}_{\text{dry}} = \frac{\text{Input}}{\text{Time}_{\text{dry}}}$$

$$\text{Mass}_{\text{dry}} = \text{Input} - \text{Water loss}$$

$$\text{Time}_{\text{dryer}} = \frac{\text{Input}}{\text{Rate}_{\text{dry}}}$$

그림 2-127. 수식: 순환식 건조기

SPC Mass Balance	
옵션 결과 분석 도움말 Data Input Input [kg] <input type="text"/> Initial [%] <input type="text"/> Target [%] <input type="text"/>	순환식 건조기 수분 Loss [kg] <input type="text"/> 소요 시간 [s] <input type="text"/> 생산 속도 [kg/s] <input type="text"/>
<input type="button" value="Calculate"/>	
연산 전: 순환식 건조기	
연산 후: 순환식 건조기	

그림 2-128. 순환식 건조기 처리량별 소요시간

계산 결과 상기의 그림과 같은 결과를 얻을 수 있으며 Input, Initial, Target을 변화시켜 줄 수 있다. 50kg의 콩을 건조하였을 때, 수분의 손실은 4kg이 나타나며 가정된 속도에서의 소요시간은 576초가 소요될 것으로 예상되며 생산속도는 0.087kg/s로 계산되었다.

나. 호퍼 및 승강기

승강기와 호퍼는 각 공정과 공정 사이를 연결하여주는 역할이며, 이전 공정에서 이송되거나 다음 공정으로 이송할 때 사용되는 공정이다. 상기의 그림에서 화살표에 해당하는 공정임을 확인할 수 있다.



그림 2-129. 사진: 승강기 및 호퍼

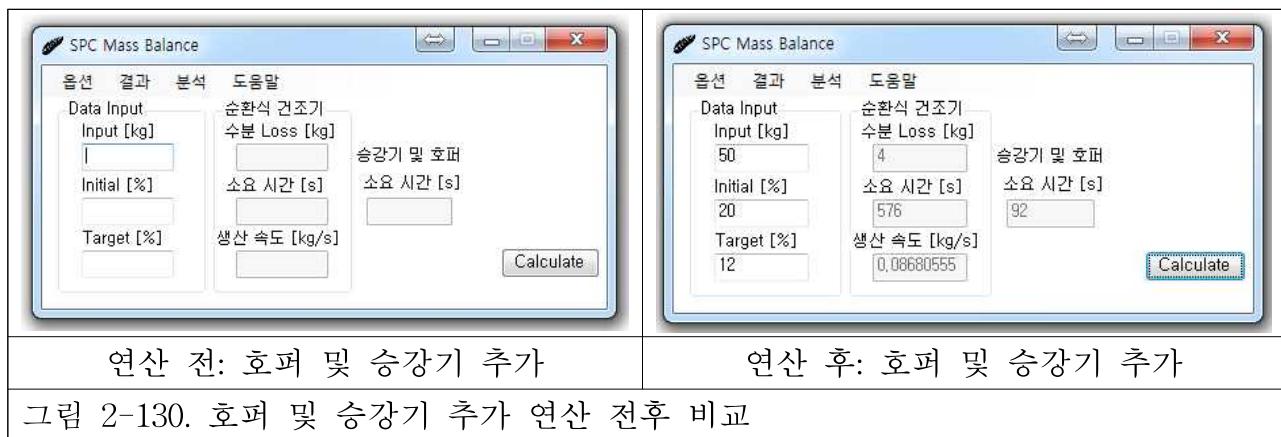
호퍼 및 승강기의 속도는 실제 공정에서 다른 공정보다 빠르며 다른 공정의 속도에 영향을 미치지 않도록 설계되었다. 이동 속도는 설계와 같이 건조기의 생산속도보다 현저히 빠르게 가정하였으며, 단순히 이송하여 주는 공정이기 때문에 콩의 손실은 없어 하기의 식으로 연산하여 소요시간과 이송 속도를 연산할 수 있다.

$$\text{Rate}_{\text{ele}} = 0.5 \text{ [kg/s]}$$

$$\text{Time}_{\text{ele}} = \frac{\text{Mass}_{\text{dry}}}{\text{Rate}_{\text{ele}}}$$

그림 2-130. 수식: 호퍼 및 승강기

상기의 수식을 사용하여 프로그램에 호퍼 및 승강기를 추가하였고 그에 따른 결과를 하기에 첨부하였다.



프로그램 후 연산 결과 순환식건조기와 원료 정선기를 연결하여주는 승강기에서 소요시간은 92초로 계산되었다.

다. 원료정선기



원료정선기는 진동을 이용하여 나뭇잎, 콩깍지, 나뭇가지 등 이물질을 제거하는 공정이다.



그림 2-131. 원료정선기

건조기에서 건조가 완료된 콩을 M202승강기 앞 투입구에 투입하여 공정이 시작된다. 이전의 공정(순환식 건조기)에서의 생산량을 사용하여 이물질의 양을 계산하며, 이물질의 양을 뺀 나머지를 생산량으로 하고, 그 생산량을 가정한 생산속도를 나누어 주어 연산을 진행한다. 이물질의 비율은 0.05, 생산속도는 0.3kg/s로 가정하였다.

$$\text{Ratio}_{\text{Raw}} = 0.05$$

$$\text{Rate}_{\text{Raw}} = 0.3$$

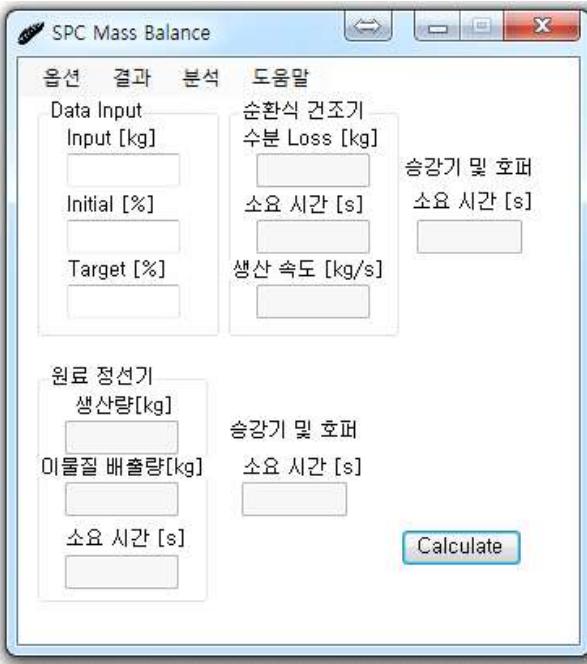
$$\text{Mass}_{\text{Raw}} = \text{Mass}_{\text{dry}} - (\text{Mass}_{\text{dry}} \times \text{Ratio}_{\text{Raw}})$$

$$\text{Mass}_{\text{FM}} = \text{Mass}_{\text{dry}} \times \text{Ratio}_{\text{Raw}}$$

$$\text{Time}_{\text{Raw}} = \frac{\text{Mass}_{\text{Raw}}}{\text{Rate}_{\text{Raw}}}$$

그림 2-132. 수식: 원료 정선기

원료 정선기와 벨트 선별기를 연결하여주는 승강기 및 호퍼 또한 추가되었다.

 <p>SPC Mass Balance</p> <p>옵션 결과 분석 도움말</p> <p>Data Input Input [kg] Initial [%] Target [%]</p> <p>순환식 건조기 수분 Loss [kg] 소요 시간 [s] 생산 속도 [kg/s]</p> <p>승강기 및 호퍼 소요 시간 [s]</p> <p>원료 정선기 생산량[kg] 이물질 배출량[kg] 소요 시간 [s]</p> <p>Calculate</p>	 <p>SPC Mass Balance</p> <p>옵션 결과 분석 도움말</p> <p>Data Input Input [kg] Initial [%] Target [%]</p> <p>순환식 건조기 수분 Loss [kg] 소요 시간 [s] 생산 속도 [kg/s]</p> <p>승강기 및 호퍼 소요 시간 [s]</p> <p>원료 정선기 생산량[kg] 이물질 배출량[kg] 소요 시간 [s]</p> <p>Calculate</p>
연산 전: 원료 정선기	연산 후: 원료 정선기
그림 2-133. 원료 정선기 연산 전후 비교	

연산 결과 원료 정선기에서 배출되는 콩의 양은 43.7kg이며, 이물질의 양은 2.3kg으로 계산되었고, 원료정선기에서의 소요시간은 145.67초로 계산되었다. 초기 콩 투입량(50kg)에서 수분 Loss(4kg)를 빼준 값이 원료정선기로의 투입량이며, 투입량에서 이물질인 “이물질 배출량(2.3kg)”을 빼주면 원료정선기의 생산량인 43.7kg이 계산된다.

라. 벨트 선별기



벨트 선별기는 콩의 원형도를 이용하여 원형이 아닌 이물질을 제거하는 공정으로 굴러 가지 않는 돌등의 이물질을 선별하는 공정이다.



그림 2-134. 벨트선별기

벨트선별기는 3개의 벨트로 구성되어 있으며, 기울어진 면인 벨트에서 흘러내려가는 물질은 선별하고 흘려내리지 않고 벨트를 따라 이동하는 물질은 이물질로 처리하는 방법을 사용한다. 벨트선별기에서 이물질의 비율과 생산 속도는 각각 0.05와 0.5[kg/s]로 가정하였다.

$$\text{Ratio}_{\text{Belt}} = 0.05$$

$$\text{Rate}_{\text{Belt}} = 0.5$$

$$\text{Mass}_{\text{Belt}} = \text{Mass}_{\text{Raw}} - (\text{Mass}_{\text{Raw}} \times \text{Ratio}_{\text{Belt}})$$

$$\text{Mass}_{\text{FM02}} = \text{Mass}_{\text{Raw}} \times \text{Ratio}_{\text{Belt}}$$

$$\text{Time}_{\text{Belt}} = \frac{\text{Mass}_{\text{Belt}}}{\text{Rate}_{\text{Belt}}}$$

그림 2-135. 수식: 벨트선별기

상기의 수식을 이용하여 벨트 선별기에서의 이물질량, 생산량, 소요시간을 계산하였으며 결과는 하기와 같다.

가

SPC Mass Balance

옵션	결과	분석
도움말		
Data Input Input [kg] <input type="text"/> Initial [%] <input type="text"/> Target [%] <input type="text"/>		
순환식 건조기 수분 Loss [kg] <input type="text"/> 소요 시간 [s] <input type="text"/> 생산 속도 [kg/s] <input type="text"/>		
승강기 및 호퍼 소요 시간 [s] <input type="text"/>		
원료 정선기 생산량[kg] <input type="text"/> 이물질 배출량[kg] <input type="text"/> 소요 시간 [s] <input type="text"/>		
승강기 및 호퍼 소요 시간 [s] <input type="text"/>		
벨트 선별기 배출량 [kg] <input type="text"/> 이물질 배출량 [kg] <input type="text"/> 소요 시간 [s] <input type="text"/>		
승강기 및 호퍼 소요 시간 [s] <input type="text"/>		
<input type="button" value="Calculate"/>		

연산 전: 벨트선별기

SPC Mass Balance

옵션	결과	분석
도움말		
Data Input Input [kg] <input type="text" value="50"/> Initial [%] <input type="text" value="20"/> Target [%] <input type="text" value="12"/>		
순환식 건조기 수분 Loss [kg] <input type="text" value="4"/> 소요 시간 [s] <input type="text" value="576"/> 생산 속도 [kg/s] <input type="text" value="0.08680555"/>		
승강기 및 호퍼 소요 시간 [s] <input type="text" value="92"/>		
원료 정선기 생산량[kg] <input type="text" value="43.7"/> 이물질 배출량[kg] <input type="text" value="2.3"/> 소요 시간 [s] <input type="text" value="145.6667"/>		
승강기 및 호퍼 소요 시간 [s] <input type="text" value="87.4"/>		
벨트 선별기 배출량 [kg] <input type="text" value="41.515"/> 이물질 배출량 [kg] <input type="text" value="2.185"/> 소요 시간 [s] <input type="text" value="83.03"/>		
승강기 및 호퍼 소요 시간 [s] <input type="text" value="83.03"/>		
<input type="button" value="Calculate"/>		

연산 후: 벨트선별기

그림 2-136. 벨트선별기 처리시간 등 연산 전후 비교

프로그래밍 결과 상기의 결과가 도출되었다.

마. 색채 선별기

색채 선별기는 물질의 색, 모형등을 영상분석을 통하여 분석한 뒤 적합하지 않은 물질은 이물질로 선별하고 적합한 물질은 다음 공정으로 진행할 수 있도록 하는 공정이다.





그림 2-137. 사진: 색채선별기

색채선별기 또한 프로그램의 연산에 포함이 되었고, 하기에 작성한 식에 의해 연산이 진행되었다. 색채선별기의 이물질의 비율과 생산속도는 각각 0.05와 0.5[kg/s]로 가정하였으며, 프로그래밍에 사용된 식은 하기에 작성한 식과 같다.

$$\text{Ratio}_{\text{Image}} = 0.05$$

$$\text{Rate}_{\text{Image}} = 0.5$$

$$\text{Mass}_{\text{Image}} = \text{Mass}_{\text{Belt}} - (\text{Mass}_{\text{Belt}} \times \text{Ratio}_{\text{Image}})$$

$$\text{Mass}_{\text{FM03}} = \text{Mass}_{\text{Belt}} \times \text{Ratio}_{\text{Image}}$$

$$\text{Time}_{\text{Image}} = \frac{\text{Mass}_{\text{Image}}}{\text{Rate}_{\text{Image}}}$$

그림 2-138. 수식: 색채선별기

상기에 작성한 수식을 통해 프로그래밍을 진행하였고, 결과는 하기에 사진으로 첨부하

였다.

SPC Mass Balance

옵션	결과	분석	도움말	
Data Input	순환식 건조기 Input [kg] <input type="text" value="50"/> Initial [%] <input type="text" value="20"/> Target [%] <input type="text" value="12"/>	수분 Loss [kg] <input type="text" value="4"/> 소요 시간 [s] <input type="text" value="576"/> 생산 속도 [kg/s] <input type="text" value="0,08680555"/>	원료 정선기 생산량[kg] <input type="text" value="43.7"/> 이율질 배출량[kg] <input type="text" value="2.3"/> 소요 시간 [s] <input type="text" value="92"/>	벨트 선별기 생산량 [kg] <input type="text" value="41,515"/> 이율질 배출량 [kg] <input type="text" value="2,185"/> 소요 시간 [s] <input type="text" value="87,4"/>
색채 선별기				Calculate
승강기 및 호퍼	생산량 [kg] <input type="text" value="39,43925"/> 이율질 배출량 [kg] <input type="text" value="2,07575"/> 소요 시간 [s] <input type="text" value="83,03"/>	승강기 및 호퍼	생산량 [kg] <input type="text" value="78,8785"/> 소요 시간 [s] <input type="text" value="83,03"/>	

연산 전: 색채선별기

SPC Mass Balance

옵션	결과	분석	도움말	
Data Input	순환식 건조기 Input [kg] <input type="text" value="50"/> Initial [%] <input type="text" value="20"/> Target [%] <input type="text" value="12"/>	수분 Loss [kg] <input type="text" value="4"/> 소요 시간 [s] <input type="text" value="576"/> 생산 속도 [kg/s] <input type="text" value="0,08680555"/>	원료 정선기 생산량[kg] <input type="text" value="43.7"/> 이율질 배출량[kg] <input type="text" value="2.3"/> 소요 시간 [s] <input type="text" value="92"/>	벨트 선별기 생산량 [kg] <input type="text" value="41,515"/> 이율질 배출량 [kg] <input type="text" value="2,185"/> 소요 시간 [s] <input type="text" value="87,4"/>
색채 선별기				Calculate
승강기 및 호퍼	생산량 [kg] <input type="text" value="39,43925"/> 이율질 배출량 [kg] <input type="text" value="2,07575"/> 소요 시간 [s] <input type="text" value="83,03"/>	승강기 및 호퍼	생산량 [kg] <input type="text" value="78,8785"/> 소요 시간 [s] <input type="text" value="83,03"/>	

연산 후: 색채선별기

그림 2-139. 색채선별기 연산 전후 비교

바. 입자선별기, 저장탱크



입자선별기는 콩을 입자별로 분리하는 역할을 하며 입자선별기 내부에 입자의 크기에 따라 나누어질 수 있는 다공성 용기가 3개 포함되어 있다. 입자선별기는 3가지 크기(대, 중, 소)로 나뉘며 한 번의 공정으로는 완료되지 못하므로 최소 두 번에서 세 번 입자선별을 진행하여야 한다. 입자선별의 크기의 비율은 총 세 번 입자선별을 한 크기의 비율로 가정한다. 저장탱크는 입자선별이 진행된 후 승강기를 통하여 저장되는 탱크로 입자 선별기에서 생산된 각 크기의 콩을 저장하는 역할을 한다.



그림 2-140. 입자선별기와 선별후 임시 저장 탱크

입자선별기의 공정 속도는 0.5, 입자의 비율은 대, 중, 소 각각 0.4, 0.4, 0.3으로 가정하였다. 입자선별기에서의 수식은 하기에 작성한 식과 같고 하기의 식으로 프로그래밍을 진행하였다.

$$\text{Rate}_{\text{dia}} = 0.5$$

$$\text{Ratio}_S = 0.3$$

$$\text{Ratio}_M = 0.4$$

$$\text{Ratio}_L = 0.4$$

$$\text{Mass}_S = \text{Mass}_{\text{Image}} \times \text{Ratio}_S$$

$$\text{Mass}_M = \text{Mass}_{\text{Image}} \times \text{Ratio}_M$$

$$\text{Mass}_L = \text{Mass}_{\text{Image}} \times \text{Ratio}_L$$

$$\text{Time}_{\text{dia}} = \text{Mass}_{\text{Image}} / \text{Rate}_{\text{dia}}$$

그림 2-141. 수식: 입자선별기

상기의 식을 통해 프로그래밍을 진행하였고, 결과는 하기에 사진을 첨부하였다.

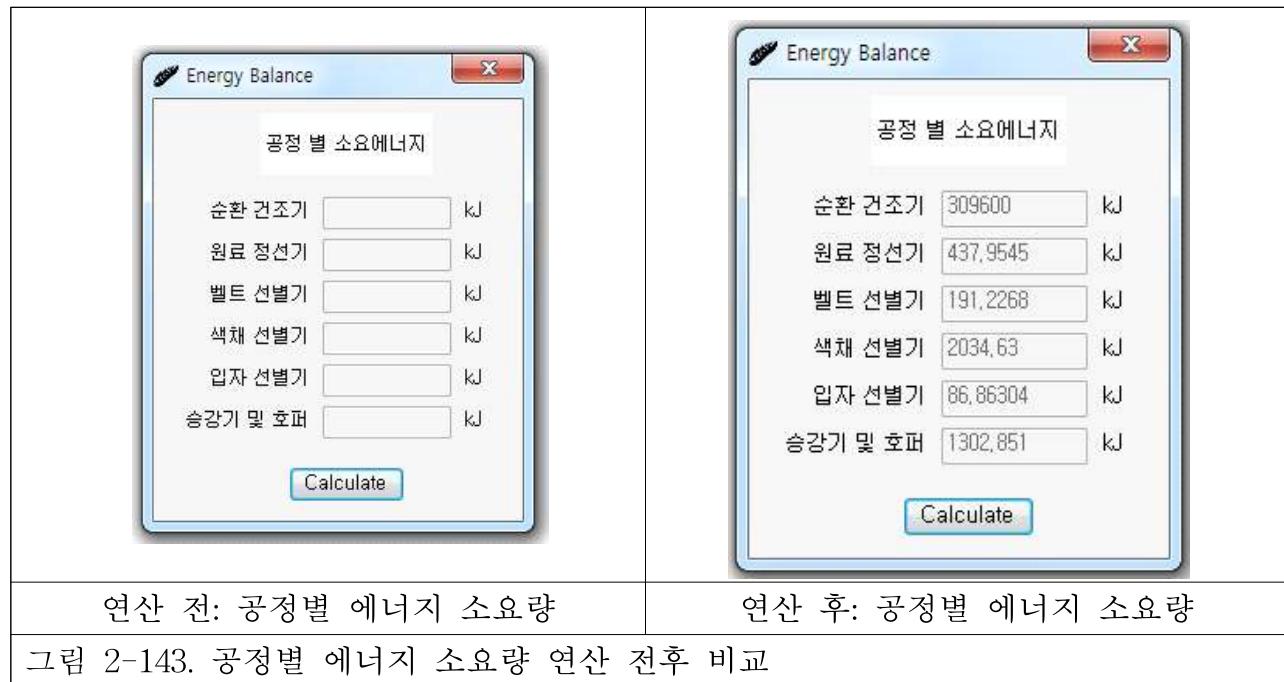
<p>연산 전: 입자선별기, 저장탱크</p>	
<p>연산 후: 입자선별기, 저장탱크</p>	
<p>그림 2-142. 입자선별기, 저장탱크 비교</p>	

연산결과 모든 공정에서 소요시간과 각 탱크에서의 저장량을 계산할 수 있음을 확인하였다.

사. 공정별 소요에너지

각 공정별 소요에너지는 각 기기의 시간당 소요에너지와 소요 시간을 통하여 계산하였

다. 소요 시간 데이터는 앞서 진행하였던 Mass Balance의 계산된 소요시간을 호출하여 계산이 진행된다. 연산의 결과는 하기의 첨부한 사진과 같이 도출되었다.



(5) 실제 공정 생산속도 측정 및 프로그램 적용

공정에 방문하여 실제 콩의 생산속도 및 승강기에서의 이동속도를 측정하였다. 55.2kg의 콩을 실제 공정에 사용하여 소요 시간 및 무게를 측정하여 생산 속도, 이동속도, 이물질의 비율, 입자의 비율 등을 계산하였다. 계산결과 아래의 데이터를 도출할 수 있었으며, 가정하여 진행된 연산에서 가정치를 실험치로 대체하여 프로그래밍을 진행하였다. 실험을 통해 획득한 데이터는 아래와 같다.

표 2-5. 실제 소요 시간과 속도

소요시간[s] 속도[kg/s]		
순환식건조기	24000	0.0021
승강기	35.73	1.43
원료정선기	117.04	0.44
벨트선별기	93.14	0.55
색채선별기	847.57	0.06
입자선별기 1	95.43	0.54
입자선별기 2	89.47	0.57
입자선별기 3	74.94	0.68

가정에서 사용한 것과 같이 승강기의 속도는 매우 빠르며 소요시간이 짧아 다른 공정에 미미한 영향만 미칠 것으로 판단된다. 공정의 소요시간은 순환식 건조기, 색채선별기 순으로 많이 사용되며 순환식 건조기, 색채선별기의 순으로 소요동력이 높다. 또한, 이물질의 비율은 아래의 표와 같다.

표 2-6. 실제 이물질의 비율

	가정	실제
원료정선기	0.05	0.000
벨트선별기	0.05	0.001
색채선별기	0.05	0.026
입자선별기	0.05	0.014

- 입자선별기에서 각 입자의 비율도 측정하였다.

표 2-7. 입자선별기 입자의 비율

입자 비율	대	중	소	전체
1	28.18	21.94	0.94	51.06
비율	55.19	42.97	1.84	
2	27.64	20.65	1.33	49.62
비율	55.70	41.62	2.68	

연산 결과는 아래와 같다.

SPC Mass Balance

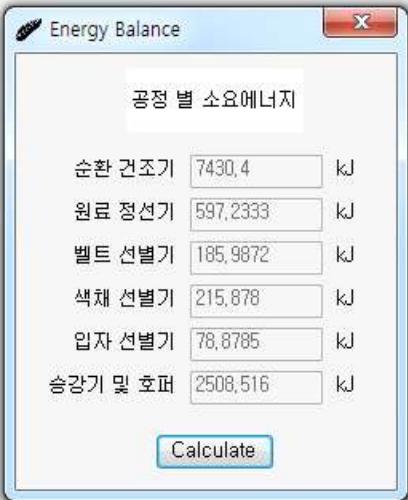
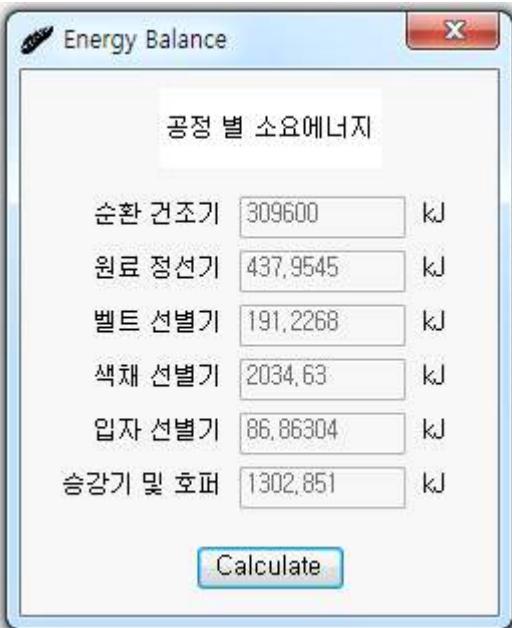
옵션	결과	분석	도움말
Data Input Input [kg] 50 Initial [%] 20 Target [%] 12			
순환식 건조기 수분 Loss [kg] 4 소요 시간 [s] 576 생산 속도 [kg/s] 0.08680555			
원료 정선기 이물질 배출량[kg] 43.7 소요 시간 [s] 92 소요 시간 [s] 145.6667			
벨트 선별기 배출량 [kg] 41.515 소요 시간 [s] 87.4 소요 시간 [s] 83.03			
색채 선별기 배출량 [kg] 39.43925 소요 시간 [s] 83.03 소요 시간 [s] 83.03			
입자 선별기 승강기 및 호퍼 소요 시간 [s] 78.8785 소요시간 [s] 78.8785			
저장탱크 소 맹크[kg] 11.83178 중 맹크[kg] 11.83178 대 맹크[kg] 15.7757			
Calculate			

수정 전: 입자선별기, 저장탱크

옵션	결과	분석	도움말
Data Input Input [kg] 51.06 Initial [%] 20 Target [%] 12			
순환식 건조기 수분 Loss [kg] 4 소요 시간 [s] 24000 생산 속도 [kg/s] 0.002125			
원료 정선기 이물질 배출량[kg] 47 소요 시간 [s] 32,86713 소요 시간 [s] 106.8182			
벨트 선별기 배출량 [kg] 46.953 소요 시간 [s] 32,86713 소요 시간 [s] 85.36909			
색채 선별기 배출량 [kg] 46.90605 소요 시간 [s] 32,80143 소요 시간 [s] 782.55			
입자 선별기 승강기 및 호퍼 소요 시간 [s] 32,80143 소요시간 [s] 86.86304			
저장탱크 소 맹크[kg] 25.88745 중 맹크[kg] 20.15553 대 맹크[kg] 0.8630713			
Calculate			

수정 후: 색채선별기, 저장탱크

그림 2-144. 수정 전후의 색채선별기, 저장탱크 비교

	
수정 전: 공정별 에너지 소요량	수정 후: 공정별 에너지 소요량
그림 2-145. 수정 전후의 공정별 에너지 소요량 비교	

연산 결과 순환식 건조기에서 동력이 가장 많이 사용되며, 색채선별기가 그 뒤를 이었다. 상기의 이유로 순환식 건조기의 효율성을 증가시켜 에너지 효율을 증가시켜야 할 것으로 판단된다.

(6) 데이터 검증

에너지 효율모델의 정확성을 위해 프로그램의 정확성 판단이 필요하고 실제 공정과 프로그램의 계산을 비교하였다.

소요시간[s] 속도[kg/s]		SPC Mass Balance					
순환식건조기	24000	0.0021	Data Input	Input [kg]	51.06	원료 정선기	밸트 선별기
승강기	35.73	1.43	Initial [%]	20	수분 Loss [kg]	승강기 및 호파	밸트 태그 [kg]
원료정선기	117.04	0.44	Target [%]	12	소요 시간 [s]	이들질 배출량 [kg]	소요 시간 [s]
밸트선별기	93.14	0.55	생산 속도 [kg/s]	0.002125	32,86713	승강기 및 호파	46.953
색채선별기	847.57	0.06	소요 시간 [s]	32,86713	소요 시간 [s]	소요 시간 [s]	소요 시간 [s]
입자선별기 1	95.43	0.54	생산 속도 [kg/s]	0.002125	106,8182	106,8182	85,86909
입자선별기 2	89.47	0.57	소요 시간 [s]	32,83427	782.55	782.55	782.55
입자선별기 3	74.94	0.68	밸트 선별기	밸트 태그 [kg]	밸트 태그 [kg]	밸트 태그 [kg]	밸트 태그 [kg]
실제 공정의 속도 및 소요 시간		프로그램의 계산 결과					
그림 2-146. 실제 공정의 속도 및 소요 시간 및 프로그램의 계산 결과							

계산 결과 일치성이 높음을 확인할 수 있어 프로그램의 정확성이 높다고 판단된다. 따라서 에너지 효율 모델에서도 높은 정확성을 지닌다고 판단할 수 있다.
에너지 소모량은 아래와 같다.

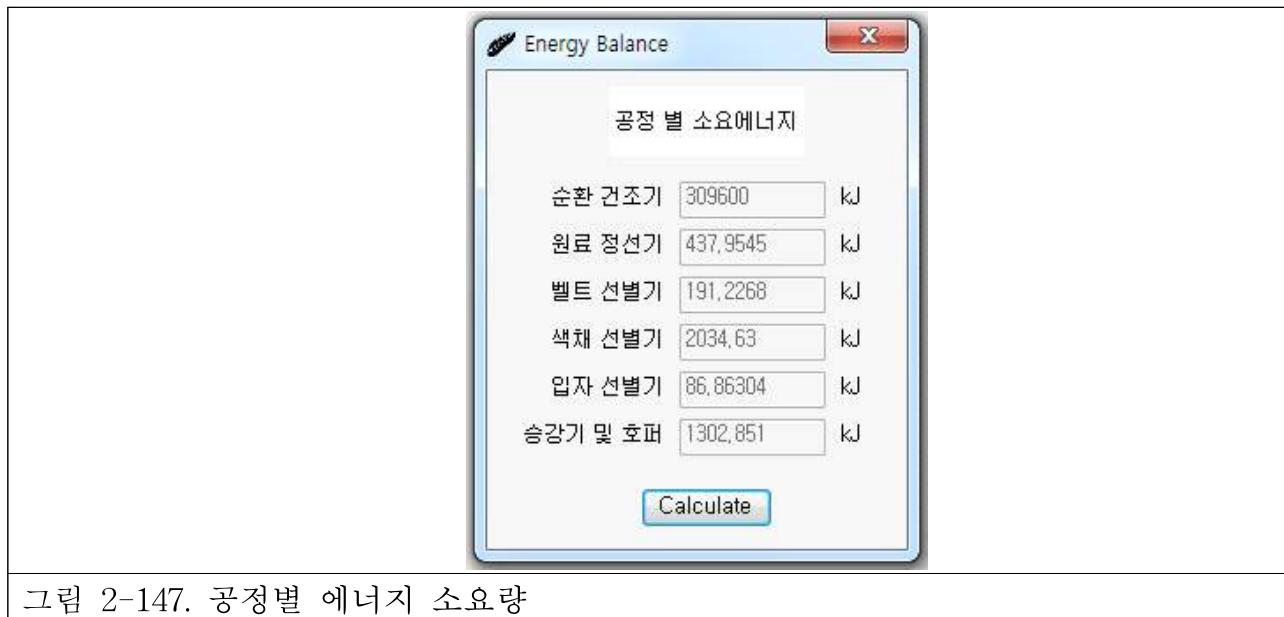


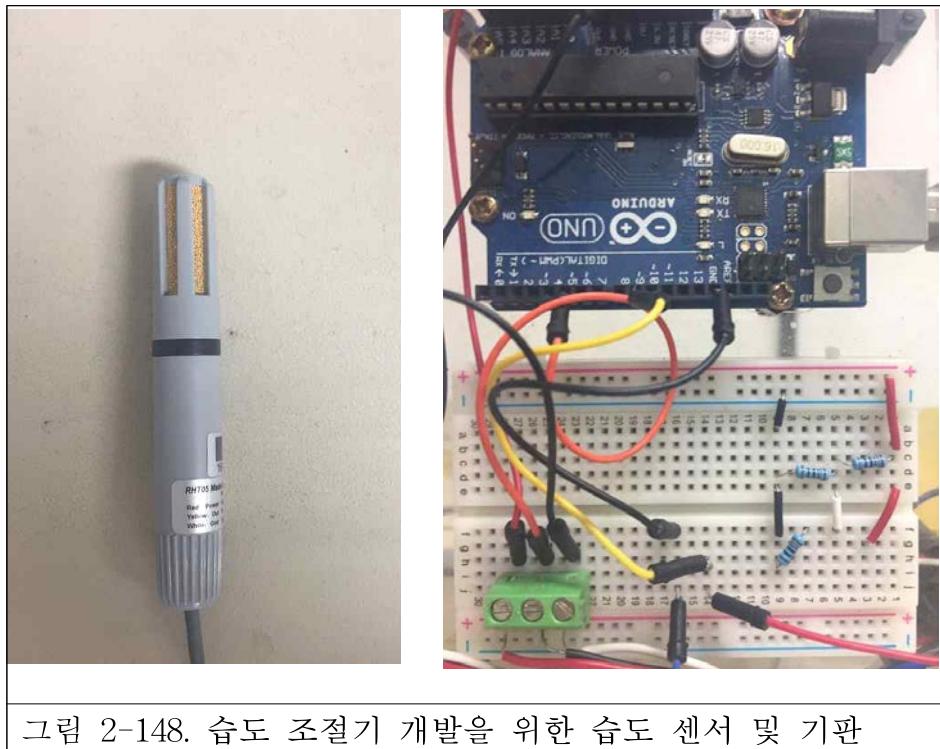
그림 2-147. 공정별 에너지 소요량

순환식 건조기의 용량이 높고, 소요시간이 길어 가장 많은 에너지가 소모되며, 색채선별기가 그 뒤를 이어 에너지 소모량이 높게 계산된다. 따라서 색채선별기와 건조기의 에너지 효율을 위해 공정이 개선되어야 할 것으로 판단된다.

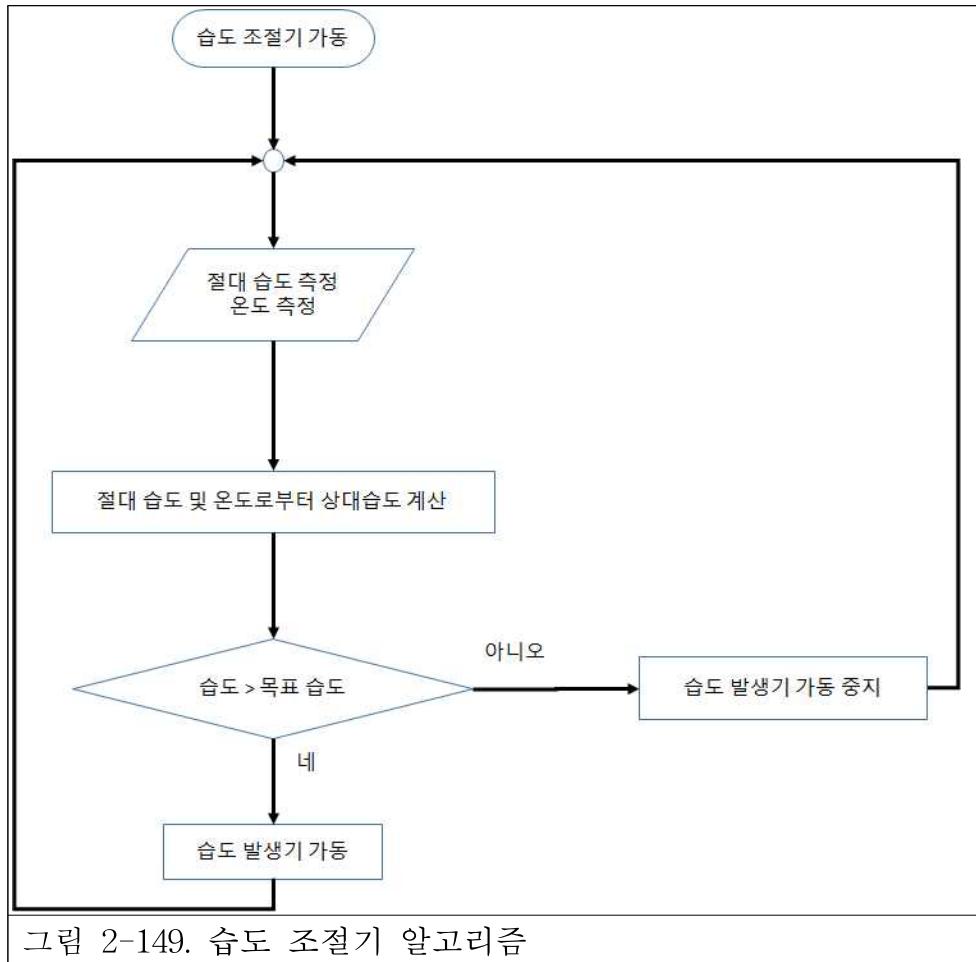
9. 습도에 따른 건조 중 콩의 품질 변화

1) 습도 조절기 개발

Pilot-scale에서 콩의 건조는 일일 대기 습도에 직접적으로 영향을 받으므로 습도에 따른 콩의 건조 특성을 확인하기 위해 습도 조절기를 개발하여 Lab-scale 건조기에서 실험을 진행하였다.



습도 조절기는 Arduino를 이용하여 개발하였으며 알고리즘은 다음과 같다.



속도 및 온도센서를 통해 건조기 내부의 절대 속도 및 온도를 측정한 뒤 이를 통하여 상대속도를 계산하였다. 상대속도가 목표로 설정한 속도보다 높을 경우 건조기 내부에 설치한 속도 발생기의 가동을 중지하였으며 계산된 상대속도가 목표로 설정한 속도보다 낮을 경우에는 속도 발생기를 재가동하였다.

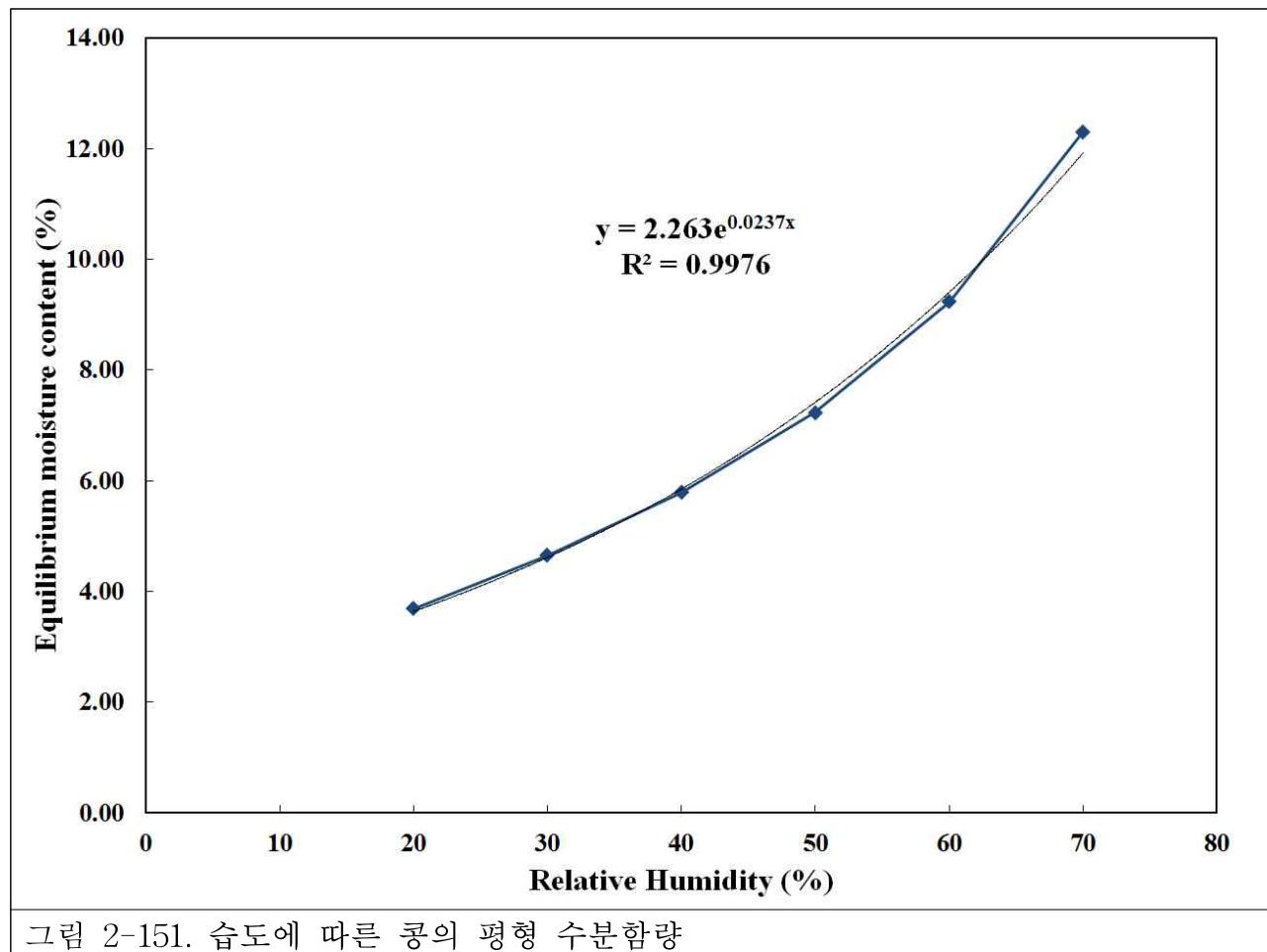
설정 목표 속도	실제 측정 속도
20%	$20.4\% \pm 0.5$
30%	$30.3\% \pm 0.4$
40%	$40.4\% \pm 0.5$
50%	$49.8\% \pm 0.3$
60%	$60.3\% \pm 0.3$
70%	$70.1\% \pm 0.2$

그림 2-150. 속도 조절기 검증 결과

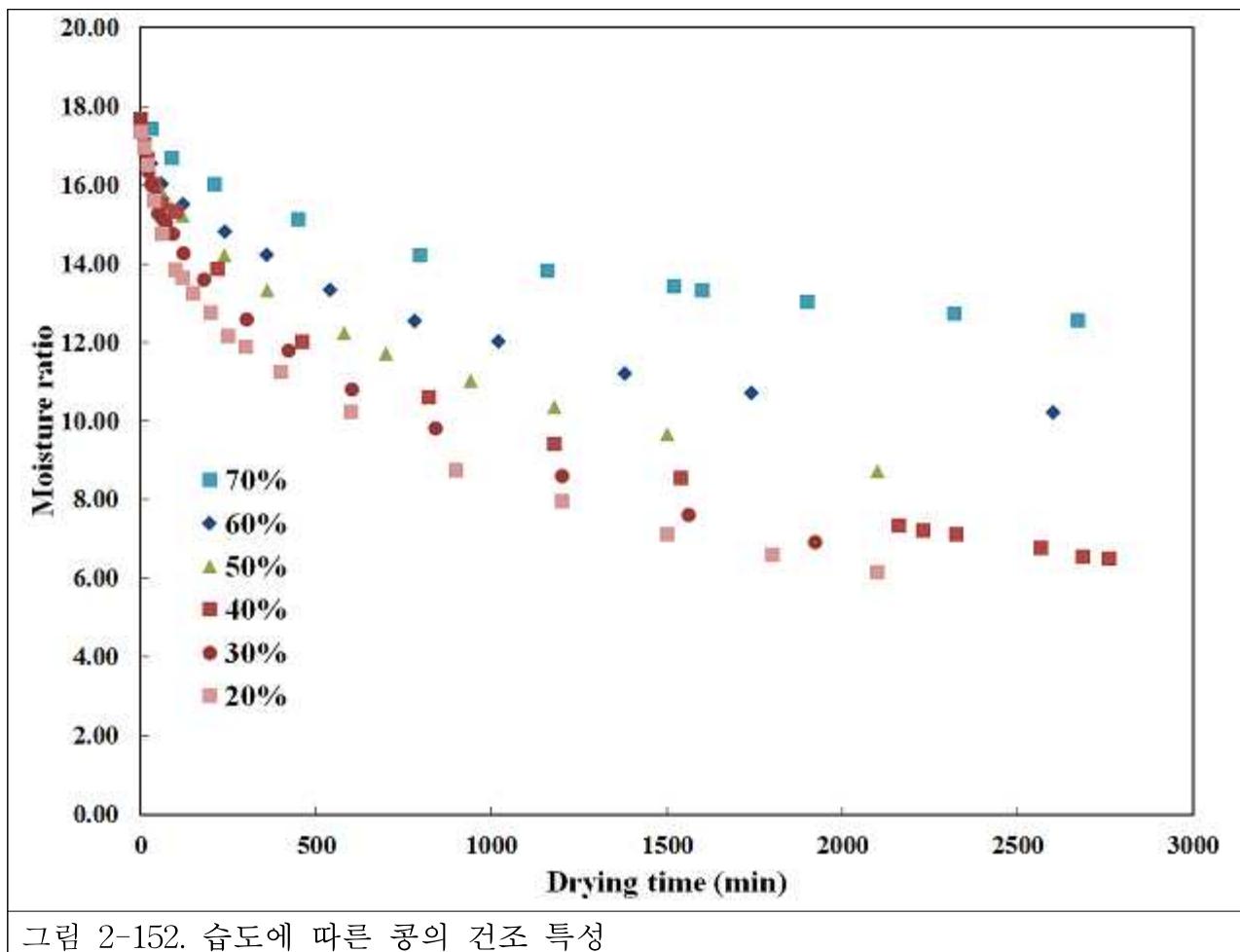
속도 조절기를 통해 설정한 목표 속도와 실제 측정된 속도 검증 결과를 비교하였으며 설정 목표 속도와 측정 결과가 유의적 차이가 없으며 매우 일치하는 결과를 나타내는 것을 확인할 수 있었다. 따라서 개발된 속도 조절기를 이용하여 건조기 내부를 속도를 조절하여 속도에 따른 콩의 건조 특성을 확인하였다.

2) 습도에 따른 콩의 건조 특성

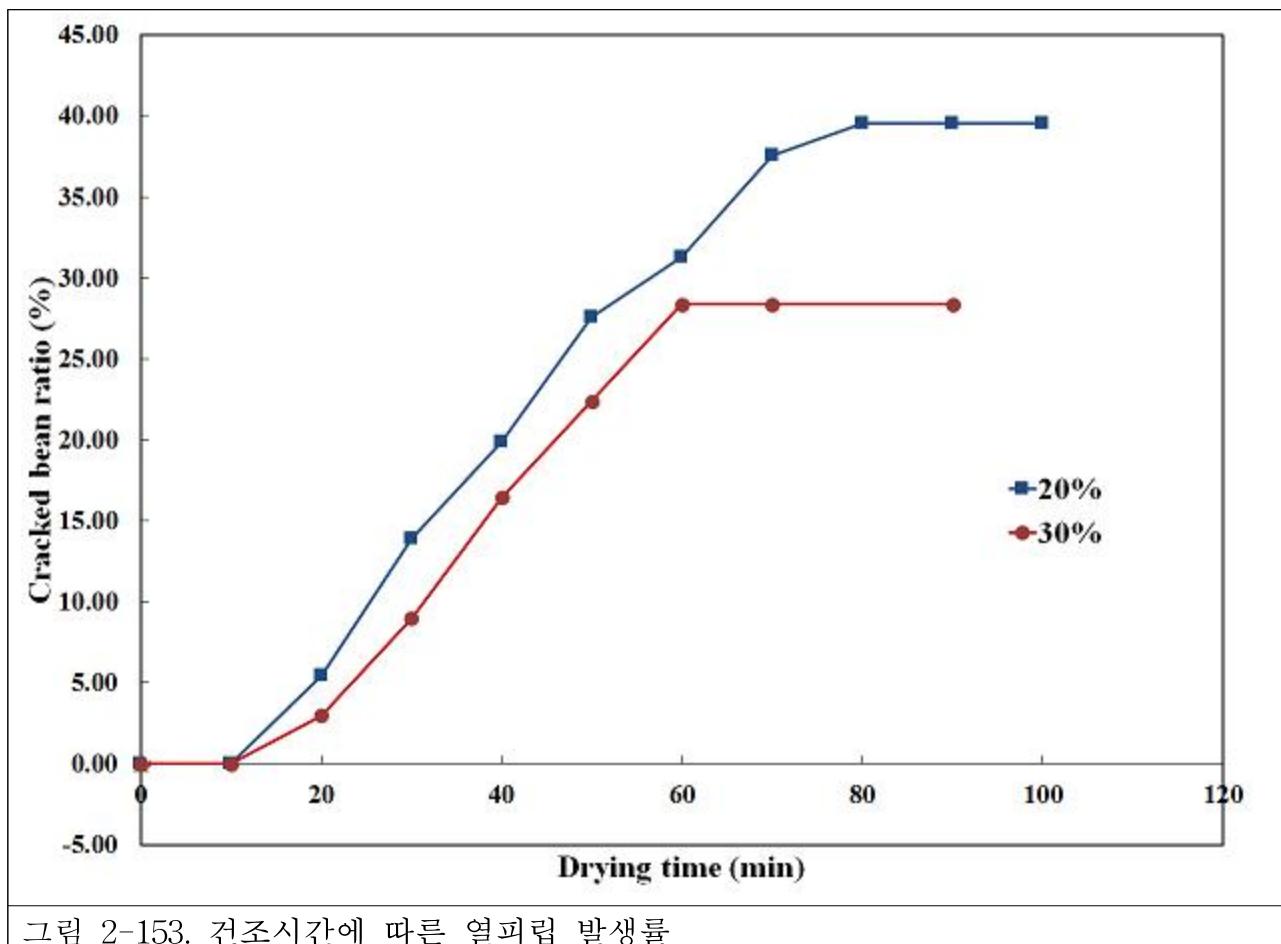
습도에 따른 콩의 평형 수분함량은 해당 습도에서 콩이 최대로 건조될 수 있는 수분함량을 나타내며, 이는 시뮬레이션 및 건조 예측모델의 개발에 투입되는 변수로써 반드시 고려되어야 하므로 습도에 따른 콩의 평형 수분함량을 확인하였다.



콩의 평형 수분함량은 콩의 상대습도에 따라 증가하였으며 이는 지수 함수에 의해 습도에 따른 평형 수분함량이 모델링되었다. 개발된 모델은 R^2 은 0.9976의 값을 나타내어 높은 정확성을 나타내었다. 개발된 모델은 이후 건조 시뮬레이션 및 모델링에 투입되었다. 건조기 내 습도를 조절하여 콩의 건조 특성을 관찰하였으며 그 결과는 다음과 같다.



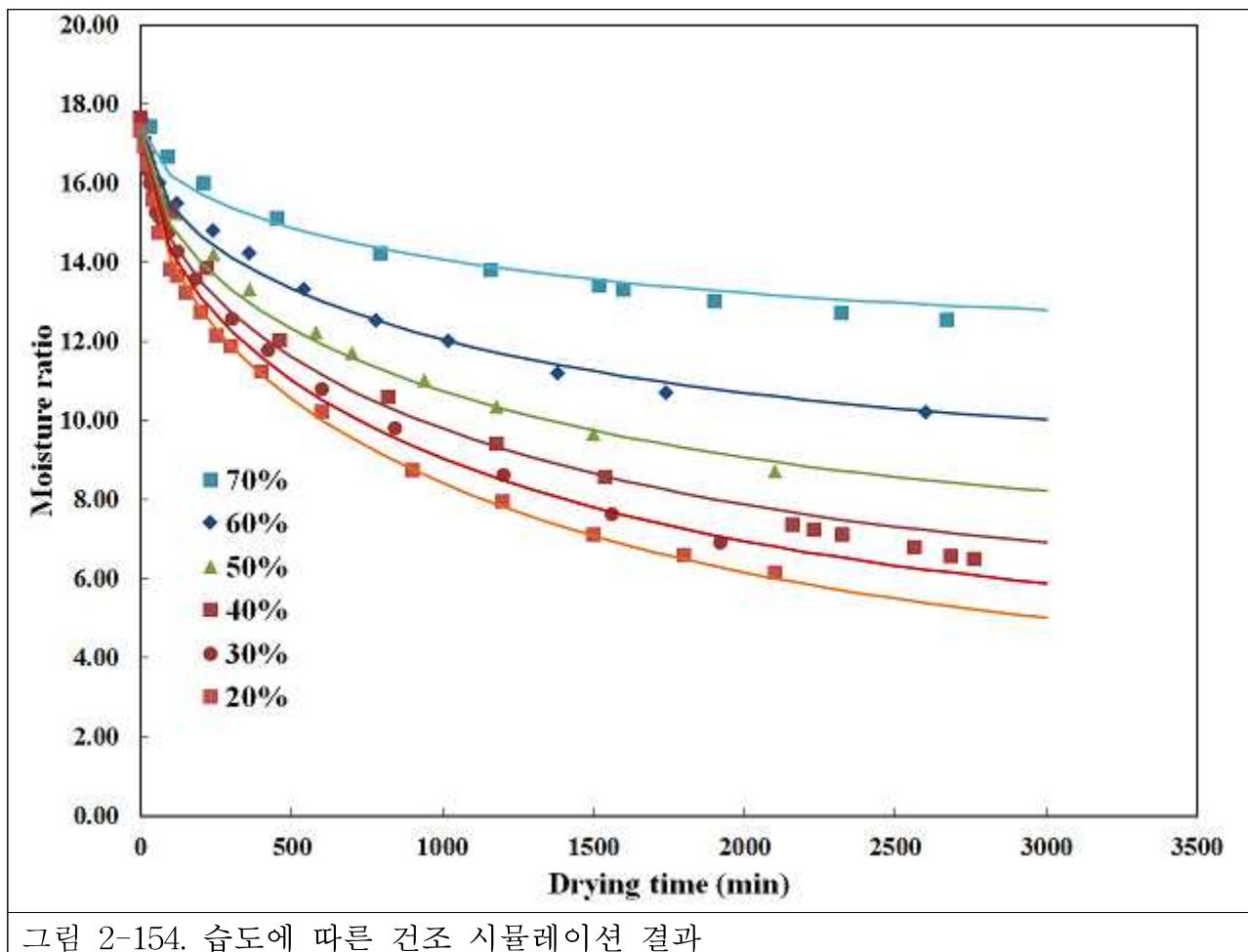
콩의 건조 속도는 습도가 증가함에 따라 감소하였으며 이는 콩 외부와 콩 표면과의 수분 함량 구배가 작아져 표면에서 물질전달 속도가 낮아짐에 따른 것이다. 같은 온도에서 건조가 될 시 콩 내부에서의 수분확산도는 동일하게 분포하지만 외부 습도에 의한 콩 표면에서의 물질전달 속도의 차이는 콩 내부의 수분 분포를 달리하게 되며 이는 콩의 품질 손상을 야기하는 열피립 발생에 영향을 미치는 수분 구배에 영향을 미치게 된다.



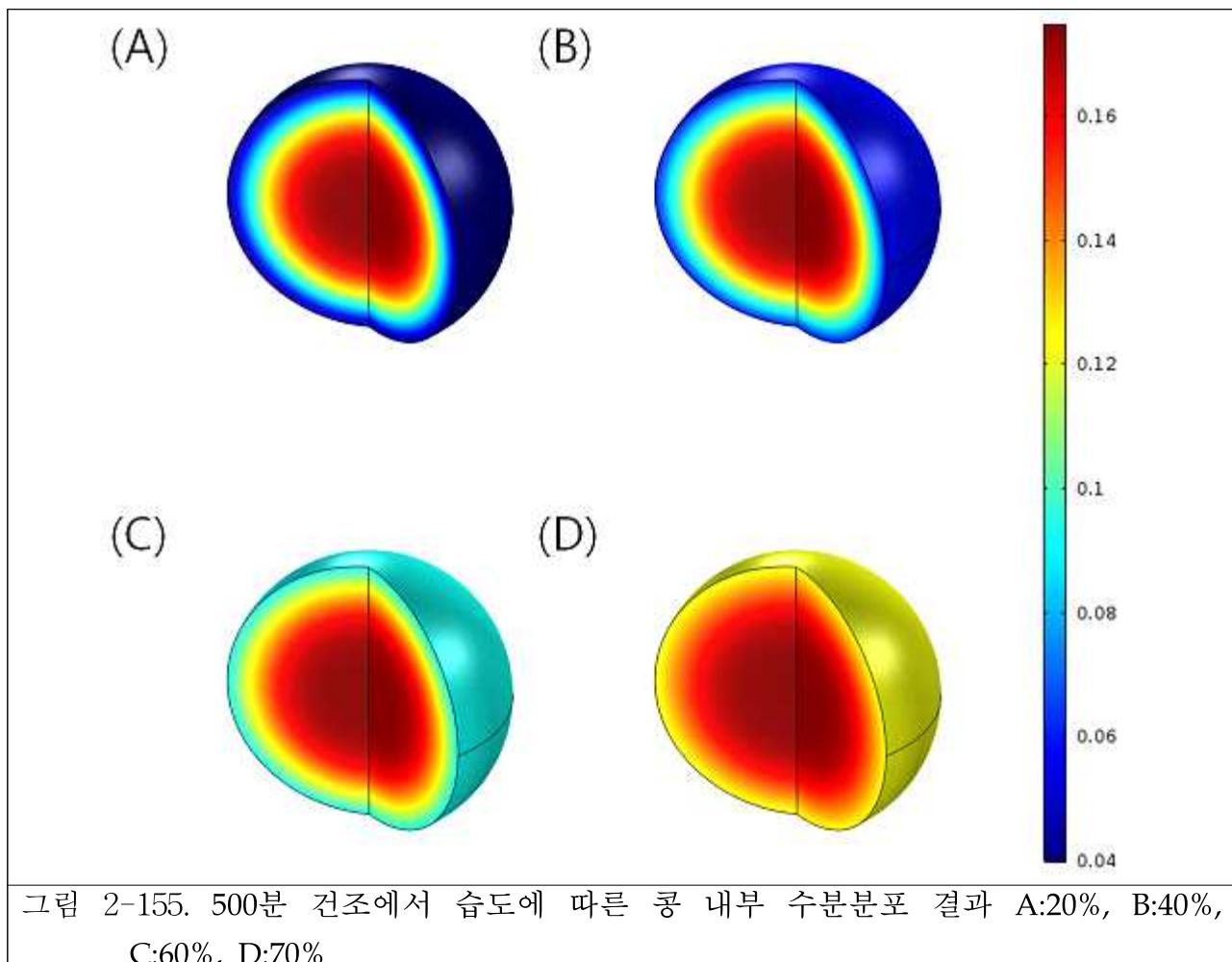
습도 및 건조시간에 따른 열피립 발생률을 분석한 결과 연속 건조를 하였을 시에도 습도 40% 이상에서는 열피립이 발생하지 않았음을 확인할 수 있었다. 또한 열피립 발생 후 종료 시점까지 선형적으로 증가하는 것을 확인할 수 있었으며 이러한 열피립의 발생은 콩의 품질에 가장 큰 영향을 미치는 것으로 습도에 따른 건조 속도의 조절이 필요함을 확인할 수 있었다. 따라서 콩을 건조할 시 대기 습도가 30% 이하일 때, 반드시 간헐적 건조를 적용하여야 함을 확인하였다.

3) 건조 시뮬레이션

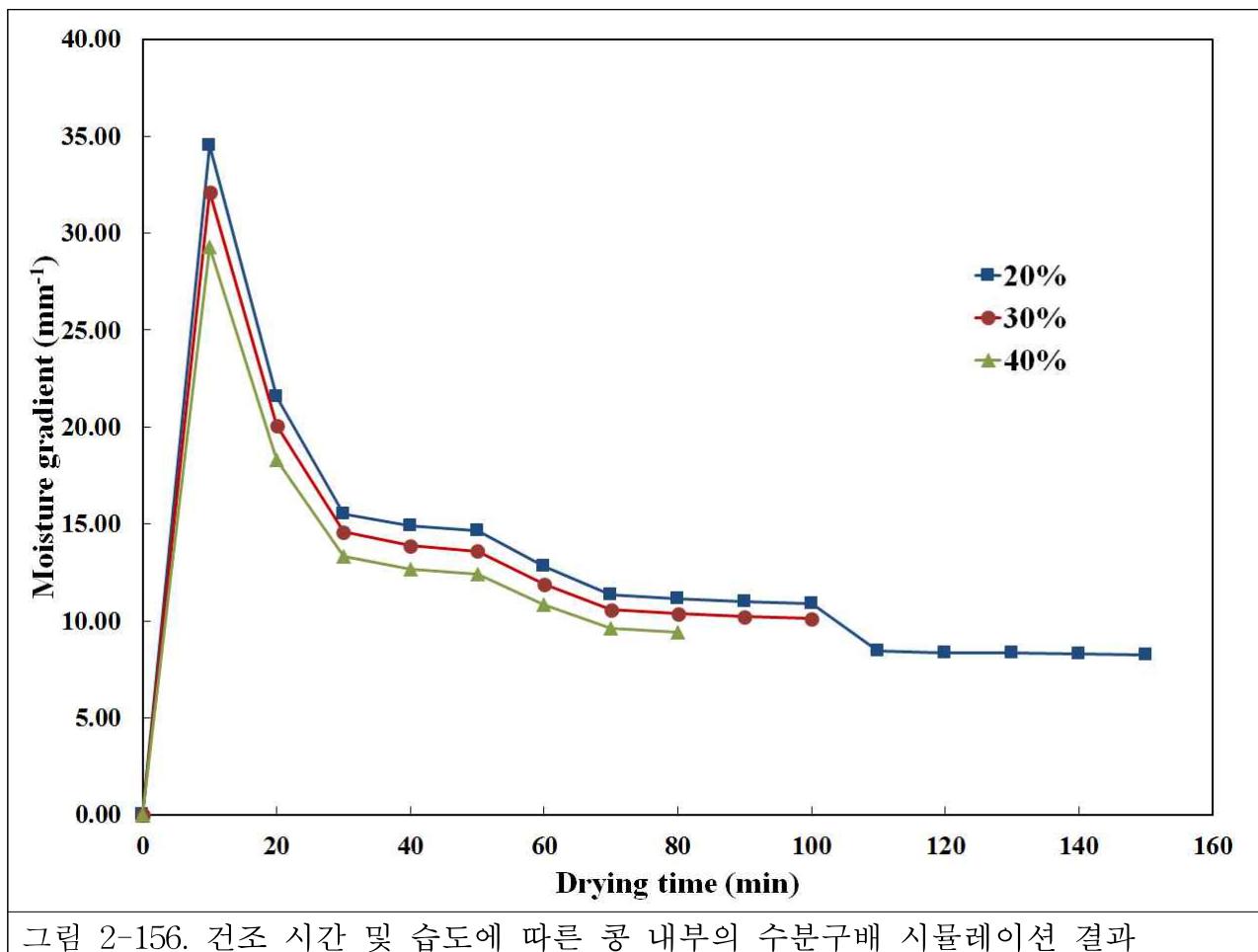
습도를 고려한 건조 시뮬레이션 모델링 결과를 아래에 나타내었다.



시뮬레이션 모델은 습도에 관계없이 표준오차가 0.1 이하의 값을 나타내어 개발된 시뮬레이션 모델이 실제 측정결과 매우 일치한다는 것을 확인할 수 있었다. 검증된 시뮬레이션을 통하여 실험 데이터 이후에서의 콩의 건조 특성과 건조 중 콩 내부의 수분 분포 등 실험을 통해 확인하기 힘든 결과에 대한 분석이 가능하다.



500분 건조하였을 때 습도에 따른 콩 내부의 수분 분포 시뮬레이션 결과를 분석하였다. 습도가 증가함에 따라 콩의 평형 수분함량이 증가하여 콩 표면에서의 수분함량이 높아지는 것을 확인할 수 있으며 이러한 콩 표면에서의 높은 수분함량은 콩의 건조 속도를 감소시키지만 내부의 수분 구배를 최소화하여 열피립 발생을 방지할 수 있다. 건조 실험 결과에서 20, 30% 습도에서 열피립이 발생되었으며 열피립을 발생을 판단할 수 있는 정확한 인자를 도출하는 것이 필요하다. 따라서 20, 30, 40% 습도에서 수분구배를 분석하였으며 수분구배는 표면에서의 수분함량과 초기 수분함량을 유지하고 있는 경계면 사이의 수분 경사를 기준으로 결과를 도출하였다.



수분 구배는 습도가 증가함에 따라 감소하는 경향을 보였으며 건조 초기에 급격히 증가한 후 점차 감소하는 경향을 나타내었다. 이는 건조 초기에 표면에 존재하는 수분이 급격히 건조되지만 내부의 수분은 여전히 고수분의 상태를 유지하고 있기 때문이며 건조시간이 지남에 따라 콩 내부의 수분이 외부로 확산되게 되어 수분구배가 점차 적어지게 된다. 20%, 30% 습도에서 모두 20분 건조 후부터 열피립이 발생되기 시작했으며, 각각 80분, 60분 건조 이후 열피립 발생이 일어나지 않았으며 40% 습도에서는 열피립 발생이 전혀 일어나지 않았다. 따라서 10, 20, 40, 60, 80, 100 분에서 습도에 따른 콩의 수분구배를 수치를 분석하였다.

습도	수분구배 (mm^{-1})				
	10분	20분	40분	60분	80분
20%	34.55	21.58	14.93	12.83	11.15
30%	32.14	20.08	13.89	11.90	10.38
40%	29.30	18.30	12.66	10.85	9.34

습도 및 건조시간에 따른 콩의 수분구배 분석 결과

열피립은 건조 초기 급격한 수분 구배가 발생할 시 콩 내부는 고수분을 유지하지만 콩

표면에서 급격한 수분감소에 의해 발생하는 인장력에 의해 발생하는 것으로 건조 초기인 10분에서의 수분구배 결과를 분석하였으며, 수분 구배가 30 mm^{-1} 이상인 20%, 30%의 습도에서 수분 구배가 발생하였음을 확인할 수 있었다. 20% 습도에서 열피립의 발생은 수분 구배가 11.15 mm^{-1} 이 되는 80분 건조까지 선형적으로 증가하여 지속되었으며 수분 구배가 11.00 mm^{-1} 이 되는 90분 이후로는 열피립이 발생하지 않는 것을 확인할 수 있었다. 30% 습도에서 열피립의 발생은 수분 구배가 11.90 mm^{-1} 이 되는 60분 건조까지 지속하여 증가하였으며 수분 구배가 10.56 mm^{-1} 이 되는 90분 이후로는 열피립이 발생하지 않는 것을 확인할 수 있었다. 다음과 같은 결과를 통해 건조 초기의 급격한 표면 건조에 의한 수분 구배에 의해 건조 시간 10분 후 수분구배가 약 30 mm^{-1} 이상일 때 열피립이 발생하고 수분 구배가 약 11 mm^{-1} 이하일 때 열피립 발생이 일어나지 않는다는 것을 확인할 수 있었다. 열피립 발생을 최소화하기 위한 안전 가이드 라인을 설립하기 위해 열피립이 발생하지 않은 수분 구배를 기준으로 설정하여 건조 공정의 최적화가 이루어질 수 있으며, 이에 따라 열피립 발생 기준은 29.30 mm^{-1} 이상, 열피립 발생 종료 기준은 10.56 mm^{-1} 으로 설정할 수 있다

10. Pilot-sclae 건조 공정 분석

1) 콩의 건조 특성

Pilot-scale 건조는 해품, 감천 해품, 대원을 이용하여 진행하였으며 건조 조건은 다음과 같다.

	해품	감천 해품	대원
초기 수분	14.5%	17.8%	19.6%
상대 습도	51.00%	32.92%	33.49%
건조 투입량	66.98 kg	65.84 kg	174.70 kg

그림 2-157. Pilot scale 건조 실험 조건

Pilot-scale 건조에서 투입량은 콩 건조 공정에서 간헐도를 조절하는 변수가 되게 된다. 현재 pilot-scale 건조기의 건조 배치는 100kg으로, 해품과 감천 해품의 경우 각각 66.98 kg과 65.84 kg으로 건조 배치보다 작았기 때문에 연속건조로 처리되었으며 대원의 경우 순환 건조에 의해 건조와 템버링의 비는 1:0.747이 되었다.

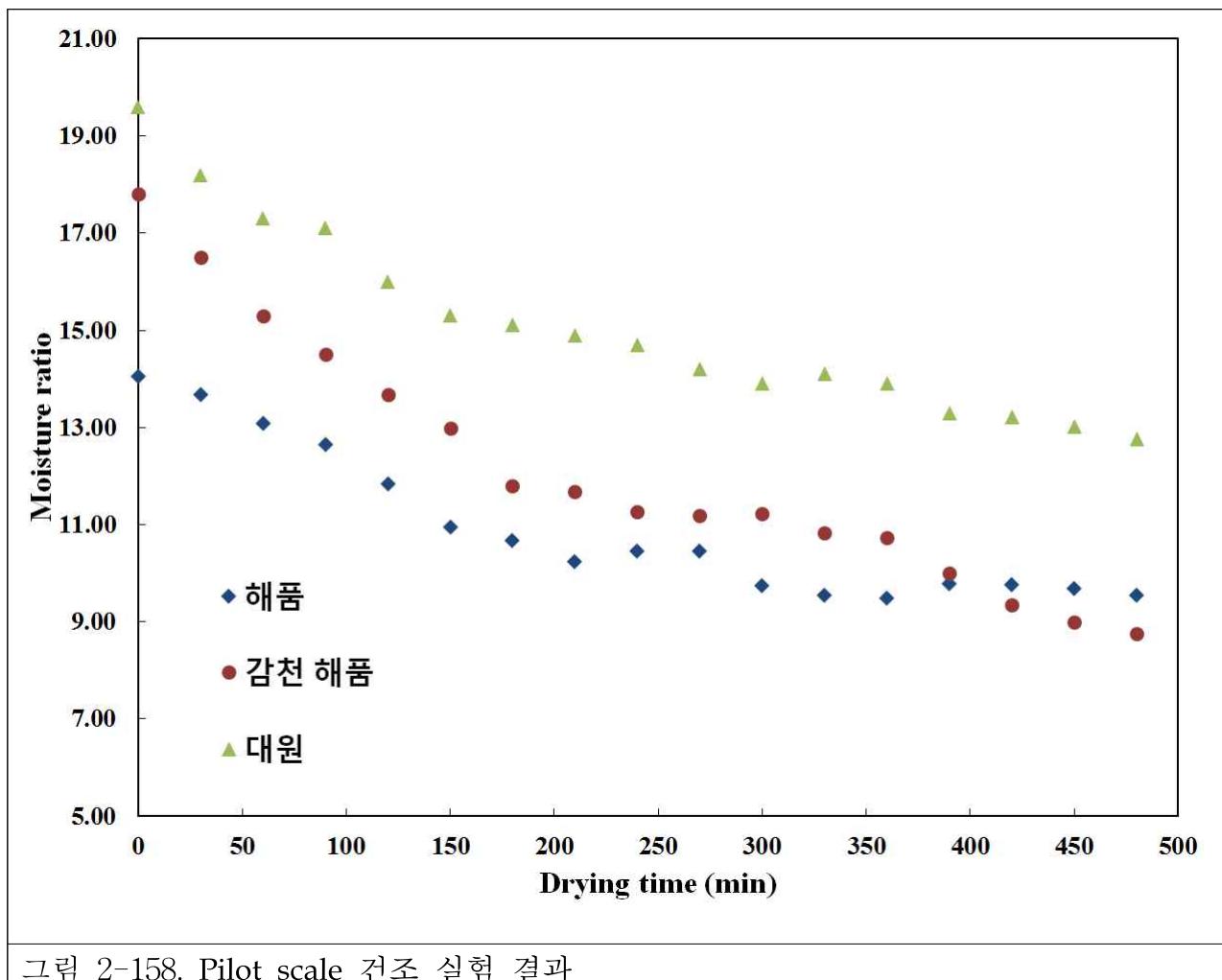
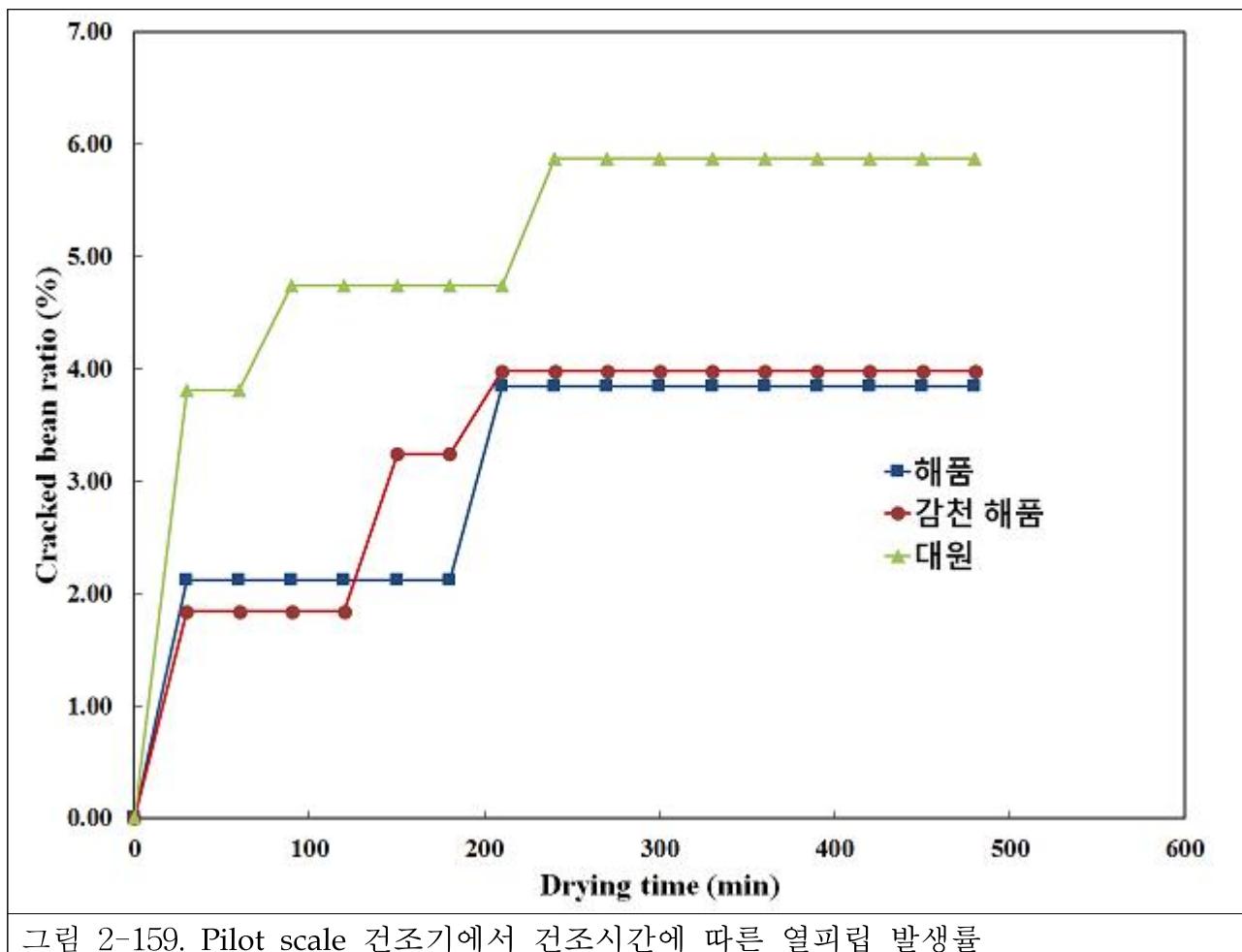


그림 2-158. Pilot scale 건조 실험 결과

콩의 품종에 상관없이 건조시간이 지남에 따라 건조 속도는 감소하였으며 콩의 품종 및 초기 수분 함량, 대기 습도에 따라 건조 패턴은 달라졌음을 확인하였다. 해풀의 경우 감천 해풀보다 낮은 수분함량이었지만 거조 후반부에 더 높은 수분함량을 나타냈으며, 이는 해풀 건조 시의 건조기 내부 습도가 51.00%로 감천 해풀 건조 시의 습도인 32.92% 보다 높았기 때문에 콩 표면에서의 물질 전달 속도가 느리기 때문이다. 이처럼 SPC 공정에서 콩의 건조는 단순 품종 및 초기 수분함량만 고려할 것이 아니라 일일 대기 습도에 따른 영향을 고려하여 건조 공정이 설계되어야 한다. 이러한 공정 변수는 콩의 품질 손상 인자인 열피립을 발생시키는 콩 내부 수분 구배에 영향을 미치므로 반드시 고려되어야 한다.



Pilot-scale에서 콩의 품종 및 건조시간에 따른 열피립 발생률을 분석하였다. 모든 콩 품종에서 건조시간에 따른 열피립 발생은 미미하였으며 최대 열피립 발생률은 5.87%를 나타내어 해당 건조 공정이 콩의 품질 손상을 최소화할 수 있는 건조 공정임을 확인하였다. 이러한 열피립 발생 패턴은 개발된 시뮬레이션 모델을 통해 수분 구배를 분석하여 Lab-scale에서 확립한 열피립 발생에 관한 수분 구배 기준을 만족하는지 여부를 확인할 수 있다.

1) 시뮬레이션 모델 및 건조 예측 모델 개발

Pilot-scale 건조기는 콩이 건조가 이루어지는 건조부가 매우 크기 때문에 위치에 따른 비균일한 건조와 너무 빠른 건조가 일어날 수 있으며 이는 콩의 열피립을 발생할 수 있다. 이러한 불균일은 건조기 내의 공기 유동, 즉 기류와 풍속의 차이에 의한 것일 수 있다. 따라서 Pilot-scale 건조기의 건조 중 내부에서의 공기 유동을 분석 하였으며 건조기 내 공기 흐름을 나타내는 스트림 라인 시뮬레이션 결과는 다음과 같았다.

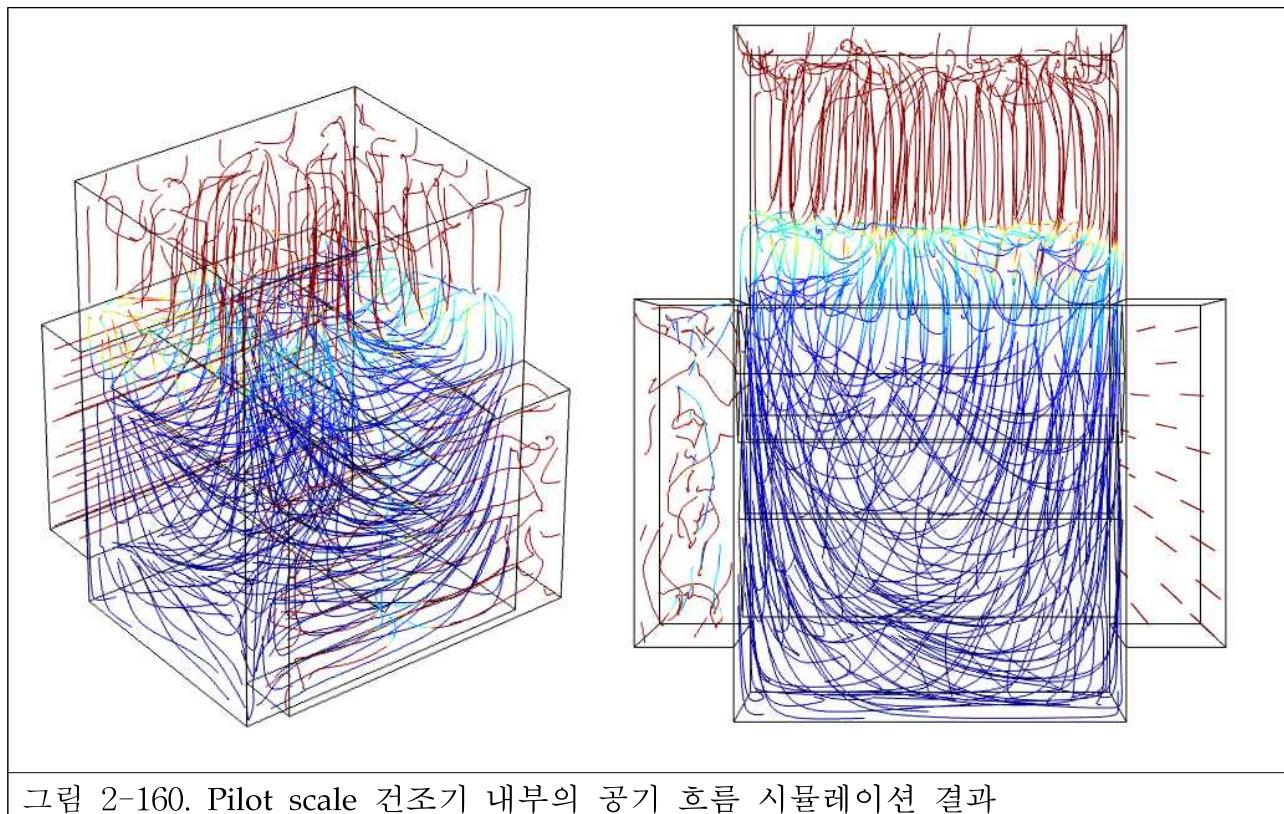


그림 2-160. Pilot scale 건조기 내부의 공기 흐름 시뮬레이션 결과

Pilot scale 건조기는 열풍이 우측의 입구를 통해 투입된 뒤 콩을 건조시킨 후 반대측의 출구로 빠져나가는 구조이며 시뮬레이션 결과는 건조공기가 건조기 내에서 공기 유동이 난류의 흐름을 나타내었다. 입구에서 들어오는 바람은 건조기 내부 건조부에 위치한 콩에 의해 콩 사이의 공극이 최소화되어 콩의 사이호 흐르는 바람이 제한되어지기 때문에 풍속이 급감하였으며 콩이 적재되어 있지 않은 콩의 상부에서 와류하는 흐름으로 발전하였다. 건조부에서 많은 양의 콩을 건조되기 때문에 바람의 흐름이 차단되어 건조부 내부에서 공기의 흐름이 차이가 클 것으로 예상되었으나, 입구에 비하여 건조부가 넓기 때문에 건조부 전체의 공기의 흐름은 건조기 전체 공기 흐름에 비하여 크게 차이가 나지 않았다. 또한 Pilot-scale 건조기는 콩이 순환됨에 따라 콩의 위치가 지속적으로 바뀌기 때문에 건조부 내 콩의 위치에 따른 콩의 건조 속도 차이는 크지 않다는 것을 알 수 있다. Lab-scale 건조 결과로부터 개발된 시뮬레이션 모델을 이용하여 Pilot-scale 콩의 건조 시뮬레이션을 진행하였으며 결과는 다음과 같다.

습도를 고려한 건조 시뮬레이션 모델링 결과를 아래에 나타내었다.

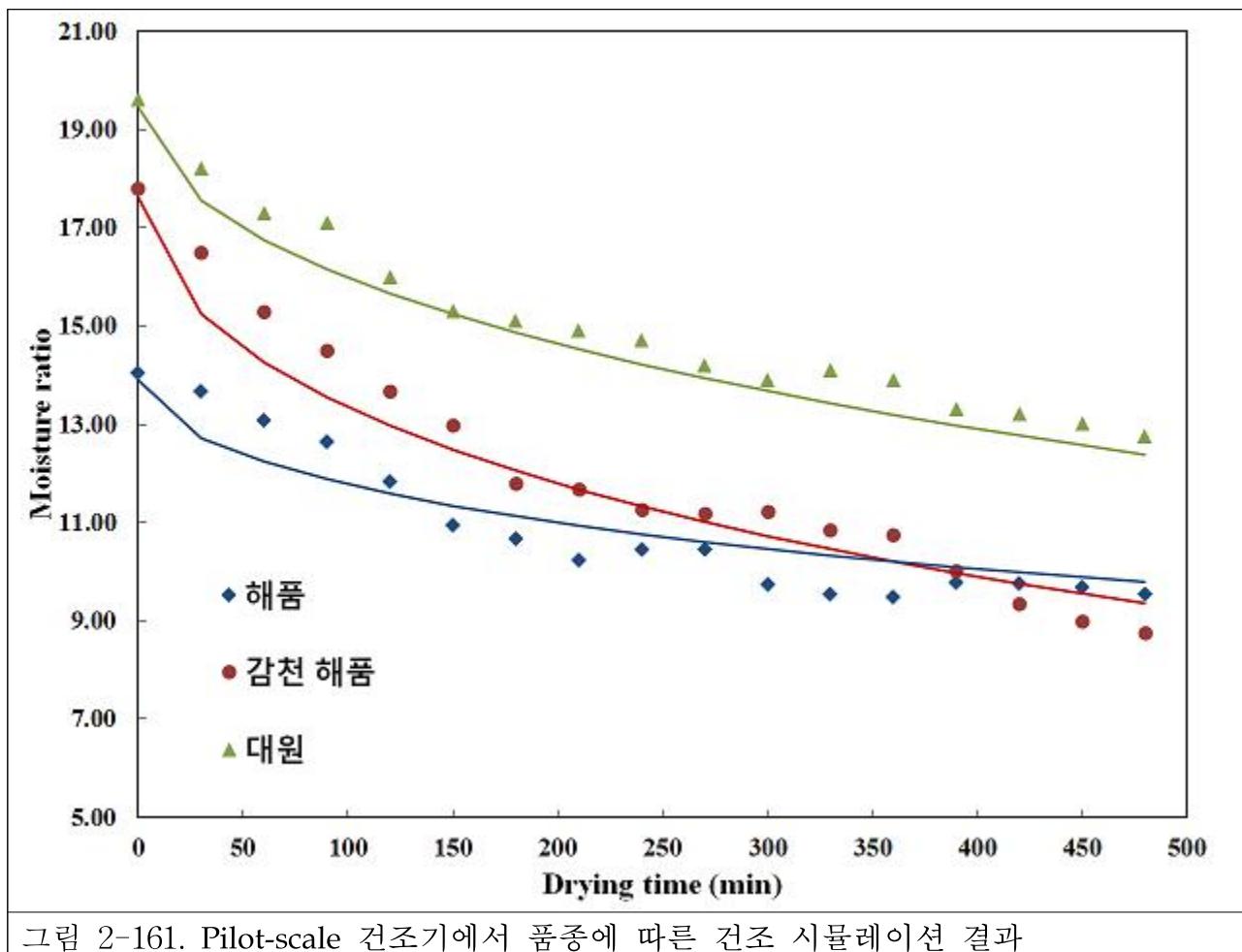
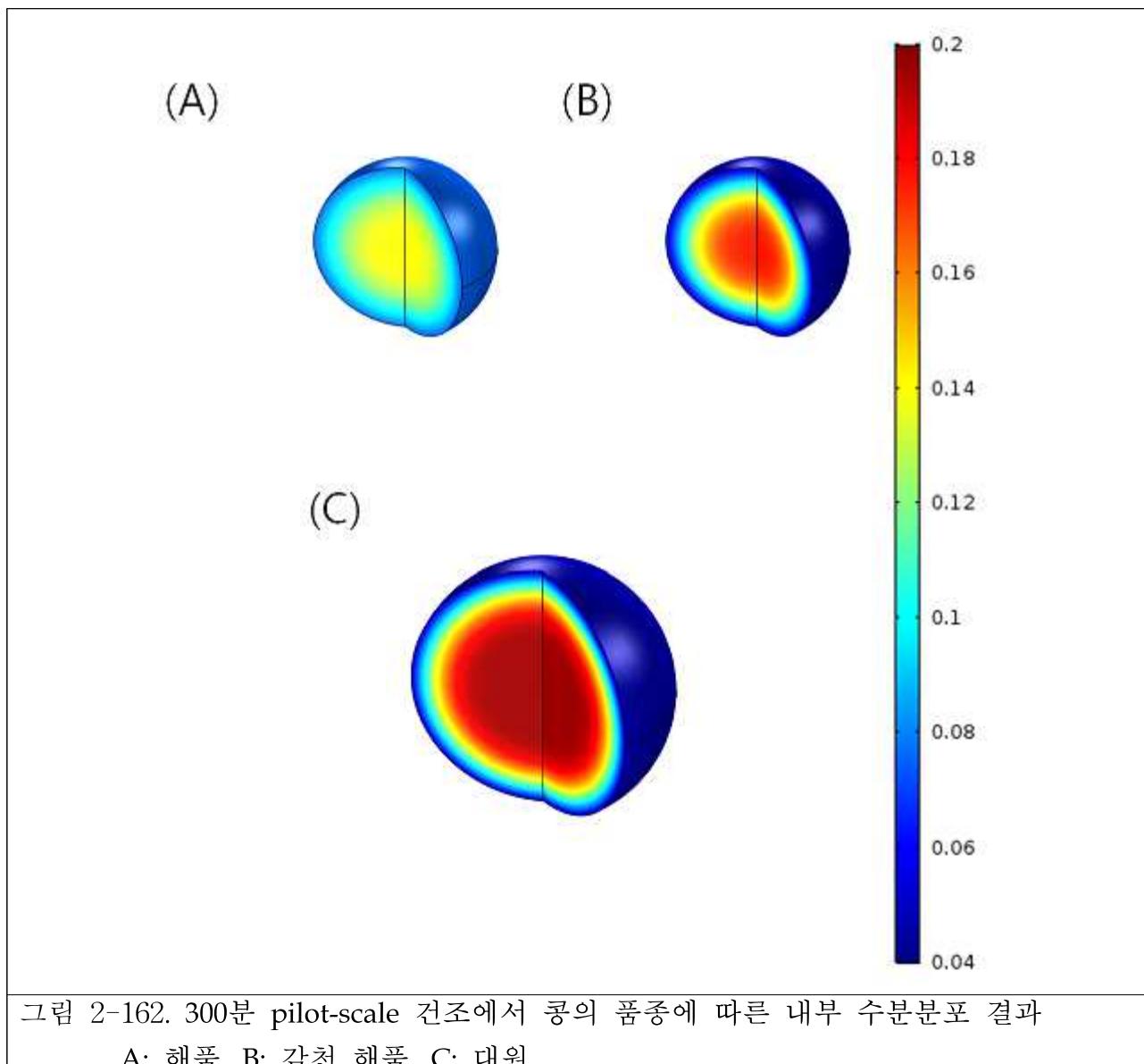


그림 2-161. Pilot-scale 건조기에서 품종에 따른 건조 시뮬레이션 결과

시뮬레이션 모델은 실제 실험 결과에서 관찰된 것과 동일한 건조 경향을 나타냈으며 콩의 품종에 관계없이 표준오차가 0.4 이하의 값을 나타내어 개발된 시뮬레이션 모델이 실제 측정 결과 매우 일치한다는 것을 확인할 수 있었다. 이를 통하여 lab-scale 건조 실험을 통해 개발된 시뮬레이션 모델이 pilot-scale 건조에서도 검증되었으며, 검증된 시뮬레이션을 통하여 실험 데이터 이후에서의 콩의 건조 특성과 건조 중 콩 내부의 수분 분포 등 실험을 통해 확인하기 힘든 결과에 대한 분석이 가능하다.



Pilot-scale 건조기에서 300분 건조하였을 때 콩의 품종에 따른 콩 내부의 수분 분포 시뮬레이션 결과를 분석하였다. 동일한 300분의 건조 시간에서도 각 품종별 수분 분포는 매우 다양한 결과를 나타내었으며, 이는 콩의 품종에 따른 콩의 크기, 습도, 초기 수분함량 등 다양한 변수가 복합적으로 작용하게 되며 이러한 다양한 변수에 의한 콩 내부의 수분 분포의 차이는 수분 구배에 의한 열피립 발생을 야기할 수 있으며 시뮬레이션 모델을 이용하지 않고는 실제로 확인하는 것은 매우 어렵다. Lab-scale 건조 실험으로부터 개발된 열피립 발생 기준이 실제 pilot-scale에서 적용 가능한지 여부를 분석하기 위해 콩의 품종에 따라 건조시간에 따른 수분 구배를 분석하였다.

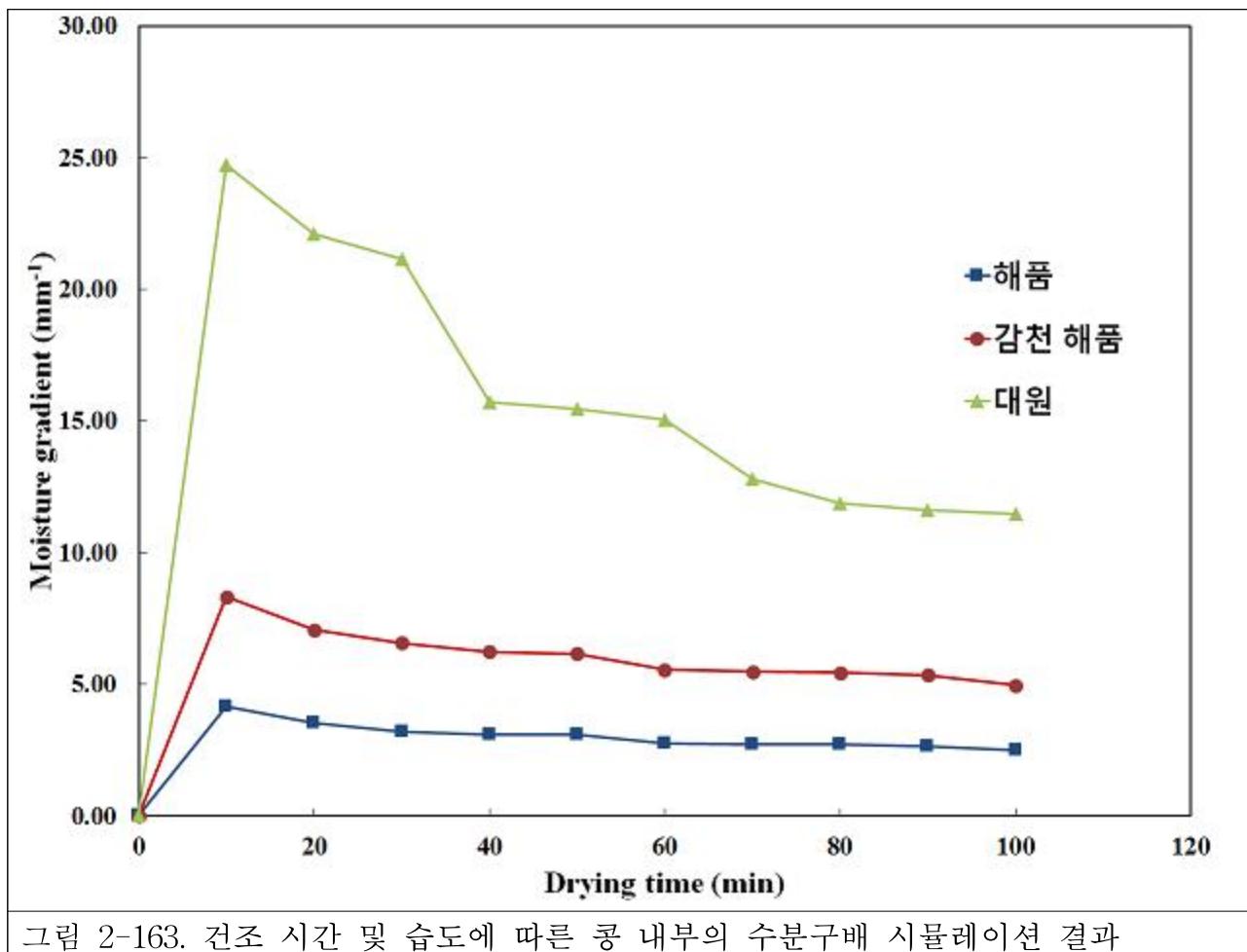


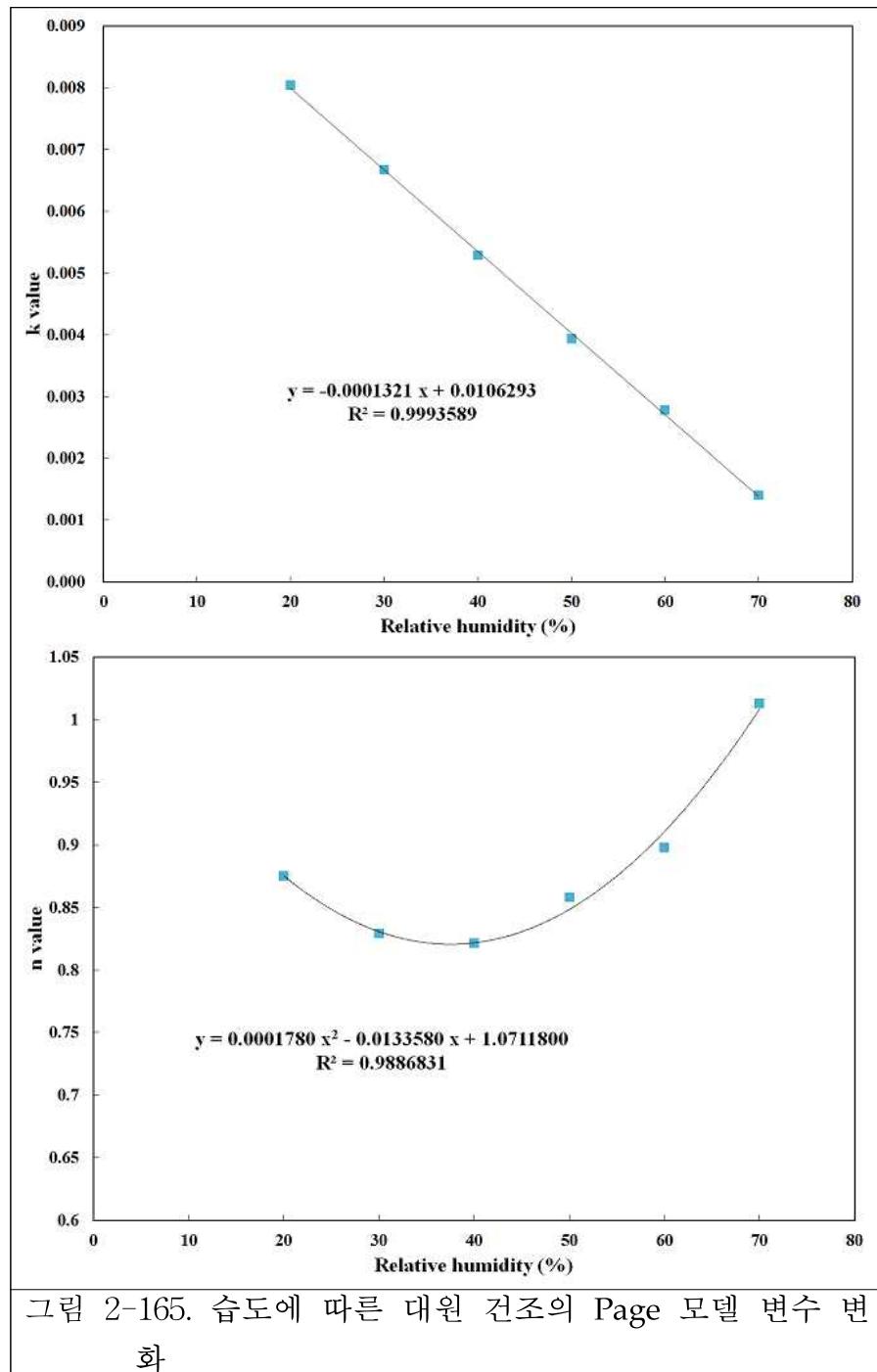
그림 2-163. 건조 시간 및 습도에 따른 콩 내부의 수분구배 시뮬레이션 결과

품종에 관계없이 수분 구배는 건조 초기 급격히 증가한 후 건조 시간이 증가하면서 콩 내부의 수분이 표면으로 확산함에 따라 감소하였다. 건조 중 수분 구배는 대원에서 가장 높은 값을 나타내었으며 해풀에서 가장 낮은 값을 나타내었다. 이러한 수분 구배 차이의 원인은 초기 수분 함량, 콩의 크기, 건조 중 습도 등 다양한 원인이 작용하는 것으로 초기 수분 함량이 높을수록, 콩의 크기가 클수록, 건조 중 습도가 낮을수록 건조 속도가 빨라지며 또한 수분 구배가 커지게 된다. 대원은 이 모든 변수에서 수분 구배가 커지는 영향을 받았으므로 간헐 건조가 적용되었음에도 건조 중 가장 높은 수분 구배를 나타내었으며, 해풀의 경우 14.5%의 낮은 초기 수분 함량과 51.00%의 높은 습도로 인해 건조 중 가장 낮은 수분 구배를 나타내었다. 건조 초기 표면에서의 급격한 수분감소로 인해 발생하는 수분 구배가 열피립을 발생시키는 원인으로 건조 시간 10분 후 해풀, 감천 해풀, 대원의 수분 구배는 각각 $8.31, 4.14, 24.74 \text{ mm}^{-1}$ 을 나타내어, lab-scale 콩 품질 결과로부터 수립한 열피립 발생 기준인 29.30 mm^{-1} 이하의 값을 나타냈으며 이는 실제 pilot-scale 건조 중 열피립 측정 결과와 일치하는 결과를 나타내었다. 이러한 열피립 발생을 최소화하기 위한 건조 조건 설정은 이후 건조 예측 모델의 개발에 이용될 수 있으며, 개발된 모델은 소프트웨어 내로 투입하여 품질 손상을 최소화하기 위한 건조 공정 최적화에 적용될 수 있다. 습도 및 품종별 콩의 건조를 예측할 수 있는 박층 건조 모델을 개발하였으며 변수에 따른 영향을 최소화하기 위해 높은 정확성을 나타내면서 변수가 적은 Page 모델을 적용하여 결과를 확인하였다.

$Page\ MR = exp^{(-kt^n)}$							
대원	습도	20%	30%	40%	50%	60%	70%
	k	0.001407	0.006672	0.005290	0.003935	0.002774	0.001407
	n	0.87522	0.8292	0.8213	0.8590	0.8979	1.013
	R ²	0.9921	0.9865	0.9842	0.9784	0.9887	0.9876
해품	습도	20%	30%	40%	50%	60%	70%
	k	0.01970	0.03901	0.05039	0.05104	0.04739	0.03125
	n	0.42972	0.3958	0.3927	0.3624	0.3307	0.3067
	R ²	0.9981	0.989	0.9864	0.9836	0.9804	0.9814

그림 2-164. 습도에 따른 콩 건조의 Page 모델 적용 결과

Page 모델을 적용한 결과 모든 습도 군에서 R² 값은 0.9784이상의 값을 나타내어 습도에 따른 콩의 건조를 매우 잘 기술함을 확인하였다. 품종별 각 변수의 습도에 따른 영향을 확인하기 위해 k와 n을 습도에 따라 모델링 하였다.



대원 콩의 건조에서 Page 모델 변수 k 는 상대 습도가 20%에서 70%로 증가함에 따라 0.0080에서 0.0014로 선형적으로 감소하였음을 나타내었으며 R^2 또한 0.999 이상의 매우 높은 값을 나타내었다. 모델 변수 n 은 상대 습도가 변화함에 따라 2차 함수의 형태로 나타났으며 변수 n 또한 R^2 0.989를 나타내어 콩의 건조 특성을 잘 예측할 수 있음을 확인하였다.

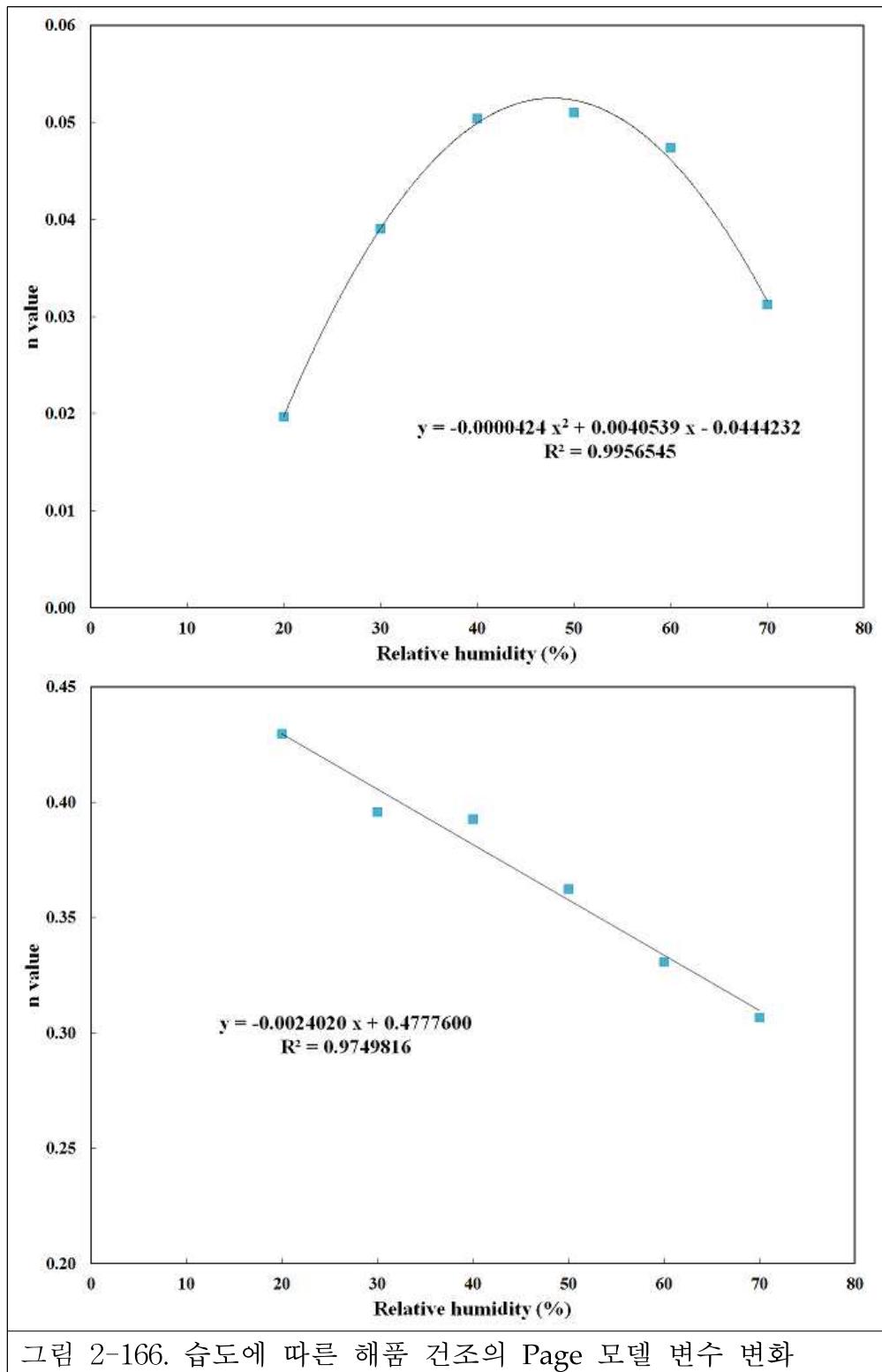


그림 2-166. 습도에 따른 해품 건조의 Page 모델 변수 변화

해품의 건조에서 습도에 따른 Page 모델 변수는 상대 습도에 따라 k가 2차 함수의 형태로 표현되었으며 R^2 0.995 이상의 매우 높은 값을 나타내었다. 모델변수 n 또한 R^2 0.975 를 나타내었으며 상대습도가 20%에서 70%로 증가함에 따라 0.4297에서 0.3067로 선형적으로 감소하여 콩의 건조 특성을 예측할 수 있었다. 건조 모델의 변수를 습도에 따른 함수로 만들어 건조 예측모델을 개발할 수 있으며 초기 수분함량, 목적 수분함량, 습도만을 투입변수로 하여 건조 예측 모델을 개발하였다.

$$t = \left[-\frac{1}{k} \ln \left(\frac{M_t - M_e}{M_0 - M_e} \right) \right]^{\frac{1}{n}}$$

그림 2-167. 콩의 초기 수분함량, 목적 수분함량 및 습도에 따른
건조 예측 모델

이러한 열피립 발생을 최소화하기 위한 건조 조건 설정은 이후 건조 예측 모델의 개발에 이용될 수 있으며, 개발된 모델은 소프트웨어 내로 투입하여 품질 손상을 최소화하기 위한 건조 공정 최적화에 적용될 수 있다. 습도별 콩의 건조를 예측할 수 있는 박충 건조 모델을 개발하였으며 변수에 따른 영향을 최소화하기 위해 높은 정확성을 나타내면서 변수가 적은 Page 모델을 적용하여 결과를 확인하였다.

11. 복합 공정 최적화

콩 수확 후 처리의 복합 공정을 최적화하기 위해 공정 흐름 분석 및 공정 조건을 설정하기 위한 알고리즘을 개발하였다. 프로그램의 알고리즘은 다음과 같았으며, 입력 인자로는 콩의 품종, 대기 습도, 초기 수분함량, 목적 수분함량, 공정 투입량이 들어가게 된다.

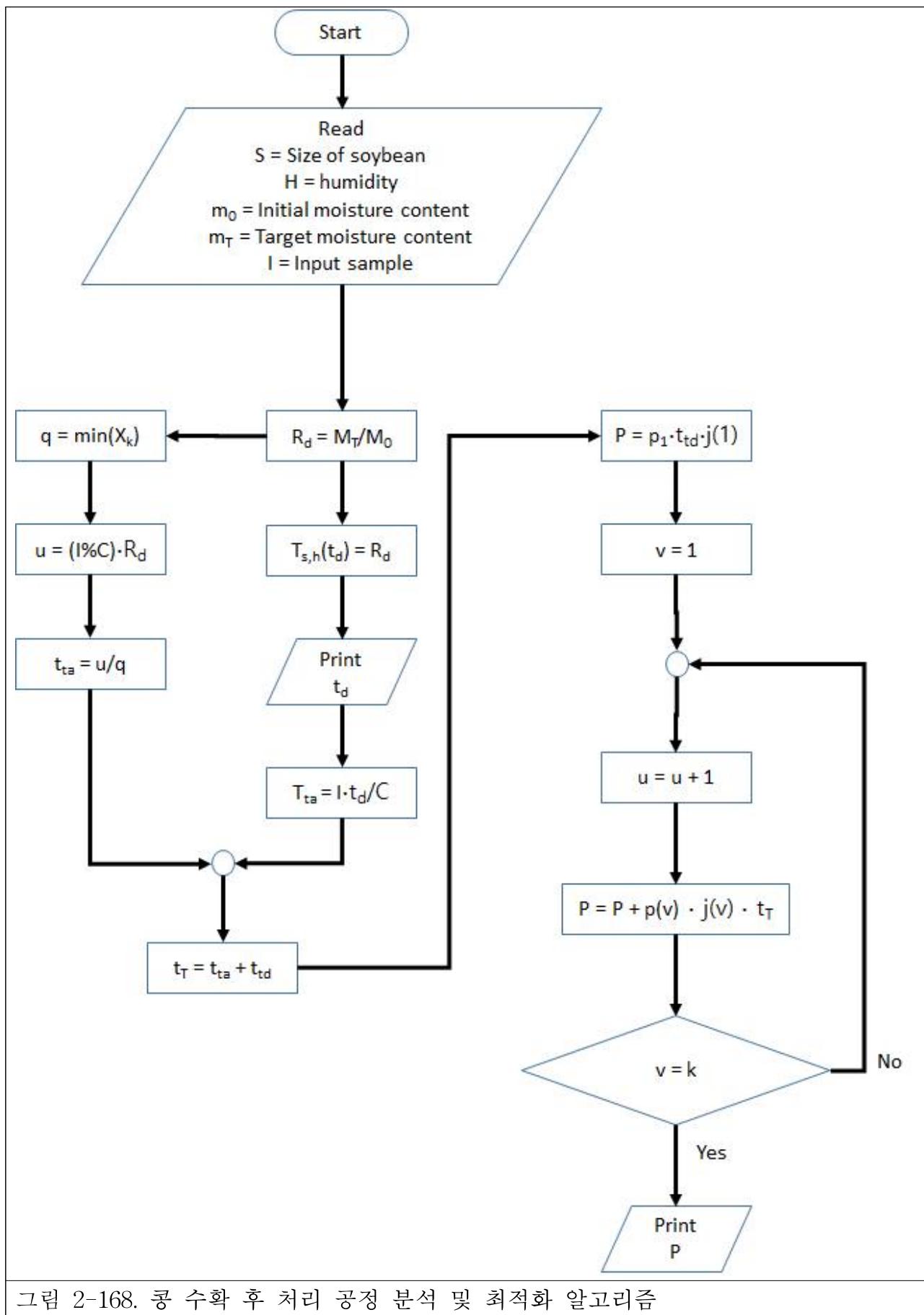


그림 2-168. 콩 수확 후 처리 공정 분석 및 최적화 알고리즘

투입 변수는 개발하여 투입된 최적 건조 예측 모델을 사용하여 건조를 포함한 각 공정을 분석 및 최적화할 수 있도록 하였다. 전체 투입량은 100 ton으로 가정하여 pilot scale의 콩 수확 후 처리 복합공정을 시뮬레이션 하였다.

항목	시뮬레이션 결과	
	수학식	결과 (ton)
초기 투입량	w_1	100
건조 콩	w_1*(1-s_2)=w_3	88.9
이물질	w_3*(s_4)=w_5	0.04445
정선 콩	w_3*(1-s_4)=w_6	88.85555
파열립	w_6*s_7=w_8	0.088856
벨트 선별 콩	w_6*(1-s_7)=w_9	88.76669
착색립	w_9*s_10=w_11	2.307934
색채 선별 콩	w_9*(1-s_10)=w_12	86.45876
대립 및 소립	w_12*s_13_1=w_14	1.210423
입자 선별 콩 (대)	w_12*s_13_2=w_15	47.20648
입자 선별 콩 (중)	w_12*s_13_3=w_16	36.0533
입자 선별 콩 (소)	w_12*s_13_4=w_17	1.988551
생산품 총량	w_15+w_16+w_17	85.24834
제품 수량	(w_18+w_19+w_20)/u_21	85248.34

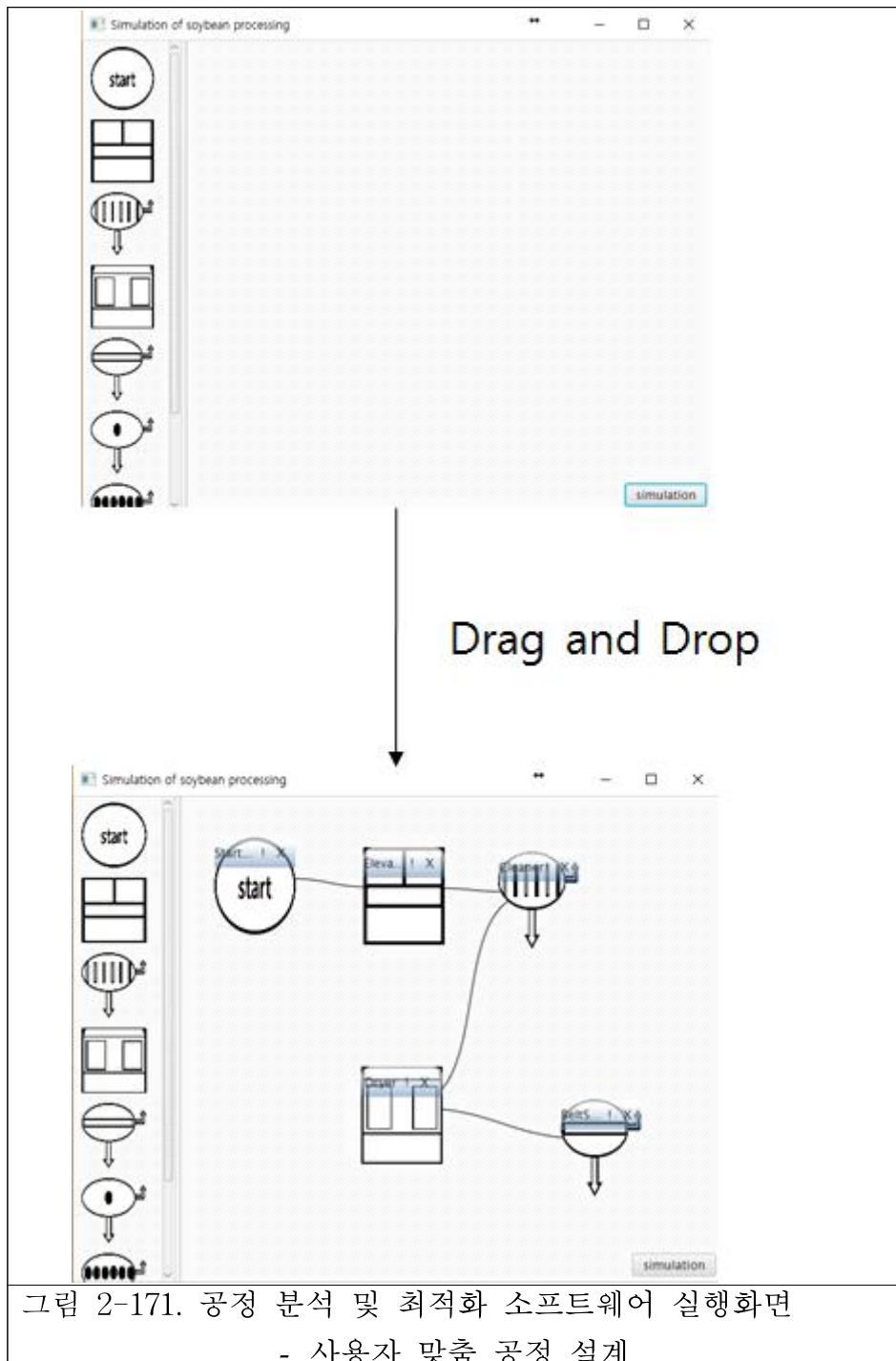
그림 2-169. SPC 항목 별 물질 수지 수학적 모델 및 시뮬레이션 결과

여기서 w_, s_, u_는 각각 공정 별 콩의 무게, 건감률 및 선별률, 포장단위를 나타낸다.

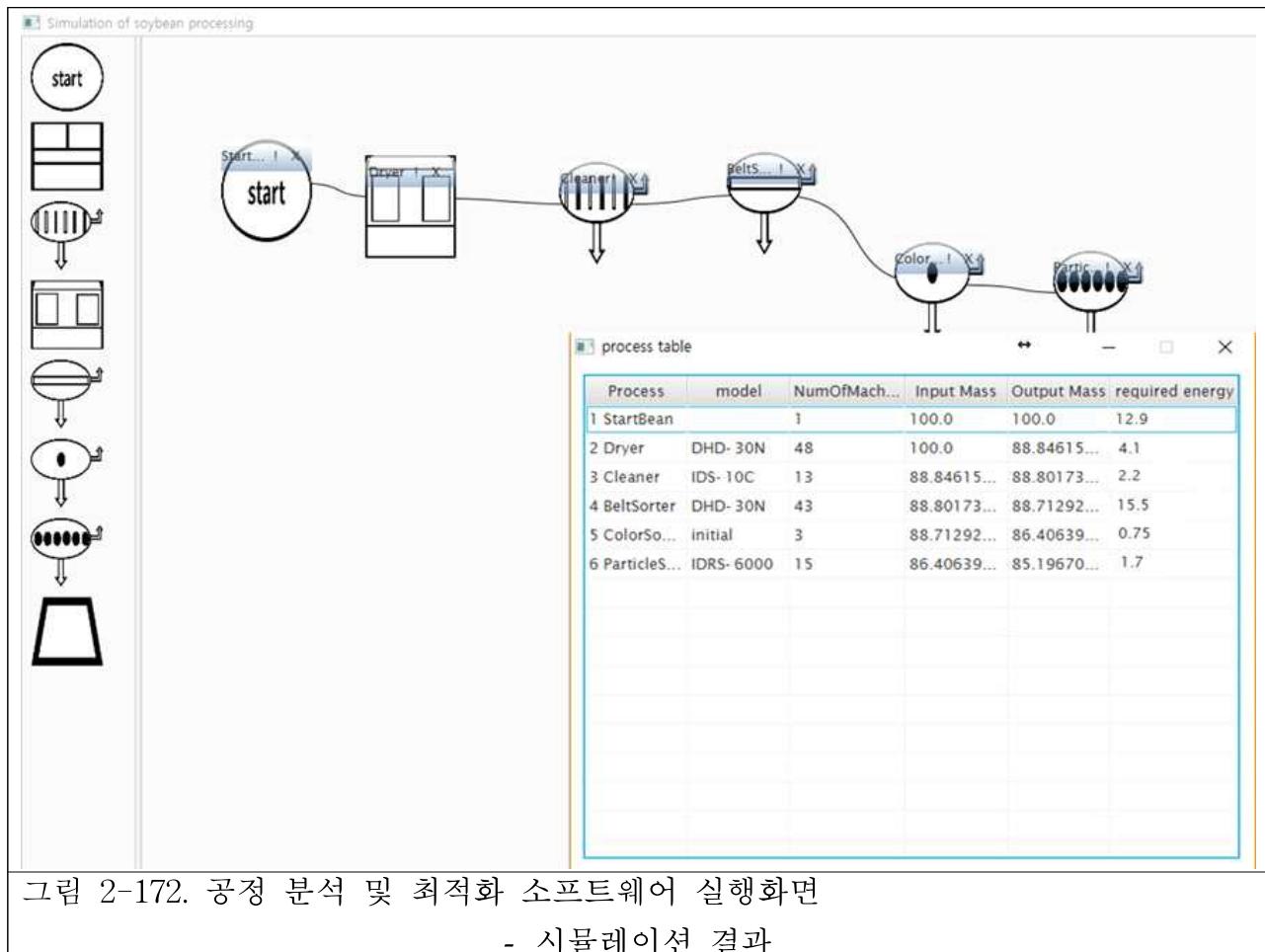
항목	시뮬레이션결과	
	수학식	결과 (kW)
건조	w_1*p_2/t_2	2150
원료 정선	w_3*p_4/t_4	227.8063
벨트 선별	w_6*p_7/t_4	122.1764
색채 선별	w_9*p_10/t_4	859.9274
입자 선별	$w_{12}*p_{13}/t_4$	15.81563
저장탱크	$(w_{18}+w_{19}+w_{20})*p_{18}/t_{18}$	7.885471
계량	$(w_{18}+w_{19}+w_{20})*p_{21}/t_{18}$	15.98406
포장	$(w_{18}+w_{19}+w_{20})*p_{22}/t_{18}$	36.23054
원료 이동	$w_3*p_3/t_3 + ((w_6+w_9+2*w_{12})*p_3)/t_4$	350.4512
인력	$\{(w_1)/t_2 + [(w_3+w_6+w_9+w_{12})/t_4]/4 + (w_{18}+w_{19}+w_{20}) * /t_{18}\} * p_m$	18588.3
총 소요 에너지		22374.58

그림 2-170. SPC 항목 별 소요 에너지 수학적 모델 및 시뮬레이션 결과

여기서 p_-, t_- 는 각각 공정 별 소요 동력 및 처리속도를 나타낸다. 건조 공정은 연속식 공정이 아니므로 건조 공정을 우선 처리 후 이후 각 공정을 처리 속도 및 이물질 입자 크기별 분별율 등의 물질 수지를 계산하여 각 공정 별로 분석하여 사용자가 전체 공정을 손쉽게 분석 및 최적화가 가능하도록 하였다. 건조 공정 이후의 공정들은 연속식 공정으로 처리되므로 그 이후 공정에서는 가장 처리 속도가 낮은 공정이 전체 공정 속도를 컨트롤하게 된다. 또한 공정 투입량을 처리하기 위한 공정 소요 시간 및 각 공정의 가동 시간에 따른 소요 에너지를 확인하여 콩 종합처리 시설을 가동하기 위한 비용 또한 추정이 가능하도록 하였다. 인력의 경우 에너지 효율 모델을 통합하기 위해 소요 에너지를 kW/h로 환산하였으며 월급 180만원 9시부터 18시까지 근무를 기준으로 하여 시간당 소요비용 대비 산업용 전기세의 평균값을 통하여 환산되었다. 인력은 전체 공정에서 1명이 필요하다고 가정하였으며 전체 공정 소요시간을 기준으로 계산되었다. 개발한 알고리즘을 기반으로 하여 콩 수확 후 처리의 복합 공정을 최적화하기 위해 공정 흐름 분석 및 공정 조건을 설정하기 위한 소프트웨어를 개발하였다.



우선 각 콩 종합 처리시설 별 설계된 공정 기기 및 순서를 사용자가 직접 선정하여 단순히 획일화된 공정 순서도에 따라 계산하는 것이 아닌 사용자에 맞춰 사용할 수 있도록 하였다.



공정을 설정해준 뒤 투입 변수들을 입력하면 공정에 따른 물질 수지 및 소요에너지에 대한 분석이 가능하며, 최적화된 공정에 따라 건조 공정이 이루어질 수 있도록 설정하였다.

12. 산지별 특성 및 수확량에 따른 종합처리 시설의 공정 설계 소프트웨어 개발

산지별 특성 및 수확량에 따른 종합처리 시설의 공정 모델을 개발하기 위한 알고리즘은 다음과 같다.

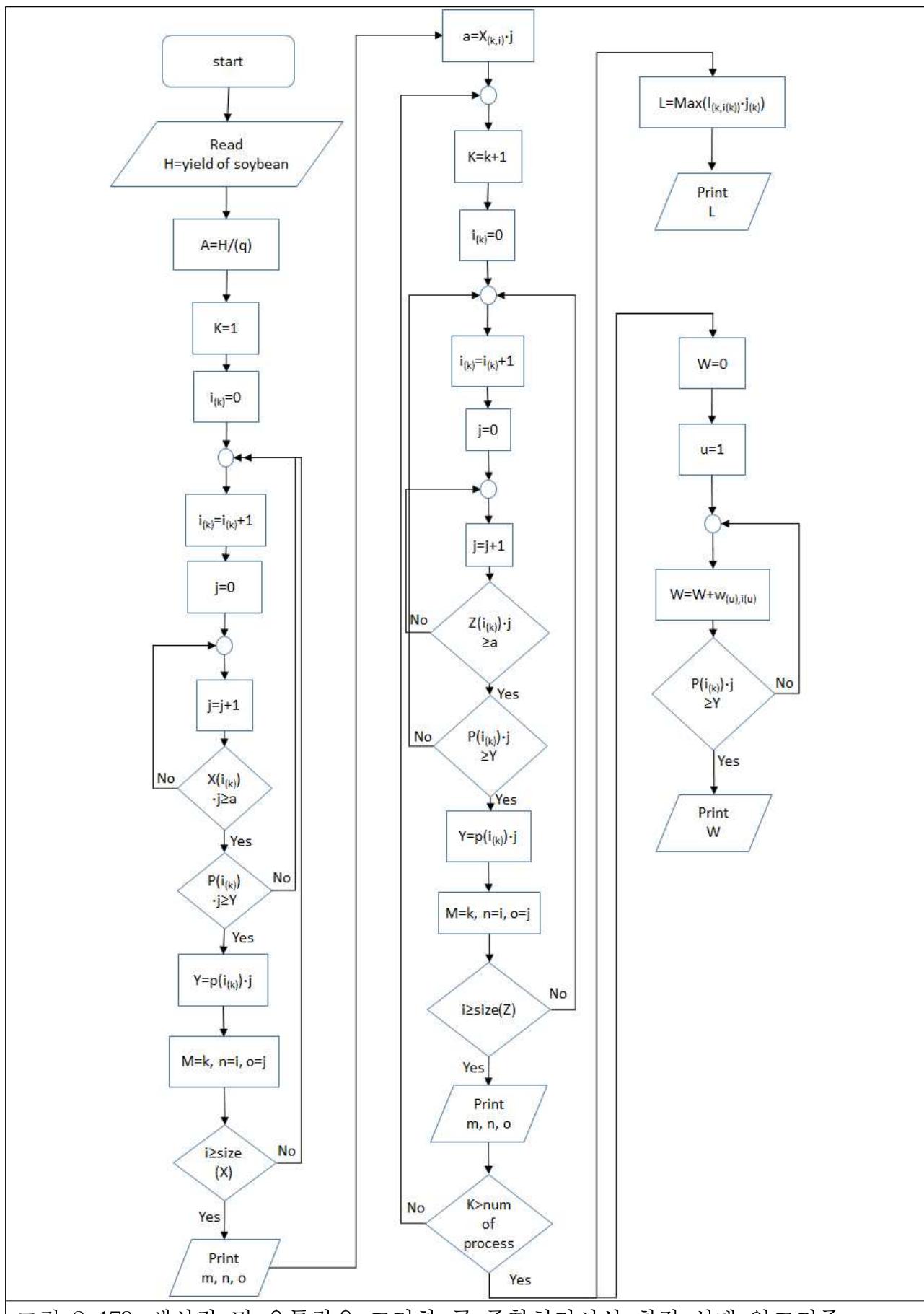


그림 2-173. 생산량 및 유통량을 고려한 콩 종합처리시설 최적 설계 알고리즘

SPC 각 공정에 필요한 기기를 회사별로 조사하여 단위 시간당 처리량 소요 동력, 차지 면적 등을 조사하여 데이터베이스화 하였다. 각 지역별 콩 수확 후 필요 처리량을 입력하면 경제성을 고려한 가동률을 기준으로 하여 높은 습도 및 초기 수분함량 등의 악조건에서도 해당 목표를 달성할 수 있도록 공정 별 기기 모델 및 개수를 에너지 효율을 고려하여 설계할 수 있도록 하였다. 또한 지역별 SPC 공정 설계가 이루어지면 해당 설계를 기준으로 하여 종합 처리시설을 설립하기 위한 필요 부지 면적을 계산하여 실제 종합처리시설을 설치하기 위한 종합적인 정보를 제공할 수 있도록 하였다.

개발한 알고리즘을 기반으로 하여 제작한 소프트웨어는 다음과 같다.

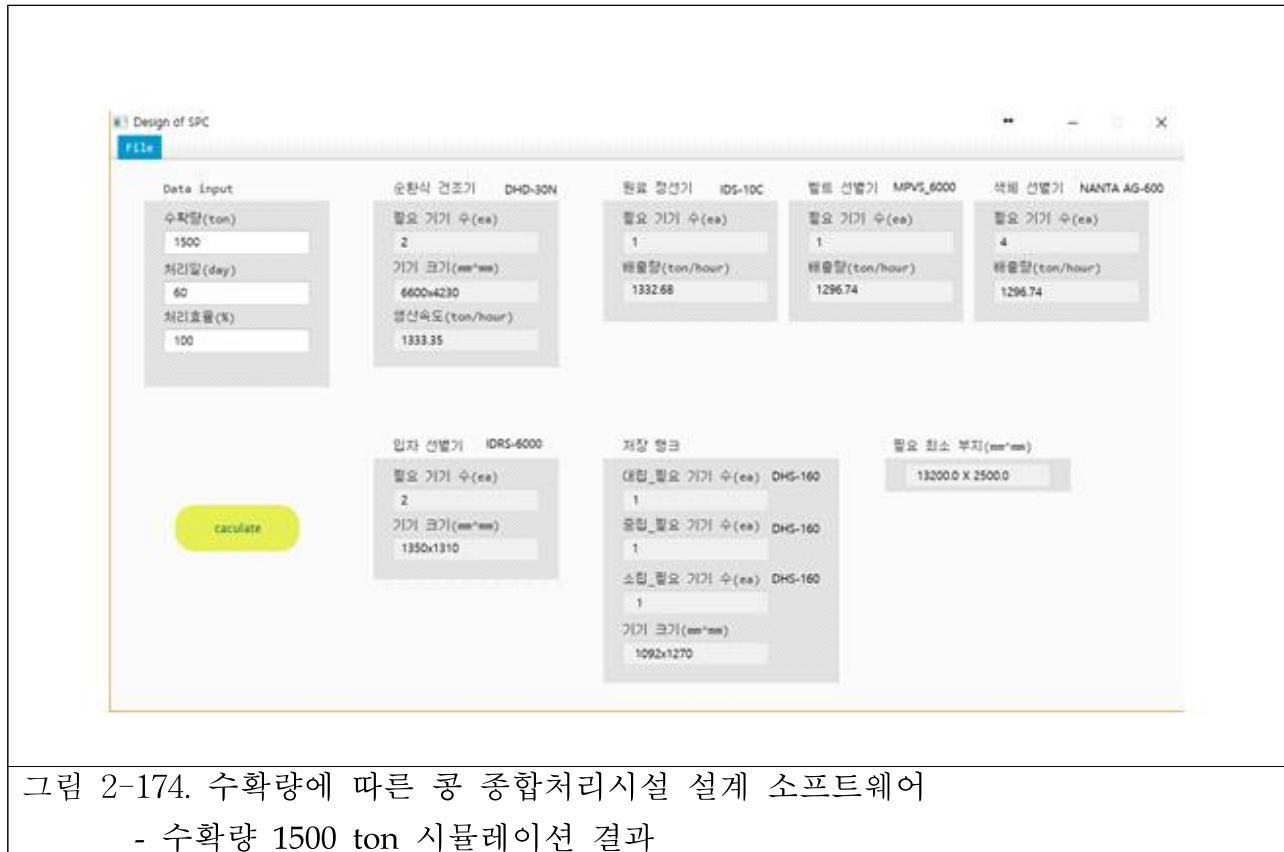


그림 2-174. 수확량에 따른 콩 종합처리시설 설계 소프트웨어

- 수확량 1500 ton 시뮬레이션 결과

투입되는 변수는 공정에 투입되는 콩의 양 및 목표 가동률을 입력하면, 연간 공정 투입량을 처리할 수 있도록 에너지 효율을 고려하여 최적의 기기 모델 및 수량 결과를 도출할 수 있게 되며 설계된 콩 종합처리시설의 실제 설치를 위해 필요한 부지 면적을 계산할 수 있도록 하였다.

표 2-6. 전국 재배 면적당 생산량 결과-통계청, 농작물 생산조사(2010).

시도별	면적 (ha)	생산량 (ton)	단위 면적당 생산량 (ton/ha)
계	83,129	119,288	1.47
서울특별시	15	19	1.22
부산광역시	62	86	0.91
대구광역시	357	423	1.14
인천광역시	396	393	0.80
광주광역시	250	324	1.43
대전광역시	224	241	0.99
울산광역시	223	328	1.55
경기도	6,873	9,918	1.47
강원도	8,376	12,189	1.52
충청북도	11,490	16,354	1.43
충청남도	6,891	10,307	1.55
전라북도	5,223	7,538	1.51
전라남도	15,429	21,832	1.50
경상북도	14,118	19,128	1.36
경상남도	6,269	8,736	1.42

재배 면적당 생산량은 환경 및 지역에 따라 달라지는 것으로 전국 평균을 기반으로 하여 재배 면적당 수확량을 1.50ton/ha로 설정하였으며, 실제 농가에서 수확량의 약 50%는 자가 소비하므로 생산량의 50%를 SPC에 투입하는 것으로 하여 가동률을 고려하여 재배 면적에 따른 SPC 설치 모델 특성을 확인하였다.

표 2-7. 재배 면적에 따른 SPC 설계 시뮬레이션 결과

재배면적 (ha)	SPC공정 투입량 (ton)	건조기 처리량 (ton/d)	정선기 처리량 (ton/d)	벨트선 별 처리량 (ton/d)	색 채선 별 처리 량 (ton/d)	입자선 별 처리 량 (ton/d)	필요부 지 (m ²)	소요시 간 (h)	소요동 력 (kW)	소요비 용 (천 원)
1,000	750	5.6	56	64	64	96	5680 X 2500	1071	20036	2,152
2,000	1,500	8.8	56	64	64	96	5680 X 2500	1364	35045	3,764
3,000	2,250	16.8	56	64	64	96	6600 X 2500	1071	32786	3,521
4,000	3,000	16.8	56	64	64	96	6600 X 2500	1429	43714	4,695
5,000	3,750	21.6	56	64	64	96	6360 X 2500	1389	56528	6,071
6,000	4,500	33.6	56	64	64	96	13200 X 2500	1071	54107	5,811

또한 시뮬레이션에 따라 공정이 설계 되었을 때 연간 콩 공정 투입량의 물질 수지 및 총 소요 동력에 관한 분석이 가능하며 20% 수분함량의 콩을 10%로 건조하는 공정으로 하여 재배 면적 별 물질 수지 및 소요동력을 분석한 결과는 다음과 같다.

표 2-8. 콩 재배 면적에 따른 SPC 물질 수지 및 소요 동력 시뮬레이션 결과-2000ha

항목	일간 처리량 (ton/day)	물질수지 (ton)	소요 동력 (kW)
초기 투입	-	1,500	-
순환식 건조	8.8	1,333.35	20,460
원료 정선기	56	1,332.68	1,091.2
벨트 선별기	64	1,331.35	545.6
색채 선별기	64	1296.74	10,912
입자 선별기	96	대립: 972.55	2,046
		중립: 259.35	
		소립: 64.84	
계량기	201.6	1296.74	2,046
포장기	-	1296.74	1,023
저장 탱크	2560	1296.74	2,318.8
승강기	960	-	12,276
인력	-	-	112,871

표 2-9. 콩 재배 면적에 따른 SPC 물질 수지 및 소요 동력 시뮬레이션 결과-4000ha

항목	일간 처리량 (ton/day)	물질수지 (ton)	소요 동력 (kW)
초기 투입	-	3,000	-
순환식 건조	16.8	2,666.70	28,437.1
원료 정선기	56	2,665.37	1,143.2
벨트 선별기	64	2,662.70	571.6
색채 선별기	64	2,593.47	11,432
입자 선별기	96	대립: 1945.10	2,143.5
		중립: 518.69	
		소립: 129.67	
계량기	201.6	1,945.10	1,071.8
포장기	-	1,945.10	2,429.3
저장 탱크	2560	1,945.10	1,586.2
승강기	960	-	12,861
인력	-	-	118,249.8

표 2-10. 콩 재배 면적에 따른 SPC 물질 수지 및 소요 동력 시뮬레이션 결과-6000ha

항목	일간 처리량 (ton/day)	물질수지 (ton)	소요 동력 (kW)
초기 투입	-	4,500	-
순환식 건조	33.6	4,000.10	42,625.8
원료 정선기	56	3,998.05	856.8
벨트 선별기	64	3,994.05	428.4
색채 선별기	64	3,890.21	8,568
입자 선별기	96	대립: 2917.65	1,606.5
		중립: 778.04	
		소립: 194.51	
계량기	201.6	3,890.21	803.3
포장기	-	3,890.21	1,820.7
저장 탱크	2560	3,890.21	1,188.8
승강기	960	-	9,639
인력	-	-	88,625.3

전국의 콩 생산량 자료를 바탕으로 하여 목표 가동률을 달리한 SPC 설치 시뮬레이션을 진행하여 설치 모델을 제작하였다. 각 도시 별 재배면적이 1,000ha를 넘는 경우 해당 도시에 개별 SPC 설치 모델을 개발하였으며, 그 이하의 도시의 경우 2,500ha가 넘지 않도록 가동률을 고려하여 지역별로 구분하여 개발하였다.

표 2-11. 전국 지역별 SPC 설치 시뮬레이션 결과 - 30%가동률

행정구역1	행정구역2	투입량 (ton)	건조기 처리량 (ton/d)	정선기 처리량 (ton/d)	벨트선별 처리량 (ton/d)	색채선별 처리량 (ton/d)	입자선별 처리량 (ton/d)	필요부지 (m ²)	소요동력 (kW)	소요비용 (천원)	가동률 (%)
제주도	제주시	4448. 64	50.4	56	64	64	96	19800 X 2500	49711	5340	24.18
전라남도	무안군	1169. 25	11.2	56	64	64	96	5680 X 2500	22299	2395	28.60
경상북도	안동시	1058. 76	11.2	56	64	64	96	5680 X 2500	20192	2169	25.89
제주도	서귀포시	1305. 36	16.8	56	64	64	96	6600 X 2500	19020	2043	21.28
강원도	정선군	1086. 04	11.2	56	64	64	96	5680 X 2500	20712	2225	26.56
충청북도	충주시	917.3 45	16	56	64	64	96	5680 X 2500	21432	2302	28.55
충청북도	제천시	857.2 85	16	56	64	64	96	5680 X 2500	20029	2151	26.69
강원도	영월군	862.6	16	56	64	64	96	5680 X 2500	20153	2165	26.85
충청북도	괴산군	787.9 3	16	56	64	64	96	5680 X 2500	18408	1977	24.53

전라남도	고흥군	808.5	16	56	64	64	96	5680 X 2500	18889	2029	25.17
경기도	연천군	762.9 3	7.2	56	64	64	96	5680 X 2500	17547	1885	29.03
경기도	북동부	1668. 54	16.8	56	64	64	96	6600 X 2500	24313	2611	27.21
경기도	서부	1097. 35	11.2	56	64	64	96	5680 X 2500	20928	2248	26.84
경기도	동남부	1468. 53	16.8	56	64	64	96	6600 X 2500	21399	2298	23.95
충청남도	북서부	1927. 425	21.6	56	64	64	96	6360 X 2500	29054	3121	24.45
충청남도	동부	1405. 85	16.8	56	64	64	96	6600 X 2500	20485	2200	22.93
충청남도	남부	1132. 89	11.2	56	64	64	96	5680 X 2500	21606	2321	27.71
경상북도	북부	1232. 84	16.8	56	64	64	96	6600 X 2500	17964	1930	20.11
경상북도	서부	2009. 4	21.6	56	64	64	96	6360 X 2500	30290	3253	25.49
경상북도	동부	1391. 96	16.8	56	64	64	96	6600 X 2500	20283	2179	22.70
경상북도	남부	998.6 8	11.2	56	64	64	96	5680 X 2500	19046	2046	24.43
경상남도	서부	1158. 72	11.2	56	64	64	96	5680 X 2500	22098	2374	28.34
경상남도	동부	1302. 12	16.8	56	64	64	96	6600 X 2500	18974	2038	21.23
전라북도	서부	1264. 625	16.8	56	64	64	96	6600 X 2500	18427	1979	20.62
전라북도	동부	1413. 36	16.8	56	64	64	96	6600 X 2500	20595	2212	23.05
전라남도	서남부	1203. 255	11.2	56	64	64	96	5680 X 2500	22948	2465	29.43
전라남도	서북부	2092. 5	21.6	56	64	64	96	6360 X 2500	31543	3388	26.54
전라남도	동부	1184. 25	11.2	56	64	64	96	5680 X 2500	22585	2426	28.97
강원도	동부	957.6	11.2	56	64	64	96	5680 X 2500	18263	1962	23.42
강원도	북부	1083	11.2	56	64	64	96	5680 X 2500	20654	2218	26.49
강원도	남부	1320. 12	16.8	56	64	64	96	6600 X 2500	19236	2066	21.53
충청북도	충북	2319. 46	21.6	56	64	64	96	6360 X 2500	34964	3755	29.42

표 2-12. 전국 지역별 SPC 설치 시뮬레이션 결과 - 50% 가동률

행정구역1	행정구역2	주입량 (ton)	전조기 처리량 (ton/d)	정선기 처리량 (ton/d)	벨트선 별 처리량 (ton/d)	색채선 별 처리량 (ton/d)	입자선 별 처리량 (ton/d)	필요부지 (m ²)	소요동력 (kW)	소요비용 (천원)	가동률 (%)
제주도	제주시	4448.64	33.6	56	64	64	96	13200 X 2500	53490	5,745	46.27
전라남도	무안군	1169.25	7.2	56	64	64	96	5680 X 2500	26893	2,888	44.49
경상북도	안동시	1058.76	7.2	56	64	64	96	5680 X 2500	24351	2,615	40.28
제주도	서귀포시	1305.36	8.8	56	64	64	96	5680 X 2500	30498	3,275	40.64
강원도	정선군	1086.04	7.2	56	64	64	96	5680 X 2500	24979	2,682	41.32
충청북도	충주시	917.345	5.6	56	64	64	96	5680 X 2500	24506	2,632	44.87
충청북도	제천시	857.285	5.6	56	64	64	96	5680 X 2500	22902	2,459	41.94
강원도	영월군	862.6	5.6	56	64	64	96	5680 X 2500	23044	2,475	42.20
충청북도	괴산군	787.93	5.6	56	64	64	96	5680 X 2500	21049	2,260	41.54
전라남도	고흥군	808.5	5.6	56	64	64	96	5680 X 2500	21599	2,319	41.55
경기도	연천군	762.93	5.6	56	64	64	96	5680 X 2500	20381	2,189	41.32
경기도	북동부	1668.54	11.2	56	64	64	96	5680 X 2500	31821	3,417	40.81
경기도	서부	1097.35	7.2	56	64	64	96	5680 X 2500	25239	2,710	41.75
경기도	동남부	1468.53	8.8	56	64	64	96	5680 X 2500	34310	3,685	45.72
충청남도	북서부	1927.425	11.2	56	64	64	96	5680 X 2500	36759	3,948	47.14
충청남도	동부	1405.85	7.2	56	64	64	96	5680 X 2500	32846	3,527	43.76
충청남도	남부	1132.89	5.6	56	64	64	96	5680 X 2500	26056	2,798	43.10
경상북도	북부	1232.84	5.6	56	64	64	96	5680 X 2500	28355	3,045	46.91
경상북도	서부	2009.4	5.6	56	64	64	96	5680 X 2500	38322	4,116	49.15
경상북도	동부	1391.96	5.6	56	64	64	96	5680 X 2500	32521	3,493	43.33
경상북도	남부	998.68	5.6	56	64	64	96	5680 X 2500	26679	2,865	48.85
경상남도	서부	1158.72	5.6	56	64	64	96	5680 X 2500	26651	2,862	44.09
경상남도	동부	1302.12	8.8	56	64	64	96	5680 X 2500	30422	3,267	40.53
전라북도	서부	1264.625	7.2	56	64	64	96	5680 X 2500	29086	3,124	48.12
전라북도	동부	1413.36	8.8	56	64	64	96	5680 X 2500	33021	3,546	44.00
전라남도	서남부	1203.255	7.2	56	64	64	96	5680 X 2500	27675	2,972	45.78
전라남도	서북부	2092.5	16.8	56	64	64	96	6600 X 2500	30491	3,275	39.12
전라남도	동부	1184.25	7.2	56	64	64	96	5680 X 2500	27238	2,925	45.0
강원도	동부	957.6	5.6	56	64	64	96	5680 X 2500	25582	2,747	46.84
강원도	북부	1083	7.2	56	64	64	96	5680 X 2500	24909	2,675	41.21
강원도	남부	1320.12	8.8	56	64	64	96	5680 X 2500	30843	3,312	41.09
충청북도	충북	2319.46	16.8	56	64	64	96	6600 X 2500	33798	3,363	42.82

표 2-13. 전국 지역별 SPC 설치 시뮬레이션 결과 - 70%가동률

행정구역1	행정구역2	투입량(ton)	전조기 처리량(ton/d)	정선기 처리량(ton/d)	밸트선 별 처리량(ton/d)	색채선 별 처리량(ton/d)	입자선 별 처리량(ton/d)	필요부지(m ²)	소요동력(kW)	소요비용(천원)	가동률(%)
제주도	제주시	4448.64	17.6	56	64	64	96	5680 X 2500	82300	8840	69.25
전라남도	무안군	1169.25	5.6	56	64	64	96	5680 X 2500	31236	3355	57.20
경상북도	안동시	1058.76	5.6	56	64	64	96	5680 X 2500	28284	3038	51.80
제주도	서귀포시	1305.36	5.6	56	64	64	96	5680 X 2500	34872	3746	63.86
강원도	정선군	1086.04	5.6	56	64	64	96	5680 X 2500	29013	3116	53.13
충청북도	충주시	917.345	5.6	56	64	64	96	5680 X 2500	24506	2632	44.88
충청북도	제천시	857.285	5.6	56	64	64	96	5680 X 2500	22902	2460	41.94
강원도	영월군	862.6	5.6	56	64	64	96	5680 X 2500	23044	2475	42.20
충청북도	괴산군	787.93	5.6	56	64	64	96	5680 X 2500	21049	2261	41.54
전라남도	고흥군	808.5	5.6	56	64	64	96	5680 X 2500	21599	2320	41.55
경기도	연천군	762.93	5.6	56	64	64	96	5680 X 2500	20381	2189	41.32
경기도	북동부	1668.54	7.2	56	64	64	96	5680 X 2500	38376	4122	63.49
경기도	서부	1097.35	5.6	56	64	64	96	5680 X 2500	29315	3149	53.69
경기도	동남부	1468.53	7.2	56	64	64	96	5680 X 2500	33776	3628	55.88
충청남도	북서부	1927.425	8.8	56	64	64	96	5680 X 2500	45032	4837	60.01
충청남도	동부	1405.85	5.6	56	64	64	96	5680 X 2500	37556	4034	68.78
충청남도	남부	1132.89	5.6	56	64	64	96	5680 X 2500	30264	3251	55.43
경상북도	북부	1232.84	5.6	56	64	64	96	5680 X 2500	32934	3537	60.32
경상북도	서부	2009.4	8.8	56	64	64	96	5680 X 2500	46947	5043	62.56
경상북도	동부	1391.96	5.6	56	64	64	96	5680 X 2500	37185	3994	68.10
경상북도	남부	998.68	5.6	56	64	64	96	5680 X 2500	26679	2866	48.86
경상남도	서부	1158.72	5.6	56	64	64	96	5680 X 2500	30954	3325	56.69
경상남도	동부	1302.12	5.6	56	64	64	96	5680 X 2500	34785	3736	63.70
전라북도	서부	1264.625	5.6	56	64	64	96	5680 X 2500	33784	3629	61.87
전라북도	동부	1413.36	5.6	56	64	64	96	5680 X 2500	37757	4055	69.15
전라남도	서남부	1203.255	5.6	56	64	64	96	5680 X 2500	32144	3453	58.87
전라남도	서북부	2092.5	8.8	56	64	64	96	5680 X 2500	48888	5251	65.15
전라남도	동부	1184.25	5.6	56	64	64	96	5680 X 2500	31636	3398	57.94
강원도	동부	957.6	5.6	56	64	64	96	5680 X 2500	25582	2748	46.85
강원도	북부	1083	5.6	56	64	64	96	5680 X 2500	28932	3108	52.98

강원도	남부	1320.12	5.6	56	64	64	96	5680 X 2500	35266	3788	64.59
충청북 도	충북	2319.46	5.6	56	64	64	96	5680 X 2500	44235	4751	56.74

가동률은 공정 처리되는 전체 콩 투입량의 공정 소요시간을 통해 판단되었으며, 일 8시간의 가동시간으로 설정하였다. 전국에서 재배면적이 1000ha 이상인 도시는 제주시, 무안군, 안동시, 서귀포시, 정선군, 충주시, 제천시, 영월군, 괴산군, 고흥군, 연천군 등 총 11곳으로 설비 비용 및 가동률을 고려하여 SPC 설비 모델이 개발되었다. 전국에서 재배면적 1000ha 이하의 도시는 지역별로 묶어 최소 958톤부터 최대 2319톤 생산 규모의 지역구를 구성하였으며, 모두 설비 비용 및 가동률을 고려하여 설계되었다. 지역구를 형성한 지역은 모두 유사한 범위의 생산 규모를 나타냄에 따라, 소요 동력 및 부지규모를 고려하여 동일한 SPC 설비를 들여올 수 있도록 구성되었으며, 생산량 편차에 따라 가동률의 차이가 존재하였다. 제주시는 단일 규모로 4449톤의 생산량을 나타내어 최대 규모의 SPC 설비 모델이 개발되었으며, 수확 콩을 저온 저장에 의해 품질 안정성이 보장되는 180일 안에 처리하기 위해 최대 규모의 소요 동력 및 부지가 요구되는 것을 확인할 수 있었다. 목표 가동률에 따른 설계가 가능하여 현재 SPC 설치에서 가장 큰 문제인 가동률에 따른 경제성을 향상시킬 수 있으며 목표 가동률을 50%로 하였을 때, 연간 가동률은 최소 39.12%부터 최대 47.14%를 나타내어 불정농협 SPC의 가동률 30.8%와 비교하여 현저히 증가시킬 수 있음을 확인하였다.- 따라서 전국의 콩 생산량 및 가동률을 고려한 SPC 설비 모델 시뮬레이션이 개발된 소프트웨어를 통해 가능하였으며, 지역별 연간 SPC 가동률 및 소요 동력에 대한 분석이 가능하였다.

<제2협동과제> 대사체 및 단백질체를 이용한 콩 종실 품질변이 판별 기술 개발

1차년도의 연구수행 내용은 첫 번째로 인위 퇴화 및 불량 수확 콩 종자의 발아력 및 활성 평가이다. 실험재료는 대원콩 종실의 인위 퇴화 종자 및 불량 수확 종자이고, 실험내용은 다음과 같다.

- ① 종자 퇴화 : 초기 습도와 온도를 달리하여 저장하여 인위적 종자 퇴화 유도
- ② 생리 조사 : 발아력 및 생육 조사
- ③ 활성 평가 : 항산화 및 호흡관련 효소의 활성 측정

두 번째로 인위 퇴화 및 불량 수확 콩 종자의 단백질체 분석이다. 실험재료는 대원콩 종실의 인위 퇴화 종자 및 불량 수확 종자이며, 실험내용은 다음과 같다.

- ① 단백질 추출 : 선행연구에서 개발한 콩 종자 저장 단백질 분리기술 PSP 적용
- ② 2-DE : 24cm 대용량 IPG strip 또는 narrow range IPG strip 사용 2차원 전기영동
- ③ 동정 : tryptic digested 단백질을 MALDI-TOF/TOF MS 동정

세 번째로 불량환경 대사체 변이 분석을 위한 조건 확립 및 탐색이다. 실험재료는 대원콩 종실의 인위 퇴화 종자 및 불량 수확 종자이고, 실험내용은 다음과 같다.

(가) 콩 종실의 변이판별을 위한 근적외 분광분석

- ① 근적외 분광분석 : 종실 및 분말시료에 대한 근적외 분광분석 스펙트럼 측정
- ② 측정 스펙트럼의 통계적 해석 : PCA 및 PLSDA 통계분석에 의한 스펙트럼 변이 판별

(나) 콩 종실의 품질 관련 영양 및 기능적 대사체 탐색

- ① 단백질 및 지질 : 습식 화학분석법
- ② 지방산 : 유지 직접 추출 및 가수분해를 통한 GC-FID 분석
- ③ 수용성 당 : HPLC-ELSD 분석
- ④ 루테인, 카로틴 및 다중 피롤화합물 : HPLC-DAD 분석
- ⑤ 이소플라본 : HPLC-DAD 분석
- ⑥ 엽산 : Micro assay(*Lactobacillus casei*)

1차년도의 주요 결과는 다음과 같다.

1) 인위 퇴화 및 불량 수확 콩 종자의 발아력 및 활성 평가

가) 콩 저장 온도에 따른 발아력 및 활성 평가 (2012년도 수확 종자)

콩의 인위퇴화처리에 따른 콩 종자의 단백질체를 분석하기에 앞서, 콩 종자를 인위적인 고온 (42°C) 및 고습(상대습도 100%)의 환경을 조성하여 종자의 퇴화를 유도하였다. 먼저 2012년 수확 콩 종자 (품종, 대원)를 이용하여 앞서 언급한 조건을 이용하여 인위적 퇴화를 유도한 뒤 발아력 테스트를 수행하였다. 실험은 각각 고온, 고습을 1일, 2일 처리 후 고온 저장된 종자를 다시 재건조시킨 처리구(Recovery), 마지막으로 4°C, 밀봉 보관한 종자를 대조군 (Control)으로 이용하여 나누어 수행하였다. 2-DE 분석에 앞서 표현형을 확인하기 위하여 각 종자들을 일주일간 생장시켜 지상부와 지하부의 길이 차이를 비교하였다(그림). 그 결과 Control과 비교하였을 때 비교적 노화의 속도가 빠르게 진행됨을 알 수 있다. 특히 고온·고습의 조건에서 수분을 다량 함유하고 있던 종자가 재 건조될 경우 발아력이 현저하게 떨어지는 것을 관찰 할 수 있다.

나) 콩 저장 온도에 따른 발아력 및 활성 평가 (2013년도 수확 종자)

2012년 수확 종자의 경우 2년간 보관된 종자이기 때문에 인위적 퇴화처리를 하였을 때 노화

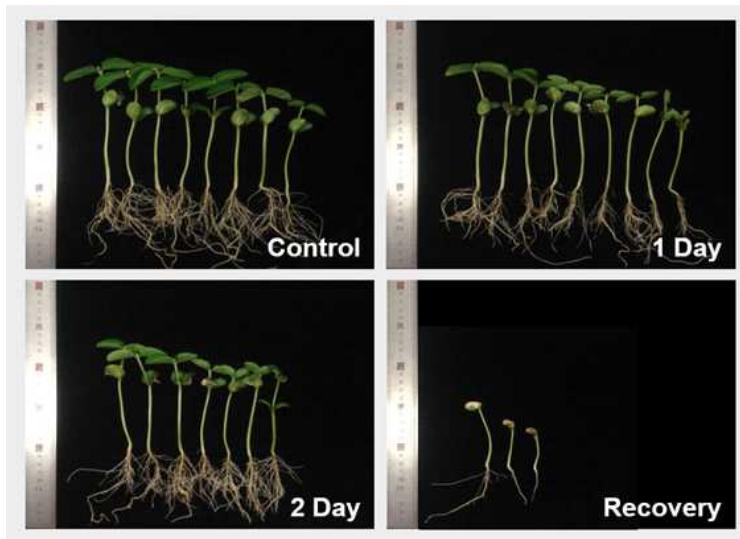


그림 3-1. 2012년 수확종자를 이용하여 인위적 퇴화 처리 후 발아력 테스트 결과

(aging)의 속도가 다소 빠른 것으로 판단되어 2013년 수확 종자를 이용하여 인위적 퇴화처리를 재설시하였다. 위와 동일한 조건을 이용하였으며 실험의 처리구는 각각 1일, 2일, 3일, 5일, 7일까지 늘려 발아력 평가를 실시하였으며, 대조군의 경우 4°C, 밀봉보관 종자를 사용하였다. 동일하게 각 처리구별 종자를 일주일간 생장시켜 지상부와 지하부의 길이 차이를 비교하였다. 그 결과 위의 결과와는 달리 퇴화 처리 5일 차에 접어들면서 급격하게 노화가 진행되는 것을 관찰할 수 있다.

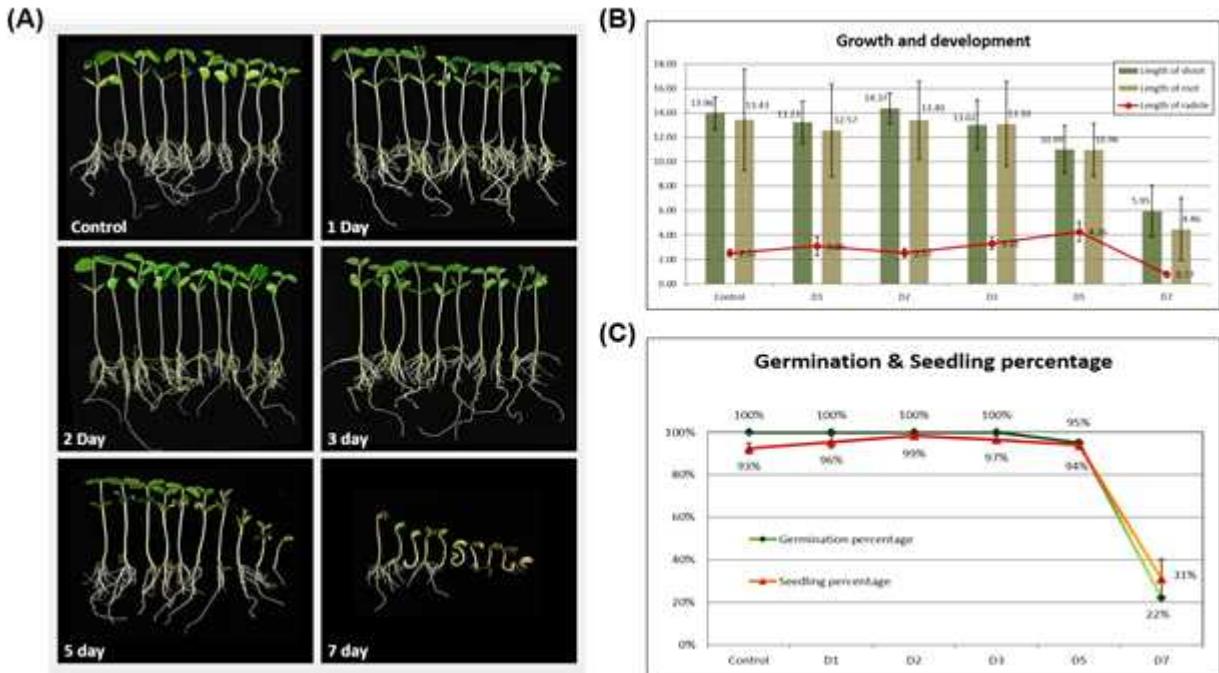


그림 3-2. 2013년 수확종자를 이용한 인위적 퇴화 처리 후 발아력 테스트 결과

2) 인위 퇴화 및 불량 수확 콩 종자의 단백질체 분석

가) 2012년 수확종자를 이용한 인위 퇴화 및 불량 수확 종자 단백질체 변이 분석

- 인위적 퇴화를 유도한 콩 종자의 과발현 단백질 제거 (2012년 종자)

2012년 수확한 대원콩 종자를 각각 고온(42°C) 및 고습(상대습도 100%)의 환경을 조성하여 인위적 퇴화를 유도하였고, 노화 처리가 된 종자를 이용하여 단백질체 분석을 실시하였다. 단백질체의 분석을 위한 단백질의 추출에는 선행연구로 진행된 PSP(Protamine sulfate precipitation) method를 적용하였다. PS의 처리를 함으로써 종자 내 존재하는 HAPs(High abundant protein) 단백질들을 제거하고, 종자 내 LAPs(Low abundant protein)의 분석을 실시하였다 (그림).

- 인위적 퇴화를 유도한 콩 종자의 단백질체 분석 (2012년 종자)

PSP method를 적용하여 노화 처리된 콩 종자에서 단백질을 추출하였고, 2-DE 분석을 실시하였다(그림). 각각 Control, 1일, 2일, Recovery별 단백질 비교에서는 총 33개의 후보 단백질을 선발하여 2개의 증가되는 단백질과 31개의 감소되는 단백질들을 MS분석으로 동정하였다.

- 동정된 단백질들의 기능적 분석

인위적 퇴화 처리된 종자의 2-DE 분석을 통하여 확인한 33개의 단백질 spot들을 bioinformatics tool을 이용하여 기능적 분석 및 분류를 실시하였다. 각각 단백질 spot을 분

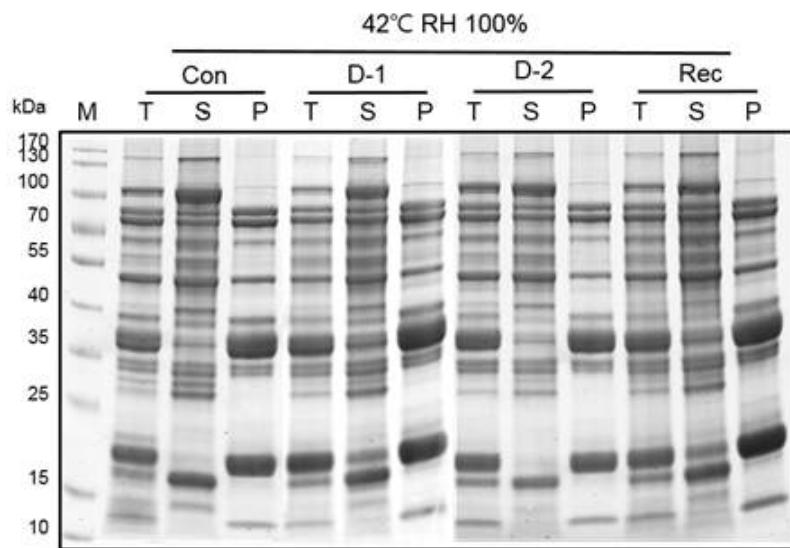


그림 3-3. PSP method를 적용한 단백질의 SDS-PAGE 분석

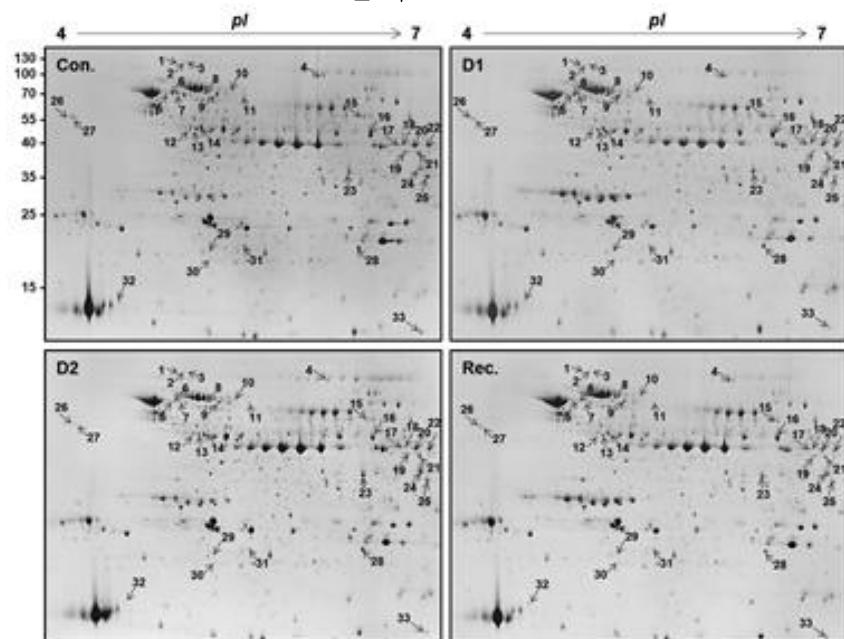


그림 3-4. PSP method를 적용한 단백질의 2-DE 분석

석하고, 단백질의 기능별 clustering을 수행하였다.

표 3-1. 2-DE 분석결과 동정된 단백질 (2012년 종자)

No.	Acession No.	Protein name	OS	Mr/pI(T)	SC(%)	Score	Expect
1	I1N6A5	Phosphorylase	<i>Glycine max</i>	110.8/5.35	19	127	1.8E-006
2	I1N6A5	Phosphorylase	<i>Glycine max</i>	110.8/5.35	13	89	0.011
3	I1N6A5	Phosphorylase	<i>Glycine max</i>	110.8/5.35	24	148	1.4E-008
4	I1K3K3	Urease	<i>Glycine max</i>	91.0/5.70	27	223	4.4E-016
5	P13916	Beta-conglycinin, alpha chain	<i>Glycine max</i>	70.5/5.07	23	126	2.2E-006
6	I1JPC5	heat shock protein 70 family	<i>Glycine max</i>	67.9/4.98	28	169	1.1E-010
7	Q39804	BiP isoform B	<i>Glycine max</i>	73.7/5.11	25	290	8.8e-023
8	P26413	Heat shock 70 kDa protein	<i>Glycine max</i>	71.3/5.37	25	174	3.5E-011
9	P26413	Heat shock 70 kDa protein	<i>Glycine max</i>	71.3/5.37	36	344	3.5E-028
10	Q0MUU5	Beta-conglycinin alpha'-subunit	<i>Glycine max</i>	70.1/5.43	18	92	0.0061
11	I1KQ93	Alpha-D-phosphohexomutase superfamily	<i>Glycine max</i>	63.8/5.35	36	332	5.5E-027
12	C6T7U2	UDP-glucose pyrophosphorylase	<i>Glycine max</i>	51.6/5.41	29	144	3.5E-008
13	I1MBR7	UDP-glucose pyrophosphorylase	<i>Glycine max</i>	51.6/5.20	47	273	4.4E-021
14	I1NFS4	ATP synthase subunit beta	<i>Glycine max</i>	59.9/5.80	44	259	1.1E-019
15	gi 6179947	sucrose binding protein homolog S-64	<i>Glycine max</i>	56.1/6.32	44	349	4.3E-028
16	gi 356533407	embryonic protein DC-8-like	<i>Glycine max</i>	48.8/6.12	47	482	2.1E-041
17	K7LLY1	Uncharacterized protein	<i>Glycine max</i>	31.9/8.39	11	36	2.2E+003
18	K7LLY1	Uncharacterized protein	<i>Glycine max</i>	31.9/8.39	11	34	3.4E+003
19	I1N5S0	D-isomer specific 2-hydroxyacid dehydrogenase	<i>Glycine max</i>	43.1/6.28	52	211	7E-015
20	C6T9Z5	D-isomer specific 2-hydroxyacid dehydrogenase	<i>Glycine max</i>	43.1/6.28	53	377	1.8E-031
21	I1N5S0	D-isomer specific 2-hydroxyacid dehydrogenase	<i>Glycine max</i>	43.1/6.28	64	273	4.4E-021
22	C6T9Z5	D-isomer specific 2-hydroxyacid dehydrogenase	<i>Glycine max</i>	43.1/6.28	63	508	1.4E-044
23	Q9ZT38	Alcohol-dehydrogenase	<i>Glycine max</i>	37.0/6.13	39	214	3.5E-015
24	I1LXD1	Alcohol dehydrogenase, C-terminal	<i>Glycine max</i>	39.4/8.19	51	220	8.8E-016
25	Q2I0H4	Glyceraldehyde-3-phosphate dehydrogenase	<i>Glycine max</i>	36.9/6.72	49	246	2.2E-018
26	A0A762	Calreticulin-1	<i>Glycine max</i>	48.3/4.43	17	101	0.0007
27	gi 356575355	calreticulin-like	<i>Glycine max</i>	48.6/4.47	23	108	0.00054
28	gi 77540216	triosephosphate isomerase	<i>Glycine max</i>	27.4/5.87	72	274	1.3E-020
29	gi 356537444	protein IN2-1 homolog B-like	<i>Glycine max</i>	27.1/5.34	71	304	1.3E-023
30	gi 326928029	glutaminyl-tRNA synthetase-like	<i>Glycine max</i>	83.0/6.10	25	103	0.0017
31	gi 351726636	iron-superoxide dismutase	<i>Glycine max</i>	27.5/5.45	23	82	0.21
32	gi 125023	Kunitz-type trypsin inhibitor B	<i>Glycine max</i>	20.3/4.66	33	138	5.4E-007
33	gi 356501111	18.2 kDa class I heat shock protein	<i>Glycine max</i>	17.3/6.75	36	90	0.033

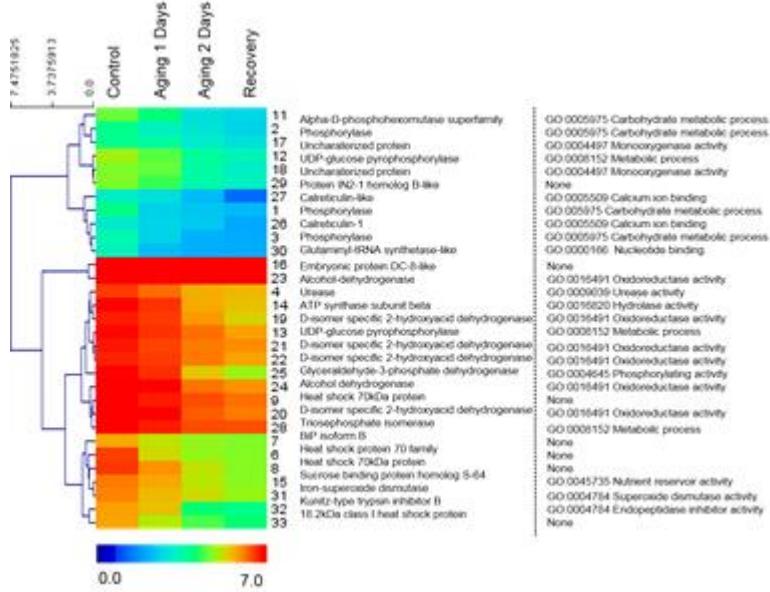


그림 3-5. 인위퇴화 처리된 콩 종자에서 동정된 단백질들의 기능적 분석 및 분류

또한 대조군(Control)과 노화 처리된 종자들간의 단백질 구성의 차이를 분석하기 위하여 gene ontology를 수행하였다. 분석된 단백질의 대부분을 차지하는 것들은 catalytic activity(60.6%), nutrient reservoir activity(9.1%)로 확인되었다. 증가되는 2개의 단백질은 모두 nutrient reservoir activity에 관련된 단백질(spot 5, 10)들이었고, 감소되는 31개의 단백질들은 대부분 pyrophosphorylase activity(spot 12, 13), superoxide dismutase acitivity(spot 31)과 같은 종자 내 효소활성과 연관되어진 것으로 확인되었다(그림). 이러한 결과로 수확 후 종자의 고온, 고습상태에서의 저장이나 인위적 퇴화에 의하여 단백질의 생합성이나, 탄수화물대사, 단백질의 folding이나 assembly같은 반응들이 영향을 받는 것으로 여겨지며, 이는 곧 식품으로서 콩 종자의 품질에 영향을 미칠 것으로 생각된다.

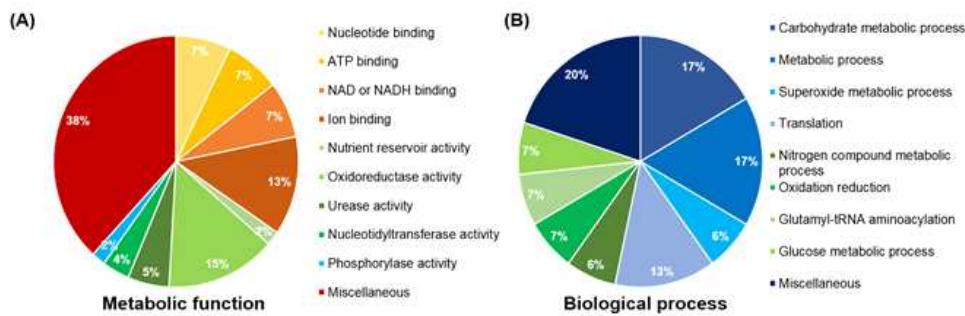


그림 3-6. 동정된 단백질 spot의 gene ontology 분석

- 콩 종자의 Aging 관련 대사경로 탐색

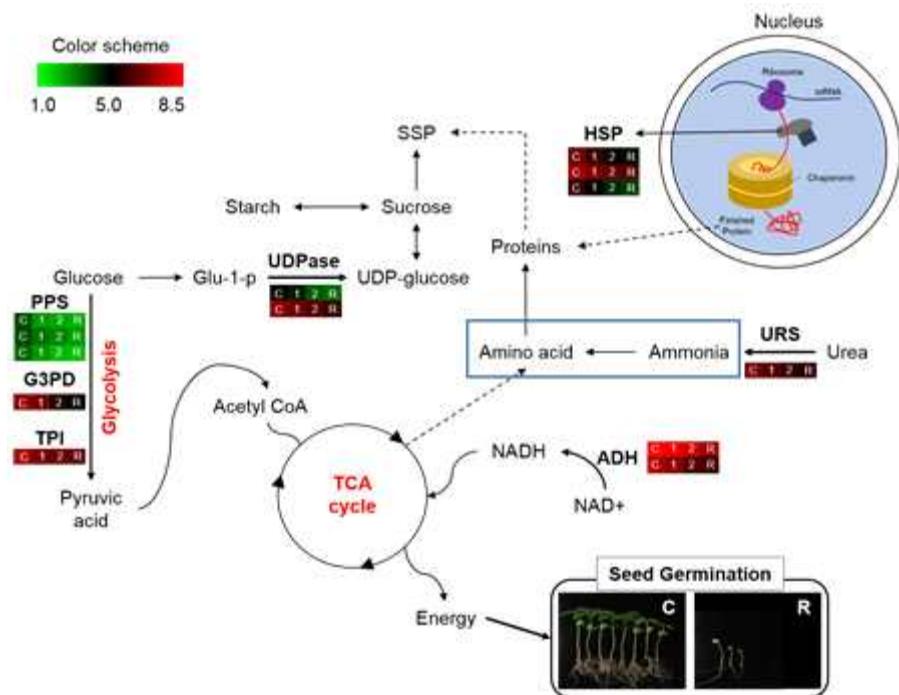


그림 3-7. 종자의 노화 관련 단백질체의 metabolic pathway

나) 2013년 수확종자를 이용한 인위 퇴화 및 불량 수확 종자 단백질체 변이 분석

- 인위적 퇴화를 유도한 콩 종자의 과발현 단백질 제거 및 2-DE분석

2013년 수확한 대원콩 종자를 각각 고온(42°C) 및 고습(상대습도 100%)의 환경을 조성하여 인위적 퇴화를 유도하였고, 노화 처리가 된 종자를 이용하여 단백질체 분석을 실시하였다. 단백질 추출은 마찬가지로 PSP method를 적용하였다. PS를 이용하여 과발현 단백질을 제거한 상등액 부분만을 이용하여 2-DE 분석을 실시하였다.

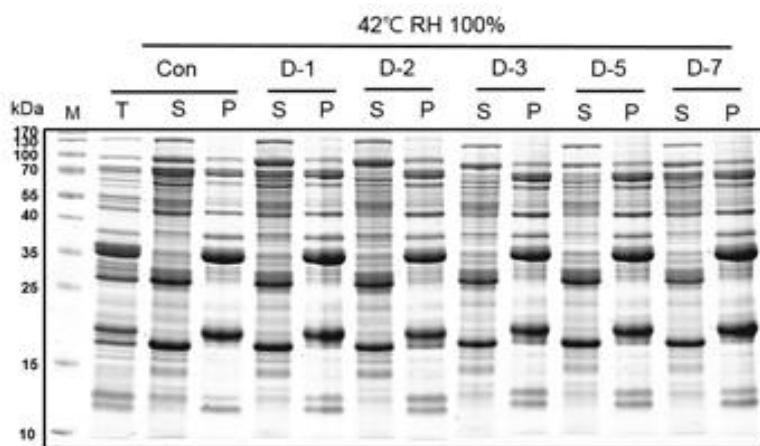


그림 3-8. PSP method를 적용한 단백질의 SDS-PAGE 분석

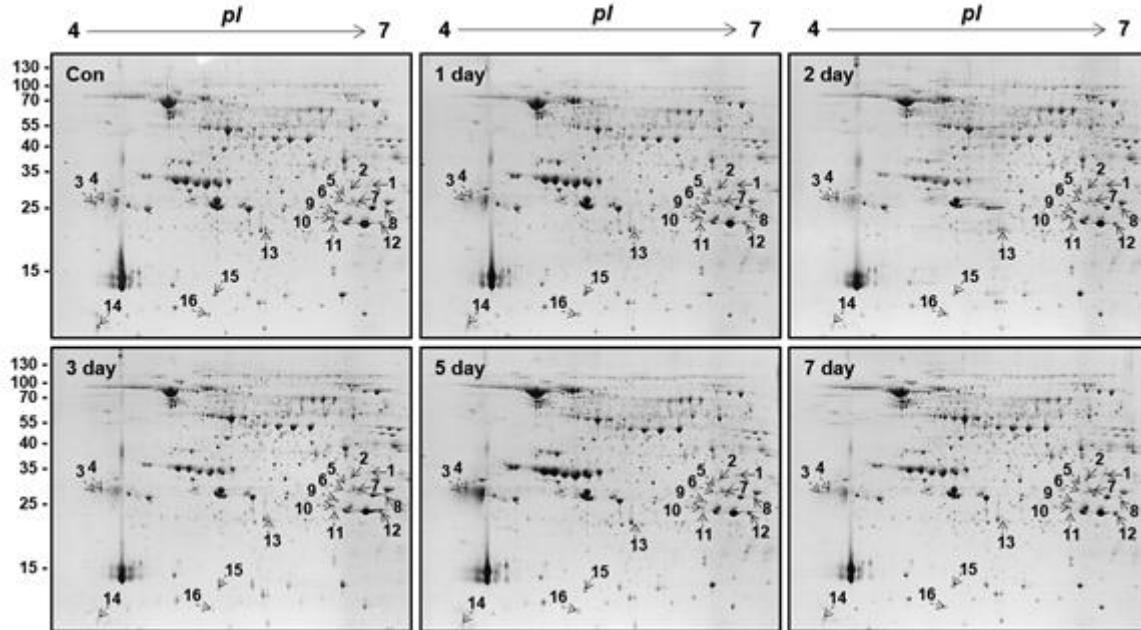


그림 3-9. PSP method를 적용한 단백질의 2-DE분석

인위적 노화 처리된 종자들의 단백질 비교에서는 총 16개의 후보 단백질을 선발하였다(그림). 16개의 단백질 중에 종자 노화 처리가 되면서 감소되는 단백질 11개와 증가되는 단백질 5개를 동정하였다(표). 동정된 단백질의 기능성 분석 및 분류는 현재 진행 중이다.

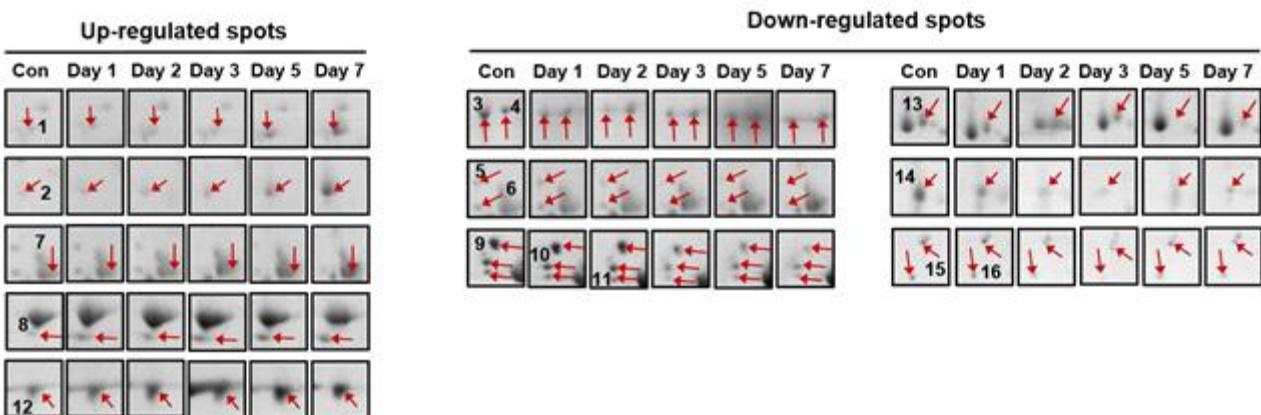


그림 3-10. 2-DE 분석결과 선발된 단백질 spot들의 Enlarged view

표 3-2. 2-DE 분석결과 동정된 단백질 (2013년 종자)

No.	Acession No.	Protein name	OS	Mr/pI(T)	SC(%)	Score	Expect
1	C6T8W9	Putative uncharacterized protein	Glycine max	32.0/7.59	23	57	0.15
2	C6TAX1	Putative uncharacterized protein	Glycine max	32.0/7.00	32	92	4.9E-005
3	K7KVJ9	Uncharacterizedprotein(GO:Translationelongationfactor)	Glycine max	31.3/4.82	39	441	6.1E-040
4	C6SXP1	Puatalive uncharacterized protein (GO :	Glycine max	25.1/4.46	36	207	1.5E-016

		Translation elongation factor)					
5	K7KKG9	Uncharacterized protein (GO : Oxidoreductase activity)	<i>Glycine max</i>	41.1/5.26	35	64	0.029
6	K7KVJ9	Uncharacterized protein (GO : Translation elongation factor)	<i>Glycine max</i>	31.3/4.62	39	293	3.9E-025
7	C6TKH0	Uncharacterized protein (GO : Oxidoreductase activity)	<i>Glycine max</i>	32.1/6.38	44	116	1.9E-007
8	I1MF81	Uncharacterized protein (GO : Protein kinase activity)	<i>Glycine max</i>	15.4/6.85	14	54	0.28
9	C6TC82	Putative uncharacterized protein (GO : Methyltransferase activity)	<i>Glycine max</i>	28.3/8.18	40	54	0.28
10	I1JWE9	Uncharacterized protein	<i>Glycine max</i>	90.2/5.49	19	50	0.7
11	C6SZF8	Putative uncharacterized protein	<i>Glycine max</i>	21.2/6.11	36	41	6.7
12	I1JME7	Uncharacterized protein (GO: Gultamate-tRNA ligae activity)	<i>Glycine max</i>	62.9/6.34	24	42	5.2
13	B2YDR0	Gly m Bd 28K allergen	<i>Glycine max</i>	50.9/5.81	23	238	1.2E-019
14	P01071	Trypsin inhibitor B	<i>Glycine max</i>	20.3/4.66	25	198	1.2E-015
15	C6T2V6	Uncharacterized protein	<i>Glycine max</i>	6.2/10.29	51	41	5.7
16	I1MB99	Uncharacterized protein (GO : Oxidoreductase activity)	<i>Glycine max</i>	61.6/9.33	21	61	0.06

3) 불량환경 대사체 변이 분석을 위한 조건 확립 및 탐색

(가) 콩 종실의 변이판별을 위한 근적외 분광분석

- 대원콩 종실의 인위적 노화(aging) 처리에 따른 종실 분말의 색상 변화



그림 3-11. 대원콩 종실의 인위적 노화처리에 따른 종실분말의 색상 변화

2013년 수확된 대원콩 종자를 대상으로 인위적 노화(aging) 처리 후 외형상 종실의 큰 변화는 육안으로 관찰할 수 없었으나, 대조구에 비해 인위적 노화 기간이 길어질수록 종실분말의 색상이 점진적으로 황변하는 양상을 육안으로도 확인할 수 있으며, 종실분말의 색상변화로 볼 때 종실 함유성분의 함량적 변화도 발생할 수 있음을 유추 할 수 있음.

- 근적외 스펙트럼을 이용한 인위 노화 콩 종자의 통계적 판별

2013년 수확된 대원콩 종자의 인위 노화처리 후 정상종자와 각 인위 노화처리 기간별 시료를 간이 판별할 수 있는 판별방법을 검토하고자 종실 및 분말시료를 대상으로 근적외 스펙트럼을 측정하고, 측정된 1100~2500nm 사이의 스펙트럼 중 50nm간격으로 스펙트럼을 축출하여

이들의 변화 값을 이용하여 주성분분석(PCA) 및 부분최소자승판별분석(PLSDA) 등 다양한 통계적 판별분석을 수행한 결과, 종실 및 분말시료 모두 정상종자와 각 인위 노화처리 기간별 시료를 정확하게 판별할 수 있는 것으로 확인되었으며, 특히 분말시료의 경우 종실시료보다 훨씬 높은 정확도로 노화처리 종자의 판별이 가능한 양상을 확인하였으며, 추후 정상 종자 및 인위 노화처리 종자를 판별할 수 있는 근적외 특정 파장의 축출을 통계적으로 검토할 필요성이 있을 것으로 판단됨.

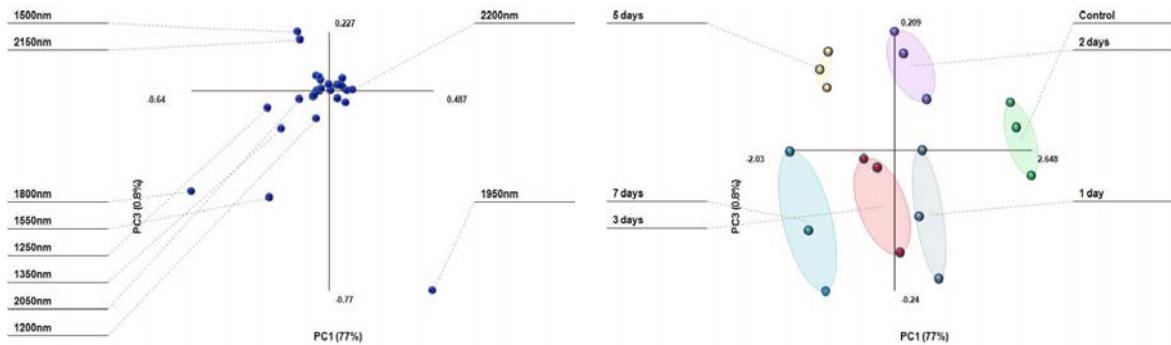


그림. 2차 미분 근적외 스펙트럼을 이용한 콩 종실시료의 인위적 노화 판별

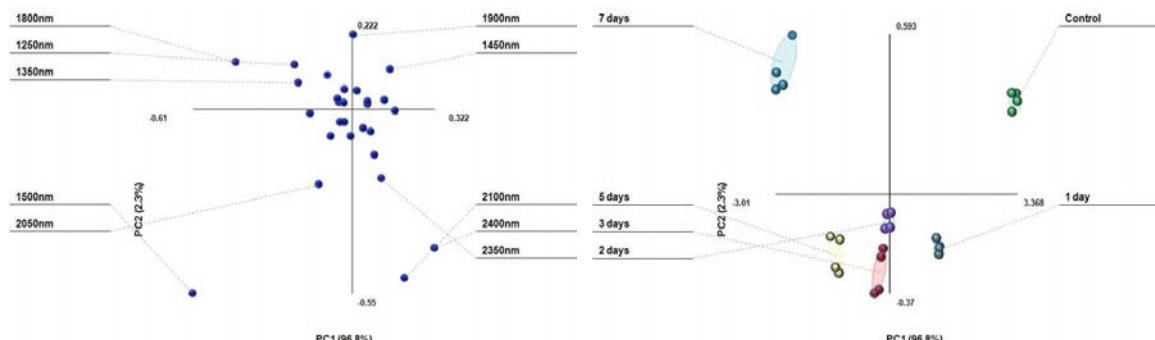


그림 3-12. 2차 미분 근적외 스펙트럼을 이용한 콩 분말시료의 인위적 노화 판별

(나) 콩 종실의 품질 관련 영양 및 기능적 대사체 탐색

- 대원콩 종실의 인위적 노화처리에 의한 100립중 및 일반성분 함량 변화

표 3-3. 인위적 노화처리에 따른 100립중, 수분, 단백질 및 지방함량 변화

Aging	100 seeds weight (g)	Moisture (%)	Protein (%)	Oil (%)
Control	25.6 c	8.1 f	39.0 a	19.2 ab
1 day	26.5 c	11.7 e	38.0 b	19.9 a
2 days	26.7 c	13.9 c	37.5 b	19.6 ab
3 days	27.9 b	13.8 d	37.4 b	19.5 ab
5 days	29.1 a	17.0 b	35.2 c	18.3 b
7 days	29.5 a	18.3 a	34.7 c	13.3 c

대원콩 종자의 인위적 노화(aging) 처리 후 종실의 100립중을 조사한 결과 인위적 노화처리의 일수가 증가할수록 100립중이 점진적이며, 뚜렷한 증가 양상을 확인할 수 있었고, 종실에 함유된 수분함량도 100립중과 동일한 양상으로 유의한 증가양상을 나타내어 7일 처리의 경우 무처리 대비 약 2.3배 증가된 양상을 나타내었으며, 결국 이들 양상을 유추해 볼 때 인위적 노화처리 시 처리일수가 증가할수록 100립중이 증가하는 것은 종실에 함유된 수분함량의 증가에 기인한 것으로 판단된다.

한편, 콩 종자의 인위적 노화처리 후 종실에 함유된 단백질과 지방의 함량변화는 인위적 노화처리 일수가 증가할수록 뚜렷한 감소 경향을 나타내어, 단백질 및 지방 모두 7일 처리의 경우 무처리 대비 약 4 - 6%의 감소를 나타내었으며, 단백질의 경우 노화처리 기간에 따라 점진적 감소가, 지방의 경우 5일 처리 이후 급격한 감소 양상을 확인할 수 있었다.

표 3-4. 인위적 노화처리에 따른 지방산 함량 변화

Aging	Fatty acid (%)				
	Palmitic	Stearic	Oleic	Linoleic	Linolenic
Control	10.52 b	3.38 d	21.59 b	56.58 abc	7.92 a
1 day	10.97 a	3.40 cd	21.18 d	56.66 ab	7.79 b
2 days	10.93 a	3.53 a	21.70 a	56.41 c	7.43 d
3 days	11.02 a	3.49 ab	21.23 d	56.52 bc	7.74 b
5 days	10.81 ab	3.46 bc	21.33 c	56.72 a	7.67 c
7 days	10.88 a	3.50 ab	21.17 d	56.70 ab	7.76 b

대원콩 종자의 인위적 노화처리 후 종실에 함유된 지방산의 조성을 검토한 결과 인위적 노화처리에 따른 지방산의 조성은 큰 변화가 발생되지 않는 것으로 판단되며, 단지 포화지방산인 palmitic 및 stearic acid의 경우 노화처리 기간이 길어질수록 소량 증가하는 양상을, linoleic acid는 소량 감소하는 양상을 확인할 수 있었다.

한편, 콩에 함유된 크산토필 계열의 황색색소 물질인 루테인의 경우 노화처리 기간이 길어질수록 뚜렷한 감소 양상을 나타내었으며, 엽산의 경우 노화 처리 1일에는 다소 증가하는 양상을 나타내지만 노화가 진행될수록 급격히 감소되는 양상을 나타내어 7일간 노화 처리된 콩의 경우 무처리 대비 약 1/2의 수준으로 감소하는 양상을 확인할 수 있다.

대원콩 종자의 인위적 노화처리 후 종실에 함유된 수용성 당류의 함량변화를 검토한 결과 노화처리 기간이 길어질수록 단당류인 fructose 및 glucose는 소량 증가하는 양상을, 올리고당인 sucrose 및 stachyose는 현저한 감소 양상을 나타내었으며, 결국 콩에 다량으로 함유된 당은 올리고당이므로 sucrose 및 stachyose의 감소 양상으로 인해 총 올리고당 및 총 수용성 당의 함량도 노화처리 기간이 길어질수록 뚜렷한 감소 양상을 나타내었다.

표 3-5. 인위적 노화처리에 따른 루테인 및 엽산의 함량 변화

Aging	Lutein (ug/g)	Folic acid (ug/100g)
Control	2.08 a	145.94 b
1 day	0.76 c	171.15 a
2 days	0.24 f	148.68 a
3 days	0.52 e	106.54 c
5 days	0.59 d	67.16 d
7 days	0.95 b	73.24 d

대원콩 종자의 인위적 노화처리 후 종실에 함유된 이소플라본의 함량변화를 검토한 결과 6"-O-Acetyl기가 결합된 daidzin 배당체는 노화처리 기간이 길어질수록 함량이 소량 증가하는 양상을 나타내었으나, 나머지 6"-O-Acetyl glycitin 및 6"-O- Acetyl genistin 배당체는 소량 감소하는 양상을 나타내었다. 한편 6"-O-Malonyl기가 결합된 모든 이소플라본 배당체는 노화처리 기간이 길어질수록 뚜렷한 감소 경향을 보여 노화 처리기간이 7일 정도 지날 경우 최초 함량의 1/2수준으로 급격히 감소하는 양상을 공통적으로 나타내었다. 반면 유기 산이 결합되지 않은 단순 배당체인 daidzin, glycitin 및 genistin은 공통적으로 노화처리 기간이 3일 정도 까지는 증가 하는 양상을 나타내다가 그 이후 다소 감소하는 양상을 나타내었고, 비당체인 daidzein, glycitein 및 genistein은 노화처리 기간이 길어질수록 뚜렷한 증가 경향을 보이며, 노화 처리기간이 7일 정도 지날 경우 최초 함량 대비 약 16-43배 수준으로 증가하는 양상을 공통적으로 나타내었다. 한편 총 이소플라본의 함량의 경우 노화처리 기간이 길어질수록 통계적으로 유의한 수준의 뚜렷한 감소 양상을 확인할 수 있었다.

표 3-6. 인위적 노화처리에 따른 수용성 당의 함량 변화

Aging	Soluble carbohydrate (%)						
	Fructose	Glucose	Sucrose	Raffinose	Stachyose	Total oligo	Total sugar
Control	0.44 c	0.43 b	7.72 a	1.02 a	3.49 a	12.23 a	13.11 a
1 day	0.45 b	0.43 b	7.21 b	0.95 c	3.22 b	11.38 b	12.26 b
2 days	0.45 b	0.43 b	7.07 c	0.99 b	2.79 c	10.84 c	11.73 c
3 days	0.45 b	0.43 b	6.96 c	1.00 ab	2.72 d	10.67 c	11.55 c
5 days	0.45 b	0.43 b	6.17 d	1.02 a	2.18 e	9.37 d	10.25 d
7 days	0.47 a	0.44 a	5.43 e	1.01 a	1.88 f	8.33 e	9.25 e

콩 종자의 인위적 노화처리 후 이소플라본 함량의 변화 양상을 종합적으로 살펴 볼 때 인위적 노화처리가 진행됨에 따라 “유기산인 acetyl 및 malonyl 기가 결합된 이소플라본 배당체 → 단순 이소플라본 배당체 → 비당체 이소플라본 → 플라본 구조 혹은 이소플라본의 분해 산물”의 형태로 급격히 전환되는 양상을 확인할 수 있으며, 최종적으로 총 이소플라본의 함량 또한 인위적 노화가 진행되면서 점진적으로 감소하는 양상을 확인할 때 이소플라본으로

측정될 수 있는 가장 단순한 구조인 비당체의 구조보다 더욱 간단한 물질로 분해되어 측정 범위를 벗어나는 단순 구조로의 변경에 의한 것으로 판단되므로, 이소플라본의 조성 혹은 함량은 노화된 콩을 판단할 수 있는 지표 대사체로 평가된다.

이상 콩 저장 중 불량환경에서 발생되는 대사체의 변이 판별을 위해 인위적 퇴화의 방법으로 습도와 온도처리를 하여 인위 노화를 유도한 후 종실에 함유된 일부 품질 관련 영양 및 기능적 대사체의 변이 양상을 확인한 결과, 인위적 퇴화가 진행될수록 종실 및 분말의 색도가 황변 혹은 갈변하는 양상이 뚜렷해짐을 확인할 수 있고, 이런 변화는 근적외선의 흡수 스펙트럼의 주성분 분석결과에서도 뚜렷한 차이를 나타내어 근적외선 조사만에 의해서도 정밀하게 노화의 진행 정도를 판별할 수 있었다.

또한 노화가 진행될수록 100립중과 수분함량이 점진적으로 증가하여 뚜렷한 통계적 차이를 확인할 수 있었으며, 단백질 및 지방 함량도 노화기간이 길어질수록 감소 경향이 뚜렷하였다. 한편 지방산의 조성면에서 노화 기간에 따른 통계적 차이는 일부 인정되었으나, 뚜렷한 차이는 관찰되지 않았으므로 지방산은 노화 처리된 콩 종자를 판별하는 지표로는 의미가 없는 것으로 판단되고, 기타 루테인, 엽산, 수용성 당 및 이소플라본의 함량 및 조성은 뚜렷한 차이가 관찰되어 노화가 진행될수록 심각한 함량 감소가 유도되어 향후 노화된 콩 종자의 판별 대사체로 유용하게 활용할 수 있음을 확인하였다.

표 3-7. 인위적 노화처리에 따른 이소플라본의 함량 변화

Aging	Isoflavon (ug/g)					
	Acetyl daidzin	Acetyl glycitin	Acetyl genistin	Malonyl daidzin	Malonyl glycitin	Malonyl genistin
Control	17.0 d	1.4 a	2.9 b	933.4 a	170.7 a	1573.0 a
1 day	18.5 cd	1.0 ab	3.6 a	777.5 b	118.3 bc	1361.4 b
2 days	20.6 bc	0.9 abc	2.4 bc	735.0 c	127.0 bc	1277.3 c
3 days	21.0 b	0.7 bc	1.6 d	678.2 d	138.6 b	1173.4 d
5 days	24.9 a	1.1 ab	1.9 cd	564.6 e	118.9 bc	973.1 e
7 days	22.4 b	0.5 c	1.5 d	458.7 f	96.2 c	809.7 f

Aging	Isoflavone (ug/g)						
	Daidzin	Glycitin	Genistin	Daidzein	Glycitein	Genistein	Totals
Control	196.2 c	75.7 ab	247.4 d	5.0 f	2.6 e	7.2 f	3232.6 a
1 day	202.3 c	61.4 b	264.7 c	23.4 e	6.3 de	31.1 e	2869.5 b
2 days	225.3 b	69.6 ab	293.2 b	45.1 d	10.1 cd	57.0 d	2863.6 b
3 days	239.5 a	80.3 a	312.5 a	79.5 c	16.7 c	107.3 c	2849.3 b
5 days	196.4 c	70.8 ab	253.7 cd	162.4 b	34.8 b	229.7 b	2632.3 c
7 days	177.9 d	65.1 ab	223.8 e	208.1 a	42.6 a	309.2 a	2415.7 d

콩 종자의 인위적 노화처리 후 품질 관련 영양 및 기능적 대사체 성분의 변화 양상을 종합적으로 확인하기 위해 아래 그림의 heat map을 이용하여 종합적으로 표현하였다.

2차년도 연구수행 내용은 첫 번째 인위 퇴화 및 불량 수확 콩 종자의 물리화학적 변이 탐색이다. 시험재료는 대원콩 종실의 인위 퇴화 종자 및 불량 수확 종자이고, 실험내용은 다음과 같다.

- ① 종자 퇴화 : 초기 습도와 온도를 달리하여 저장하여 인위적 종자 퇴화 유도
- ② 조사 내용 : 물리화학적 특성(전기전도도 및 색도 등)

두 번째로 불량환경 유도 변성 대사체 탐색이다. 시험재료는 대원콩 종실의 인위 퇴화 종자 및 불량 수확 종자이고, 실험내용은 다음과 같다.

- ① 단백질 및 지질 등 기초 영양성분의 조성 변이 탐색 : 단백질 및 지질의 구성성분인 아미노산과 트리글리세라이드(TG) 조성 변이 탐색

- ② 특수 영양 대사체의 변이 탐색 : 수용성 및 지용성 비타민 조성 변이 탐색

세 번째로 인위적 퇴화처리 종자를 이용한 단백질체 분석이다. 시험재료는 콩 종실 인위 퇴화 종자 및 불량 수확 콩 종자이며, 실험내용은 다음과 같다.

- ① 퇴화 종자의 단백질 추출 : 인위적 퇴화처리 종자의 단백질을 선행연구인 PSP method를 이용하여 추출

- ② 단백질의 기능적 분석 : 차이를 나타내는 단백질들의 기능적 분류 및 분석 실시

네 번째로 불량환경 발현 단백질 동정 및 항체 생산이다. 시험재료는 콩 종실 인위 퇴화 종자 및 불량 수확 콩 종자이며, 실험내용은 다음과 같다.

- ① 항체 : 재조합 단백질 이용 토끼로부터 polyclonal 항체 생산

- ② 변성 단백질 검출 : 생산한 polyclonal antibody를 이용하여 주요 단백질 변화 양상 확인

네 번째로 자연적 퇴화처리에 의한 종자의 활성변화 분석이다. 시험재료는 실온에서 1년간 자연적 노화처리를 한 종자이며, 실험내용은 다음과 같다.

- ① 수확적기를 지난 종자의 자연적 노화처리에 따른 종자의 활성 여부 분석

- ② 동일시기에 수확한 종자를 이용하여 각각 실온 및 저온 저장 후 종자의 활성 여부 분석

주요 결과이다.

- 1) 인위 퇴화 및 불량 수확 콩 종자의 물리화학적 변이 탐색

2013년 수확종자를 이용하여 고온(42°C) 및 고습(상대습도 100%) 환경 하에서 인위 퇴화처리를 1일, 2일, 3일, 5일 및 7일까지 늘려 인위적 퇴화처리를 실시하여 종자 퇴화를 유도함.

○ 대원콩 종실의 인위적 퇴화(aging) 처리에 따른 색차 변화



그림 3-13. 대원콩 종실의 인위적 퇴화처리에 따른 종실 분말의 색상 변화

대원콩 종자를 대상으로 인위적 퇴화 처리 후 외형상 종실의 큰 변화는 육안으로 관찰할 수 없었으나, 대조구에 비해 인위적 퇴화 기간이 길어질수록 종실분말의 색상이 점진적으로 황변하는 양상을 육안으로도 확인할 수 있으며, 이를 과학적 수치로 표현하기 위해 색차계(X-RiteColor Premier 8200, USA)를 사용하여 Hunter's L, a, b 값을 기반으로 각 시료의 색도변화를 비교 평가하였다.

색차계를 사용하여 Hunter's L, a, b 값을 기반으로 각 분말시료의 색도변화를 비교 평가한 결과 명도에 해당하는 L 값의 경우 무처리 대비 인위적 퇴화처리의 일수가 증가할수록 밝기로 해당하는 명도는 점진적이며, 뚜렷한 감소양상을 확인할 수 있었으며, 통계적 차이가 뚜렷하였다. 적색 및 녹색의 정도를 나타내는 a 값의 경우 0 ~ 60 범위는 적색을, 0 ~ -60의 범위는 녹색을 표현하는데, 무처리의 경우 가장 진한 녹색을 나타내며, 인위적 퇴화기간이 증가할수록 녹색의 정도가 감소하며 인위 퇴화 4일 이후에는 녹색보다는 적색에 가까운 색도변화를 나타내어 육안으로는 판별하기 어려운 색상의 변화가 유도되는 양상을 확인할 수 있었고, 역시 통계적으로 뚜렷한 차이가 인정되었다. 한편 황색(0 ~ 60) 및 청색(0 ~ -60)의 정도를 나타내는 b 값의 경우 무처리 시료를 포함한 모든 인위적 퇴화 처리 된 시료가 모두 황색을 나타내었으며, 인위적 퇴화기간이 증가할수록 황색의 정도가 증가하는 양상을 나타내어 육안으로의 관찰에서 느낀 것과 같이 황색이 짙어짐을 확인할 수 있으며, 역시 통계적으로 유의한 차이를 확인할 수 있었다.

표 3-8. 인위적 퇴화처리에 따른 종실분말의 색도비교

Aging	Hunter's value		
	L	a	b
Control	83.28 a	-1.33 f	19.29 c
1 day	81.73 b	-1.19 e	18.70 c
2 days	78.73 c	-0.16 c	21.19 b
3 days	78.73 c	-0.44 d	21.96 b
5 days	76.68 d	0.77 b	21.61 b
7 days	73.24 e	2.10 a	24.63 a

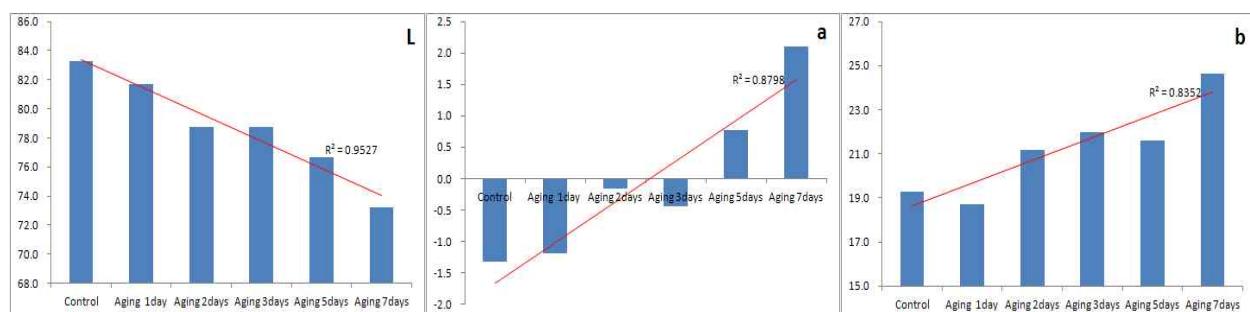


그림 3-14. 인위적 퇴화에 따른 종실분말의 색도 변화

- 대원콩 종실의 인위적 퇴화(aging) 처리에 따른 전기전도도 및 수분 흡수율 변화

대원콩 종자를 대상으로 인위적 퇴화 처리 후 물리화학적 변화 양상을 확인하기 위하여 전기 전도도, 수분흡수율 및 수분흡수 후 초기 죄아율을 조사하였다. 즉, 전기전도도는 EC conductivity meter(MC 126, METTLER, Swiss)를 이용하여 100 mL 비이커에 종자 25립을 넣고, 3차 증류수 75 mL를 가하여 20°C에서 24시간 침지 후 전기전도도를 측정하였고, 수분 흡수율은 전기전도도 측정 후 수분흡수에 대한 배율을 조사하였으며, 초기 죄아율은 최초 침지 후 36시간 후의 죄아된 비율을 조사하였다.

인위적 퇴화 처리 후 종자 침지액의 전기전도도 변화는 무처리인 정상종자 대비 인위적 퇴화 기간이 증가할수록 급격하게 증가되는 양상으로, 특히 인위 퇴화 2일 이후부터 급격하게 증가되는 양상을 나타내어 통계적으로 뚜렷한 차이가 인정되었다. 이 양상은 정상적인 종자는 세포막의 반투성 조절에 의해 종자 함유성분의 과도한 누출이 발생되지 않아 종자 침지액의 전기전도도가 과도하게 높지 않으나, 점진적인 인위적 퇴화가 진행되면서 퇴화된 종자의 세포막은 반투막 효과를 상실함에 따라 종자 함유물인 당, 수용성 단백질 및 각종 무기성분 등이 종자 밖으로 과도하게 누출되는 양상으로 인해 전기전도도의 상승을 초래하게 되는 것으로 판단되고, 결국 과도한 종자 함유성분의 누출, 즉 종자 침지액의 과도한 전기전도도 상승은 종자 발아력 상실을 초래하는 것으로 보고되고 있다. 일반적으로 콩의 경우 75 uS/cm/g 정도일 경우 발아율이 정상을 나타내며, 100 uS/cm/g 이상일 경우 현저한 발아율 감소를 나타내어 포장 발아 시 전체 파종개체의 32 ~ 55% 수준만이 정상발아가 이루어지는 것으로 보고된 바 있다.

전기전도도 측정 후 종자의 수분흡수율에 대한 비율을 조사한 결과 정상종자 대비 인위적 퇴화가 진행됨에 따라 종자의 수분흡수율이 통계적으로 유의한 수준으로 감소되는 양상을 나타내었다. 즉, 종자의 인위적 퇴화에 의해 종자를 침지하여도 정상종자에 비해 충분한 수분이 흡수 되지 않는 양상을 확인할 수 있었다.

표 3-9. 인위적 퇴화처리에 따른 콩 종실의 전기전도도, 수분흡수율 및 죄아종자의 비율

Aging	Electro conductivity (uS/cm/g)	Water absorption ratio (%)	Seed sprouting ratio (%)
Control	63.27 d	225 a	56.0 a
1 day	65.13 d	203 b	54.7 a
2 days	88.87 d	198 c	5.3 b
3 days	127.77 c	197 c	1.3 b
5 days	236.85 b	181 d	0.0 b
7 days	279.09 a	182 d	0.0 b

한편 최초 침지 후 36시간 뒤 초기 죄아율을 조사한 결과 정상종자와 1일 인위 퇴화 된 종자는 약 55% 수준의 초기 죄아율을 나타내었으나, 인위 퇴화 2일 이후의 종자는 초기 죄아율이 급격하게 감소하는 양상을 나타내었으며, 퇴화 5일 이후 종자는 침지 후 36시간이 지나도 전혀 죄아가 이루어지지 않는 양상을 나타내어 인위 퇴화에 의한 종자의 초기 발아세도 현격한 차이가 있음을 확인할 수 있다.

2) 불량환경 유도 변성 대사체 탐색

○ 단백질 및 지질 등 기초 영양성분의 조성 변이 탐색 :

정상종자 및 인위 퇴화된 대원콩 종자를 대상으로 기초 영양성분 중 단백질의 구성성분인 구성 아미노산의 함량을 HPLC 분석법으로 조사하였다. 즉, 대원콩 종자의 분말을 대상으로 함유 단백질을 6N 염산용액으로 가수분해한 후 생성된 아미노산을 ion-exchange 칼럼을 통해 분리하고, ninhydrin post column 유도체화를 형성 및 발색하여 자외선 검출기로 분석하는 방법을 적용하였다.

대원콩의 구성 아미노산 17종을 분석 및 정량하였으며, 정상종자 및 각 일수별 인위 퇴화된 대원콩 종자 모두에서 17종의 아미노산을 검출할 수 있었다. 즉, 인위퇴화 처리에 의해 특정 아미노산의 함량이 가감되는 변화는 발생하였지만 완전 소실되는 현상은 발생하지 않았다. 총 구성 아미노산의 함량을 기준으로 볼 때 1차 년도에 분석된 조단백질 함량과는 다소 다른 양상으로 인위퇴화 일수가 증가하여도 감소되는 양상이 뚜렷하지 않음을 확인할 수 있었으며, 각 구성 아미노산의 함량변화에서도 leucine을 제외한 대부분의 아미노산이 통계적으로 뚜렷한 유의적 차이가 없거나, 극소량 감소하는 양상으로 뚜렷한 통계적 차이를 확인하기는 어려운 양상이었다.

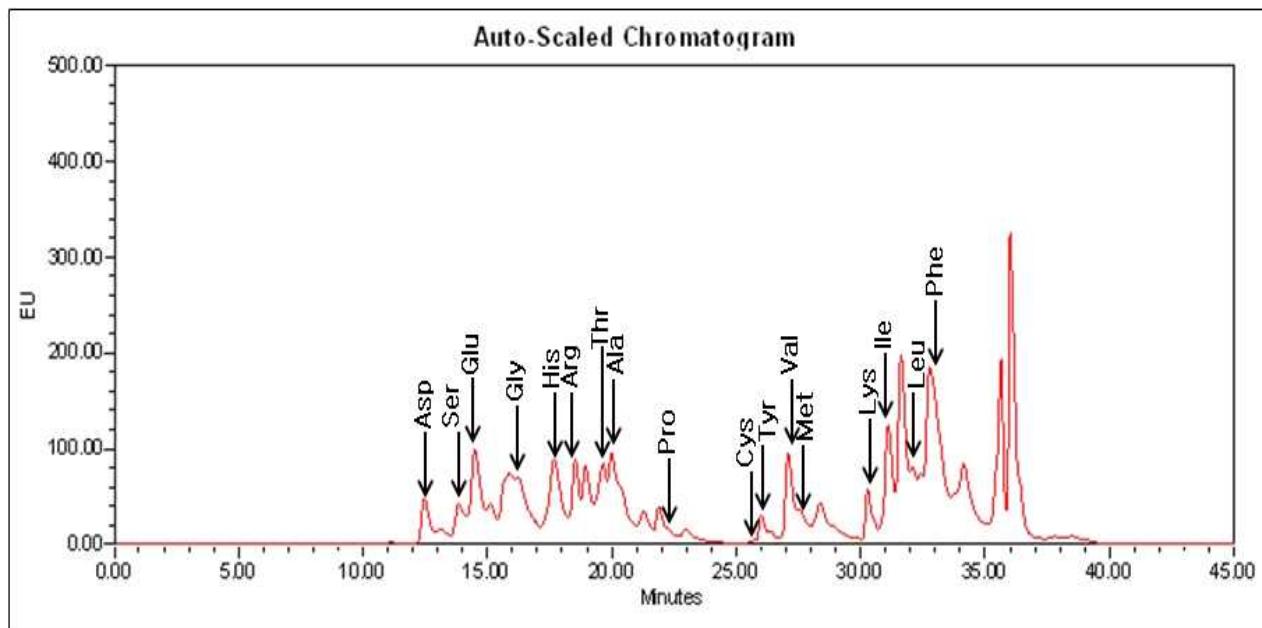


그림 3-15. 대원콩 정상종자의 구성 아미노산 분석 HPLC 크로마토그램

정상종자 및 인위 퇴화된 대원콩 종자를 대상으로 기초 영양성분 중 지질의 구성성분인 트리글리세라이드(TG)를 LC/MS 및 HPLC/ELSD 분석법으로 정성 및 정량적으로 비교하였다. 즉, 각 추출된 지질을 비극성 유기용매에 용해한 후 LC/MS 분석법으로 각 peak의 분자량을 측정하여 결합된 지방산의 조성을 확인하고, 아울러 증기화광산란검출법을 이용하여 각 3개의 지방산이 결합된 TG별 peak area를 계산하여 정량적 분석을 실시하였다.

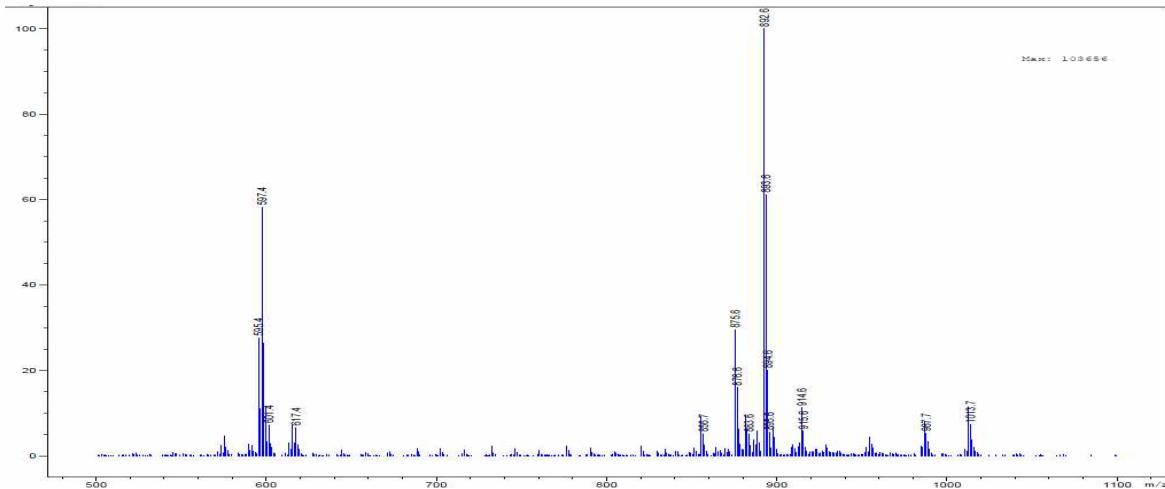


그림 3-16. 대원콩 정상종자의 트리글리세라이드 LnLnL의 LC/MS 스펙트럼 예

표 3-10. 인위적 퇴화처리에 따른 콩 종실의 아미노산 함량

	Contents (g/100g)					
	Control	1 day	2 days	3 days	5 days	7 days
Aspartic acid	1.97 b	3.03 a	3.09 a	2.82 ab	2.91 ab	2.79 ab
Serine	1.20 a	1.38 a	1.41 a	1.30 a	1.34 a	1.28 a
Glutamic acid	4.99 a	5.10 a	5.09 a	4.72 a	4.95 a	4.60 a
Glycine	0.63 a	0.60 ab	0.57 ab	0.61 ab	0.56 ab	0.53 b
Histsdine	3.19 a	3.52 a	3.61 a	3.48 a	3.62 a	3.36 a
Arginine	1.76 a	1.84 a	1.90 a	1.82 a	1.78 a	1.73 a
Threonine	0.70 a	0.72 a	0.67 a	0.66 a	0.71 a	0.67 a
Alanine	0.80 a	0.91 a	0.92 a	0.84 a	0.88 a	0.85 a
Proline	0.23 a	0.22 a	0.22 a	0.21 ab	0.19 ab	0.17 b
Cystine	0.38 b	0.37 b	0.49 a	0.46 ab	0.44 ab	0.39 b
Tyrosine	0.91 ab	0.94 ab	0.97 a	0.93 ab	0.93 ab	0.89 ab
Valine	1.37 b	1.69 a	1.45 ab	1.25 b	1.26 b	1.20 b
Methionine	0.62 a	0.41 b	0.48 ab	0.53 ab	0.48 ab	0.45 ab
Lysine	1.57 a	1.69 a	1.59 a	1.57 a	1.63 a	1.50 a
Isoleucine	0.87 a	0.95 a	0.95 a	0.92 a	0.91 a	0.88 a
Leucine	0.14 a	0.13 b	0.11 bc	0.11 c	0.09 d	0.08 d
Phenyalanine	0.51 a	0.41 b	0.47 ab	0.44 ab	0.51 a	0.45 ab
Total amino acids	21.84 b	23.91 a	23.99 a	22.67 ab	23.19 ab	21.82 b

표 3-11. 대원콩 종실 함유 트리글리세라이드의 LC/MS 동정

Peak	TG	Molecular Wt.	$m/z([M+NH_4]^+)$	Fragment ions(m/z)
1	LnLnL	874	892.6	597.4(LLn), 595.4(LnLn)
2	LLLn	876	894.6	597.4(LLn), 599.4(LL)
3	LLL	878	896.6	599.4(LL)
4	LnLO	878	896.6	601.4(OL), 599.4(OLn), 597.4(LLn)
5	PLLn	852	870.6	575.4(LP), 573.4(LnP)
6	LLO	880	898.6	601.4(OL), 599.4(LL)
7	LLP	854	872.6	599.4(LL), 575.4(LP)
8	OOL	882	900.7	603.5(OO), 601.4(OL)
9	POL	856	874.6	601.4(OL), 577.5(OP), 575.4(LP)
10	PPL	830	848.6	575.4(LP), 551.4(PP)
11	OOO	884	902.7	603.5(OO)
12	SOL	884	902.7	605.5(SO), 603.3(OO)
13	OOP	858	876.6	603.3(OO), 577.4(OP)
14	SOO	886	904.7	605.5(SO), 603.5(OO)
15	SOP	860	878.7	605.4(SO), 577.4(OP), 579.5(SP)

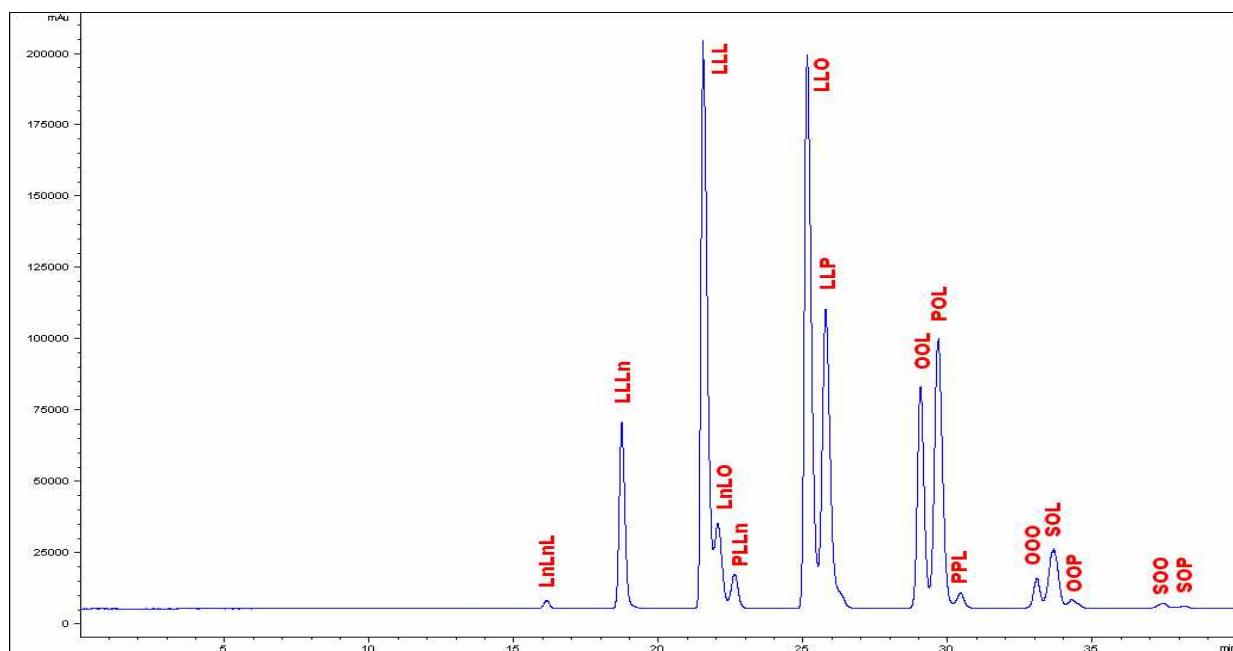


그림 3-16. 대원콩 지질의 트리글리세라이드 분석 크로마토그램

표 3-12. 인위적 퇴화처리에 따른 콩 종실의 트리글리세라이드의 변화

	Peak area					
	Control	1 day	2 days	3 days	5 days	7 days
LnLnL	10.5 b	9.7 c	11.6 a	10.6 b	9.7 c	10.1 bc
LLLn	235.2 a	190.2 b	187.5 b	193.7 b	184.4 b	193.0 b
LLL	583.4 a	526.7 b	528.1 b	526.1 b	517.3 b	514.3 b
LnLO	103.6 a	80.7 bc	79.8 bc	83.6 b	77.9 c	81.0 bc
PLLn	56.6 a	45.4 b	43.7 b	46.3 b	44.0 b	45.0 b
LLO	577.5 a	523.8 b	523.3 b	517.6 b	508.5 bc	504.6 c
LLP	517.0 a	460.0 b	444.2 bc	446.6 bc	433.0 bc	427.0 c
OOL	287.0 a	222.2 b	209.0 b	200.5 b	220.6 b	197.1 b
POL	449.9 a	387.6 b	357.0 b	362.9 b	387.9 b	350.8 b
PPL	43.8 a	37.5 ab	31.8 b	33.9 b	37.3 ab	30.9 b
OOO	52.7 a	38.4 b	39.0 b	35.3 bc	36.0 bc	34.3 c
SOL	148.1 a	113.0 b	114.9 b	113.3 b	112.4 b	113.0 b
OOP	31.6 a	25.2 b	25.3 b	25.7 b	24.9 b	25.2 b
SOO	21.9 a	14.3 de	16.7 cd	20.6 ab	17.7 bc	12.7 e
SOP	12.0 a	6.4 c	6.4 c	6.5 c	6.6 c	9.3 b
Total	3131.0 a	2681.2 b	2618.2 b	2623.0 b	2618.4 b	2548.2 b

대원콩의 정상종자 및 인위퇴화 일수별 각 종자의 트리글리세라이드를 정량적으로 평가한 결과 정상종자에 비해 인위적 퇴화가 진행되었을 때 총 트리글리세라이드의 양은 통계적으로 유의한 수준으로 감소하는 양상을 보였으며, 개별 트리글리세라이드 중 LnLnL 성분을 제외한 모든 성분에서 인위적 퇴화가 진행되었을 때 정상종자 대비 트리글리세라이드 함량이 감소되는 양상을 확인하였다.

정상종자 및 각 인위퇴화 일수별 종자의 지질에 함유된 지방산 비율을 트리글리세라이드에 결합된 지방산의 갯수와 조성을 고려하여 계산한 지방산 조성과 지질을 산가수분해하여 지질에 결합된 지방산을 모두 유리화하여 분석한 총 지방산 비율을 상호 비교한 결과, 그 경향이 모두 유사한 양상을 나타내었으며, 지질 상태에서 트리글리세라이드 형태로 존재하지 않는 일부 디 혹은 모노 글리세라이드 까지 모두 정밀한 분석이 가능할 경우 유리 지방산이 아닌 글리세롤 결합 지방산 상태에서의 변화 양상 추적이 가능할 것으로 판단된다.

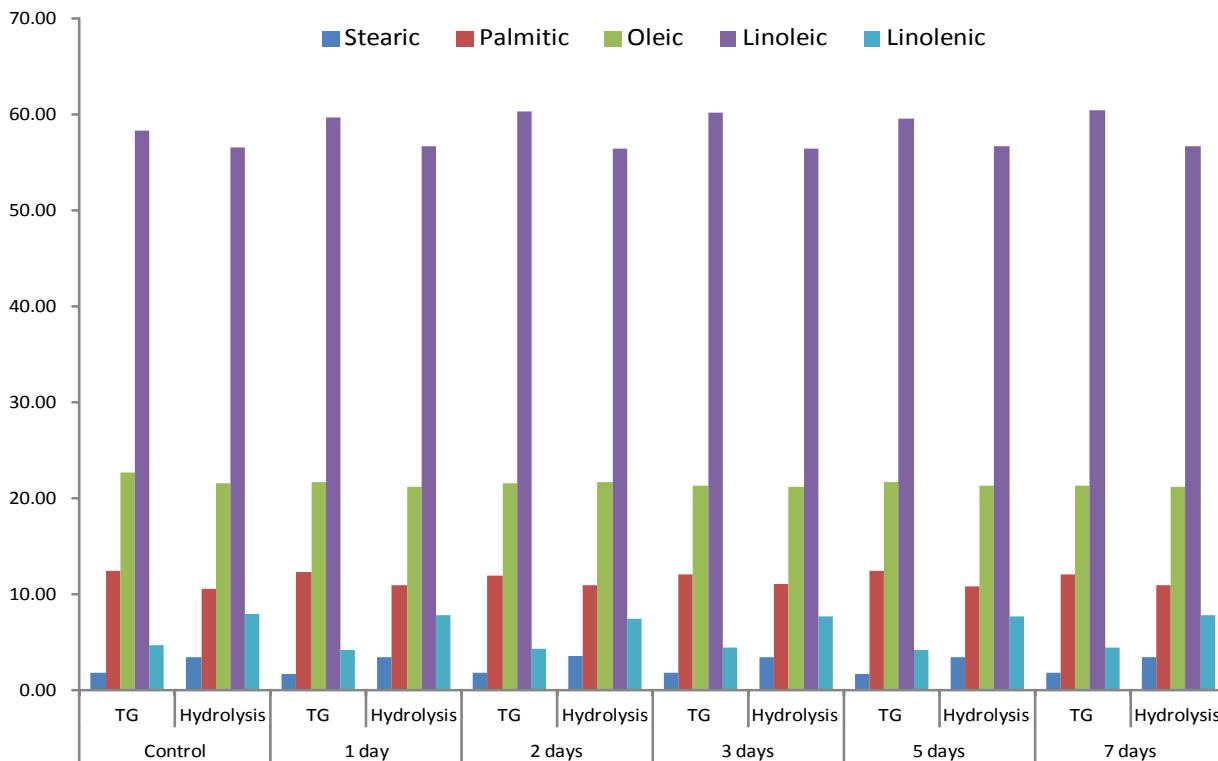


그림 3-17. 트리글리세라이드 분석법과 산가수분해 분석법에 의한 총 지방산의 조성 비교

한편, 지질을 산가수분해하여 총 지방산을 분석하는 방법으로 정상종자 및 인위 퇴화종자의 지방산 조성변이를 검토하면(1년차 결과) 각 처리별 통계적 차이는 인정되나, 정상종자 및 인위 퇴화 종자의 퇴화기간에 따른 뚜렷한 일정 경향의 확인이 어려우나, 지질에 함유된 트리글리세라이드의 함량을 기준으로 각 지방산의 조성 비를 환산할 경우, 정상종자 혹은 인위 퇴화처리의 진행정도에 따른 일정 경향이 확실하게 판별이 되는 양상을 나타내었다. 이는 인위 퇴화처리 시 지질의 산패 혹은 자연 가수분해에 의해 트리글리세라이드에 결합된 지방산이 분해되어 디, 모노글리세라이드 혹은 유리지방산으로의 전이가 발생되었다 하더라도 총 지방산의 분석방법이 유리 지방산을 포함하여 모든 지질에 함유된 지방산이 산가수분해에 의해 모두 유리 지방산으로 전환된 후 검출되므로 산가수분해법에 의한 총 지방산의 평가에서는 유리 지방산의 총량 변화가 발생되지 않으므로 처리 간 뚜렷한 경향이 확인되지 않는 양상이지만, 반면 인위 퇴화처리 시 트리글리세라이드의 함량에서는 처리 간 분명한 변화가 발생되었으므로 트리글리세라이드에 결합된 지방산을 환산한 지방산의 조성 평가에서는 각 지방산의 분명한 감소 혹은 증가의 경향이 확인될 수 있기 때문인 것으로 판단되고, 이는 추후 체계적 실험에 의해 재확인 되어야 할 것이다.

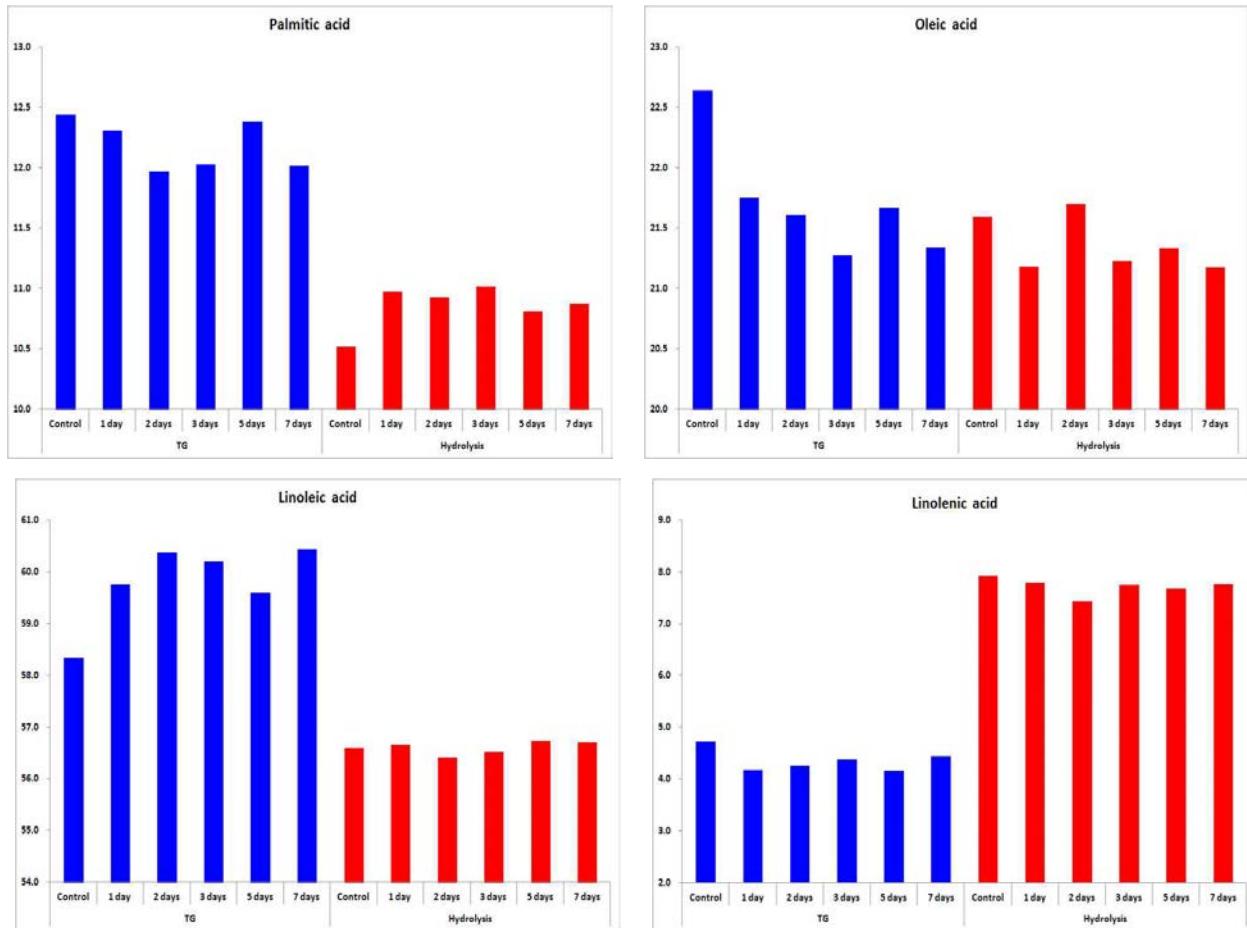


그림 3-18. 트리글리세라이드 분석법과 산가수분해 분석법에 의한 개별 지방산 조성 변화

○ 특수 영양 대사체(수용성 및 지용성 비타민)의 변이 탐색

대원콩 종자를 대상으로 인위적 퇴화 처리 후 수용성 비타민의 함량 변화를 조사하였다. 조사된 수용성 비타민 중 B_1 및 B_2 는 정상종자 대비 인위적 퇴화가 진행됨에 따라 감소 경향이 뚜렷하여 통계적 유의차가 인정되었으며, B_3 의 경우 인위퇴화 3일 까지는 뚜렷한 감소경향을 나타내지만 4일 이후 다시 증가하는 양상을, B_5 는 인위 퇴화 2일 까지는 증가양상을 나타내었으나, 인위 퇴화 3일 이후에는 전혀 검출되지 않는 특성을 나타내었고, B_6 의 경우도 B_5 와 유사한 양상으로 인위 퇴화 2일 까지는 급격한 증가양상을 나타내었으나, 인위 퇴화 3일 이후에는 소량씩 감소하는 양상을 나타내었다. 한편 B_{12} 는 콩 종자에서 전혀 검출되지 않았다.

표 3-13. 인위적 퇴화처리에 따른 수용성 비타민의 함량 변화

Aging	Water soluble vitamin (mg/100g)					
	B ₁	B ₂	B ₃	B ₅	B ₆	B ₁₂
Control	1.548 a	0.809 a	0.162 b	0.315 c	0.024 e	-
1 day	1.311 b	0.712 b	0.150 c	0.397 b	0.038 d	-
2 days	1.038 c	0.695 c	0.122 d	0.404 a	0.075 a	-
3 days	1.023 c	0.640 d	0.100 e	0.000 d	0.061 b	-
5 days	0.773 d	0.622 e	0.142 c	0.000 d	0.066 b	-
7 days	0.750 d	0.635 de	0.224 a	0.000 d	0.047 c	-

표 3-14. 인위적 퇴화처리에 따른 지용성 비타민의 함량 변화

Aging	Fat soluble vitamin (mg/100g)										
	Retinol	β -Carotein	Tocopherols					Tocotrienols			
			α	β	γ	δ	Total	α	β	γ	
Control	-	-	1.2 a	0.2 a	13.1 a	2.9 a	17.5 a	-	-	15.8	-
1 day	-	-	0.2 c	0.1 c	1.3 c	0.8 a	2.2 c	-	-	-	-
2 days	-	-	0.1 c	0.0 d	1.1 c	0.7 a	2.0 c	-	-	-	-
3 days	-	-	0.1 c	0.0 d	1.1 c	0.7 a	1.9 c	-	-	-	-
5 days	-	-	0.1 c	0.0cd	1.4 c	0.7 a	2.3 c	-	-	-	-
7 days	-	-	0.5 b	0.1 b	6.7 b	2.4 b	9.6 b	-	-	-	-

대원콩 종자를 대상으로 인위적 퇴화 처리 후 지용성 비타민의 함량 변화를 조사한 결과 조사된 지용성 비타민 중 retinol, β -carotein, tocotrienol 중 α , β 및 δ 는 콩 종자에서 전혀 검출 되지 않았으며, tocopherol 성분은 정상종자 대비 인위퇴화가 진행됨에 따라 급격히 감소하는 양상을 나타내며, 단지 인위 퇴화 7일의 경우 다소 증가된 양상을 나타내었고, 정상 종자 대비 인위 퇴화된 종자는 통계적 차이가 뚜렷함을 확인할 수 있었다. 콩에 함유된 tocopherol 성분 중 γ -tocopherol 성분이 가장 많은 양상을 확인하였고, tocotrienol의 경우 정상종자에서만 γ -tocotrienol이 검출되었다.

대원콩 종자의 인위적인 노화처리에 따른 모든 대사체들의 반응은 아래 그림 A에 나타나 있다. 즉 노화처리 유무에 따라, 노화처리를 하지 않은 종자(Control)과 노화처리를 한 종자 (Day 1 - 7)들 간에 큰 연관 거리를 두고 있다. 이는 노화처리 1일 후에도 많은 대사체들의 변화가 급격하게 일어났음을 의미한다. 또한 노화처리 1 - 3일간에는 상대적으로 대사체들 간에는 큰 변화가 없으나 노화처리 5일 및 7일에는 대사체의 변화가 현격하게 나타나서 처리 날짜 간에 연관관계가 멀어지고 있는 양상이다.

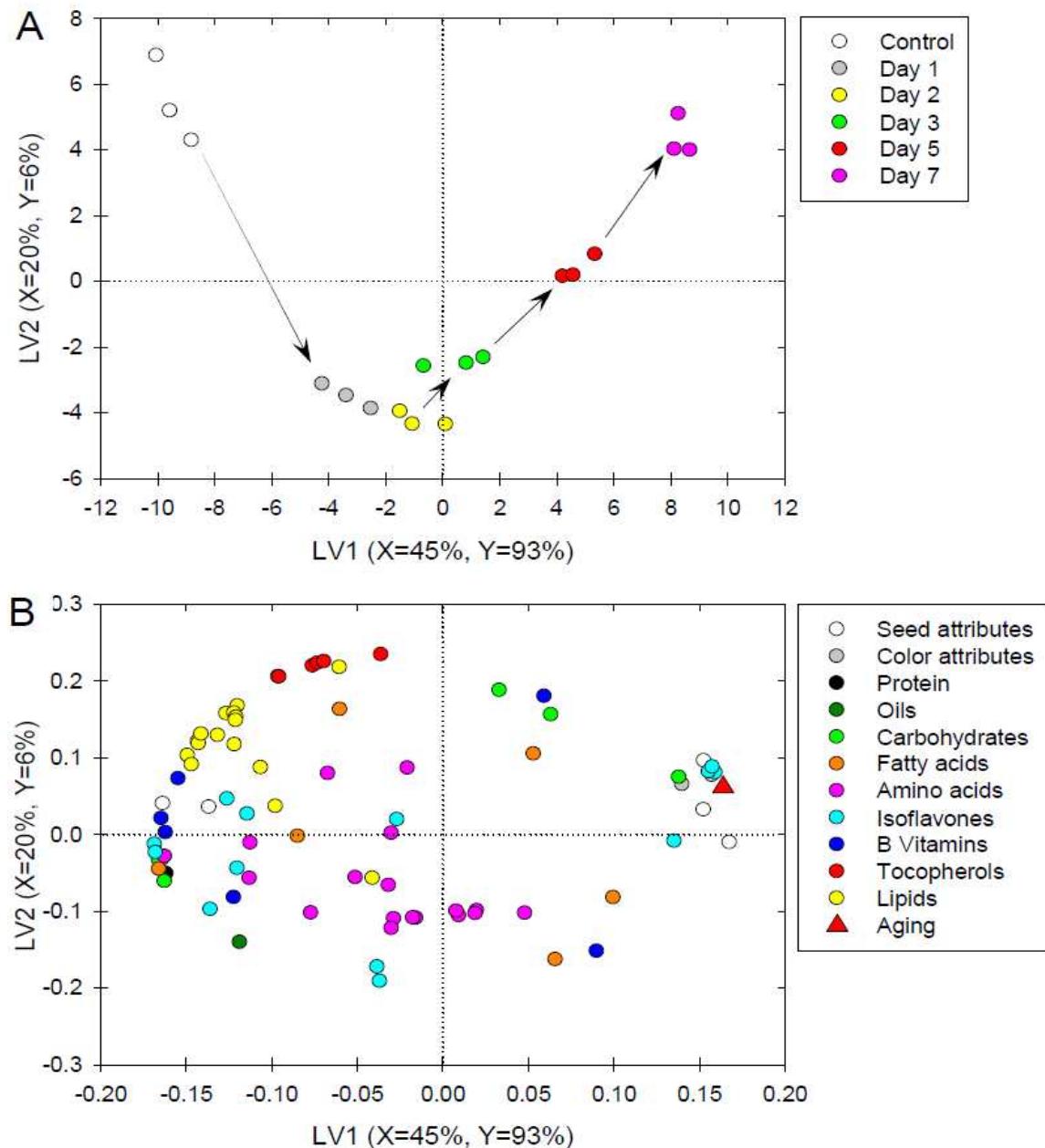


그림 3-19. 대원콩 인위 퇴화처리에 따른 대사체의 주성분 분석

인위퇴화 기간 중 대원콩 종자에 존재하는 주요 대사체들의 변화를 보면 특히 노화가 진행될 수록 지질, 아미노산, 비타민 B군, tocopherols, 단백질 등은 큰 연관성을 보이지 않으므로, 이들 대사체들은 노화처리 시 상대적으로 대사체의 변화가 적은 편이다. 그러나, 페놀화합물인 isoflavones 중 genistein, glycinein 및 daidzein과 종자색에 관련된 적색도를 나타내는 a^* 값, 노화처리에 따른 전기전도도 등이 종자 인위퇴화와 가장 연관성이 높은 것으로 나타났다. 이러한 결과는 대원콩 종자 인위퇴화처리에 따른 종실색상의 변화와 함께 전기전도도가 증가함을 의미하며 이에 따른 대사체 중 isoflavones 물질 중 몇몇 물질들이 특이하게 노화처리와 반응함을 나타내고 있다.

대원콩 종자의 인위퇴화 처리에 따른 종자생리적 특성, 주요 대사체 반응을 heatmap을 통하여 비교분석하였다. 종자의 인위퇴화가 지속될수록 종자의 백립중, 수분함량, 전기전도도, 색차 a*, 색차 b*, fructose, glucose, daidzein, glycinein 및 genistein의 반응은 증가하였다. 그러나, 수분흡수율, 종자발아율, 단백질함량, sucrose, starchyose, total carbohydrates, glutamic acid, glycine, proline, leucine, folic acid, malonyl daidzin, malonyl glycitin, malonyl genistin, total isoflavones, vitamin B₁, vitamin B₂, tocopherols 및 대부분의 트리글리세라이드의 함량은 감소하였다.

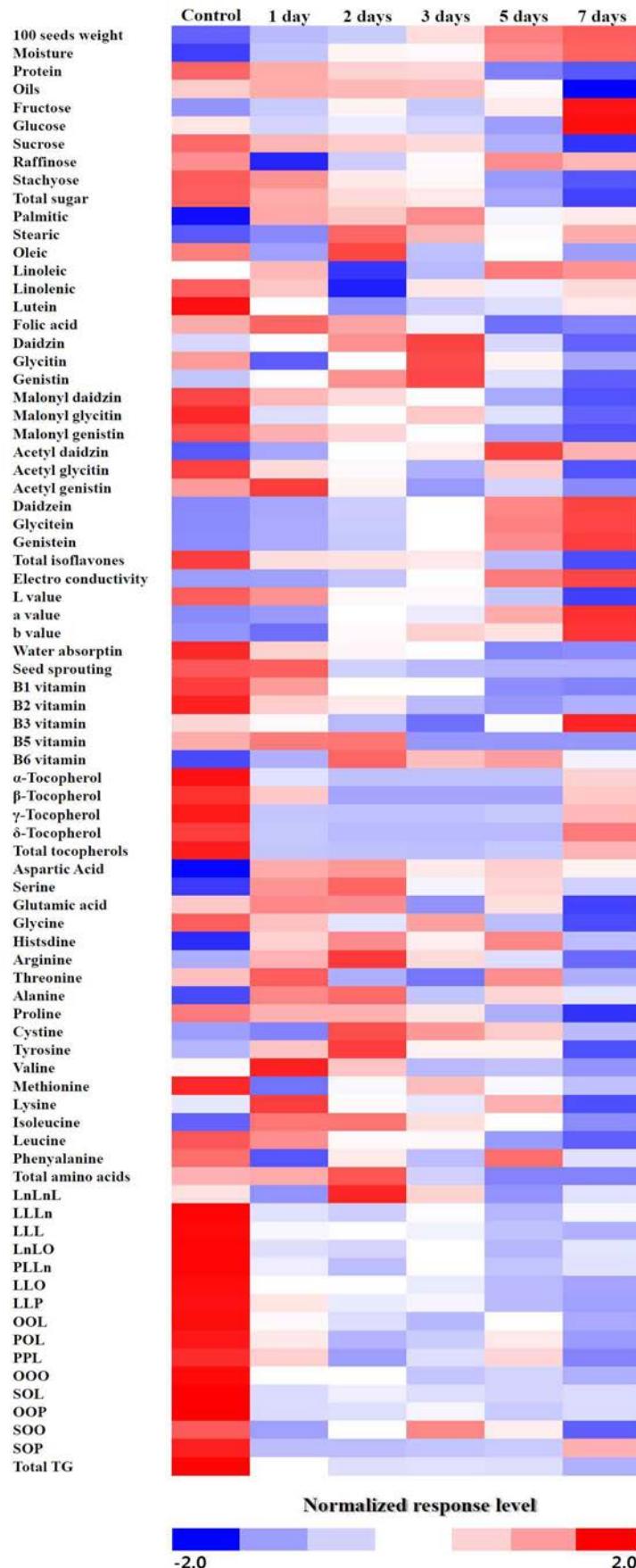


그림 3-20. 대원콩 인위 퇴화처리에 따른 총 분석 성분의 heat map

3) 인위적 퇴화처리 종자를 이용한 단백질체 분석

2013년 수화종자를 이용하여 고온(42°C) 및 고습(상대습도 100%) 환경을 유도하여 인위적 퇴화처리를 하였고, 퇴화처리를 각각 Con, 3day, 7day 실시함. 또한 인위적 퇴화처리 종자를 이용하여 Whey protein을 제조하였다.

○ 인위적 퇴화처리 종자를 이용한 단백질체 분석

인위적 퇴화처리 종자의 단백질 profile 분석을 위하여 2-DE를 실시하였다. 단백질의 경우 PSP (Protamine sulfate precipitation) method를 적용하여 단백질 추출을 실시하였다. PSP method는 종자 내에 존재하는 주요 저장단백질(HAPs)들을 제거함으로써 미량단백질(LAPs)의 detection을 향상시키는 방법이다(그림 1). 추출된 단백질을 이용하여 2-DE를 실시하였고 (그림 2.A), 처리구간에 따른 차이를 나타내는 spot들을 MALDI-TOF/TOF를 이용하여 동정을 실시하였다.

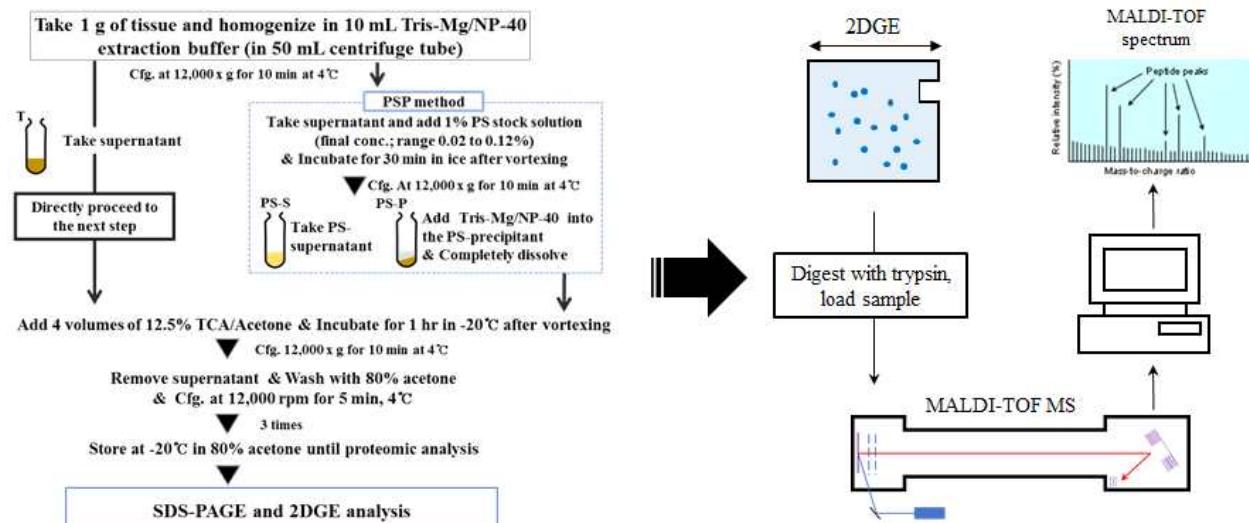


그림 3-21. PSP method를 이용한 단백질 추출 및 단백질 동정 과정

또한 인위적 퇴화처리 종자를 이용하여 기존에 알려진 일반적인 두부 제조방법을 이용하여 두부를 제조하였고, 그 과정에 서 얻은 두부 상등액(Whey)을 이용하여 종자에서와 마찬가지로 2-DE를 실시하였다 (그림 2.B).

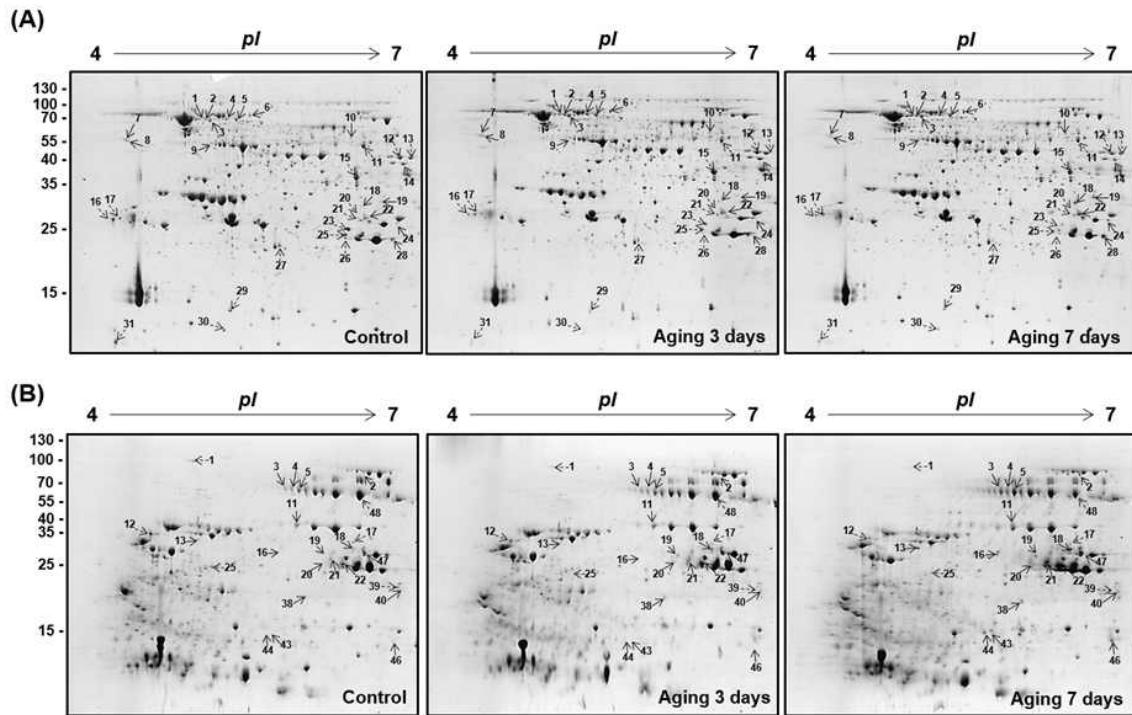


그림 3-22. 인위적 퇴화 종자 및 whey 단백질을 이용한 2-DE 결과

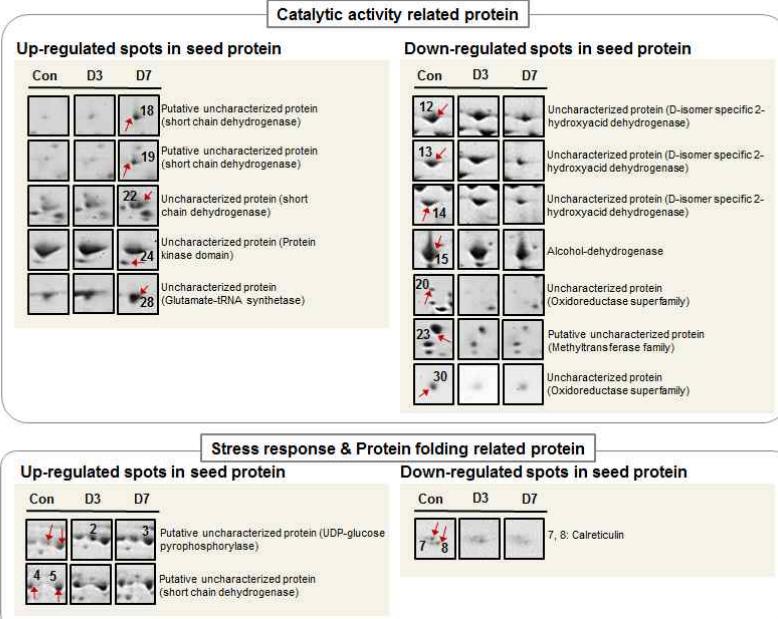
인위적 퇴화처리 종자와 두부 상등액을 이용한 2-DE 결과 각각, 31개와 24개의 서로 다른 발현 양상을 보이는 단백질이 동정되었고, 이 단백질들은 주로 종자의 catalytic activity나 stress response에 관련된 것들이 대부분임을 확인 하였다.

표 3-16. 인위처리 종자의 whey 단백질 동정 결과(빨간색-Up, 파란색-Down)

No	Accession No.	Protein name	OS	Mr/pI(T)	SC(%)	Sco	Expect
2	C6TSD1	Seed biotinylated protein 68kDa isoform	Glycine max	67.6/6.18	31	137	1.5e-009
1 3	I1L957	Uncharacterized protein (LEA4 Beta-conglycinin, alpha chain protein family)	Glycine max max	70.4/5.0/6.12	23	30	1264
2 4	I1JPC	Uncharacterized protein (heat shock HSP14 protein family)	Glycine max	67.9/8.0/12	289	109	3.9e-009
3 5	I1L957	Uncharacterized protein (LEA4 BiP isoform B protein family)	Glycine max	73.8/8.1/12	238	290	3.1e-013.8e-023
4 11	Q9ZTY1_P26413	35kDa Seed maturation protein Heat shock 70 kDa protein	Glycine max	71.3/5.37	25	174	2.4e-01 (3.5E-011)
5 13	I1L849_P26413	Uncharacterized protein (Seed heat shock protein) protein	Glycine max	27.5/5.16	47	279	9.7e-02
6 16	Q3984_W0	Seed biotin-containing protein	Glycine max	71.3/5.37	36	344	4.5E-028
7 18	Q70EL_8	SBP65 Beta-conglycinin alpha'-subunit	Glycine max	67.9/6.10	21	168	1.2e-01
8 19	Q70EL_8	Lea protein (Dehydrin protein)	Glycine max	70.1/5.43	18	92	2.00061
9 20	gi 61799_I1JPV_0	Putative uncharacterized protein (UDP-glucose pyrophosphorylase) S-64	Glycine max	25.4/6.19	24	170	7.7e-01
10 21	C6TAX_8	Dehydrin	Glycine max	51.6/5.41	29	144	3.5E-008
11 21	Q70EL_8	sucrose binding protein homolog	Glycine max	23.7/5.87	19	65	0.024
12 20	I1JPV_0	Uncharacterized protein (LEA4 protein family)	Glycine max	56.1/6.32	44	349	2.4E-028
13 21	C6TAX_8	Putative uncharacterized protein Dehydrin (short-chain dehydrogenase)	Glycine max	34.5/5.89	31	165	2.2
14 21	Q70EL_8		Glycine max	32.0/7.00	39	92	4.9E-005
15 21			Glycine max	23.7/5.87	68	0.012	

19	I2E8L0 W9	Putative uncharacterized protein (Short-chain dehydrogenase) Maturation-associated protein (Remorin, C-terminal region)	Glycine max	32.0/9.6916	237	577	0.0014
22	I1KPRZ H0	Uncharacterized protein (Remorin, C-terminal region)	Glycine max	41.9/9.15	44	116	0.035
24	I2E8L0 I1MF81	Maturation-associated protein (Short-chain dehydrogenase) Uncharacterized protein (Protein Fragment)	Glycine max	16.9/6.46	26	77	0.0015
40	I1MF81	Kinase domain	Glycine max	15.4/6.85	14	54	0.28
43	Q9XET 1	Seed maturation protein PM31 (HSP family)	Glycine max	17.9/6.10	20	161	6.1e-01
28	I1JME7 Q9XET	Uncharacterized protein (Glycine tRNA synthetase)	Glycine max	62.9/6.34	24	42	2.5e-01
44	1	Seed maturation protein PM31 (HSP synthetase) family)	Glycine max	17.9/6.10	39	216	1.9e-01
7	A0A762 1	Seed maturation protein PM31 (HSP family)	Glycine max	48.3/4.43	17	101	0.0007
46	Q9XET 1	Calreticulin	Glycine max	17.9/6.10	26	70	0.0086
87	Q1356 575355	Lea protein calreticulin-like	Glycine max	48.6/4.47	20	104	3.1e-01
11	gi 356 533407	Uncharacterized protein (LEA4 embryonic protein DC-8-like protein family)	Glycine max	48.8/6.81	12	479	3.9e-00
12	K7KNC C6T9Z	Uncharacterized protein (PER repeat family)	Glycine max	82.8/8.70	6	64	0.034
12	C6T9Z	2-hydroxyacid dehydrogenase)	Glycine max	43.1/6.28	53	377	1.8E-031
17	Q7XA W0	Uncharacterized protein (D-isomer specific)	Glycine max	25.4/6.19	20	113	3.9e-00
13	C6T9Z 5	Uncharacterized protein (Minichromosome dehydrogenase) maintenance complex	Glycine max	43.1/6.28	63	508	1.4E-044
25	I1LJ93	Uncharacterized protein (D-isomer specific)	Glycine max	93.5/5.79	19	66	0.021
19	I1N5810	Maturation-associated protein (Fragment) 2-hydroxyacid dehydrogenase	Glycine max	16.9/6.24	646	273	0.006021
48	Q9Z9F3 8	Uncharacterized protein (LEA4 protein family) dehydrogenase	Glycine max	37.0/6.13	39	272	4.9e-02
23	C6TC82 K7KVJ9	Putative uncharacterized protein (Methyltransferase family)	Glycine max	28.3/8.18	40	54	0.28
16	I1JWE9	Uncharacterized protein (Translation elongation factor) (RINT-1 / Pifat) family	Glycine max	31.3/4.82	39	441	6.1E-040
25	I1JWE9	Putative uncharacterized protein (Translation elongation factor)	Glycine max	90.2/5.49	19	50	0.7
17	C6SXP1 C6SZF8	Putative chaperonin p factor	Glycine max	25.1/4.46	36	207	1.5E-016
26	B2YDR0	Glycine Bd 28K allergen protein	Glycine max	21.2/6.11	36	41	6.7
27	C6T2V6	Uncharacterized protein (superfamily)	Glycine max	50.9/5.81	23	238	1.2E-019
29	C6T2V6	Uncharacterized protein (Oxidoreductase superfamily)	Glycine max	41.1/5.26	55	64	0.029
30	K7KV J9	Uncharacterized protein (Transaminase (Oxidoreductase superfamily))	Glycine max	6.2/10.29	51	41	5.7
31	P01071 C6TC82	Trypsin inhibitor B (Methyltransferase family)	Glycine max	31.8/6.33	39	293	3.9e-025
25	gi 12502 I1JWE9	Uncharacterized protein (RINT-B / TIP-1 family)	Glycine max	20.3/4.66	13	138	5.4E-007
26	gi 35650 C6SZF8 1111	Putative uncharacterized protein	Glycine max	28.3/8.18	25	198	1.2E-015
27	B2YDR0	Glycine Bd 28K allergen	Glycine max	21.1/6.175	23	238	1.2E-019
29	C6T2V6	Uncharacterized protein	Glycine max	6.2/10.29	51	41	5.7
30	I1MB99	Uncharacterized protein (Oxidoreductase superfamily)	Glycine max	61.6/9.33	21	61	0.06
31	P01071	Trypsin inhibitor B	Glycine max	20.3/4.66	25	198	1.2E-015
32	gi 12502 3	Kunitz-type trypsin inhibitor B	Glycine max	20.3/4.66	33	138	5.4E-007
33	gi 35650 1111	18.2 kDa class I heat shock protein	Glycine max	17.3/6.75	36	90	0.033

(A)



(B)

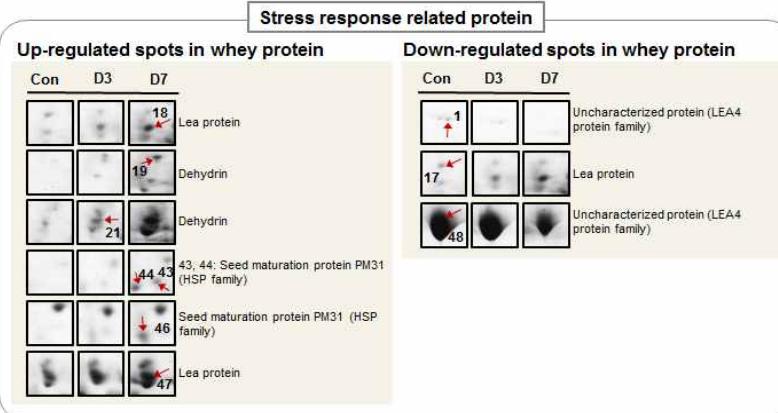


그림 3-23. 종자 및 whey 단백질 중 stress response 및 catalytic activity와 연관되는 단백질 동정 list

4) 불량환경 발현 단백질 동정 및 항체 생산

- 재조합 단백질 이용 토끼로부터 polyclonal 항체 생산

인위적 퇴화처리 종자에서의 주요저장단백질의 발현양상의 분석을 위하여, 주요 저장단백질들의 재조합 단백질을 이용하여 polyclonal antibody를 제조하였다. 콩의 주요 저장단백질인 β conlycinin 및 glycinin의 gel spot을 2-DE gel로부터 elution하여 확인한 뒤, 재조합 단백질을 제작한다. 제작한 재조합 단백질을 이용하여 토끼로부터 항체를 생산한다. 그 방법은 확인된 재조합 단백질을 PVDF membrane으로 transfer 한 뒤 토끼의 항혈청을 처리하여, 재조합 단백질에 결합한 토끼의 항혈청을 elution하는 방식을 통하여 제조한다.

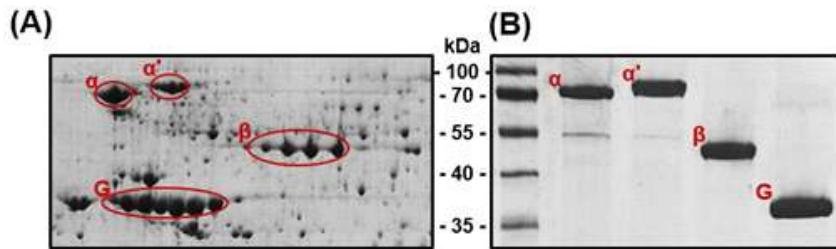


그림 3-24. 재조합 단백질을 이용하여 제조한 antibody의 제조

○ 토끼로부터 제조한 주요 저장단백질의 polyclonal antibody를 이용한 western blot 분석 직접 제조한 항체를 이용하여 western blot analysis를 실시하였다. PSP-method를 이용하여 추출한 단백질 (25ug)을 SDS-PAGE를 실시하여 PVDF membrane에 transfer 하였고 제조한 항체를 처리하여 주요 저장단백질의 발현 양상을 분석하였다. 그 결과 종자에서 얻은 단백질의 경우 western blot 결과상에서 주요 저장단백질의 차이를 관찰 할 수 없었다. 그러나 whey protein의 경우 종자에 인위적 퇴화 처리가 길어질수록 주요 저장단백질의 degradation 되는 것을 확인 할 수 있다. 특히 주요 저장단백질 중 하나인 β -conglycinin의 경우 인위적 퇴화의 기간이 길어질수록 단백질이 점점 변성되는 것을 확인 할 수 있다. 또한 종자 내 ROS 관련 stress에 연관되는 인자들의 antibody를 이용하여 western blot을 수행한 결과 종자가 DHAR, APXb, APX1, SOD와 같은 인자들이 점점 감소하는 패턴을 보이는 것을 확인 할 수 있었다.

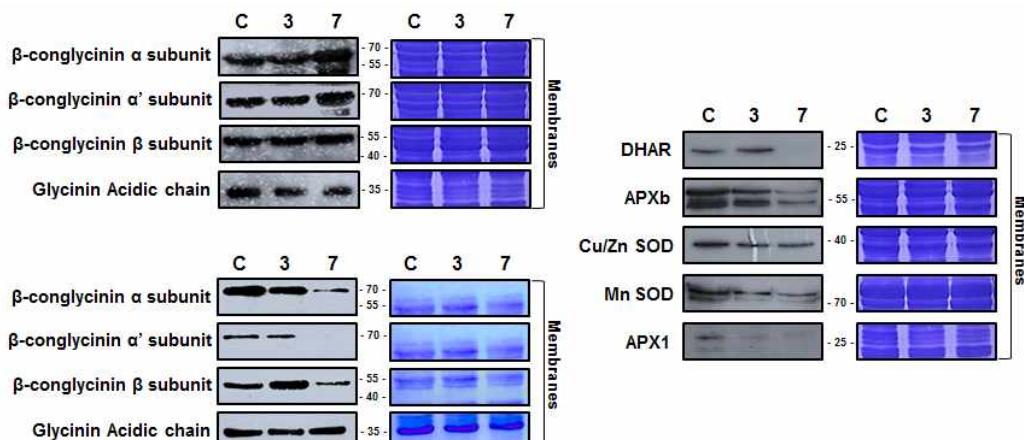


그림 3-25. 종자 주요 저장단백질 및 ROS관련 인자들의 antibody를 이용한 western blot 결과

이러한 인자들의 degradation은 결과적으로 종자 ROS level의 증가를 초래하며, 이는 곧 종자의 생사과도 직결된다 할 수 있다. 일시적으로 증가된 ROS는 세포 내에서 세포막과 단백질들을 분해하고 DNA 합성을 저해할 뿐만 아니라 다른 세포의 구성 성분에 산화적 스트레스를 일으키며, 이는 곧 cell death와 연관되어 진다.

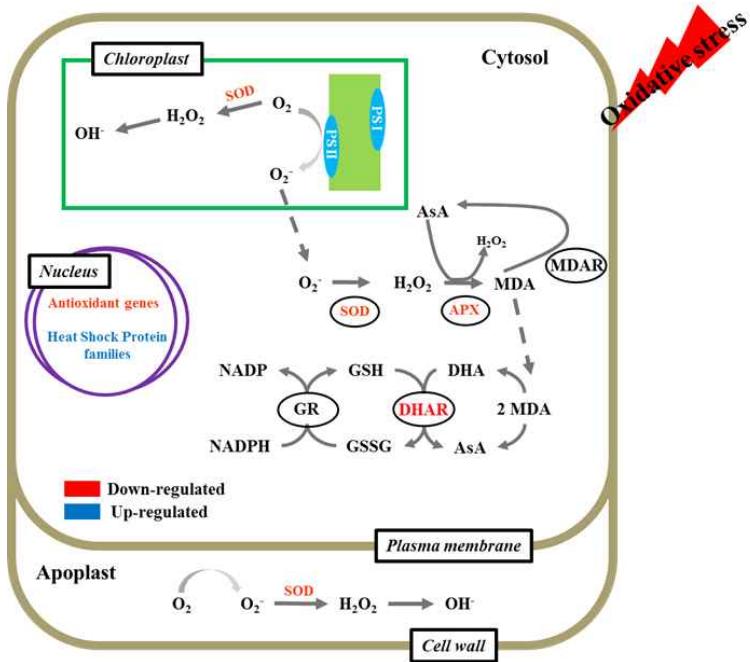


그림 3-26. ROS stress와 연관되는 인자들의 redox system의 일반 모식도

5) 자연적 퇴화처리에 의한 종자의 활성변화 분석

○ 종자의 보관 온도에 따른 차이의 분석수학한 종자를 1년간 저온 보관 및 실온 보관을 실시하였다. 이 경우 실온에 1년간 보관한 종자는 정상 수확 후 저온에 1년간 보관한 종자에 비하여 발아율도 크게 떨어질 뿐 아니라 식물체의 생장 정도도 감소하는 것을 알 수 있다 (그림 7).

○ 수확시기가 다른 종자의 노화처리에 의한 효과 분석일반적인 콩의 수확 적기인 10월에 수확한 종자를 포함하여 각각 11월, 12월, 1월, 2월에 수확한 종자들을 이용하여 2014년 7월 26일부터 2015년 7월 31일까지 약 1년간 실온에서 보관한 뒤 종자의 활성을 측정하였다. 그 결과, 1년간 고온, 고습 및 저온, 저습의 환경을 보낸 종자의 경우 수확 시기에 관계없이 종자의 발아율이 전체적으로 감소했으며 기존의 종자와 비교했을 때 식물체의 뿌리와 줄기 길이 모두 감소하는 결과를 볼 수 있었다.

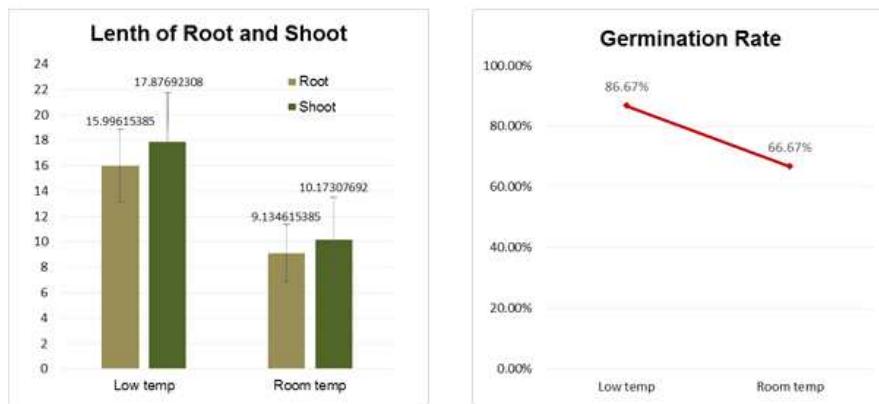
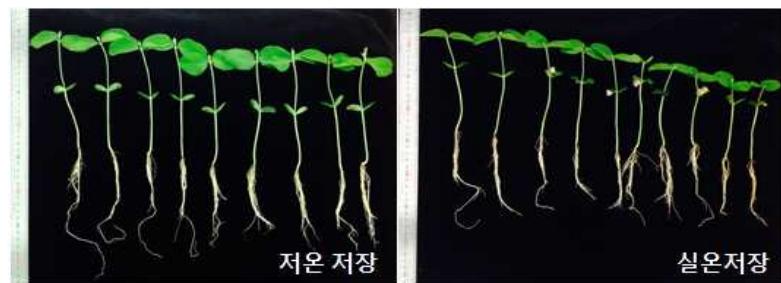


그림 3-27. 정상 수확 종자의 저온 및 실온 저장 후 germination test 결과

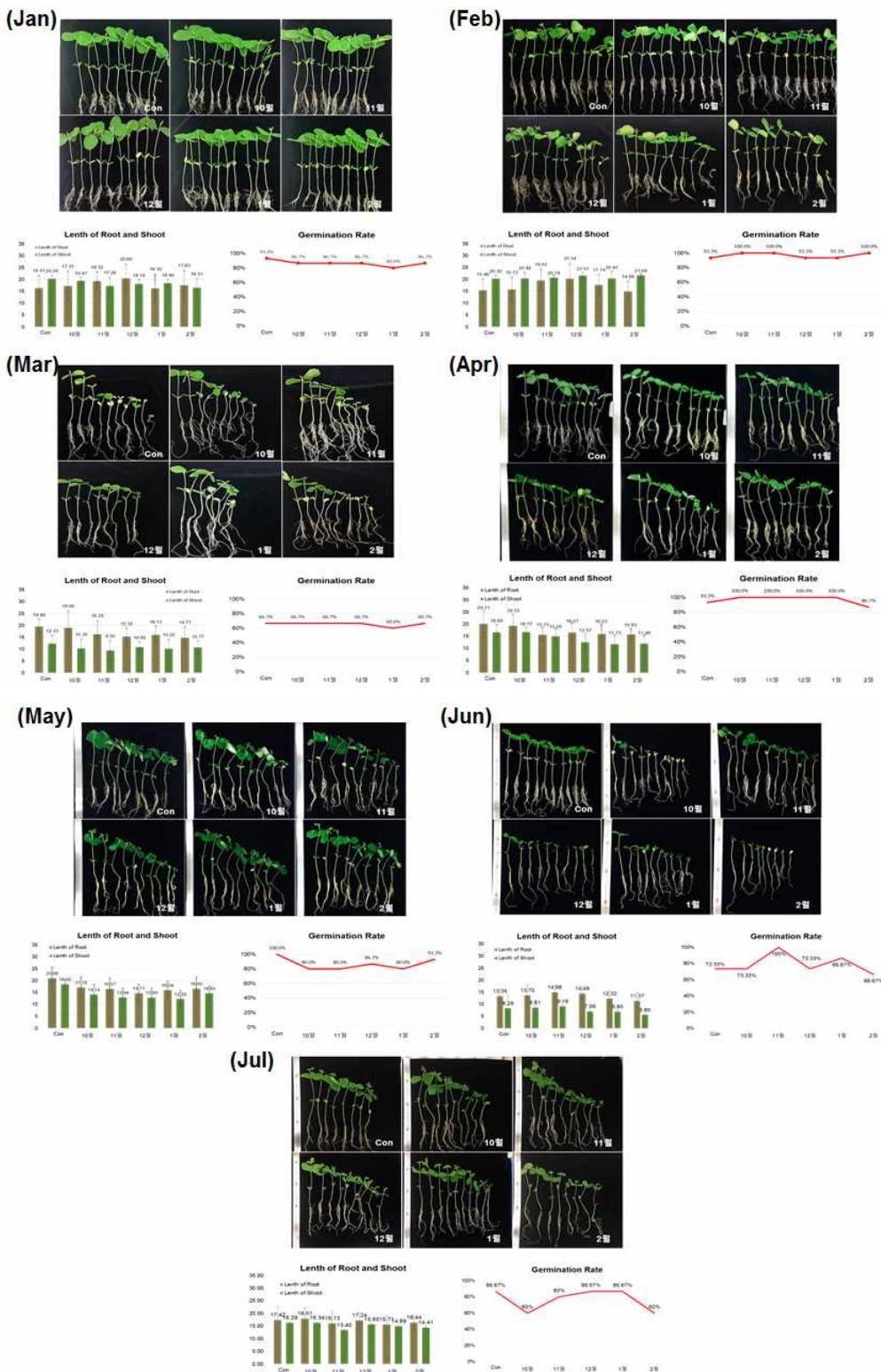


그림 3-28. 수확 시기가 다른 종자의 실온에 1년간 보관의 결과

□ 바이오마커 활용 콩 유통종합처리장(SPC) 원료 및 가공 종자의 품질 평가

시험재료는 대원콩 및 해품콩 종자이고, 실험내용은 다음과 같다. 각 품종별 수확시기, 정선 유무 및 저장온도별 기초 영양 대사체 및 특수 대사체의 변이 탐색 및 품질을 평가하였다.

□ 바이오마커 활용 콩 유통종합처리장(SPC) 원료 및 가공 종자의 품질 평가

2015년 수확된 대원콩 및 해품콩 종자를 이용하여 수확시기 및 정선 유무의 차이, 불정농협에서 6개월간 상온 및 저온 저장을 하였을 때 기초 영양 대사체 및 특수 대사체의 변이 탐색 및 품질 평가를 실시하였다.



그림 3-29. 수확시기별 대원콩의 정선 및 비정선 종자

○ 콩 종실분말의 색차 비교

표 3-17. 대원콩 및 해품콩의 수확시기 및 정선 유무별 색차 비교

Cultivar	Harvest time	Wellselection			Non-selection		
		L	a	b	L	a	b
Daewon	Oct.	80.28 b	-0.61 a	21.57 a	81.71 b	-0.80 ab	21.14 a
	Nov. 12th	80.85 ab	-0.54 a	19.29 c	81.99 b	-0.69 a	19.55 ab
	Nov. 24th	81.28 ab	-0.67 a	21.24 ab	82.32 b	-0.80 ab	19.02 b
	Dec.	82.05 ab	-1.01 a	20.87 ab	82.84 b	-1.11 bc	19.44 ab
	Jan.	82.62 a	-0.93 a	20.09 bc	83.99 a	-1.22 c	19.23 b
Haepum	Oct.	80.10 b	-0.05 a	21.04 a	80.30 b	-0.37 a	21.59 a
	Nov. 12th	82.18 a	-0.85 c	20.38 ab	80.78 ab	-0.47 a	20.11 b
	Nov. 24th	81.16 ab	-0.64 bc	21.60 a	81.10 ab	-0.61 a	19.75 b
	Dec.	82.14 a	-1.07 c	20.46 ab	81.50 ab	-0.60 a	19.60 b
	Jan.	80.05 b	-0.16 ab	19.45 b	81.86 a	-0.59 a	19.40 b

대원콩 및 해품콩 종자의 수확시기를 10월부터 다음해 1월 까지 달리하고, 아울러 종자의 불완전립 및 파손립을 선별하는 정선 유무에 따라 종실분말의 색차를 비교하였다. 그 결과 명도에 해당하는 L값의 경우 품종간, 선별 유무에 따라 큰 차이는 없으나 수확시기가 자연되면

서 L값의 수치상 다소 밝게 측정되는 것을 확인할 수 있었으며, 적색 및 녹색의 정도를 나타내는 a 값의 경우 품종 및 선별 유무에 따라 일정한 경향을 나타나지 않았으나, 단지 수확이 지연되면서 녹색의 정도가 수치적으로 다소 높아지는 양상을 보였고, 품종간에 차이가 있는 것으로 측정되었다. 한편 황색 혹은 청색의 정도를 나타내는 b 값의 경우 두 품종 모두에서 수확이 지연되면서 황색의 정도가 낮아지는 양성이 확인되었으며, 선별 유무에 따라서도 선별 종자가 비선별 종자대비 황색이 좀 더 짙은 양상을 나타내었다.

표 3-18. 대원콩 및 해품콩의 저장온도별 색차 비교(불정농협 6개월 저장)

Storage temp. (6 months)	Daewon			Haepum		
	L	a	b	L	a	b
Room temp.	80.38 a	-0.59 a	23.29 a	78.24 a	-0.51 a	24.31 a
Low temp.	80.92 a	-0.91 a	23.15 a	77.98 a	0.13 a	24.61 a

불정농협에서 6개월간 상온 및 저온(5°C) 저장을 하였을 때 대원콩 및 해품콩 종자의 색차를 비교한 결과, 두 품종 모두에서 명도, 적색도 및 황색도 모두 차이가 통계적으로 인정되지 않았으며, 품종간 차이는 있는 것으로 확인되었다. 절대적 비교는 불가능 하나 전년도에 수행된 인위적 퇴화처리에 따른 종실분말의 색도와 비교해 볼 때 명도 L값은 정상적으로 빨아가 수행된 인위퇴화 1 - 2일의 범위에, 적색도 a 역시 정상적으로 빨아가 진행된 인위퇴화 1 - 3일 범위에 속하였고, 단지 황색도 b는 인위퇴화 종자 7일에 해당하는 수치를 나타내었으며, 종자의 보관이 장기화 되면 황색도는 증가하는 양상을 다시 한번 확인 할 수 있었다.

○ 콩 종실의 단백질, 지질 및 수분함량 비교

대원콩 및 해품콩 종자의 수확시기 및 정선 유무별 단백질, 지질 및 수분함량을 비교한 결과 수확시기별 단백질 함량에는 차이가 인정되지 않았으며, 일정한 경향성도 확인 되지 않았다. 지질 함량의 경우에서도 일정한 경향성이 확인되지 않았으며, 단지 수확시기가 지연될수록 함량이 산술적으로 다소 높은 양상만을 확인할 수 있었다. 수분함량의 경우에도 큰 차이가 확인되지 않았다. 아울러 정선 유무에 따라서도 두 품종 모두 차이가 확인되지 않았다. 이상의 결과로 2 개월 정도의 포장 수확시기지연에 의해서는 단백질 및 지질 함량이 심각한 손실이 발생되지 않음을 추측해 볼 수 있다. 불정농협에서 6개월간 상온 및 저온 저장을 하였을 때 대원콩 및 해품콩 종자의 단백질, 지질 및 수분의 함량을 비교한 결과 대원콩의 단백질 함량을 제외하고는 모두 통계적 유의성이 인정되지 않았고, 대원콩의 경우 저온저장이 상온저장에 비해 단백질 함량이 다소 높았으며, 해품콩 역시 통계적 차이는 인정되지 않았으나 산술적으로 저온 저장이 높은 양상을 나타내었다.

표 3-19. 대원콩 및 해품콩의 수확시기 및 정선 유무별 단백질, 지질 및 수분함량 비교

Cultivar	Harvest time	Well-selection			Non-selection		
		Protein	Oil	Moisture	Protein	Oil	Moisture
Daewon	Oct.	40.27 a	12.08 d	9.71	41.70 ab	13.02 b	9.61
	Nov. 12th	41.18 a	13.31 c	9.37	40.12 c	11.63 d	9.19
	Nov. 24th	41.50 a	13.52 b	9.49	41.47 b	12.41 c	8.28
	Dec.	41.56 a	14.77 a	9.63	41.17 bc	12.77 bc	9.67
	Jan.	41.40 a	13.35 c	9.27	42.58 a	15.44 a	9.12
Haepum	Oct.	40.44 a	11.58 c	8.87	40.66 b	10.53 b	9.17
	Nov. 12th	40.65 a	13.75 b	9.13	39.58 c	12.28 a	9.10
	Nov. 24th	40.73 a	13.52 b	9.29	41.57 a	12.08 a	8.68
	Dec.	39.32 b	14.72 a	8.93	40.39 bc	12.69 a	9.32
	Jan.	40.39 a	10.89 d	8.33	41.19 ab	12.75 a	9.37

표 3-20. 대원콩 및 해품콩의 저장온도별 단백질, 지질 및 수분함량 비교(불정농협 저장)

Storage temp. (6 months)	Daewon			Haepum		
	Protein	Oil	Moisture	Protein	Oil	Moisture
Room temp.	37.49 b	12.32 a	10.65	38.79 a	13.78 a	10.48
Low temp.	38.03 a	13.38 a	9.68	39.02 a	12.60 a	10.80

○ 콩 종실의 지방산 조성 변화

대원콩 및 해품콩 종자의 수확시기 및 정선 유무별 지방산 조성을 비교한 결과 수확시기별 지방산 조성에는 큰 차이가 확인되지 않았으며, 일정한 경향성도 확인 되지 않았다. 아울러 정선 유무에 따라서도 두 품종 모두 큰 차이가 확인되지 않았다. 불정농협에서 6개월간 상온 및 저온 저장을 하였을 때 대원콩 및 해품콩 종자의 지방산 조성을 비교한 결과 모두 뚜렷한 통계적 유의성이 인정되는 양상을 확인하였고, 두 품종의 반응이 동일한 양상을 나타내었다. 즉, 포화지방산인 팔미트산과 스테아르산, 불포화지방산 중 리놀산과 리놀렌산은 상온저장에서의 조성 비율이 높았고, 올레イン산의 경우에는 저온저장의 조성 비율이 확실하게 높아지는 양상을 나타내었다.

○ 콩 종실의 수용성 비타민 함량 비교

대원콩 및 해품콩 종자의 수확시기 및 정선 유무별 수용성 비타민 함량을 비교한 결과 수확 시기 및 정선 유무 모두 차이가 인정되지 않았으며, 일정한 경향성도 확인 되지 않았다. 다만 일부 수용성 비타민에서 품종간 차이만을 확인할 수 있었다.

표 3-21. 대원콩 및 해품콩의 수확시기 및 정선유무별 지방산 조성 비교

Cultivar	Harvest time	Well-selection				
		Palmitic acid	Stearic acid	Oleic acid	Linoleic acid	Linolenic acid
Daewon	Oct.	10.31 a	3.38 c	20.88 d	56.32 a	9.14 a
	Nov. 12th	10.24 a	3.42 b	21.26 c	56.09 b	8.99 b
	Nov. 24th	10.20 a	3.48 a	21.64 a	55.79 c	8.89 c
	Dec.	10.21 a	3.46 a	21.31 c	56.06 b	8.97 bc
	Jan.	10.26 a	3.47 a	21.52 b	55.80 c	8.95 bc
Haepum	Oct.	11.60 d	3.58 a	21.25 b	53.82 b	9.74 bc
	Nov. 12th	11.63 cd	3.57 a	21.16 c	53.94 a	9.71 c
	Nov. 24th	11.77 b	3.58 a	21.41 a	53.57 c	9.67 d
	Dec.	11.88 a	3.53 b	21.24 bc	53.59 c	9.77 b
	Jan.	11.67 c	3.57 a	20.77 d	54.02 a	9.97 a

표 3-22. 대원콩 및 해품콩의 수확시기 및 정선유무별 지방산 조성 비교(계속)

Cultivar	Harvest time	Non-selection				
		Palmitic acid	Stearic acid	Oleic acid	Linoleic acid	Linolenic acid
Daewon	Oct.	10.25 a	3.42 c	21.33 b	55.95 bc	9.06 a
	Nov. 12th	10.23 a	3.42 c	21.28 b	56.00 b	9.08 a
	Nov. 24th	10.22 a	3.49 a	21.45 a	55.86 d	8.99 b
	Dec.	10.20 a	3.46 b	21.50 a	55.91 cd	8.92 c
	Jan.	10.19 a	3.42 c	21.17 c	56.18 a	9.04 a
Haepum	Oct.	11.56 b	3.53 c	20.83 b	54.16 a	9.92 b
	Nov. 12th	11.67 a	3.53 c	20.80 b	54.19 a	9.81 c
	Nov. 24th	11.58 b	3.57 a	20.88 a	54.17 a	9.80 c
	Dec.	11.70 a	3.45 d	20.86 a	54.03 c	9.96 a
	Jan.	11.66 a	3.55 b	20.88 a	54.08 b	9.82 c

표 3-23. 대원콩 및 해품콩의 저장온도별 지방산 조성 비교(불정농협 6개월 저장)

Storage temp. (6 months)	Daewon				
	Palmitic acid	Stearic acid	Oleic acid	Linoleic acid	Linolenic acid
Room temp.	10.36 a	4.29 a	20.61 b	54.42 a	10.31 a
Low temp.	9.82 b	4.18 b	23.50 a	53.09 b	9.41 b

Storage temp. (6 months)	Haepum				
	Palmitic acid	Stearic acid	Oleic acid	Linoleic acid	Linolenic acid
Room temp.	10.82 a	4.43 a	19.79 b	54.70 a	10.25 a
Low temp.	10.69 b	4.88 b	21.34 a	53.44 b	9.65 b

표 3-24. 대원콩 및 해품콩의 수확시기 및 정선유무별 수용성 비타민 함량 비교

Cultivar	Harvest time	Well-selection				
		B1	B2	B3	B5	B6
Daewon	Oct.	0.519 b	1.219 a	0.796 a	1.207 c	0.094 a
	Nov. 12th	0.510 b	1.181 b	0.828 a	1.152 c	0.095 a
	Nov. 24th	0.490 c	0.605 c	0.724 b	2.175 b	0.094 a
	Dec.	0.413 d	0.605 c	0.361 c	2.458 a	0.091 b
	Jan.	0.616 a	0.589 d	0.346 c	2.279 b	0.094 a
Haepum	Oct.	0.790 b	0.598 c	0.330 a	1.252 c	0.097 a
	Nov. 12th	0.713 c	0.638 ab	0.330 a	1.217 c	0.094 b
	Nov. 24th	0.771 bc	0.657 a	0.206 b	1.455 a	0.097 a
	Dec.	0.902 a	0.624 bc	0.382 a	1.460 a	0.094 b
	Jan.	0.708 c	0.613 bc	0.377 a	1.406 b	0.095 ab

Cultivar	Harvest time	Non-selection				
		B1	B2	B3	B5	B6
Daewon	Oct.	0.553 a	0.619 a	0.537 e	1.167 c	0.093 b
	Nov. 12th	0.587 a	0.604 a	1.252 c	1.137 c	0.094 a
	Nov. 24th	0.592 a	0.613 a	0.941 d	1.658 a	0.093 b
	Dec.	0.292 b	0.619 a	2.236 b	1.599 b	0.091 c
	Jan.	0.326 b	0.630 a	2.056 a	1.638 ab	0.090 d
Haepum	Oct.	0.485 d	0.614 ab	2.289 a	1.559 c	0.094 b
	Nov. 12th	0.868 a	0.602 b	1.273 b	1.668 b	0.097 a
	Nov. 24th	0.776 b	0.606 b	0.605 c	1.653 b	0.095 b
	Dec.	0.689 c	0.572 c	0.605 c	2.150 a	0.095 b
	Jan.	0.723 c	0.623 a	0.678 c	2.194 a	0.097 a

표 3-25. 대원콩 및 해품콩의 저장온도별 수용성 비타민 함량 비교(불정농협 6개월 저장)

Storage temp. (6 months)	Daewon				
	B1	B2	B3	B5	B6
Room temp.	0.248 b	0.621 a	2.040 a	0.986 b	0.099 a
Low temp.	0.359 a	0.643 a	2.004 a	1.718 a	0.087 b

Storage temp. (6 months)	Haepum				
	B1	B2	B3	B5	B6
Room temp.	0.301 b	0.642 a	2.972 a	1.315 b	0.083 a
low temp.	0.326 a	0.602 b	2.719 a	1.905 a	0.088 a

불정농협에서 6개월간 상온 및 저온저장을 하였을 때 대원콩 및 해품콩 종자의 수용성 비타민 함량을 비교한 결과 일부 비타민에서는 품종간 반응이 서로 다른 양상이기는 하나 B1 및

B5의 경우 저온저장이 상온저장 대비 더 높은 함량을 나타내는 양상을 확인할 수 있었다.

○ 콩 종실의 100립중 및 루테인 함량 비교

대원콩 및 해품콩 종자의 수확시기 및 정선 유무별 종실의 100립중 함량을 비교한 결과 수확 시기 및 정선 유무 모두 통계적으로 큰 차이가 인정되지 않았으며, 다만 품종간 차이만을 확인할 수 있었다. 또한 루테인 함량면에서도 종자의 수확시기간에는 두 품종 모두 유의한 차이를 확인할 수 없었으며, 일정한 경향성을 나타내지 않았다. 정선유무간의 차이에서도 큰 차이는 없었으나 정선된 종자가 비정선 종자에 비해 산술적으로 함량이 조금 더 높은 양상을 나타내었다.

불정농협에서 6개월간 상온 및 저온저장을 하였을 때 대원콩 및 해품콩 종자의 100립중 함량을 비교한 결과 품종간 반응이 서로 다른 양상을 나타내었으며, 루테인 함량면에서는 대원콩의 경우 저온 저장이 통계적으로 높은 함량을 나타내었으나, 해품콩에서는 통계적 차이가 인정되지 않았고, 단지 두 품종 모두 산술적으로 저온 저장이 높은 양상을 나타내었다.

○ 콩 종실의 지용성 비타민 토코페롤 함량 비교

대원콩 및 해품콩 종자의 수확시기 및 정선 유무별 지용성 비타민인 토코페롤 함량을 비교한 결과 수확시기 및 정선유무별 뚜렷한 함량 차이가 인정되지 않았으며, 품종간 반응이 서로 다른 양상임을 확인할 수 있었으며, 품종간 함량 차이만을 확인할 수 있었다.

표 3-26. 대원콩 및 해품콩의 수확시기 및 정선유무별 종실 100립중 및 루테인 함량 비교

Cultivar	Harvest time	Well-selection		Non-selection	
		100 seed weight(g)	Lutein content (ug/g)	100 seed weight(g)	Lutein content (ug/g)
Daewon	Oct.	32.4 a	1.28 b	32.2 a	1.15 b
	Nov. 12th	32.2 a	1.34 ab	31.1 a	0.93 d
	Nov. 24th	32.2 a	1.37 a	31.9 a	1.21 b
	Dec.	31.9 a	1.32 ab	30.3 a	1.08 c
	Jan.	31.8 a	1.34 ab	30.8 a	1.37 a
Haepum	Oct.	11.8 ab	1.23 c	12.5 a	1.21 b
	Nov. 12th	11.6 b	1.51 a	12.1 a	1.40 a
	Nov. 24th	12.1 ab	1.38 b	12.0 a	1.13 bc
	Dec.	12.2 ab	1.34 b	12.2 a	1.06 c
	Jan.	12.4 a	0.99 d	11.2 b	1.08 c

표 3-27. 대원콩 및 해품콩의 저장온도별 종실 100립중 및 루테인 함량 비교(불정농협 6개월 저장)

Storage temp. (6 months)	Daewon		Haepum	
	100 seed weight(g)	Lutein content (ug/g)	100 seed weight(g)	Lutein content (ug/g)
Room temp.	26.3 a	1.81 b	11.3 a	1.77 a
Low temp.	24.0 b	2.59 a	12.1 a	1.78 a

표 3-28. 대원콩 및 해품콩의 수확시기 및 정선유무별 토코페롤 함량 비교

Cultivar	Harvest time	Well-selection				
		α	β	γ	δ	Total tocopherol
Daewon	Oct.	1.28 b	0.49 b	16.41 a	7.73 bc	25.91 bc
	Nov. 12th	1.31 ab	0.59 ab	16.06 b	7.69 c	25.65 bc
	Nov. 24th	1.36 a	0.59 ab	16.49 a	7.54 c	25.98 bc
	Dec.	1.30 ab	0.66 ab	16.13 b	8.15 a	26.23 ab
	Jan.	1.35 a	0.68 a	16.41 a	8.06 ab	26.51 a
Haepum	Oct.	1.63 a	0.75 a	15.18 ab	6.50 a	24.07 a
	Nov. 12th	1.62 a	0.46 b	14.50 ab	5.43 b	22.01 b
	Nov. 24th	1.57 a	0.41 b	14.28 b	5.35 b	21.62 b
	Dec.	1.63 a	0.44 b	15.69 a	4.91 c	22.68 ab
	Jan.	1.62 a	0.42 b	15.35 ab	4.59 c	21.98 b

Cultivar	Harvest time	Non-selection				
		α	β	γ	δ	Total tocopherol
Daewon	Oct.	1.37 a	0.46 a	16.79 a	7.01 b	25.63 a
	Nov. 12th	1.39 a	0.45 a	17.21 a	7.02 b	26.07 a
	Nov. 24th	1.36 a	0.48 a	16.69 a	8.17 a	26.70 a
	Dec.	1.34 a	0.47 a	16.71 a	7.73 a	26.25 a
	Jan.	1.33 a	0.48 a	15.71 a	7.80 a	25.33 a
Haepum	Oct.	1.73 a	0.46 b	15.56 a	5.00 b	22.75 b
	Nov. 12th	1.67 a	0.48 ab	15.26 a	4.66 b	22.07 b
	Nov. 24th	1.66 a	0.53 a	15.27 a	5.89 a	23.35 ab
	Dec.	1.71 a	0.48 ab	15.72 a	5.78 a	23.69 ab
	Jan.	1.72 a	0.51 ab	16.06 a	6.24 a	24.53 a

표 3-29. 대원콩 및 해품콩의 저장온도별 토코페롤 함량 비교(불정농협 6개월 저장)

Storage temp. (6 months)	Daewon				
	α	β	γ	δ	Total tocopherol
Room temp.	2.17 a	0.63 a	18.45 a	7.03 a	28.28 a
Low temp.	1.89 a	0.52 b	18.37 a	5.90 a	26.68 a

Storage temp. (6 months)	Haepum				
	α	β	γ	δ	Total tocopherol
Room temp.	0.89 b	0.28 a	10.36 b	4.15 a	15.69 b
Low temp.	1.25 a	0.41 a	12.79 a	4.45 a	18.91 a

불정농협에서 6개월간 상온 및 저온저장을 하였을 때 대원콩 및 해풀콩 종자의 지용성 비타민인 토코페롤 함량을 비교한 결과 품종간 반응이 서로 다른 양상을 나타내었으며, 대원콩에서는 저장 온도에 따라 함량 차이가 인정되지 않았고, 해풀콩의 경우 저온저장이 더 높은 토코페롤 함량을 나타내었다.

○ 콩 종실의 전기전도도 및 엽산 함량 비교

대원콩 및 해풀콩 종자의 수확시기 및 정선 유무별 종실의 전기전도도 및 엽산 함량을 비교한 결과 수확시기 및 정선유무별 뚜렷한 함량 차이가 인정되지 않았으며, 품종간 반응이 서로 다른 양상임을 확인할 수 있었으며, 일정한 경향성이 없는 것을 확인할 수 있었다.

표 3-30. 대원콩 및 해풀콩의 수확시기 및 정선유무별 종실 전기전도도 및 엽산 함량 비교

Cultivar	Harvest time	Well-selection		Non-selection	
		Electro conductivity (uS/cm/g)	Folic acid (ug/100g)	Electro conductivity (uS/cm/g)	Folic acid (ug/100g)
Daewon	Oct.	76.09 a	177.27 b	66.36 a	233.19 a
	Nov. 12th	76.29 a	202.96 a	88.61 a	215.41 b
	Nov. 24th	67.60 b	159.07 c	79.32 a	188.66 d
	Dec.	71.83 ab	140.91 d	88.52 a	182.58 d
	Jan.	76.94 a	153.20 c	80.94 a	203.01 c
Haepum	Oct.	98.36 ab	231.15 a	102.98 a	206.14 b
	Nov. 12th	108.53 a	234.02 a	98.86 a	247.93 a
	Nov. 24th	73.42 cd	175.56 b	68.00 b	163.67 c
	Dec.	68.72 d	133.90 c	73.68 b	175.56 c
	Jan.	84.69 bc	120.27 c	107.23 a	204.94 b

표 3-31. 대원콩 및 해풀콩의 저장온도별 종실 전기전도도 및 엽산 함량 비교(불정농협 6개월 저장)

Storage temp. (6 months)	Daewon		Haepum	
	Electro conductivity (uS/cm/g)	Folic acid (ug/100g)	Electro conductivity (uS/cm/g)	Folic acid (ug/100g)
Room temp.	237.40 a	216.22 a	148.13 a	205.57 a
Low temp.	169.79 b	203.14 a	108.04 b	214.70 a

불정농협에서 6개월간 상온 및 저온저장을 하였을 때 대원콩 및 해품콩 종자의 저장온도별 종실 전기전도도 및 엽산 함량을 비교한 결과 전기전도도는 두 품종 모두 저온저장이 상온저장 대비 전기전도도가 낮은 양상을 나타내어 종피 혹은 세포막의 피해 양상이 상온저장 대비 감소된 양상을 추측할 수 있었으며, 엽산의 함량은 두 품종 모두 저장 방법 간의 차이가 인정되지 않았다.

○ 콩 종실의 이소플라본 및 트리글리세라이드 함량 비교

- 대원콩 및 해품콩 종자의 수확시기 및 정선 유무별 종실의 이소플라본 및 트리글리세라이드 함량을 비교한 결과 이소플라본 함량면에서는 수확시기별 일정한 경향성이 없는 양상을 나타내었고, 품종간 차이는 뚜렷한 양상을 확인할 수 있었으며, 정선유무별 함량 차이는 확인되지 않았다. 한편 트리글리세라이드 함량면에서는 대원콩 선별 종자를 제외하고는 대체적으로 수확시기가 늦어질수록 함량이 증가 되는 양상이며 정선유무별 차이에서는 비정선 종자의 함량이 더욱 높은 양상을 확인할 수 있었다.

표 3-33. 대원콩 및 해품콩의 수확시기 및 정선유무별 종실 이소플라본 및 트리글리세라이드 함량 비교

Cultivar	Harvest time	Well-selection		Non-selection	
		Total Isoflavone (ug/g)	Total Triglyceride (Peak area)	Total Isoflavone (ug/g)	Total Triglyceride (Area)
Daewon	Oct.	3609.33 a	157.6 a	3354.42 a	206.4 b
	Nov. 12th	3531.92 a	147.7 a	3303.75 a	185.6 b
	Nov. 24th	3298.62 b	87.8 b	3520.30 a	286.1 a
	Dec.	3138.27 b	74.4 b	3430.61 a	262.6 a
	Jan.	3221.99 b	89.3 b	3449.82 a	278.6 a
Haepum	Oct.	5327.20 b	76.0 b	5700.55 a	331.2 ab
	Nov. 12th	4880.92 d	119.5 b	5541.91 abc	249.6 b
	Nov. 24th	5160.32 c	225.6 a	5613.77 ab	270.0 b
	Dec.	5297.87 bc	203.7 a	5493.83 bc	378.2 a
	Jan.	5681.14 a	236.7 a	5425.95 c	431.8 a

표 3-33. 대원콩 및 해품콩의 저장온도별 종실 이소플라본 및 트리글리세라이드 함량 비교(불정농협 6개월 저장)

Storage temp. (6 months)	Daewon		Haepum	
	Total Isoflavone (ug/g)	Total Triglyceride (Peak area)	Total Isoflavone (ug/g)	Total Triglyceride (Area)
Room temp.	4542.80 a	1269.9 b	5669.59 a	1227.9 a
Low temp.	3615.49 b	1533.5 a	5016.71 a	1294.0 a

불정농협에서 6개월간 상온 및 저온저장을 하였을 때 대원콩 및 해품콩 종자의 저장온도별 종실 이소플라본 및 트리글리세라이드 함량을 비교한 결과, 이소플라본 함량의 경우 대원콩에서는 통계적으로 유의한 수준에서 상온 저장이 높은 함량을 나타내었고, 해품콩의 경우 차이가 인정되지 않았으나 역시 산술적으로는 상온 저장이 높은 양상을 나타내었다. 트리글리세라이드 함량에서는 6개월 저장 시 수확직후의 함량보다 상당히 함량이 증가된 양상을 보이며, 통계적 결과에서는 품종간 반응이 서로 다른 양상이나 산술적 함량 면에서는 저온 저장이 다소 높은 양상을 나타내었다.

○ 콩 종실의 올리고당 및 총당의 함량 비교

대원콩 및 해품콩 종자의 수확시기별 종실의 올리고당 및 총당 함량을 비교한 결과 두 성분 모두 10월 수확이 가장 높은 함량을 나타내었으나, 수확시기가 지연됨에 따른 계속적 함량 감소 현상은 확인되지 않았다. 아울러 두 품종 모두 정선유무별 종실 올리고당 및 총당의 함량은 차이가 없었으며, 품종간 차이도 인정되지 않음을 확인하였다.

표 3-34. 대원콩 및 해품콩의 수확시기 및 정선유무별 종실 올리고당 및 총당의 함량 비교

Cultivar	Harvest time	Well-selection		Non-selection	
		Oligo saccharide (%)	Total sugars (%)	Oligo saccharide (%)	Total sugars (%)
Daewon	Oct.	9.97 a	10.77 a	9.76 a	10.50 a
	Nov. 12th	9.85 ab	10.59 ab	9.59 a	10.33 a
	Nov. 24th	9.92 a	10.70 a	9.68 a	10.43 a
	Dec.	9.45 c	10.21 a	9.61 a	10.35 a
	Jan.	9.67 b	10.43 bc	9.63 a	10.42 a
Haepum	Oct.	9.44 a	10.26 a	9.39 a	10.15 a
	Nov. 12th	8.95 b	9.70 b	8.98 b	9.74 b
	Nov. 24th	9.03 b	9.80 b	9.15 ab	9.90 b
	Dec.	9.08 b	9.87 ab	9.06 b	9.84 b
	Jan.	9.06 b	9.84 ab	8.96 b	9.72 b

표 3-35. 대원콩 및 해품콩의 저장온도별 종실 올리고당 및 총당의 함량 비교(불정농협 6개월 저장)

Storage temp. (6 months)	Daewon		Haepum	
	Oligo saccharide (%)	Total sugars (%)	Oligo saccharide (%)	Total sugars (%)
Room temp.	11.17 a	11.98 a	9.75 a	10.57 a
Low temp.	10.74 a	11.61 a	9.56 a	10.38 a

불정농협에서 6개월간 상온 및 저온저장을 하였을 때 대원콩 및 해품콩 종자의 저장온도별

종실 올리고당 및 총당의 함량을 비교한 결과, 올리고당 및 총당 모두 저장 방법간의 통계적 유의성이 인정되지 않았다.

□ 불량환경 지표 단백질 항체 정제 및 특이 발현 검정

- 시험재료 : 콩 종실의 인위 퇴화 종자 및 불량 수확 콩 종자

실험내용 : 비특이적 단백질 검출을 위한 항체의 정제 및 western blot을 이용한 재확인

□ 인위적 퇴화처리 종자를 이용한 단백질체 분석

2014년 수확한 종자를 이용하여 고온(42°C) 및 고습(상대습도 100%) 환경을 유도하여 인위적 퇴화처리를 하였다. 인위적 퇴화 처리의 경우 Control (0day), 3day, 7day로 나누어 실시하였다. 각 처리구 샘플은 선행연구에서 수행된 미량 단백질을 추출하는 기술인 Protamine sulfate precipitation method를 이용하여 추출하였으며, 2-DE, Label-free 분석 기술이 적용되었다.

○ 인위적 퇴화처리 종자를 이용한 단백질체 분석

고온(42°C) 및 고습(상대습도 100%) 환경에서 인위적인 퇴화를 유도한 콩종자의 단백질체 profile 분석을 위하여 PSP method를 적용하였다. PSP method를 적용하여 종자 내의 과발현 단백질 (HAPs)이 제거된 분획물을 이용하여 2-DE 분석을 수행하였다. 그 결과 각 처리구별로 발현의 차이를 보이는 14개의 단백질 spot을 관찰할 수 있었고, MALDI-TOF/TOF를 이용하여 동정을 수행하였다. 그 결과, 대부분의 단백질들은 Protein metabolic process 와 stress responsive와 연관된 단백질들임을 확인하였다 (그림). 또한

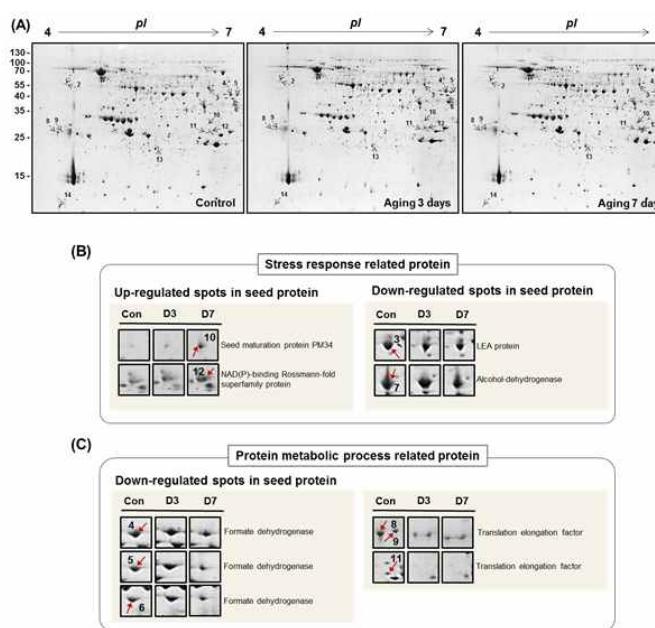


그림 3-30. 인위적 퇴화 종자 단백질을 이용한 2-DE 결과
동정 결과는 아래 표와 같다 (표).

표 3-36. 발현량의 차이를 나타내는 단백질 spot list

Table 1. Identification of differentially modified aging seed proteins by MALDI-TOF/TOF										
	Spot No.	Acession No.	Glyma Locus	Protein name	Function	M r/pI(T)	M r/pI(E)	SC(%)	Score	Expect
Down-regulated proteins (12)	1	A0A762	Glyma10g28890.2	Calreticulin-1	Calcium ion binding	48.3/4.43	59/4.38	17	101	0.0007
	2	A0A0R0EJA3	Glyma20g23080.2	Calreticulin-1b	Calcium ion binding	48.6/4.47	58.5/4.42	23	108	0.00054
	3	I1L957	Glyma10g07410.1	LE A protein	Response to stimulus	48.8/6.12	51.5/6.46	47	482	2.1E-041
	4	C6T9Z5	Glyma13g23790.1	Formate dehydrogenase	Metabolic process	43.1/6.28	44/6.77	53	377	1.8E-031
	5	C6T9Z5	Glyma13g23790.1	Formate dehydrogenase	Metabolic process	43.1/6.28	44/6.86	63	508	1.4E-044
	6	I1N5S0	Glyma19g01210.1	Formate dehydrogenase	Metabolic process	43.1/6.28	40/6.79	64	273	4.4E-021
	7	Q9ZT38	Glyma04g41990.1	Alcohol-dehydrogenase	Oxidoreductase activity	37.0/6.13	37.4/6.32	39	214	3.5E-015
	8	K7KVJ9	Glyma06g17930.5	Translation elongation factor EF1B/ribosome	Translation elongation factor	31.3/4.82	25/4.32	39	441	6.1E-040
	9	C6SXP1	Glyma04g37120.1	Translation elongation factor EF1B/ribosome	Translation elongation factor	25.1/4.46	26/4.38	36	207	1.5E-016
	11	K7KVJ9	Glyma06g17930.5	Translation elongation factor EF1B/ribosome	Translation elongation factor	31.3/4.62	25/6.24	39	293	3.9E-025
	13	B2YDR0	Glyma11g15870.1	Gly m Bd 28K allergen	Nutrient reservoir activity	50.9/5.81	20/5.60	23	238	1.2E-019
	14	P01071	Glyma08g45531.1	Kunitz trypsin inhibitor 1	Endopeptidase inhibitor activity	20.3/4.66	7/4.35	25	198	1.2E-015
Up-regulated proteins (2)	10	Q9LLQ6	Glyma20g37670.1	Seed maturation protein PM 34	Oxidoreductase activity	32.0/7.00	28/6.23	32	92	4.9E-005
	12	C6TKH0	Glyma07g38790.1	NAD(P)-binding Rossmann-fold superfamily	Oxidoreductase activity	32.1/6.38	26/6.27	44	116	1.9E-007

본 결과는 2012년에 수확한 종자를 이용하여 2-DE를 분석한 결과와 동일한 결과를 보였으며 보다 정확하고 많은 미량 단백질 분석을 위하여 buffer 내의 단백질들을 solution 상태로 digestion을 수행하여 고성능 nanoLC-MS/MS 장비를 이용하여 비표지 단백질체 분석법 (Label-free quantitative analysis)을 추가적으로 수행하였다. 또한 보다 정확한 샘플의 validation을 위하여 종자 노화에 따른 Hydrogen peroxide 및 MDA 함량을 측정하였다.

○ 인위적 노화 처리 종자의 생화학적 샘플 분석

인위적으로 고온, 고습을 처리한 종자를 이용하여 단백질체 분석 전에 샘플의 validation을 수행하였다. ROS 및 MDA의 경우 특정 stress 조건이 주어질 때 세포 혹은 종자 내에서 그 함량이 증가하는 것으로 많은 연구에서 보고되고 있다. 따라서 본 실험을 수행하기 전에 앞서 Hydrogen peroxide 및 MDA 함량의 변화량을 측정하였다. 그 결과 종자의 노화 처리 시간이 증가 할수록 Hydrogen peroxide와 MDA의 함량이 증가하는 것을 확인 할 수 있었다

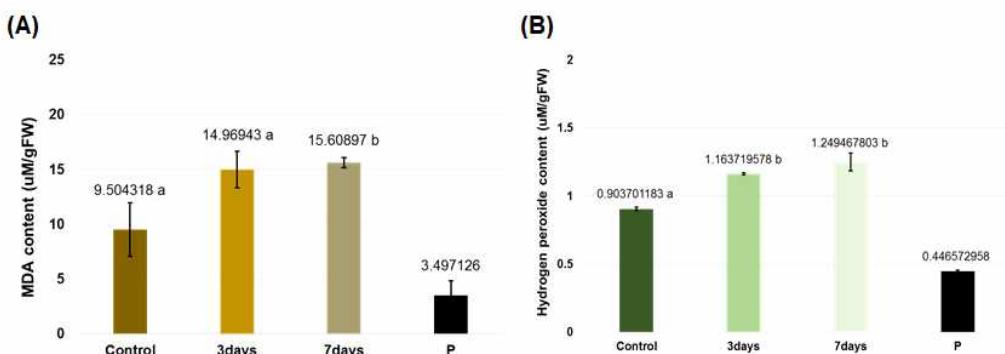


그림 3-31. 인위적 노화처리 종자의 MDA와 H2O2 함량의 분석

○ 비표지 단백질체 분석법을 이용한 단백질 동정 및 분석

종자 내 존재하는 과발현 단백질의 제거 후 미량 단백질의 대량 동정 및 정확한 분석 시스템 확립을 위하여 비표지 단백질 분석법 (Label-free quantitative analysis)을 수행하였다. PSP method를 적용한 분획물총의 단백질을 정량을 수행 후, 각 처리구 별로 정량화한 단백질 분획물총에 trypsin을 이용하여 in-solution digestion 후 고성능 nanoLC-MS/MS를 이용하여 Label-free 분석을 수행하였으며, 처리구간 별 단백질 발현의 차이를 나타내는 단백질만을 동정하였다 (그림)

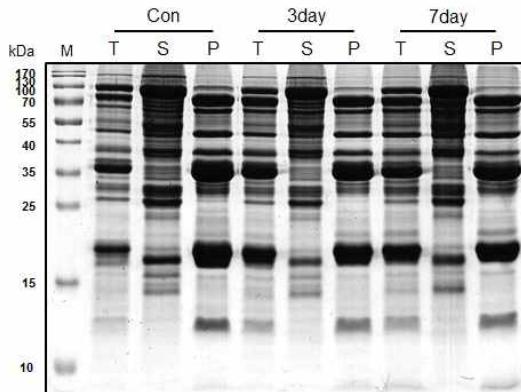


그림 3-32. Protamine sulfate를 이용하여 과발현 단백질의 제거를 수행.

고성능 nanoLC-MS/MS 장비를 이용하여 단백질 분석 및 동정 결과 총 1626개의 단백질이 동정되었고, 그 중 샘플 간 단백질 발현 차이가 유효한 ($p\text{-value} < 0.05$, fold change > 1.5) 것은 총 115개로 확인되었으며, 단백질의 유효성 분석 및 발현패턴 분석결과는 아래와 같다. (그림). 그 중 90개의 단백질은 low abundance를 보이며, 25개의 단백질은 high abundance를 보이는 것으로 분석되었다 (표).

표 3-37 Label free 분석결과 및 발현차이가 유효한 단백질 list

Table 1. Summary of the total identified proteins among three replicates		
Features (positive)	Missing/Zero	Features (Processed)
Control_1	683	943
Control_2	1064	562
Control_3	1251	375
3day_1	667	959
3day_2	688	938
3day_3	607	1019
7day_1	455	1171
7day_2	277	1349
7day_3	529	1097

Table 2. Summary of differential proteins among three replicates (> 1.5 FC)		
Features (positive)	Missing/Zero	Features (Processed)
Control_1	107	8
Control_2	108	7
Control_3	107	8
3day_1	87	28
3day_2	86	29
3day_3	85	30
7day_1	69	46
7day_2	69	46
7day_3	70	45

또한 분석결과 처리구 간의 단백질체 발현 차이가 유효한 동정결과 115개의 단백질을 이용하여 PCA plot 분석을 수행하였고, 그 결과 각 처리구의 발현량 차이는 유효함을 아래 그림에서 볼 수 있다 (그림). 그리고 115개의 단백질 발현 패턴의 분석 및 분류를 수행하였다. low abundance 경향을 보이는 단백질 90개의 경우 oxidoreductase, nucleic acid, binding, isomerase, chaperone family에 속하는 단백질이 대부분인 것으로 확인되었다 (그림).

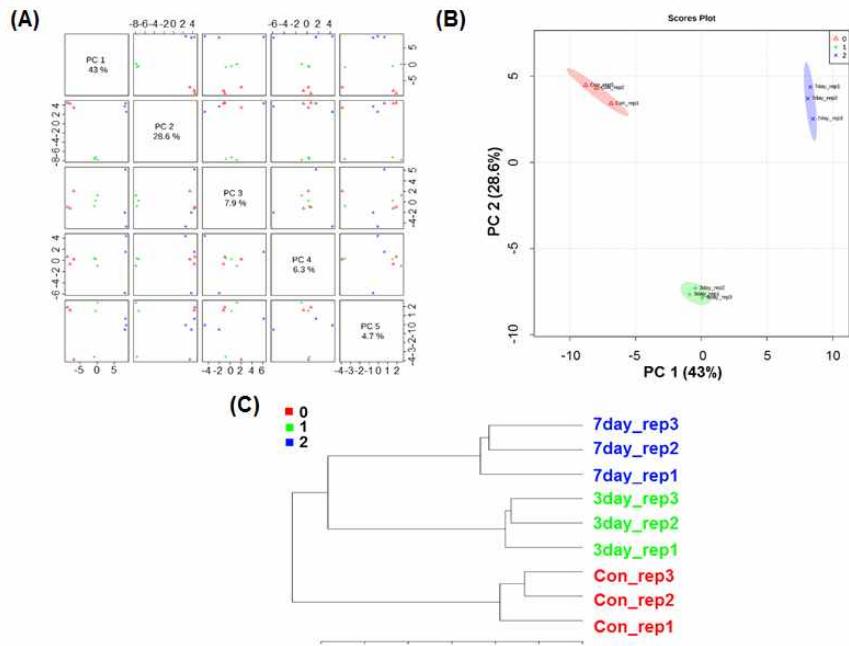


그림 3-33. 단백질 발현차이의 유효성 검정을 위한 PCA plot 분석 및 발현 유사성 분석 결과

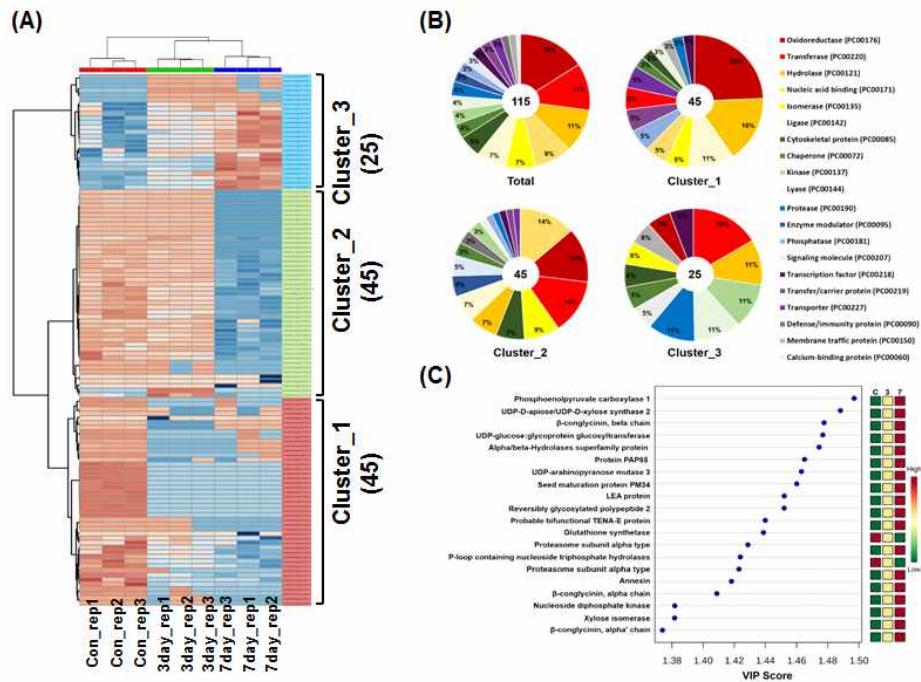


그림 3-34. 각 처리구 별로 발현의 차이를 보이는 단백질 샘플의 발편패턴 분석 및 분류

또한 Gene ontology 분석을 통하여 인위적 노화처리 시 감소하는 패턴을 보이는 단백질의 기능적 분류를 수행하였다. 인위적 노화처리로 인하여 감소하는 경향을 보이는 단백질들은 대부분 seed development와 종자의 활력에 관여하는 다양한 metabolic pathway에 속.

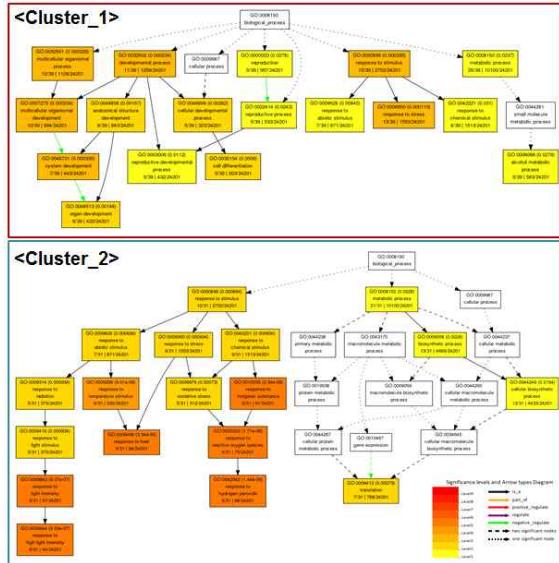


그림 3-35. Gene ontology 분석을 이용한 기능석 분석 수행

간접적으로 영향을 미치는 것을 볼 수 있다 (그림).

- 주요 저장 단백질 및 ROS 관련된 antibody를 이용한 western blot 분석
또한 자체 제조한 antibody를 이용하여 western blot 분석을 수행하였다. 과발현 단백질이 제거된 분획물총의 단백질 25ug SDS-PAGE에 로딩한 뒤 PVDF membrane에 transfer를 실시하였고 제조한 항체를 처리하여 특정 단백질들의 발현 양상을 분석하였다. 그 결과 종자의 주요 저장단백질의 경우는 발현 상 차이를 보기 힘들었다. 또한 ROS 관련된 antibody인 DHAR, Apx, SOD, MDHAR의 경우 각 처리 구간 별로 차이를 확인 할 수 있었다 (그림).

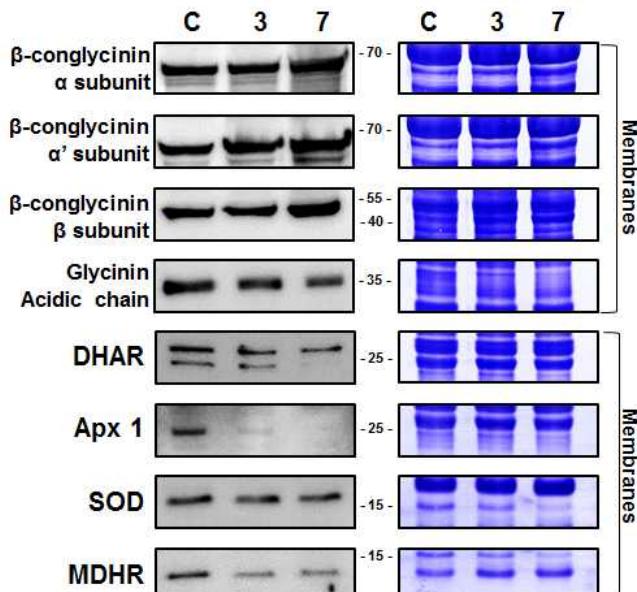


그림 3-36. 주요 저장단백질 및 ROS 관련된 antibody를 이용한 western blot 분석

○ Label-free 분석 결과를 이용한 인위적 노화처리에 따른 metabolic pathway 지도 작성

위의 결과를 바탕으로 인위적 노화처리에 따른 종자 내 metabolic pathway에 적. 간접적으로 영향을 미치는 단백질체 지도를 작성하였다. 대부분의 감소하는 경향의 단백질들은 carbohydrate metabolism, amino acid metabolism에 연관되는 것들이었으며, 또한 ROS detoxification system, Protein folding에 관여하는 것으로 확인되었고, 일부 증가하는 경향을 보인 25개의 단백질은 대부분 proteolysis에 연관되어져 있었다 (그림).

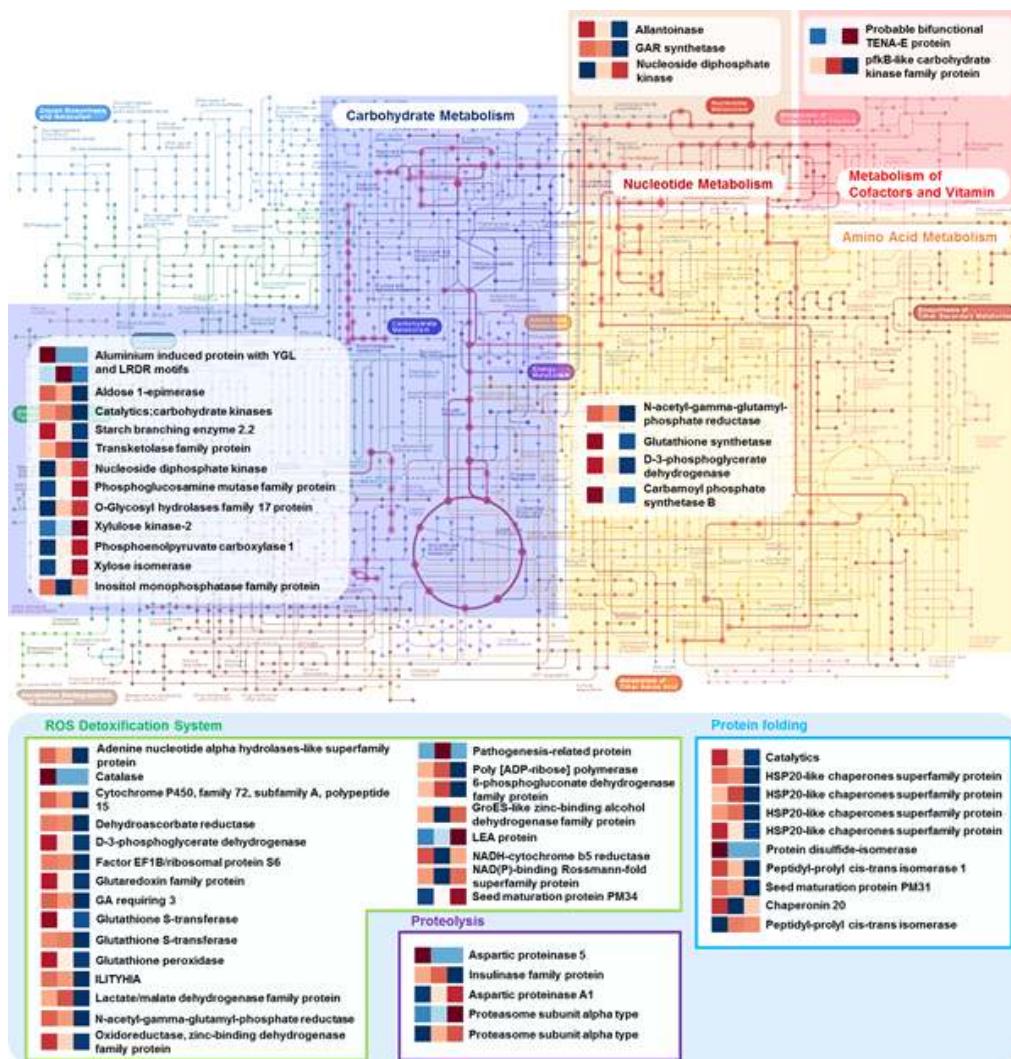


그림 3-37. 인위적 노화처리에 따른 단백질체 변화 pattern을 바탕으로 한 metabolic pathway 지도 작성

제 4 장 목표달성도 및 관련분야 기여도

제1절 : 목표대비 달성도

당초 목표	가중치 (%)	개발 내용	달성도 (%)
1) 산물 수매 콩의 수분함량과 SPC 건조조건과 관계 분석 및 SPC설치에 따른 용도별 건조조건(온도 등)에 따른 발아특성 구명	20%	1) 산물 수매 콩의 수분함량과 SPC 건조조건과 관계 분석 및 SPC설치에 따른 용도별 건조조건(온도 등)에 따른 발아특성 구명	100%
2) 건조, 저장/포장에 대한 각 단위 공정의 최적 운전 조건 도출	20%	1) 콩의 종류에 따른 최적 건조 공정 도출 및 시뮬레이션과 모델링을 통한 건조 예측과 건조 최적화 2) 건조 콩의 사일로에서의 수직적 흐름연구를 통한 사일로 설계 인자 도출 및 포장 생산성 계산	100%
3) 생산성과 에너지 효율 모델 개발	30%	3) 대규모 SPC 설계에서 복합공정의 최적화를 위한 효율성의 계산 및 평가	100%
4) SPC설치에 따른 용도별 건조 조건(온도 등)에 따른 발아특성 구명불량 환경 노출 콩 종자의 대사체 및 단백질체 프로파일링	30%	1) 인위 퇴화 및 불량 수확 콩 종자 발아력 및 활성 평가 1) 인위 퇴화 및 불량 수확 콩 종자 단백질체 분석 1) 불량환경 대사체 변이 분석을 위한 조건 확립 및 탐색	100%
	100%		100%

제2절 : 정량적 성과(논문게재, 특허출원, 기타)를 기술

성과지표명		연도	당초 목표 (전체)	실적	달성도 (%)	가중치 (%)
논문게재	SCI	6	5	83	10	
	비SCI	7	4	57	20	
산업재산권	출원	1	2	200	5	
	등록	0				
학술발표	국제	6	10	167	8	
	국내	10	8	80	20	
정책자료 기관제출		2	3	150	15	
영농기술·정보 기관제출		2	2	100	15	
정보 전산 프로그램 저작권 개발 등록		1	1	100	2	
홍보		30	92.2	307	5	
계		-		-	100	

성과지표명		연도	당초 목표 (전체)	실적	달성도 (%)	가중치 (%)
논문게재	SCI	0				
	비SCI	2	2	100	10	
산업재산권	출원	1	1	100	10	
	등록	1	1	100	15	
학술발표	국제	0				
	국내	3	2	67	15	
정책자료 기관제출		1	1	100	15	
영농기술·정보 기관제출		3	1	33	15	
홍보		100	154.3	154	20	
계		-		-	100	

제 5 장 연구 결과의 활용 계획

- 국산 원료 콩의 최적 수확 모델 설정을 통한 저장, 유통 시스템 확립에 활용
- 수확 후 품질 관리를 통한 국산 콩 이용 가공품의 품질 향상 및 가공 생산성 향상
- 불량환경에 대한 발아력 평가, 수확(생육)시기 선발, 수확 후 관리 등 안전생산 및 보존 체계 확립
- 외국 수입 콩 품종의 영양성 및 안전성 재고에 활용
- 국산 원료 콩 품질의 균일화 및 향상을 위해 표준화 처리방법 및 기준 확립에 활용
- 국산 원료 콩의 불량환경 노출 혹은 저장 중 품질 변화 지표 설정에 활용
- 불량환경 혹은 저장 중 변성 화합물에 대한 인축 노출 정보에 활용
- 국산 콩 최적 수확 후 관리 모델 적용을 통한 품질 개선으로 한식 세계화에 활용

제 6 장 연구 과정에서 수집한 해외 과학 기술 정보

없음

제 7 장 연구 개발 결과의 보안 등급 : 일반

* 국가연구개발사업의 관리 등에 관한 규정」 제24조의 4에 해당하지 않음

제 8 장 국가과학기술지식정보서비스에 등록한 연구시설·장비 현황

* 해당 없음

제 9 장 연구개발과제 수행에 따른 연구실 등의 안전조치 이행실적

가. 연구실 안전조치 이행실적

○ 안전관리대책

- 안전교육 실시
 - 정기교육 : 산업 안전 및 사고 예방에 관한 사항 (매월 2시간 이상)
- 안전점검 실시
 - 정기점검 : 안전의 날에 따라 실험실 안전 점검 매월 실시
 - 일일점검 : 퇴실 시 안전, 보안 점검
 - 실험실정밀안점진단 : 년 1회
- 안전수칙
 - 금연, 정숙, 청결, 정리정돈을 유지
 - 실험의 목적에 관계없는 물품의 반입을 금지
 - 실험 전 시약의 MSDS 확인 및 문질안전보건자료 비치
 - 적절한 안전보호구를 착용하고 실험 수행
 - 실험에 필요한 기기, 시약, 위험물 등은 항상 이상 유무를 점검
 - 최종 퇴실자는 전기기구의 전원차단, 인화성물질 격리, 위험물의 안전한 보관, 정리정돈, 잠금장치 등을 확인

나. LMO 연구시설 및 수입신고 현황(해당 없음)

제 10 장 연구개발과제의 대표적 연구실적

번호	구분 (논문 /특허 /기타)	논문명/특허명/기타	소속 기관명	역할	논문제재지 / 특허등록국 가	Impact Factor	논문제재일 /특허등록 일	사사여부 (단독사사 또는 중복사사)	특기사항 (SCI여부 /인용횟수 등)
1	논문	Analysis of grinding kinetics and flow behavior of Adzuki bean (<i>Phaseolus angularis</i>) flour for hopper design	강원대 학교	교신 저자	Journal of food process engineering	0.745	2016.08.01.	단독사사	SCI
2	논문	열풍건조 시의 건조 온도와 풍속에 따른 콩 (<i>Glycine max</i>)의 건조 특성	강원대 학교	교신 저자	산업식품공학	0.7328	2016.05.27.	단독사사	
3	논문	열풍건조 시의 건조 온도와 입경에 따른 콩 (<i>Glycine max</i>)의 건조 특성	강원대 학교	교신 저자	한국식품영양과학회지	1.2524	2016.10.01	단독사사	
4	논문	쌀가루의 분쇄 특성과 쌀가루 분쇄 방법 및 입자 크기에 따른 백설기의 품질특성	강원대 학교	교신 저자	산업식품공학	0.7328	2015.02.01	단독사사	
5	특허	콩 내부 수분 측정 시스템 및 측정 방법	강원대 학교	발명자	대한민국		2016.11.03.	단독사사	출원
6	전산 프로 그램	콩 생산량과 가동률을 고려한 콩 유통종합처리장(SP C) 설계 프로그램	강원대 학교	발명자	대한민국		2016.11.17.	단독사사	저작권 등록
7	학술 발표	열풍건조 시 건조 온도와 풍속에 따른 콩 (<i>Glycine max</i>)의 건조 특성	강원대	공동 참여자	한국산업식품공학회		2016.04.29.	단독사사	국내

8	학술 발표	Analysis of Grinding Kinetics and Flow Behavior of Adjuki Bean (Phaseolus Angularis) Flour for Hopper Design	강원대	공동 참여 자	Inititute of Food Technologi sts		2015.7.12	단독사사	국제
9	학술 발표	대두(Glycine max)의 간헐적 건조에서의 품질 및 thin-layer drying 특성과 모델링	강원대	공동 참여 자	산업식품공 학회		2015.11.13	단독사사	국제
10	학술 발표	열풍건조 시의 건조 온도와 입경에 따른 콩(Glycine max)의 건조 특성	강원대	공동 참여 자	산업식품공 학회		2015.11.13	단독사사	국제
11	학술 발표	팥의 분쇄 특성에 관한 연구: 입자 크기, 분쇄 에너지, 분쇄 동역학	강원대	공동 참여 자	한국산업식 품공학회		2014.11.29	단독사사	국내
12	학술 발표	Particle Size Dependence of Flow Behavior and Hopper Design Characteristics of Black Soybean Powders	강원대	공동 참여 자	Institute of Food Technologi sts		2014.06.22	단독 사사	국제
13	정책 자료 기관 제출	콩 지역별 생산량과 가동률을 고려한 콩유통종합처리장(SPC) 설비 모델	강원대	주참 여자					

번호	구분 (논문 /특허 /기타)	논문명/특허명/기타	소속 기관명	역할	논문게재지/ 특허등록국가	Impact Factor	논문게재일 /특허등록일	사사여부 (단독사사 또는 중복사사)	특기사항 (SCI여부/ 인용횟수 등)
1	국내발 표	Comparative proteomics analysis of soybean seed deterioration under high temperature and humidity stress	부산대 학교	교신			2014.11	단독	
2	국제발 표	Metabolic Association of Lipophilic Pigments During Germination of Soybean Sprouts	강원대 학교	교신			2014.11	단독	
3	논문	Metabolic association of lipophilic pigments in the organs of soybean sprouts	강원대 학교	교신			2015.10	단독	SCI
4	논문	Comparative investigation of seed coats of brown versus yellow-colored soybean seeds using an integrated proteomics and metabolomics approach	부산대 학교	교신			2015.11	단독	SCI
5	논문	Protamine sulfate precipitation method depletes abundant plant seed-storage proteins: A case study on legume plants	부산대 학교	교신			2015.11	단독	SCI
6	국제발 표	Comparative proteomic analyses in artificially aged Glycine max seeds and whey	부산대 학교	교신			2015.11	단독	
7	국제발 표	Proteome analysis of soybean seed(cv. Glycine max): The effect of artificial aging	부산대 학교	교신			2015.11	단독	
8	국제발 표	Targeted metabolomic analysis in Korean soybean germplasm	강원대 학교	교신			2016.07.07	단독	
9	특허	대사체 기술을 이용한 식물의 퇴화증설 판별 방법	강원대 학교	교신			2016.09.09	단독	
10	논문	Seed coat color and seed weight contribute differential responses of targeted metabolites in soybean seeds	강원대 학교	교신	Food Chem	3.8	2016.07.14	단독	SCI
11	논문	Expect the Unexpected Enrichment of "Hidden Proteome" of Seeds and Tuber by Depletion of Storage Proteins	부산대 학교	교신	Frontiers in Plant Science	3.948	2016.06.01	단독사사	SCI
12	국내발 표	Label-Free Quantitative Proteome Profiling of Soybean Seeds under Artificial Storage Conditions	부산대 학교	교신	Journal of The Korean Society for Applied Biological Chemistry	-	2016.06.16	단독사사	
13	국제발 표	Gel-free proteomic analysis of soybean seed (Glycine max) under artificial aging storage conditions	부산대 학교	교신	2nd INPPO World Congress in Bratislava	-	2016.09.04	단독사사	
14	논문	High-throughput proteome analysis reveals changes of primary metabolism and energy production under artificial aging treatment in Glycine max seeds	부산대 학교	교신	Applied Biological Chemistry	0.69	2016.11.21	단독사사	SCI

제 11 장 기타사항

: 해당 사항 없음

제 12 장 참고문헌

Arlete B. Becker-Ritt, Fernanda Mulinari, Ilka M. Vasconcelos, and Celia R. Carlini. 2004. Antinutritional and/or toxic factors in soybean (*Glycine max* (L) Merril) seeds: comparison of different cultivars adapted to the southern region of Brazil. *J. Sci. Food Agric.* 84: 263 - 270.

Delwiche et al., 2013, Multiple view image analysis of freefalling U.S. wheat grains for damage assessment, *Computers and Electronics in Agriculture* 98: 62-73.

Fitzpatrick et al., 2004, Flow property measurement of food powders and sensitivity of Jenike's hopper design methodology to the measured values, *Journal of Food Engineering* 61: 399-405.

Gavrechenkovt, Y. D., and R. N. Sinha. 1980. Keeping quality of soybeans stored under aerobic and anaerobic conditions. *Can. J. Plant Sci.* 60: 1087 - 1099.

Guan and Zhang, 2009, The effect of moisture content and compaction on the strength and arch formation of wheat flour in a model bin. *Journal of Food Engineering* 94: 227-232.

Hur, Gun, Seong-Jin Jang, Yun-Ho Lee, Hang-Lin Song, Seong-Jin Kim, Heon-Sang Jeong, Yong-Gu Cho, and Hong-Sig Kim. 2008. Evaluation and selection of useful seed protein variants in soybean germplasm. *Korea Soybean Digest* 25(1)7 - 15.

Igathinathane et al., 2013, Major orthogonal dimensions measurement of food grains by machine vision using image analysis, *Food Research International* 47: 76-84.

Kashaninejad et al., 2008, Handling and frictional characteristics of soybean as a function of moisture content and variety, *Powder Technology* 188: 1-8.

Kim, Jin Hee, and Ji Young Yang. 2012. Microbial and physicochemical characteristics on raw cereal for sunsik by hot-air drying methods. *J. Fd Hyg. Safety* 27(4): 415 - 419.

Kim, Jong Jin, Seung Hyun Kim, Sang Jun Hahn, and Ill Min Chung. 2005. Changing soybean isoflavone composition and concentrations under two different storage conditions over three years. *Food Research International* 38: 435 - 444.

Kim, Sung-Han, Byung-Man Kwack, Jang-Hyuk Ahn, and Un-Young Kong. 2004.

Uncertainty of peroxide value determination in fat in follow up formula. Korean J. Food Sci. Technol. 36(6): 885 - 892.

Monira, U. S., M. H. A. Amin, M Marin, and M. A. A. Mamun. 2012. Effect of containers on seed quality of storage soybean seed. Bangladesh Research Publications Journal 7(4): 421 - 427.

Opalinski et al., 2012, Characterizing moist food-powder flowability using a Jenike shear-tester, Journal of Food Engineering 108: 51-58.

Park, Chan-Eun, Yun-Sook Kim, Kee-Jai Park, and Bum-Keun Kim. 2012. Changes in physicochemical characteristics of rice during storage at different temperatures. Journal of Stored Products Research 48: 25 - 29.

Saad et al., 2001, Morphological characterization of wheat powders, how to characterize the shape of particles?, Journal of Food Engineering 102: 293-301.

Saio, K. I. Nikkuni, Y. Ando, M. Otsuru, Y. Terauchi, and M. Kito. 1980. Soybean quality changes during model storage studies. Cereal Chem. 57(2): 77 - 82.

Shelar, V. R., R. S. Shaikh, and A. S. Nikam. 2008. Soybean seed quality during storage: A review. Agric. Rev., 29(2): 125 - 131.

Simic, Branimi. 2007. Influence of storage condition on seed oil content of maize, soybean and sunflower. Agricultural Conspectus Scientificus 72(3): 211 - 213.

Sul, Min-Sook, Hyun-Ja Lee, and Hong-Sun Yook. 1998. Physicochemical properties of soybean as influenced by storage temperatures. J. Korean Soc. Food Sci. Nutr. 27(5): 827 - 832.

Teunou et al., 1999, Characterisation of food powder flowability, Journal of Food Engineering 39: 31-37.

Uhm and Yoon, 2011, Effects of high-pressure process on kinetics of leaching oil from soybean powder using hexane in batch systems, Journal of Food Science 76: 444-449.

Uktu and Koksel, 1998, Use of statistical filters in the classification of wheats by image analysis, Journal of Food Engineering 36: 385-394.

Wan et al., 2002, Rice quality classification using an automatic grain quality inspection system, Transactions of the ASABE 45: 379-387.

주 의

1. 이 보고서는 농촌진흥청에서 시행한 「FTA대응경쟁력향상기술개발사업」의 연구보고서입니다.
2. 이 보고서 내용을 발표하는 때에는 반드시 농촌진흥청에서 시행한 「FTA대응경쟁력향상기술개발사업」의 연구 결과임을 밝혀야 합니다.
3. 국가과학기술 기밀유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 아니 됩니다.