

물세척만으로도 안전하다

— 농작물중의 농약잔류 ①



농약연구소 농약화학과
농학박사 이 해 근

산업의 발달로 인해서 인간의 생활이 윤택해 짐에 따라 건강에 대한 관심이 크게 높아져서 근래에는 비료와 농약을 전혀 사용하지 않고 농작물을 재배하는 소위 “자연 농법”이니 “유기농법”이니 하는 농업수단에 의해 생산된 식품을 찾는 사람이 부쩍 늘어나고 있다고들 한다. 또한 일부계층의 사람들은 계약재배를 통해서 자기가 먹을 농산물을 농가에 직접 의뢰하여 생산케 한다는 소문도 있다.

실제로 서울등 대도시의 슈퍼마켓이나 큰 식료품점에서는 이름도 거창한 「무공해 식품코너」를 설치운영하고 있으며 값이 일반식품보다 2~3배 비싸도 인기리에 팔리고 있다고 신문보도는

전한다(동아일보, 85.11.9 사설).

물론 우리의 현실이 자연농법에 의해서도 4천만 국민의 식량 문제를 충분히 해결할 수 있다면 가장 이상적인 농법이 될 수 있겠지만 한정된 경지면적에 인구는 계속 증가하고 있으나 농촌 인구는 계속 감소추세에 있으며 또한 부녀화·노령화 되고 있어 농촌노동력의 양적, 질적 감소는 생력재배의 필요성이 절실히 요구되고 있으므로 농약사용의 불가피성은 더욱 강조되고 있다

농약은 그 사용에 있어서 실제로 자연계에 직접 투여하는 특징을 갖는데, 살포된 농약의 대부분은 자연계에서 여러 경로를 통해 이동하게 되며 동시에 다양한 변화를 받으므로 우리인간과

자연환경에 미치는 영향의 경로와 형태도 복잡다기하다, 인체에 피해를 주는 것은 어떤 형태로 든지 농약과 접촉하여 체내로 침입될 때 일어나게 된다. 그러므로 국가마다 잔류농약에 대한 관심이 높아지고 있으며 특히 잔류성이 큰 농약성분은 여러가지 규제조치를 받게 된다.

잔류농약의 중요성

FAD / WHO에서는 잔류농약의 안전성을 평가할 때 다음과 같이 2가지 기본방향을 설정하고 있는데 이에는 잔류농약의 중요성이 증대되는 경우와 감소되는 경우로 구분하여 평가하고 있다.

잔류농약의 중요성이 증대되는 경우는 첫째, 실제 살포 조건 하에서 우리 인간이나 특정한 비표적 생물에 유해하다고 인정될 때(생물학적 및 독성학적 영향), 둘째, 잔류성이 클 때, 즉 토양 및 수질중 반감기간이 6개월 이상일 때, 세째, 안정성, 극성, 분배성(octanoel/물) 등 이 화학적 특성으로 보아 비표적 생물에 의한 농축가능성이 있거나 식품연쇄를 통한 생물농축가능성이 있을 때, 그리고 넷째, 보다 독성이 강한 형태로 전환 될 때이다.

한편 잔류농약의 중요성이 감소되는 경우는 첫째, 인간이나 비표적 생물에 무해하다고 인정될 때, 둘째 자연환경조건 하에서 불안정하거나 잔류성이 적다고 인정될 때(母화합물을 포함 중간 대사산물과 반응생성물의 잔류기간이 일시적일 때), 셋째, 이 화학적 성질로 보아 생물농축가능성이 없거나 극히 적다고 생각될 때, 넷째, 보다 독성이 낮은 형태로 전환될 때이다.

중요성 평가에 3기본조건

또한 FAO/WHO의 농약잔류문제를 다루는 합동위원회(JM PR)에서는 농작물이나 식품중 잔류농약의 중요성을 평가하는 데는 반드시 다음 3가지 기본적인 전제조건을 매우 중시하는데 이에는 첫째, 해당 농약의 주효물리, 화학적 및 생물학적 특성 둘째, 철저한 감독하에서 수행된 시험성적이나 선별연구를 통해 얻은 신빙성 있는 잔류자료 셋째로 잔류농약의 독성가능성을 평가하기 위한 신빙성 있는 독성자료를 요구하고 있는데 이로 인해 사람에게 대한 일일섭취 허용량을 평가할 수 있는 자료가 있어야 한다고 하였다.

농약의 잔류와 소실

물리적 부착은 쉽게 증발돼

살포된 농약의 작물체내 잔류는 직접 사람의 체내로 흡수가 가능하므로 건강 측면에서 매우 중요하게 여기고 있다. 농작물에 살포된 농약은 먼저 농작물의 표면에 부착하여 작물체내로 침투하기도 하나 대부분은 표면에 단 순히 물리적으로 부착하기 때문에 증발이나 광분해를 받기 쉬우며 바람에 의해 날려가든가 비에 의해 씻겨내려가서 중국에는 토양으로 이동하게 된다.

흡수된 성분도 효소에 의해 분해

식물체내에 흡수이행된 잔류분도 식물구성성분이나 효소에 의해 분해되어 중국에는 우리인 간에게 전혀 무해한 물이나 탄산가스등으로 분해되어 없어진다.

살포된 농약이 작물체에 어느 정도의 양이 부착하는가 하는 것은 병해충의 방제 뿐만 아니라 작물체에 농약의 잔류에도 매우 중요하다. 농약의 효과면에서 본다면 농약성분이 너무 빨리 분해, 소실되면 약효가 떨어져 바람직 하지 못하지만 잔류기간이 길수록 약효면에서는 유리할 것

이다. 그러나 잔류기간이 너무 길면 우리가 매일 섭취하게 되는 수확물에 까지 잔류분이 남게 되어 결과적으로 식품을 오염시킬 가능성은 그만큼 더 커진다.

일반적으로 농작물 특히 수확물중의 농약잔류량은 매우 미량이므로 이를 섭취했다고해서 어떤 중독사고를 유발할 가능성은 매우 희박하다고 알려져 있지만 이와같이 미량으로 함유된 식품이라도 장기간 섭취하게 되면 우리 인간에게 어떤 부작용을 일으킬 가능성은 배제할수 없기 때문에 우리는 미량의 잔류농약에도 세심한 주의를 기울이지 않으면 안된다.

◇ 농약의 작물잔류

농약의 작물잔류에 미치는 요인으로는 여러가지가 있는데 여기에는 농약 그 자체의 이화학적 특성 뿐만 아니라 작물의 특성, 농약살포방법 및 살포량 사용되는 농약의 형태(유제 또는 분제등의 구분) 및 살포당시와 그후의 기상조건등 환경조건에도 크게 영향을 받는다.

가. 농약의 이화학적 특성

농약의 작물잔류에 영향을 미치는 농약의 특성으로는 농약의 작물체 표면의 부착성이다. 일반

적으로 유제나 수화제 등은 부착성 및 고착성이 양호한 편인 반면 분제는 고착성이 불량함으로 타 제형에 비해 작물잔류에 미치는 영향은 적다.

침투성 좋은 유제가 잔류성길어

유제와 수화제는 같은 회석제이지만 유제는 수화제보다 일반적으로 잔류기간이 긴데 이는 부착성이나 고착성도 문제가 되겠지만 그 보다는 유제에는 유화제와 같은 보조제가 첨가되며 xy-lene, toluene 같은 다량의 유기용매가 들어 있어 식물체내로 주제의 침투를 촉진시키기 때문인데, 접촉제인 경우 주성분이 동일하더라도 유제가 수화제보다 살충효과가 더 좋은 것도 같은 이유이다. 즉 유제에는 앞서 지적한 바와 같이 유화제와 유기용매가 들어 있기 때문에 곤충의 표피, 다리등 체표면을 구성하는 지방, 왁스 및 지질(脂質)층에 수화제 보다 더 쉽게 용해되어 조직세포로 침투, 작용점에 도달하기 때문이다.

디치오카바메이트계 물에 잘 씻겨

농약의 물에 대한 용해도도 농약잔류에 미치는 영향은 큰데 현재 유통중인 농약의 대부분은 물

에는 잘 녹지 않으므로 농작물에 부착한 농약성분은 식물표피의 상피조직(큐티클층)에 녹아 들어가기에서 잔류하기 때문에 비에 의해 씻겨 내려가기 어렵다. 그러나 보르도액과 같은 무기농약은 물에는 쉽게 녹으나 기름에는 잘 녹지 않으므로 식물표면에 단순히 부착되어 있기 때문에 비에 의해 쉽게 씻겨 내려간다. 만코지, 마네브, 지네브 등 디치오카바메이트계 살균제는 물에는 잘 녹지 않으면서도 이들 농약은 큐티클층에 녹아들어가기가 어렵기 때문에 무기농약과 마찬가지로 작물 표면에 단순히 물리적으로 부착되어 있으므로 비에 의해 쉽게 씻겨 내려가게 된다.

침투이행성 농약은 비교적길어

이와같이 살포된 농약이 작물 표면의 큐티클층에 녹아들어가서 거기에서 잔류하게 되면 보통은 분해되기 어려우므로 잔류기간은 길어진다. 그러므로 과피(껍질)에는 과육(열매살)에 비해 잔류농도가 훨씬더 높는데 과일의 경우는 잔류농약의 대부분이 껍질에 잔류하게 된다.

그러나 침투이행성이 있는 농약의 경우에는 작물의 뿌리나 줄

기, 잎으로 부터 흡수되어 작물 체내를 이행하게 되므로 외부 환경에 의해서 분해소실되기는 어려우므로 잔류기간이 길어진다.

침투성분도 산화·환원거쳐소실

식물조직에 흡수이행된 농약 잔류분도 시일의 경과와 더불어 서서히 산화·환원·가수분해·脱수소화, 脱염소화등의 복잡한 과정을 거쳐 결국은 분해 소실되지만 살균제인 켈탄, 겐타플, 홀팻등은 식물체중의 SH기를 가진 화합물과 접촉시 비효소적인 반응에 의해 분해되며, 타로닐은 효소적 반응에 의해 쉽게 분해 소실된다는 보고도 있다.

또한 농약의 증기압은 살포된 농약이 식물체 표면에서 소실되는데 크게 영향을 준다. 일반적으로 화학물질이 증발하는 속도는 표면적에 비례함으로 살포농약의 입자가 미립자 일수록 증발속도는 빠르다. 또한 농약의 증발에는 농약 그 자체의 증기압이 크게 영향을 미치는데, DDVP나 Trifluralin (제초제 트리린) 같은 증기압이 높은 농약일수록 증발하기 쉬우나 DDT 같은 증기압이 매우 낮은 농약도 온도가 20℃ 일때 1cm² 당 매시간 2~3×10⁻³ μg 정도 증발한다고 한

다.

나. 작물의 형태

살포된 농약의 작물체 부착량은 농작물의 표면적이나 표면의 성상(性狀)에 따라서 상이한데 단위 중량당 표면적은 직경에 반 비례하므로 포도나 앵두같은 작은 과일은 사과나 배와 같은 큰 과일보다 같은 중량을 기준으로 할때 표면적이 훨씬 크기 때문에 그 만큼 잔류분의 부착량도 많아진다. 또한 복숭아와 같이 표면에 털이 많거나, 배와 같이 표면에 매끄럽지 못하고 울퉁불퉁하거나 딸기와 같이 꺼질 꺼질한 과일은 사과나 고추, 토마토처럼 표면이 매끄러운 과일보다 상대적으로 농약부착량이 많게 된다.

시금치, 상치등과 같은 엽채류는 중량당 표면적이 크므로 부착량이 많을 것이나 배추나 양배추같이 결구되는 채소류는 내부에는 약액이 들어가지 못하므로 전체적으로 보면 부착량은 매우 적다.

과채류, 비대생장으로 문제안돼

또한 농작물중 농약의 잔류농도는 농작물의 중량에 대한농도 보통은 ppm 혹은 mg/kg으로 표시하고 안전성 평가도 이에 기

준하여 행하여 지므로 수박, 참외, 호박, 오이, 무우등 대형과 채류는 비대생장이 빠르기 때문에 이로 인한 희석도 잔류 농약의 감소로 표현된다. 따라서 이들 과채류는 비대생장이 빠르기 때문에 부착된 농약잔류분이 전혀 분해·소실되지 않는다하더라도(실제는 분해소실되지만) 과일의 무게가 증대된 만큼 잔류 농약의 농도가 감소하므로 잔류 농약으로 인한 식품오염은 그만큼 감소되며, 실제적으로는 거의 문제시 되지 않는 것으로 판단되고 있다.

다. 환경조건

농작물중 농약잔류에 영향을 주는 환경조건은 온도, 강우, 일조(日照)등의 기상조건과 토양조건을 들수 있다.

기온 높을수록 분해되기 쉬워

대기의 온도가 높으면 일반적으로 농약의 분해는 촉진되지만 한편으로는 농약성분이 작물체 내로의 흡수가 조장되어 잔류량을 증대시키는 경우도 있으나 대부분의 농약은 고온하에서는 증기압이 높아져서 증발되기 쉬우므로 흡수에 의한 증가보다는 식물표면에서 분해소실되는 정도가 훨씬 더 큰 것으로 알려져 있

다. 특히 일조가 강한 경우에는 자외선에 의한 광분해가 병행되므로 농약의 분해는 더욱 촉진되며, 농작물 표면에 단순히 부착된 분체나 미립제의 미세 농약입자는 바람에 의해 날려가든가 비에 의해 씻겨 내려가기 쉽다. 또한 바람은 농약의 증발을 조장시키도 한다.

대기중의 습도가 낮으면 증진 조하면 농약증발을 더욱 조장시키나 높은 습도하에서는 살포농약이 장시간 습한 상태로 있게 되므로 작물체내 흡수를 조장할 수도 있다.

사질토가 점토보다 잔류량 높아

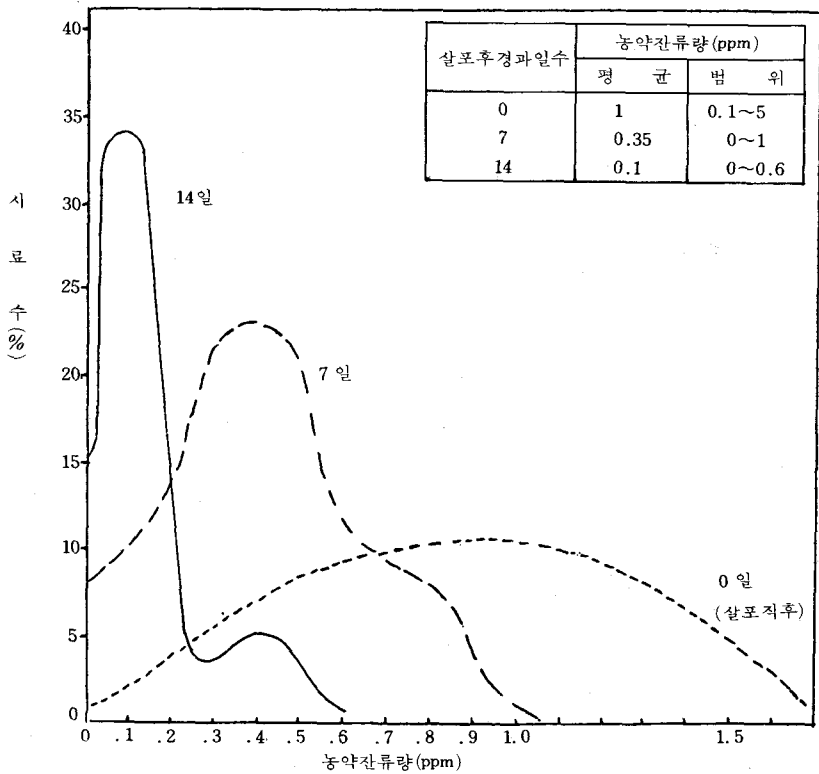
작물잔류에 영향을 주는 토양 환경중 가장 중요한 것은 토성인데 점토함량이 높은 식토에서는 토양에 처리한 농약의 일부를 점토광물이 흡착하여 작물의 뿌리에 의한 농약흡수를 어느정도 억제하지만 사질계 토양에서는 처리된 농약이 토양에 흡착되지 않고 토양수중에 유리되어 있으므로 작물에 흡수가 증대되어 농약잔류량은 많아진다. 그 외에 토양중에서 농약분해의 주역인 토양 미생물의 생활환경과 밀접한 관계가 있는 토양유기물 토양산도, 지온 등에 따라서도

작물의 농약흡수정도가 상이 하므로 매우 복잡다양한데 이에 대한 좀더 구체적인 내용에 대해서는 추후에 다시 언급하기로 한다.

잔류농약의 분포

살포농약 시간경과 따라 감소

농작물에 살포된 농약은 시일의 경과와 더불어 급격히 감소한다. <그림1>은 어떤 농약의 잔류분포를 시일의 경과와 더불어 비교한 것인데 처리당일 즉 살포 직후는 1.0ppm 부근을 정점으로 하여 포물선을 그리는데 특정농도에 해당하는 시료수는 10% 미만이었으나 처리 7일에는 0.4ppm



<그림 1> 시간의 경과에 따른 농작물중 농약잔류량과 시료의 분포 (Bate, 1982)

부근의 잔류농도를 함유하는 시료수가 가장 많았으며 1.0ppm이상의 시료는 거의 없었다. 또한 처리 14일에는 0.3ppm이상의 시료는 얼마되지 않았으며 0.1ppm 부근의 시료가 대부분을 차지하고 있다.

살포후 2일까지 증발에 의한 감소

〈그림 2〉는 진딧물약인 포스팜(phosphamidon)의 사과중 잔류농도의 분포(살포 5 일후)를 보여 주는데 0.1~0.2ppm 범위의 시료가 가장 많아 전체시료의 35% 정도 차지하고 있으며 0.3~0.4ppm에 해당하는 것은 13% 정도, 그외의 농도 범위에서는 10% 미만이었는데, 과실류에 대한 FAO/WHO의 잔류허용량인 0.5ppm 적용시 이를 초과하는 시료

를 10% 미만이였다.

한편 잔류농약의 최대잔류량과 최소잔류량의 차이는 살포후 경과일수와는 무관하게 매우 크며 평균잔류량도 시일의 경과와 더불어 신속히 감소하였는데(그림 3) 살포후 2일까지 잔류량이 급격히 감소한 것은 주로 증발에 의한 감소라 보고 있다.

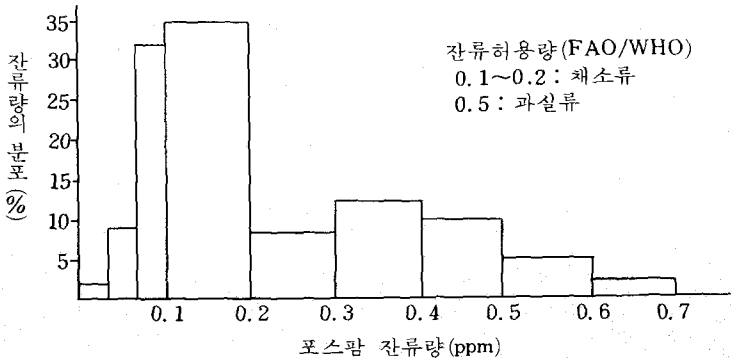
잔류농약의 제거

가. 세척의 효과

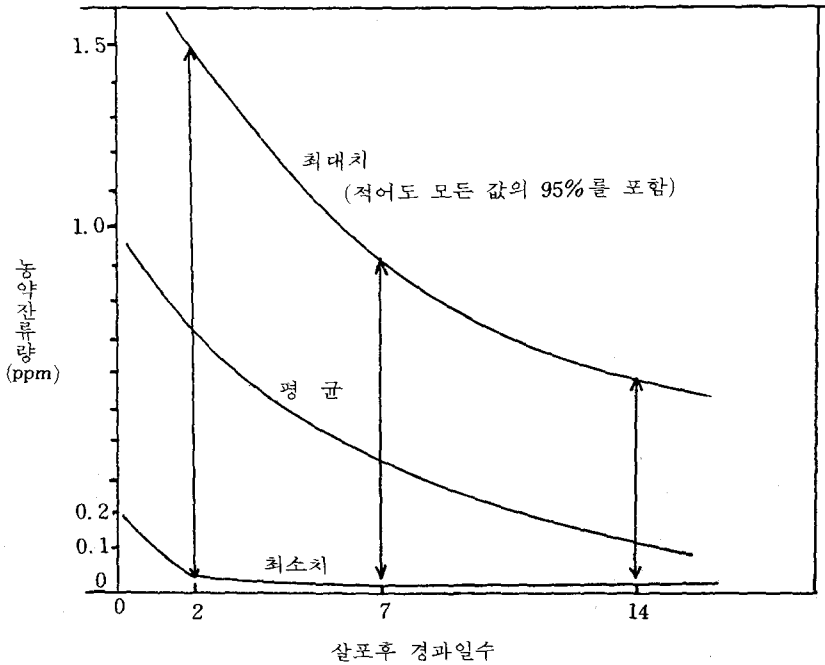
단순물세척으로 80% 이상 제거

앞서 언급한 바와같이 과채류 중 잔류농약의 대부분의 과일의 표면에 잔류하고 있기 때문에 단순한 물세척이나 주방용 세제를 이용한 세척효과는 매우 크다.

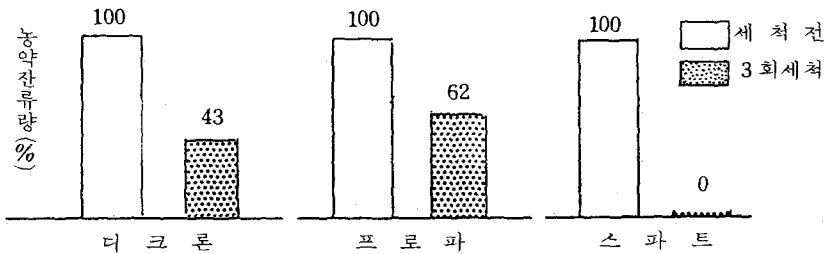
〈그림 4〉는 최근 농촌진흥청 농



〈그림 2〉 사과중 포스팜 잔류량의 분포 (Ambrus, 1978)



(그림 3) 농약의 평균잔류량과 잔류범위를 보여주는 농약의 분해곡선 (Bates, 1982)



(그림 4) 물세척에 의한 딸기중 잔류농약의 감감정도

약연구소에서 조사한 시험결과 인데 과일의 외부형태상 잔류농

약의 제거가 어렵다고 생각되는 딸기도 단순한 물세척만으로도 스

파트 농약은 거의 전부가 제거되었으며, 디크론(유과펜)은 57%, 딸기 잿빛곰팡이병약으로 가장 많이 사용되는 프로파(스미렉스)도 38%나 제거되었다. 고추나 사과등 과일 표면이 매끄러운 과일일수록 세척효과는 매우 높는데, 단순한 물세척으로도 고추의 경우 마라톤은 75% 이상, 타로닐은 89%, 메타는 87%가 제거되었으며, 사과의 경우 디코폴은 물세척만으로도 98%가 제거되었다(85~86, 농약연구소 시험연구 보고서).

나. 박피의 효과

껍질벗기면 잔류량 거의 없어

과일에 있어서 잔류농약의 대부분은 껍질에 잔류하며, 표피의 큐티클층에 녹아 들어간 잔류농약도 그 대부분이 껍질 부분에 잔류하므로 과일을 꺾어서 섭취하게 되면 잔류농약의 대부분이 제거됨으로 보다 안전한 섭취 방법이라 할 수 있겠다.

다. 조리 및 가공처리

껍질벗지는 농작물은 문제안돼

기타 조리과정중에서도 잔류농약의 상당부분이 제거되는데 예를 들면 배추나 양배추의 경

우는 잔류농약의 대부분을 함유하고 있는 외부잎은 조리과정에서 제거되며, 마늘이나 양파같은 것도 조리시 외부 껍질은 제거하게 되는데 가식부의 농약잔류량은 검출되지 않거나 검출된다 하더라도 극미량일 수 밖에 없다.

끓일때는 열에 의해 또 분해돼

또한 가공식품인 경우는 여러 단계의 제조공정을 거치는 동안 상당부분의 잔류량이 열분해등으로 소실되는데 포도의 경우 잼타폴과 메프는 물세척으로 83~95%가 제거되고 통조림 제조시는 100%가 제거되었으며 사과를 쥬스나 잼 제조시 디코폴 잔류량의 44%가 제거되었다 한다.

최근 우리나라에서도 시설재배 면적이 점차 확대 일로에 있으며, 또한 우수품종의 육성개발과 재배기술의 향상으로 일년내내 신선한 과일이나 채소가 우리의 식탁을 풍성케 하고 있다.

최근에 국립보건원이나 국립환경연구원에서는 농작물중 농약잔류량을 조사해오고 있으며 최근에 발표된 연구 논문을 보면 아직까지는 우려할 정도의 높은 잔류량이 검출되는 경우는 거의 없는 것으로 보고 되고 있다.