Current Research on Agriculture and Life Science (2015) 33(1): 7–14
http://dx.doi.org/10.14518/crals.2015.33.1.003

Online ISSN 2288-0356
Print ISSN 2287-271X

Original Article

Complementarity Testing of Multiple Apple Production Technologies

Don-Woo Choi[1] and Hyun Seok Kim[2]*

[1]*Gyeongsangbuk-do Agricultural Research and Extension Services*
[2]*Department of Agricultural Economics, Kyungpook National University, Daegu 702-701, South Korea*

사과의 생산 기술결합 관계 검정

최돈우[1] · 김현석[2]*

[1] *경상북도농업기술원*
[2] *경북대학교 농업생명과학대학 농업경제학과*

Received: March 8 2015 / Revised: April 6 2015 / Accepted: April 10 2015

Abstract This study identifies the complementarity or substitutability among apple production technology bundles. To identify the production technology bundle relationships, this paper focuses on the 8 most commonly used technology groups, including a high density plant, normal density plant, M9, M26, more than 70% adoption ratio of a medium-maturing variety, the adoption of a new variety, artificial pollination, and low-temperature storage. The results show that M9 has a complementary relationship with a high density plant, yet a substitute relationship with a normal density plant. Meanwhile, M26 has a complementary relationship with both a high and normal density plant. No substitute relationship is found between M9 and M26, yet a complementary relationship is identified between the adoption of artificial pollination and low-temperature storage and M9 or M26.

Key words: apple, complementarity, production technology, substitutability

*Corresponding author: Hyun Seok Kim
Tel: 82-53-950-5768; Fax: 82-53-958-6773
E-mail: hyun.kim@knu.ac.kr

This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.
© 2015 Institute of Agricultural Science and Technology, Kyungpook National University

서 론

농업 부문에서 보다 효율적인 생산기술의 개발 및 보급은 품질 향상 및 생산량 증대, 비용 절감 등의 측면에 영향을 미치기 때문에 농가소득 증대에 중요한 역할을 한다. 특히 신규 생산기술 간 보완성을 고려한 보급은 농가소득 증대에 더 크게 작용하게 된다. 그러나 기술 간 보완성의 검정이 없이 보급이 이루어지게 될 경우 상호 대체적 기술 도입에 따른 신규 기술과 기존 기술 간 충돌문제 및 보급효과의 상쇄 등과 같은 문제들이 발생할 수 있다. 따라서 생산기술 간 보완성의 검정은 농가소득 증대를 위한 신기술 도입에 있어 매우 중요하다. 본 연구는 사과 생산 농가의 생산기술 활용실태를 조사하고 기술간 결합관계를 검정하는 것을 목적으로 한다.

생산기술 결합관계를 검정하는 방법은 크게 기술 간 상관관계 접근법과 감소된 형태의 회귀 접근법, 산출물 측정을 통한 기술효과 접근법, 다변적 접근을 통한 보완성 등 네 가지로 나눌 수 있다.

기술 간 상관관계 접근법은 생산기술 간 독립변수들의 회귀 오차항에 대한 조건부 상관관계를 검정하는 방식으로, 다른 관련 요인들을 통제할 수 있고 이익극대화를 가정할 경우 기술 간 수용 정도를 파악할 수 있다는 이론이다. 이 접근법은 검정방법이 간편하기 때문에 Arora and Gambardella(1990)와 Khanal et al.(2010)와 같은 실증적 연구에서 많이 사용되나, 회귀식의 오차항으로부터 추정된 상관관계는 공통적으로 제거된 독립변수로 인해 측정 오차가 나타날 수도 있는 단점이 있다.

감소된 형태의 회귀 접근법은 배제 제약조건을 사용하여 생산기술 간의 보완성을 검정하는 방법으로 기술들이 서로 상호 보완적이라면 기술사용에 영향을 주는 요인은 다른 기술을 사용하는 것과 관련된다는 것이다(Holmstrom and Milgrom,

1994; Arora, 1996). 그러나 이 접근법은 배제 제약조건이 두 개 이상인 경우 기술관계를 검정할 수 없기 때문에 변수 간 상호작용에 대해서는 활용할 수 없다는 단점이 있다.

산출물 측정을 통한 기술효과 접근법은 일부 산출물을 측정하여 기술결합 관계를 검정하는 방법으로 기술 간 상관관계 접근법의 단점을 보완할 수 있는 방법으로 평가된다(Milgrom and Roberts, 1990; Athey and Stern, 1998; Stoneman and Toivanen, 1997; An, 2012). 그러나 이 접근법은 기술 수의 증가에 따라 추정 계수의 수가 기하급수적으로 증가하기 때문에 검정할 수 있는 기술의 수가 제한적이라는 단점이 있다.

다변적 접근을 통한 보완성은 최근 개발된 검정법으로 많은 기술들이 결합된 경우에도 관계의 검정이 가능하다(Yu et al., 2012). 기술들 간 상호 독립적인 관계를 가질 때 기대 기술수용 확률보다 실제 기술수용 확률이 높게 나타나면 기술 간 보완관계를 가지며, 채택된 기술결합에 대해 유의한 빈도가 낮게 나타나면 기술 간 대체관계를 가진다는 것이다. 이 접근법은 기술 수에 제한을 받지 않는다는 장점을 가지고 있어 다양한 기술관계 검정에 활용될 수 있다. 따라서 본 연구에서는 다변적 접근을 통한 보완성 검정법을 통해 사과 생산기술의 결합관계를 분석하고자 한다.

본 논문의 구성은 다음 장에서는 다변적 접근을 통한 보완성 검정을 위한 분석 모형을 살펴본다. 그 다음 설문조사를 통한 사과 생산기술의 활용실태를 분석하고 사과 생산기술의 결합관계를 실증분석한 후, 이를 바탕으로 결론을 맺기로 한다.

생산기술의 결합관계 분석모형

N개의 생산기술이 존재하고 이 기술들이 단독으로 사용되거나 결합되어 사용될 수 있다고 가정할 때, n번째(n=1, 2, ..., N) 기술이 수용되면 T_n=1, 그렇지 않으면 0으로 설정된다. 어떤 기술 을 수용할 확률은 로, 기술 과 다른 기술 이 동시에 수용될 확률은 $0 < p_{nm} < 1$로 정의한다.

N개의 기술이 결합 가능한 조합은 2^N개가 존재한다. 이때 k(k=1, 2, …, 2^N)번째 기술결합이 $C^k=\{T_1^k, T_2^k, ..., T_N^k\}$일 경우, 이 기술결합을 수용하는 확률은 $q_k(0 < q_k < 1)$로 표현할 수 있다. 기술결합 C_k에서 수용된 기술조합 S_k^a와 C_k에 수용되지 않은 기술조합 S_k^n은 다음과 같이 정의될 수 있다.

$$S_k^a = (n \in \{1, 2, ..., N\}) \wedge T_n = 1) \quad (1)$$

$$S_k^n = (n \in \{1, 2, ..., N\}) \wedge T_n = 0 \quad (2)$$

두 기술 과 이 상호 독립적이라면 기대 확률은 다음과 같이 나타난다.

$$p^*_{nm} = p_n p_m \quad (3)$$

만약 두 가지 이상의 기술결합이 상호 독립적일 경우에는 그 기대 확률을 식 (4)와 같이 나타낼 수 있다.

$$q_k^* = \prod_{n \in S_k^a} p_n \prod_{n \in S_k^n} (1 - p_n) \quad (4)$$

실제 확률을 구하기 위해서는 농업인의 무작위 표본이 i=1, 2, ..., I로 주어졌다고 가정하고 생산기술의 관계분석을 위한 표본분포를 추정해야 한다. 이를 위해 농업인 i가 기술 n을 수용할 경우에는 T_n^i=1, 그렇지 않은 경우에는 0으로 나타낸다. 농업인 i가 기술 n과 m을 동시에 수용할 경우에는 T^i_{nm}=1, 그렇지 않으면 0의 값을 가진다. 농업인 가 결합 기술 를 수용할 경우에는 C_k=1, 그렇지 않은 경우는 0의 값으로 나타낸다. 기술들 간에 상호 독립성을 가지면 기술 의 수용률(p_n)에 대한 우도함수는 식 (5)와 같이 나타낼 수 있다.

$$L = \prod_{i=1}^{I} \prod_{n=1}^{N} p_n^{T_n^i} (1 - p_n)^{1 - T_n^i} \quad (5)$$

식 (5)를 자연로그로 변환하여 식 (6)과 같이 나타낼 수 있다.

$$InL^O = \sum_{n=1}^{N} [\sum_{i=1}^{I} T_n^i ln(p_n) + (I - \sum_{i=1}^{I} T_n^i) ln(1 - p_n)] \quad (6)$$

식 (6)을 p_n에 대하여 최적화하여 식 (7)과 같이 추정치를 산출할 수 있다.

$$\hat{p}_n = \frac{\sum_{i=1}^{I} T_n^i}{I}, \; n = 1, 2, ..., N \quad (7)$$

어떤 두 기술 n과 m이 상호 독립적이라면, $\hat{p}^0_{nm} = \hat{p}_n \hat{p}_m$ 으로 표현할 수 있다. 두 기술 n과 m의 결합 수용률에 대한 로그-우도함수는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$lnL^{(b)} = \ln(p_{nm}) \sum_{i=1}^{I} T^i_{nm} + \ln(1 - p_{nm})(I - \sum_{i=1}^{I} T^i_{nm}) \quad (8)$$

식 (8)을 p_{nm}에 대해 최적화하면 그 추정치는 식 (9)와 같다.

$$\hat{p}_{nm} = \frac{\sum_{i=1}^{I} T^i_{nm}}{I} \quad (9)$$

어떤 기술결합 C_k가 상호 독립적이라면 그 기대확률은 식 (10)과 같이 나타낼 수 있다.

$$\hat{q}_k^0 = \prod_{n \in S_k^a} \hat{p}_n \prod_{n \in S_k^n} (1 - \hat{p}_m) \quad (10)$$

이 때 기술결합 C_k수용에 대한 로그-우도함수는 다음과 같이 정의된다.

$$lnL^{(m)} = \sum_{k=1}^{2^{N-1}} \ln(q_k) \sum_{i=1}^{I} C_k^i + ln(1 - \sum_{k=1}^{2^{N-1}} q_k) \sum_{i=1}^{I} C^i_{2^N} \quad (11)$$

식 (11)을 q_k에 대해 최적화하여 추정치를 산출하면 식 (12)와 같다.

$$\hat{q}_k = \frac{\sum_{i=1}^{I} C_k^i}{I}, \; k = 1, 2, ..., 2^N - 1 \text{ and } \hat{q}_{2^N} = 1 - \sum_{k=1}^{2^{N-1}} \hat{q}_k \quad (12)$$

그런데 $\hat{p}_{nm}$와 $\hat{q}_k$의 표본분산이 알려지지 않았기 때문에 기술관계 검정은 복잡하다. 또한, $\hat{p}_{nm}$와 $\hat{p}^*_{nm}$ 그리고 $\hat{q}_k$와 $\hat{q}_k^*$ 간의 상관관계를 알 수 없으므로, 본 연구에서는 표본분산과 내적 상관관계의 근사치를 구하기 위하여 백분위 부스트래핑을 이용하였다.

기술의 개별 수용 또는 기술결합 수용의 관계 검정을 위해 $\hat{p}_{nm}$와 $\hat{p}^*_{nm}$ 또는 $\hat{q}_k$와 $\hat{q}^*_k$을 계산한다. 실제 확률과 기대 확률 간의 순서벡터(ordered vector)를 $V=(V_1, V_2, V_3, ..., V_J)$이라고 정의할 때 순서벡터의 2.5백분위 ($V^L$)와 97.5백분위 ($V^H$)는 식 (13)과 같이 나타낼 수 있다.

$$[V^L, V^H]=\left[\left(\frac{0.05}{2}(J+1)\right), \left(1-\frac{0.05}{2}\right)(J+1)\right] \quad (13)$$

이때 V^L만약 이 음(–)이고, V^H가 양(+)이면 독립적이고, V^L과 V^H이 양(+)이면 보완관계에 있다. 그러나 V^L과 V^H가 음(–)이면 독립과 보완관계는 기각할 수 있지만, 대체관계는 기각할 수 없다(Table 1).

사과 생산기술 활용실태

사과 생산기술의 활용실태를 알아보기 위해 전국 사과를 재배하는 시군 중 재배면적이 400 ha이상 되는 지역을 선정한 후, 재배면적에 비례하여 표본수를 선정 추출하였다. 사과 재배면적이 400 ha 이상 되는 지역은 영주, 안동, 의성, 청송, 충주, 거창, 문경, 봉화, 예산, 포항, 영천, 상주, 예천, 밀양, 장수, 제천, 함양, 군위, 영덕, 괴산, 보은, 영양, 무주, 김천, 영동 등 25개 지역으로 전국 재배면적(32,789 ha)의 85.1%이다. 농가조사는 2014년 7월부터 8월까지 2개월에 거쳐서 일대일 면접조사를 통해 300호를 조사하였다(Table 2).

사과 생산기술은 크게 재해예방시설, 지주시설, 품종, 대목, 재식밀도, 수형과 전정, 결실관리, 시비관리, 토양관리, 표토관리, 수분관리, 병해충관리, 착색관리, 저장관리 등 14개 기술군으로 나눌 수 있다. 본 연구에서는 사과 전문가들이 중요하게 생각하는 품종, 대목, 수형과 전정, 수분관리, 저장관리 등 5개 기술 군에 대해서만 분석한다.

Table 1. Signs of and by technology relationship

Technology relationship	V^L	V^H
Complement	+	+
Independent	–	+
Substitute	–	–

Table 2. Survey samples of apple farms

District	Cultivation area (ha)	Sample size	District	Cultivation area (ha)	Sample size
Yeongju	2,989	33	Miryang	704	8
Andong	2,947	32	Jangsu	606	7
Uiseong	2,751	30	Jecheon	601	6
Cheongsong	2,648	28	Hamyang	554	6
Chungju	1,740	19	Gunwi	529	6
Geochang	1,567	17	Yeongdeok	480	5
Mungyeong	1,515	17	Goesan	476	5
Bonghwa	1,347	15	Boeun	460	5
Yesan	1,085	12	Yeongyang	421	5
Pohang	927	10	Muju	416	4
Yeongcheon	782	8	Gimcheon	410	4
Sangju	782	10	Yeongdong	404	4
Yecheon	753	8	Total	27,894	300

Source: Korean Statistical Information Service, 2010.

품종

사과는 재배환경, 특히 기상조건(기온)에 따라 품질이 크게 달라지고 생리장해나 병해충 발생 정도가 달라진다. 따라서 재배지역에서 우량품질이 발휘될 수 있는 품종을 선택하는 것이 바람직하다. 또한 사과는 품종에 따라 생산시기, 수량 등이 달라지기 때문에, 선택을 함에 있어서 신중을 기해야 한다.

Table 3은 사과 품종수별 활용률과 농가 개별 특성변수와의 교차분석결과를 보여준다. 농가들의 사과 재배 품종수는 2개가 35.2%로 가장 많았으며, 다음으로 3개(27.3%), 1개(18.1%) 순으로 나타났다. 사과 재배 품종수별 수용률과 사과 농가의 개별특성변수에 대한 교차분석 결과를 살펴보면 연령, 생산지역, 재배면적, 교육시간 등이 농가의 재배 품종수에 통계적으로 유의한 영향을 미치는 것으로 나타났다. 즉 연령, 생산지역, 재배면적, 교육시간에 따라 사과의 재배 품종수의 수용률이 달라지는 것으로 나타났다.

대목

대목은 나무의 생장조절과 지지역할을 하므로 품종 못지않게 중요하다. 대목의 종류에 따라 재식거리, 정지전정방법 및 기

Table 3. Rate of cultivation variety adoption number and cross correlation with other factors

Number of cultivation variety	Frequency	Adoption rate (%)	Cross correlation	
			Factors	χ^2
1	55	18.1	Age	27.3 **
2	107	35.2	District of cultivation	32.1 ***
3	83	27.3	Cultivation area	55.9 ***
4	32	10.5	Cultivation experience	13.9
5	19	6.3	Hours of education	46.7 ***
6	8	2.6		

Note: ** $p<0.05$, *** $p<0.01$.

Table 4. Rate of root stock adoption and cross correlation with other factors

Root stock type	Frequency	Adoption rate (%)	Cross correlation	
			Factors	χ^2
M9	72	23.7	Age	30.1 **
M26	167	54.9	District of cultivation	9.9
MM106	5	1.6	Cultivation area	28.8 ***
M9+M26	43	14.1	Cultivation experience	19.3 **
M26+MM106	12	4.0	Hours of education	39.3 ***
M9+M26+MM106	5	1.6		

Note: **$p<0.05$, ***$p<0.01$.

타 작업관리가 달라지기 때문에 대목의 특성을 파악하고 선택하는 것이 중요하다. Table 4를 살펴보면, 사과 농가들은 M9, M26, MM106 등의 대목을 가장 많이 사용하고 있는 것으로 나타났다. 사과 대목의 활용률은 M26이 54.9%로 가장 높았으며, 다음으로 M9(23.7%), M9+M26(14.1%)의 순으로 활용률이 높았다.

사과 대목종류별 수용률과 사과 농가의 개별특성변수에 대한 교차분석 결과를 살펴보면 사과 재배농가가 대목종류별 수용률을 결정함에 있어 연령, 재배면적, 재배경력, 교육시간 등이 통계적으로 유의한 영향을 주는 것으로 나타났다(Table 4).

재식밀도

사과의 재식밀도는 품종의 수세, 대목의 왜화도, 토양의 비옥도, 목표 수형 등을 고려하여 설계된다. Table 5에서 볼 수 있듯이 사과 재식밀도는 89~125주가 55.9%로 가장 많았으며, 89주 미만이 23.7%, 126주 이상이 20.4%의 활용률을 나타냈다. 사과의 재식밀도별 활용률과 사과농가의 개별특성과의 교차분석에서는 연령, 생산지역, 재배면적, 재배경력, 교육시간 모두 사과의 재식밀도 결정에 통계적으로 유의한 영향을 준다고 볼 수 없었다. 즉, 사과농가의 개별특성에 따라 재식밀도가 달라진다고 볼 수 없었다.

저장관리

수확 후에 과실의 품질을 지속적으로 유기하는 저장기술로써 일반(상온)저장, 저온저장, CA저장 등이 있으며, 저장고의 환기관리를 위해 에틸렌발생 억제제(1-MCP)를 사용하기도 한다.

Table 6에서 보는 바와 같이 사과의 저장방법은 저장을 하지 않는다는 농가가 52.0%로 가장 많았으며, 그 다음으로 저온저장(40.8%), 상온저장(5.6%), CA저장(1.6%)의 순으로 많았다. 사과 저장방법별 수용률과 사과 농가의 개별특성변수에 대한 교차분석을 한 결과 사과 생산지역, 재배면적에서 통계적 유의성이 있는 것으로 나타났다. 즉 사과 생산지역과 재배면적에 따라 저장방법별 수용률이 달라지는 것을 알 수 있다.

Table 5. Rate of plant density adoption and cross correlation with other factors

Plant density (trees/10a)	Frequency	Adoption Rate (%)	Cross correlation	
			Factors	χ^2
less than 89	72	23.7	Age	5.8
89~125	170	55.9	District of cultivation	6.5
greater than 126	62	20.4	Cultivation area	8.5
			Cultivation experience	6.0
			Hours of education	2.3

Table 6. Rate of storage adoption and cross correlation with other factors

Storage	Frequency	Adoption Rate (%)	Cross correlation	
			Factors	χ^2
No storage	158	52.0	Age	6.1
Ordinary temperature storage	17	5.6	District of cultivation	17.9***
Low temperature storage	124	40.8	Cultivation area	24.0***
CA storage	5	1.6	Cultivation experience	9.8
			Hours of education	9.6

Note: ***p<0.01.

사과 생산기술의 결합관계 분석

사과 생산기술은 크게 14개 기술 군으로 구분할 수 있으며, 각 기술군은 다시 세부기술로 나누어지므로 모든 기술에 대해 결합관계를 분석하는데 한계가 있다. 따라서 본 연구에서는 사과 전문가들이 선정한 품종, 대목, 재식밀도, 결실관리, 저장관리의 5개 기술 군 중 밀식수형(T1), 일반수형(T2), M9(T3), M26(T4), 중생종비율 70%이상(T5), 신품종(T6), 인공수분(T7), 저온저장(T8) 등 8개 세부 기술의 기술결합 관계를 분석하였다.

밀식수형은 왜성대목이 보급되면서 수형도 방추형, 세장방추형, 수직축형 등과 같은 밀식수형이 적용되고 있다. 일반수형은 실생대목인 경우 사용하는 수형으로 주간형, 변칙주간형 등이 있다.

대목은 나무의 생장조절과 지지역할을 하므로 품종 못지않게 중요하다. M9은 조기 결실 및 대과 생산이 가능하고, 역병에 강한 특성을 가지나 면충에는 다소 약하며 M26보다 내한성이 약하다. M26는 M16과 M9을 교배하여 영국에서 선발한 대목으로 내한성이 강하며 우리나라에서 중간대목으로 많이 사용되고 있다.

농가들은 품종에 따라 생산시기, 수량, 품질 등이 달라 소득과 직결되므로 선택에 신중을 기한다. 중생종에는 홍로, 감홍, 추광, 후지조숙계변이 등이 있으며, 추석 무렵에 생산되어 가격이 높게 형성되면서 재배면적이 증가하고 있다. 최근 소개된 신품종에는 선홍, 시나노스위트, 자홍, 섬머킹, 호노카, 아이카향 등이 있다.

인공수분은 결실률을 높여 생산을 안정시키고 과실크기와 균일과 생산비율을 높이기 위해 실시하는데, 그 방법으로는 꽃가루이용법과 매개곤충이용법이 있다.

저온저장은 저장고에 냉동기를 설치하여 일정온도로 낮추어 저장하는 방법으로 수확기 홍수출하를 피해 설 명절에 판매하기 위해 사용되고 있다.

사과 생산기술인 밀실수형(T1), 일반수형(T2), M9(T3), M26(T4), 중생종 70%이상 식재(T5), 신품종(T6), 인공수분(T7), 저온저장(T8) 등에 대한 사과 농가의 기술결합과 활용률은 Table 7과 같다.

8개 생산기술의 가능 조합 수는 2^8=256개이지만, 실제 사과 농가에서 활용하고 있는 결합기술은 61개이다. 활용률이 가장 높은 조합은 T1T4T7 (9.2%)이고, 다음으로 T1T4T7T8(8.2%), T1T4(7.9%), T1T2T4(6.9%), T1T4T8(5.9%), T1T3T7(5.3%), T1T3(4.3%), T1T2T4T7T8(3.6%), T1T3T7T8(3.6%), T1T3T4T7 (2.6%), T1T2T4T7(2.3%), T1T3T6T7T8(2.3%)이었다.

Table 7. Technology adoption of apple production

Number of technology	Technology adoption	Number of adoption
2	T1T3(4.3), T1T4(7.9), T1T7(0.3)	3
3	T1T2T3(0.7), T1T2T4(6.9), T1T2T7(0.3), T1T3T4(1.6), T1T3T6(0.7), T1T3T7(5.3), T1T3T8(1.3), T1T4T5(1.0), T1T4T6(1.0), T1T4T7(9.2), T1T4T8(5.9)	11
4	T1T2T3T4(0.7), T1T2T3T7(0.3), T1T2T3T8(1.0), T1T2T4T6(0.7), T1T2T4T7(2.3), T1T2T4T8(1.3),T1T2T7T8(0.3),T1T3T4T6(0.3),T1T3T4T7(2.6), T1T3T4T8(0.3), T1T3T5T7(0.7), T1T3T5T8(0.3), T1T3T6T7(0.7), T1T3T6T8(0.7), T1T3T7T8(3.6), T1T4T5T6(1.0), T1T4T5T7(1.3), T1T4T6T7(1.0), T1T4T6T8(1.3), T1T4T7T8(8.2), T2T4T6T7(0.3)	21
	T1T2T3T4T6(0.3), T1T2T3T4T7(0.3), T1T2T3T4T8(0.7),T1T2T3T6T7(1.0), T1T2T3T6T8(0.3), T1T2T3T7T8(0.7), T1T2T4T5T7(0.3), T1T2T4T6T7(1.0), T1T2T4T6T8(0.3), T1T2T4T7T8(3.6), T1T3T4T6T7(1.0), T1T3T4T6T8(0.7), T1T3T4T7T8(2.0), T1T3T6T7T8(2.3), T1T4T5T6T7(0.7), T1T4T5T6T8(0.3), T1T4T6T7T8(1.3), T2T3T4T6T7(0.3)	18
6	T1T2T3T4T6T7(0.3), T1T2T3T4T7T8(1.3), T1T2T4T5T6T7(0.3), T1T2T4T6T7T8(1.6), T1T3T4T5T7T8(0.3), T1T3T4T6T7T8(1.3)	6
7	T1T2T3T4T6T7T8(1.0), T1T3T4T5T6T7T8(0.3)	2
Total		61

Note: Numbers in parentheses indicate the rate(%) of technology adoption.

Table 8은 생산기술의 결합관계를 분석한 결과를 보여준다. 보완관계를 보이는 기술결합은 T1T3, T1T2T4, T1T3T7, T1T3T7T8, T1T4T7T8, T1T3T6T7T8이며, 대체관계인 조합은 T1T7, T1T2T7, T1T3T4, T1T2T4T8, T1T3T4T7, T1T3T4T8, T1T2T3T4T7, T1T3T4T7T8, T1T4T5T6T8이다. 여기서 살펴보면 중생종 70%식재, 신품종, 인공수분, 저온저장은 밀식수형, 일반수형, M9, M26의 조합 형태에 따라 기술결합관계가 변하는 것을 알 수 있다.

T1T3조합에서 알 수 있듯이 밀식수형과 M9은 보완관계이다. T1T2T4조합에서 보는 바와 같이 M26은 밀식수형과 일반수형과 동시에 결합하여도 보완관계임을 알 수 있다. 즉 사과농가들은 M26대목을 활용하여 밀식과원도 조성하고 일반과원도 조성하고 있다고 할 수 있다. 또한 밀식수형과 M26도 보완관계임을 추측할 수 있다. 그리고 T1T3T7과 T1T3T7T8, T1T4T7T8이 보완관계를 나타내는데 이는 M9, M26이 밀수수형으로 조성될 때 인공수분과 저온저장은 보완관계에 있음을 나타낸다. 또한 T1T3T6T7T8이 보완관계임을 고려하면 신품종의 도입은 M9이 밀수수형으로 조성된 경우에만 인공수분, 저온저장과 결합하여 보완관계를 나타냄을 의미한다.

T1T2T7, T1T2T4T8조합이 대체관계임을 감안한다면 밀식수형과 일반수형은 대체관계임을 추측할 수 있다. 또한 T1T3T4 조합에서와 같이 M9과 M26은 다 같이 밀식수형으로 조성될 수 있으나 대체관계가 형성되는 것을 볼 때 M9과 M26은 대체관계임을 추측할 수 있다. T1T3T4T7, T1T3T4T8, T1T3T4T6T8등의 조합에서도 대체관계가 나타나 밀실수형과 일반수형이 대체관계임을 보다 확실하게 유추할 수 있다. 그리고 T1T2T3T4T7조합도 대체관계인데 여기서 M9과 일반수형은 대체관계임을 알 수 있다. 즉 일반수형과 M26, 밀식수

Table 8. Testing results of technology adoption in apple production

Number of technology	Technology adoption	95% significant level of $\bar{q}_k - \bar{q}_k^*$		Bundle relationships
		V^L	V^H	
2	T1T3	0.030	0.057	Complement
	T1T4	0.023	0.051	Independent
	T1T7	–0.023	–0.017	Substitute
3	T1T2T3	0.002	0.013	Independent
	T1T2T4	0.046	0.078	Complement
	T1T2T7	–0.007	–0.008	Substitutes
	T1T3T4	–0.020	–0.008	Substitutes
	T1T3T6	0.003	0.014	Independent
	T1T3T7	0.035	0.062	Complement
	T1T3T8	0.004	0.020	Independent
	T1T4T5	0.006	0.019	Independent
	T1T4T6	–0.006	0.003	Independent
	T1T4T7	0.015	0.050	Independent
	T1T4T8	0.018	0.032	Independent

Table 8. Continued

Number of technology	Technology adoption	95% significant level of $\overline{q}_k - \overline{q}_k^*$		Bundle relationships
		V^L	V^H	
4	T1T2T3T4	−0.017	0.003	Independent
	T1T2T3T7	−0.010	0.004	Independent
	T1T2T3T8	−0.003	0.022	Independent
	T1T2T4T6	−0.006	0.013	Independent
	T1T2T4T7	−0.020	0.015	Independent
	T1T2T4T8	−0.016	−0.000	Substitutes
	T1T2T7T8	−0.008	0.005	Independent
	T1T3T4T6	−0.013	0.001	Independent
	T1T3T4T7	−0.046	−0.001	Substitutes
	T1T3T4T8	−0.030	−0.012	Substitutes
	T1T3T5T7	−0.002	0.017	Independent
	T1T3T5T8	−0.001	0.011	Independent
	T1T3T6T7	−0.006	0.012	Independent
	T1T3T6T8	−0.028	0.016	Independent
	T1T3T7T8	0.005	0.047	Complements
	T1T4T5T6	−0.001	0.024	Independent
	T1T4T5T7	−0.003	0.024	Independent
	T1T4T6T7	−0.022	0.002	Independent
	T1T4T6T8	−0.009	0.015	Independent
	T1T4T7T8	0.008	0.065	Complements
	T2T4T6T7	−0.009	0.011	Independent
5	T1T2T3T4T6	−0.005	0.008	Independent
	T1T2T3T4T7	−0.025	−0.009	Substitutes
	T1T2T3T4T8	−0.010	0.010	Independent
	T1T2T3T6T7	−0.002	0.023	Independent
	T1T2T3T6T8	−0.001	0.010	Independent
	T1T2T3T7T8	−0.006	0.013	Independent
	T1T2T4T5T7	−0.003	0.009	Independent
	T1T2T4T6T7	−0.007	0.016	Independent
	T1T2T4T6T8	−0.004	0.008	Independent
	T1T2T4T7T8	−0.011	0.022	Independent
	T1T3T4T6T7	−0.015	0.008	Independent
	T1T3T4T6T8	−0.007	0.013	Independent
	T1T3T4T7T8	−0.033	−0.002	Substitutes
	T1T3T6T7T8	0.001	0.032	Complements
	T1T4T5T6T7	−0.002	0.017	Independent
	T1T4T5T6T8	−0.001	−0.000	Substitutes
	T1T4T6T7T8	−0.012	0.011	Independent
	T2T3T4T6T7	−0.006	0.011	Independent
6	T1T2T3T4T6T7	−0.007	0.007	Independent
	T1T2T3T4T7T8	−0.010	0.016	Independent
	T1T2T4T5T6T7	−0.001	0.011	Independent
	T1T2T4T6T7T8	−0.004	0.020	Independent
	T1T3T4T5T7T8	−0.004	0.008	Independent
	T1T3T4T6T7T8	−0.007	0.019	Independent
7	T1T2T3T4T6T7T8	−0.004	0.008	Independent
	T1T3T4T5T6T7T8	−0.001	0.010	Independent

형과 M9은 보완관계이고 밀식수형과 일반수형, M9과 M26은 대체관계가 형성되고 있다. 그러나 M26은 일반수형, 밀식수형과 보완관계를 형성하는 것으로 추측될 수 있다.

기술조합의 결합관계를 검정한 결과 Table 9와 같이 보완관계 6가지 조합, 독립관계 46가지 조합, 대체관계가 9가지 조합이었다. 기술조합의 대부분이 독립적 조합으로 나타났다. 보완적 관계는 기술조합이 3~4가지일 경우에 많이 나타났으며, 대체적 관계는 기술조합이 4~5가지일 경우에 많이 나타났음

Table 9. Number of complementary, substitute and independent technology bundles among the 61 possible bundles

Number of technology	Complementary	Substitute	Independent	Total
2	1	1	1	3
3	2	2	7	11
4	2	3	16	21
5	1	3	14	18
6	0	0	6	6
7	0	0	2	2
Total	6	9	46	61

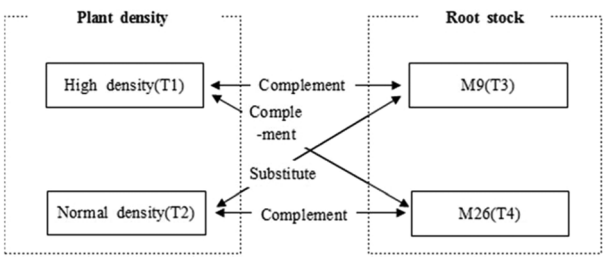

Figure 1. Relationship of production technology between plant density and root stock.

을 알 수 있다.

조합수가 적을 때는 보완관계 조합수가 많지만 조합수가 많아지면서 독립 또는 대체관계가 되는 것이 많아짐을 알 수 있다. 이것은 새로운 기술을 도입할 경우 자본이 많이 투자되어 사과 농가들은 단계적으로 기술이 도입되기 때문에 대체되는 기술을 같이 사용하는 사례가 많기 때문으로 생각된다.

위의 검정결과를 종합하면 사과의 생산에 있어서는 재식밀도와 대목종류, 그리고 인공수분과 저온저장 기술 간에 보완적 기술관계를 가지고 있음을 알 수 있다. 사과의 재식밀도(밀식수형, 일반수형)와 대목종류(M9, M26)간에 기술관계가 Figure 1과 같이 정리될 수 있다. 밀식수형과 M9, 일반수형과 M26, 밀식수형과 M26은 보완관계이고, 일반수형과 M9은 대체관계에 있음을 알 수 있다.

결과 및 고찰

농업 부문에서 효율적인 생산 기술의 도입이 농가 소득증대에 미치는 영향은 매우 크다. 특히 신규 생산기술들 간의 보완적 관계를 고려한 생산기술의 보급은 농가소득 증대에 더 큰 영향을 미치게 된다. 따라서 본 연구에서는 다변적 접근을 통한 보완성 검정법을 통해 사과 생산기술의 결합관계를 분석하였다.

본 연구에서는 전문가들이 선정한 품종, 대목, 재식밀도, 결실관리, 저장관리의 5개 사과 생산기술 군 중 밀식수형, 일반수형, M9, M26, 중생종비율 70%이상, 신품종, 인공수분, 저온저장 등 8개 세부 기술의 기술결합 관계를 분석하였다. 이들 기술의 가능한 조합 256개 중 실제 사과 농가에서 활용하고 있는 결합기술은 61개인 것으로 나타났다. 이 중 보완관계가 6가지 조합, 독립관계 46가지 조합, 대체관계가 9가지 조합이었다. 보완적 관계는 기술조합이 3~4가지일 경우에 많이 나타났으며, 대체적 관계는 기술조합이 4~5가지일 경우에 많이 나타났음을 알 수 있었다.

생산기술의 결합관계 분석 결과, 중생종 70%식재, 신품종, 인공수분, 저온저장은 밀식수형, 일반수형, M9, M26의 조합형태에 따라 기술결합관계가 변하는 것을 알 수 있었다. 밀식수형은 M9 및 M26와 보완관계에 있으며, M26은 밀식수형 및 일반수형과 동시에 결합하여도 보완관계임을 알 수 있었다. 이로부터 M26은 밀식수형 및 일반수형에 대해 보완관계에 있음을 추측할 수 있었다. 또한 M9과 M26은 모두 밀식수형으로 조성될 수 있으나 M9과 M26은 대체관계에 있는 것을 알 수 있었다. 밀식수형과 일반수형 또한 대체관계에 있는 것으로 나타났으며, M9과 일반수형도 대체관계에 있음을 알 수 있었다. 즉 일반수형과 M26, 밀식수형과 M9은 보완관계이고 밀식수형과 일반수형, M9과 M26은 대체관계가 형성되고 있다. 밀식수형과 M9 또는 M26조합에 인공수분과 저온저장 기술의 결합 또한 보완관계에 있음을 알 수 있었다. 신품종의 도입은 M9이 밀수수형으로 조성된 경우에만 인공수분, 저온저장과 결합하여 보완관계를 나타내고 있다.

마지막으로 생산 기술의 조합수가 적을 때는 보완관계가 많이 나타나지만, 조합수가 많아지면서 독립 또는 대체관계가 되는 것이 많아짐을 알 수 있다. 이는 새로운 기술의 도입시 많은 자본의 투자로 농가들이 단계적으로 기술을 도입하기 때문인 것으로 판단된다. 즉 농가의 신기술 도입에 따른 자본투자비용의 부담으로 인한 단계적 기술의 도입으로 대체되는 기술의 동시 사용 사례가 많기 때문인 것으로 사료된다.

주요 추가어: 사과, 생산기술, 보완성, 대체성

사 사

이 논문은 농촌진흥청 연구사업(과제번호: PJ01049502)의 지원에 의해 이루어진 것임.

References

An H (2012) Complementarities in production technologies: an empirical analysis of the dairy industry. Presented at 2012 Agricultural and Applied Economics Association Annual Meeting. Seattle, Washington.

Arora A (1996) Testing for complementarities in reduced-form regressions: a note. Econ Lett 50: 51-55.

Arora A, Gambardella A (1990) Complementarity and external linkages: the strategies of the large firms in biotechnology. J Ind Econ 38: 361-379.

Athey S, Stern S (1998) An empirical framework for testing theories about complementarity in organizational design. NBER working paper No.6600.

Korean Statistical Information Service (2010) Census of Agriculture, Forestry and Fisheries.

Holmstrom B, Milgrom P (1994) The firm as an incentive system. Am Econ Rev 84: 972-991.

Khanal AR, Gillespie J, MacDonald J (2010) Adoption of technology, management practices, and production systems in US milk production. J Dairy Sci 93: 6012-6022.

Milgrom P, Roberts J (1990) The economics of modern manufacturing: technology, strategy, and organization. Am Econ Rev 80: 511-528.

Stoneman P, Toivanen O (1997) The diffusion of multiple technologies: an empirical study. Econ Innov New techn 5: 1-17.

Yu L, Hurley T, Kliebenstein J, Orazem PF (2012) A test for complementarities among multiple technologies that avoids the curse of dimensionality. Econ Lett 116: 354-357.