

RESEARCH ARTICLE

## 새싹보리의 잎 면적이 이산화탄소 흡수에 미치는 영향

강대영<sup>1</sup>, 전성우<sup>1</sup>, 김나은<sup>2</sup>, 김현태<sup>1,2\*</sup>

<sup>1</sup>경상국립대학교 생물산업기계공학과, <sup>2</sup>경상국립대학교 대학원 바이오시스템공학과

## Effect of leaf area of sprouted barley on carbon dioxide absorption

Dae-Yeong Kang<sup>1</sup>, Seong-Woo Jeon<sup>1</sup>, Na-Eun Kim<sup>2</sup>, Hyeon-Tae Kim<sup>1,2\*</sup>

<sup>1</sup>Bio-industrial Machinery Engineering, College of Agriculture and Life Sciences of Gyeongsang National University, Jinju, Republic of Korea

<sup>2</sup>Department of Bio-Systems Engineering, Graduate School of Gyeongsang National University, Jinju, Republic of Korea

\*Corresponding author: kong452@naver.com

†These authors equally contributed to this study as first author.

### Abstract

Global warming is progressing due to the increase of greenhouse gases since the industrial revolution. carbon dioxide is a representative greenhouse gas. carbon dioxide is needed by plants for photosynthesis. there are also studies that photosynthesis is active when the concentration of carbon dioxide in the atmosphere is higher than that of the atmosphere. this can be used to increase carbon dioxide absorption in agriculture. there are studies on the absorption of carbon dioxide by houseplants with large leaf areas. studies related to the amount of carbon dioxide uptake of barley, which have a small leaf area, are lacking. therefore this experiment was conducted to investigate the relationship between carbon dioxide absorption and leaf area of barley. the experiment was conducted by dividing the sprouted barley into 3 groups with different growth conditions. sprouts barley were locked in an airtight box at the same time for three days. air was collected immediately after confinement, and air was collected 5 hours later. the collected air was analyzed for carbon dioxide concentration through a gas analyzer. In group C, the amount of carbon dioxide absorbed per unit time and area was high, indicating that the absorption was not only related to the area of the leaf but also other factors.

**Keywords:** Area, Carbon dioxide, CO<sub>2</sub>, Barley

### Introduction

지구 온난화가 진행되어 지구 평균 기온과 해수 온도의 상승, 눈과 얼음의 용해, 지구 평균 해수면의 상승이 일어나고 있다. 지구 전체로 봤을 때, 1~3°C 상승까지는 식량생산 잠재력이 증가할 것 이나 그 이상 상승하면 감소될 것으로 전망된다. 식량생산량 감소는 식량안보에 악영향을 끼친다



### OPEN ACCESS

DOI: <https://doi.org/10.12972/jame.20220005>

Received: November 15, 2022

Revised: November 22, 2022

Accepted: November 22, 2022

Copyright: © 2022 Journal of Agricultural Machinery Engineering



This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

(IPCC, 2007). 지구 온난화의 원인으로는 온실가스가 큰 비중을 차지한다(Kim, 2019). 2018년 기준 온실가스 중 이산화탄소의 비중이 91.4%로 가장 크다. 국내 기준 이산화탄소는 2012년 399.9 ppm에서 2020년 420.4 ppm으로 매년 0.6%씩 꾸준히 오르고 있다(Korea National Statistical Office, 2021). 2021년 10월 기준 총 55개국이 탄소제로를 문서화 또는 법제화를 통해 탄소 배출을 줄일 것을 천명하고 있다(Energy Economics Research Institute, 2021). 대한민국 정부도 2050 탄소제로 시나리오로 법제화를 앞두고 있다(Korea Policy Briefing, 2021). 광합성은 빛에너지와 물 그리고 온실가스 중 비중이 가장 높은 이산화탄소를 이용한다(Korea Forest Service, 2021). 식물의 광합성은 대기 중 이산화탄소 농도가 증가할 경우 광합성 기관과 대기 간의 이산화탄소 분압 차가 커져 이산화탄소 흡수가 촉진되어 활발히 일어난다(Lee, 2013). 이와 같은 특징을 이용해 식물공장에서 인위적으로 작물이 자라는데 필요한 환경과 대기 중 보다 높은 이산화탄소 농도를 만들어 연중 생산과 같은 시간 대비 높은 수확량을 기대하여 식량부족을 해결할 수 있다(Korea Rural Development Administration, 2021). 실험대상으로 세계 5대 식량 작물 중 하나인 보리로 하였다. 보리가 약 20 cm 정도 되었을 때를 새싹보리라고 부른다(Korea Rural Development Administration, 2021). 당뇨병을 예방할 수 있는 폴리코사놀 성분과 폴리코사놀과 폴리페놀같은 풍부한 항산화물질로 콜레스테롤 감소, 슈퍼옥사이드 디스뮤타아제의 항산화 및 암 예방, 고구마의 20배에 달하는 식이섬유와 45종 이상의 다양한 생리 활성물질, 중성지방 제거, 필수비타민과 미네랄 등으로 신진대사를 원활히 하여 체중감량 등 효능이 알려지면서 가공 또는 식품, 사료 등에 이용되고 있다(Korea Rural Development Administration National Institute of Food Science, 2014). 이산화탄소 흡수와 관련된 논문에는 다섯가지 관엽식물의 광합성에 의한 실내 이산화탄소 제거 능력이 있다(Park SA et al., 2010). 보리 생장에 관련된 논문은 인공조명이 수경재배에서 새싹보리에 성장과 품질에 영향을 끼치는 연구 (Kim, 2021)와 양액 처리에 따른 수경재배 새싹보리 수량과 폴리페놀 및 무기질 함량 비교분석 (Kim and Kim, 2021) 빛과 양액에 대한 연구결과는 있다. 반면 보리의 성장과 관련된 광합성. 이에 필수요소인 이산화탄소와 관련된 연구는 부족한 실정이다. 따라서 잎의 면적이 대체로 큰 관엽식물과 달리 잎의 면적이 작은 새싹보리로 생육 환경이 조절 가능한 식물공장 내에서 잎의 면적에 따른 이산화탄소 변화량을 찾는 것이 본 연구의 목표다.

## Materials and Methods

### Materials

새싹보리는 네이버쇼핑 오스린에서 구입하여 이용하였다. 농촌진흥청 새싹보리 키우기 가이드에 따라 발아를 유도하였다(Korea Rural Development Administration, 2021). 보리 씨앗들을 수돗물에 3회 세척하였다. 이후 12시간동안 어두운 곳에 넣어 침지하였다. 침지가 끝난 보리 씨앗들을 육묘포트에 옮겨 상토에 심어 어두운 곳에서 발아를 기다렸다. 발아 후 하루 2번, 12시간마다 급수하였다. 포트 별로 성장세가 각기 다른 보리들을 세 그룹으로 나누어 실험을 진행하였다. 준비한 상토는 (주)농우바이오에서 제조한 것이다. 배합비는 코코피트 49.88%, 피트모스 28%, 펄라이트 (Perlite) 12%, 질석 (Vermiculite) 5%, 제오라이트 (Zeolite) 5%, 목초액 0.004%, 비료 0.106%, 습윤제 0.01% 이다.

### Methods

본 실험의 장소는 진주 경상국립대학교 Fig. 1에서 진행하였다. 식물공장은 너비 3,000 mm, 길이 6,000 mm, 높이 2,850 mm이다. 식물공장 내 베드는 높이 (2,002 mm), 가로 (1,400 mm), 세로 (700 mm)이다. 새싹보리를 키우는 베드의 위치는 바닥으로부터 722 mm 높이의 2층이다. 온도는 새싹보리가 성장하는데 적절한 범위인 22°C로 설정하였다. 빛은 LED로 제공하였다. 밤낮 구분을 위하여 6시에서 18시까지 켜져 있고, 18시부터 익일 6시까지 꺼져있다. LED의 파장은 Fig. 5와 같이 광합성에 도움을 주는 파랑 파장 450 nm와 식물 성장에 도움을 주는 빨강 파장 660 nm로 설정하였다. 가로와 세로, 높이

모두 200 mm인 아크릴 상자와 주사기를 꽂았다 빼도 밀폐를 유지하도록 하는 Sleeve Septa를 이용해 밀폐상자를 만들었다 (Park et al., 2010; Roh and Sa., 2015). 공기를 채집하는데 일회용 의료기기 주사기를 사용하였다. 주사기 속 공기와 외부를 차단시키기 위한 액체나 기체의 흐름 방향을 조절하는데 사용하는 것으로 3-way stopcock을 사용하였다. 주사기와 3-way stopcock을 결합해 주사기로 채집 후 3-way stopcock의 주사기 주입구 방향을 바꾸어 주사기 속 공기를 외부와 차단하였다. Fig. 10과 같이 앞의 수와 길이에 따라 세 그룹으로 나눈 새싹보리를 밀폐상자로 밀폐시킨 직후 공기를 채집, 5시간 뒤 공기를 채집하였다. 채집한 공기의 성분 파악을 위해 가스 분석기(Gas Chromatography) 를 사용하였다. 불활성 운반체 가스를 이용해 기화 화합물을 분리하고 정량화하는 기법으로 분석한다. 이산화탄소와 메탄을 감지하는 주입구와 아산화질소를 감지하는 주입구를 통해 가스를 주입하여 분석한다. 분석 전 가스 분석기 내 불순물 제거와 표준을 위해 3번 가동 뒤 채집한 공기를 주입한다.



Fig. 1. Outside view of plant factory (Width: 3,000 mm, Length: 6,000 mm, Height: 2,850 mm)



Fig. 2. Soaking barley seed in water



Fig. 3. Soil



Fig. 4. Port

위 과정의 실험을 3일간 총 3번을 거친 뒤 잎의 면적을 측정하였다. 면적을 측정하기 위해 ImageJ 프로그램으로 길이와 면적을 계산하였다. ImageJ는 미국 국립보건원(National Institutes of Health)에서 연구용으로 만든 자바 기반의 이미지 처리 프로그램이다. 이 프로그램으로 그룹 별로 잎의 면적을 측정하였다.

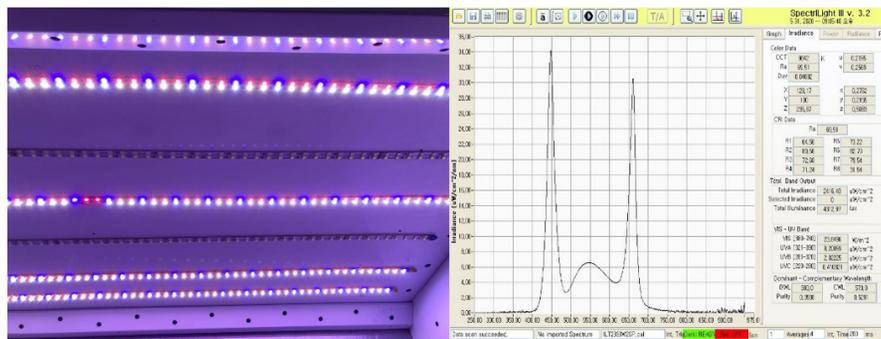


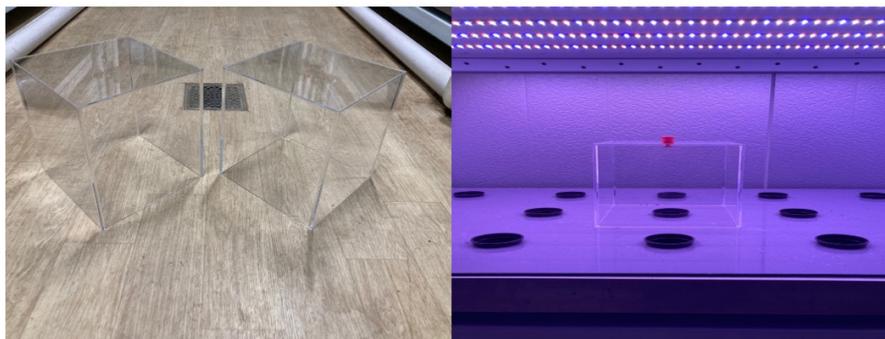
Fig. 5. LED Lights (Blue: 430~480 nm, Red: 645~700 nm)



Fig. 6. Temperature control monitor (temperature: 22°C)



Fig. 7. Barley on the port



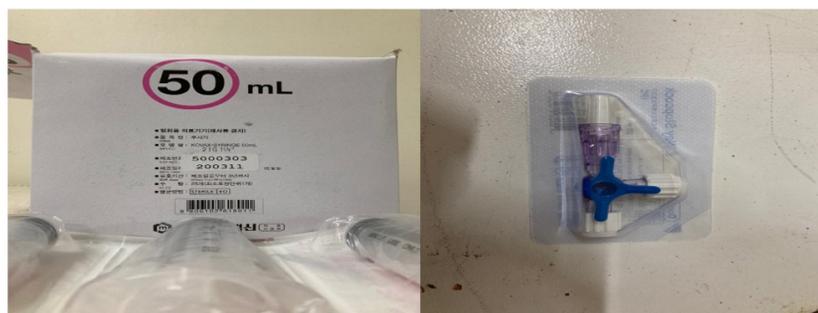
**Fig. 8.** Acrylic box and combined sealed box (Width: 200 mm, Length: 200 mm, Height: 200 mm)



**Fig. 9.** Sleeve septa



**Fig. 10.** 3 Group of barley



**Fig. 11.** Syringe and 3-way stopcock

## Results and Discussion

### 밀폐 직후 채집한 공기의 이산화탄소 농도

그룹 별로 밀폐시킨 직후 공기를 채집하여 가스분석기를 통해 이산화탄소 농도를 분석한 결과는 Table 1과 같다. 식물공장 내 같은 시간에 밀폐 후 채집하여 이산화탄소 농도가 비슷하다는 것을 알 수 있다.

**Table 1.** Carbon dioxide concentration immediately after sealing

Number of Experiments	Group	CO <sub>2</sub> (ppm)
Day.1	Group A	1,073.127
	Group B	1,055.898
	Group C	916.078
Day.2	Group A	877.303
	Group B	980.667
	Group C	945.420
Day.3	Group A	979.006
	Group B	988.348
	Group C	987.175

### 밀폐 5시간 후 채집한 공기의 이산화탄소 농도

그룹 별로 밀폐 직후 5시간 뒤 공기를 채집하여 가스 분석기를 통해 이산화탄소 농도를 분석한 결과는 Table 2와 같다. 밀폐시킨 뒤 보리들이 광합성을 하며 이산화탄소 농도가 감소한 결과를 알 수 있다. 3일 동안 하루 간격으로 측정할 만큼 흐른 시간에 따라 보리가 성장하며 광합성이 더 활발히 일어나 이산화탄소 농도가 더 낮아진 것으로 판단된다.

**Table 2.** Carbon dioxide concentration after 5 hours of sealing

Number of Experiments	Group	CO <sub>2</sub> (ppm)
Day.1	Group A	516.306
	Group B	427.398
	Group C	423.163
Day.2	Group A	268.278
	Group B	321.511
	Group C	364.584
Day.3	Group A	250.047
	Group B	232.097
	Group C	264.186

### 그룹 별 잎의 면적 측정

3일 간 공기 채집을 끝낸 직후 잎의 면적은 Table 3과 같다. Group C가 면적의 합이 가장 작고, 잎의 개수가 가장 적다. Group B는 면적의 합이 가장 크고, 잎의 개수가 가장 많다.

**Table 3.** leaf area measurement by Image J

Group A	Area (cm <sup>2</sup> )	Group B	Area (cm <sup>2</sup> )	Group C	Area (cm <sup>2</sup> )
1	1.39	1	0.79	1	2.98
2	1.49	2	1.38	2	4.03
3	2.16	3	1.57	3	5.15
4	2.53	4	1.66	4	5.57
5	2.62	5	1.82	5	5.77
6	3.18	6	1.85	6	6.83
7	3.32	7	2.17	7	7.31
8	3.75	8	2.37	8	10.21
9	3.89	9	2.37	9	
10	3.18	10	2.84	10	
11	1.39	11	2.89	11	
12	3.89	12	3.15	12	
13	4.43	13	3.16	13	
14	5.52	14	3.96	14	
15	5.93	15	4.15	15	
16	6.27	16	4.20	16	
17	6.42	17	4.26	17	
18	7.21	18	4.52	18	
19	7.48	19	4.94	19	
20	10.05	20	5.27	20	
21		21	5.80	21	
22		22	6.77	22	
23		23	7.13	23	
24		24	8.92	24	
Total	83.02	Total	87.92	Total	47.85



**Fig. 12.** Area calculation using ImageJ

### 그룹 별 이산화탄소 농도 변화

밀폐 직후와 5시간 후의 이산화탄소 농도 차이 Table 4, 흡수량과 흡수율은 Table 5와 같다. 흐른 시간만큼 성장한 보리인 3번째 실험에서 세 그룹 모두 세 실험 중 가장 높은 흡수율을 보여준다. Group A는 74.46%, Group B는 76.52%, Group C는 73.24%로 이산화탄소 흡수율이 가장 높게 나왔다. 잎의 개수와 면적이 가장 큰 Group B가 가장 높은 흡수율을 보여준다.

### 그룹 별 잎의 면적과 시간에 따른 이산화탄소 흡수량

Table 6은 잎이 면적 합과 밀폐시킨 후 5시간동안의 이산화탄소 흡수량의 관계이다. 잎의 개수가 가장 적고, 잎의 면적 합이 가장 낮은 Group C가 가장 높은 단위 시간, 면적당 이산화탄소 흡수량을 보여준다.

**Table 4.** Carbon dioxide concentration (ppm) after sealing and 5hours after sealing

	Group A		Group B		Group C	
	After sealing (ppm)	After 5hours of sealing (ppm)	After sealing (ppm)	After 5hours of sealing (ppm)	After sealing (ppm)	After 5hours of sealing (ppm)
I	1,073.13	516.31	1,055.90	427.40	916.08	432.16
II	877.30	268.28	980.67	321.51	945.42	364.58
III	979.01	250.05	988.35	232.10	987.18	264.19

**Table 5.** Carbon dioxide absorption (ppm) and absorption rate (%)

	Group A		Group B		Group C	
	Absorption (ppm)	Absorption rate (%)	Absorption (ppm)	Absorption rate (%)	Absorption (ppm)	Absorption rate (%)
I	556.82	51.89	628.50	59.52	483.92	52.82
II	609.03	69.42	659.16	67.22	580.84	61.44
III	728.96	74.46	756.25	76.52	722.99	73.24

**Table 6.** Sum of leaf area and carbon dioxide absorption per area (cm<sup>2</sup>) and time (hour)

	Group A	Group B	Group C
CO <sub>2</sub> absorption per unit area and hour (ppm/cm <sup>2</sup> h)	1.341	1.429	2.023
	1.467	1.499	2.428
	1.756	1.720	3.022
Sum of area of leaves (cm <sup>2</sup> )	83.02	87.92	47.85

## Conclusion

같은 장소에 있는 그룹들을 각각 밀폐시킨 직후의 이산화탄소 농도가 비슷하며, 5시간 동안 광합성이 일어나며 이산화탄소 농도가 낮아짐을 알 수 있다. 3일차 실험에서 이산화탄소 농도가 가장 낮아졌음을 알 수 있으며 이는 3일 동안 실험이 이루어지며 성장함에 따른 이산화탄소 흡수량 차이라고 판단된다. 흡수율을 보면 잎의 면적이 가장 크고, 개수가 가장 많은 Group B가 가장 높은 76.52%이나, 단위 시간, 면적당 이산화탄소 흡수량은 잎의 면적이 가장 작고, 수가 가장 적은 Group C에서 가장 높은 3.022 ppm/cm<sup>2</sup>h이다. 본 실험을 통해 새싹보리의 잎 면적과 이산화탄소 흡수량에 관한 관계를 알아보았다. 잎의 개수와 잎의 면적이 가장 큰 새싹보리에서 가장 많은 이산화탄소를 흡수한다. 참고 문헌의 관엽식물 실험과 같이 새싹보리도 잎의 면적이 넓을수록 더 많은 이산화탄소를 흡수한다. 하지만 단위 면적당 이산화탄소 흡수량에서는 다른 경향을 보인다.

## Acknowledgements

본 성과물은 농림축산식품부의 농식품 기술융복합 창의인재양성사업 지원에 의해 이루어진 것임 (717001-7)

## References

- Bernstein L, Bosch P, Canziani O, Chen Z, Christ R, Davidson O...Yohe G. (2007). 4<sup>th</sup> Evaluation Report. IPCC .URL: [http://www.climate.go.kr/home/n\\_search/search\\_view.php?dist=&bbs\\_name=&no\\_bbs=5559&act=&go=&s\\_keyword=%EC%A0%9C4%EC%B0%A8+%ED%8F%89%EA%B0%80%EB%B3%B4%EA%B3%A0%EC%84%9C](http://www.climate.go.kr/home/n_search/search_view.php?dist=&bbs_name=&no_bbs=5559&act=&go=&s_keyword=%EC%A0%9C4%EC%B0%A8+%ED%8F%89%EA%B0%80%EB%B3%B4%EA%B3%A0%EC%84%9C)
- Kim SM. (2019). A Study on the International Regulations on GHG emissions from International Shipping. Environmental Law and Policy (Env.L.P.). DOI : <https://doi.org/10.18215/elvp.23.201909.141>
- Korea National Statistical Office. (2022, July). Changes in the annual concentration of CO<sub>2</sub>. [https://www.index.go.kr/potal/main/EachDtlPageDetail.do?idx\\_cd=1399](https://www.index.go.kr/potal/main/EachDtlPageDetail.do?idx_cd=1399)
- Kim MJ, Kim SR & Kim CH. (2021). Global Carbon Neutral Declaration Trends and Assessment. World Energy Market Insight vol.21-12. URL
- Cabinet Office Carbon Neutral Committee. (2021, October 18). Final Government Carbon Neutral Goals 40% reduction in 2030 and zero net emissions in 2050. Korea Policy Briefing. <https://www.korea.kr/news/policyNewsView.do?newsId=148894458>
- Korea Forest Service. (2022). Root, Stem, Leaf and Flower of Plants. [https://www.forest.go.kr/kfsweb/kfi/kfs/cms/cmsView.do?mn=NKFS\\_03\\_13\\_03\\_06\\_01&cmsId=FC\\_000155](https://www.forest.go.kr/kfsweb/kfi/kfs/cms/cmsView.do?mn=NKFS_03_13_03_06_01&cmsId=FC_000155)
- Lee HS, Lee SJ, Lee JC, Kim KW & Kim PG. (2013). Effects of Elevated CO<sub>2</sub> Concentration and Temperature on Physiological Characters of *Liriodendron tulipifera*. Korea Journal of Agricultural and Forest Meteorology Vol. 15, No.3, (2013), pp. 145~152. <https://doi.org/10.5532/KJAFM.2013.15.3.145>
- Kim KK. (2018). Agricultural Technology Guide 191. <https://www.nongsaro.go.kr/portal/ps/psb/psbx/cropEbookFileViewPop.ps?indexPage=6&indexBasePage=1&cropsEbookFileNo=00001&ebookCode=173>
- Kim KK. (2018). Agricultural Technology Guide 118. <https://www.nongsaro.go.kr/portal/ps/psb/psbx/cropEbookFileViewPop.ps?indexPage=8&indexBasePage=-1&cropsEbookFileNo=00001&ebookCode=152>
- Seo WD, Sim KW. (2014). Part 12 Prevention of DIABETES and Hyperlipidemia in Sprout Barley[Youtube]. [https://www.youtube.com/watch?v=vyFJb\\_utSzk](https://www.youtube.com/watch?v=vyFJb_utSzk)
- Park SA, Kim MG, Yoo MH, Oh MM & Son KC. (2010). Comparison of Indoor CO<sub>2</sub> Removal Capability of Five Foliage Plants by Photosynthesis. Kor. J. Hort. Sci. Technol. 28(5):864-870, 2010. <https://www.researchgate.net/publication/263998514>
- Kim SJ. (2021). The effect of artificial lights on the growth and quality of hydroponic cultivated barley (*Hordeum vulgare* L.) sprouts. J Plant Biotechnol (2021) 48:62–70. DOI: <https://doi.org/10.5010/JPB.2021.48.1.062>
- Kim KC & Kim SJ. (2021). Comparative analysis of hydroponically cultivated barley sprouts yield, polyphenol and mineral content by nutrient solution treatment. J Plant Biotechnol (2021) 48:193–200. DOI: <https://doi.org/10.5010/JPB.2021.48.3.193>
- Roh GH & Sa JH. (2015). Estimation Rate and Green House gas Flux from Wastewater Treatment Plants using Closed Chamber Method. J. Korea Society of Environmental Administration Vol. 21. No. 1, 15~22 (2015. 3). URL: [https://www.dbpia.co.kr/pdf/pdfView.do?nodId=NODE06522570&mark=0&useDate=&ipRange=N&accessgl=Y&language=ko\\_KR&hasTopBanner=true](https://www.dbpia.co.kr/pdf/pdfView.do?nodId=NODE06522570&mark=0&useDate=&ipRange=N&accessgl=Y&language=ko_KR&hasTopBanner=true)