

HPLC 분석에서 컬럼유속과 이동상 용매강도의 변화에 따른 카보닐 표준시료의 검출특성

이기한 · 김기현[†]

세종대학교 지구환경과학과 대기환경연구실

Detection Characteristics of a HPLC Method on Carbonyl-DNPH Derivatives in Relation with Column Flow and with Solvent Strength of Mobile Phase

Ki-Han Lee and Ki-Hyun Kim[†]

Department of Earth & Environmental Sciences, Sejong University, Seoul 143-747, Korea

A number of carbonyl compounds in the atmosphere such as ketones and aldehydes can harmfully affect the human health as primary and secondary pollutants, respectively. In order to analyze these compounds, one of the most reliable methods include the analysis of their 2, 4-dinitrophenylhydrazine (DNPH) derivatives through an application a reversed-phase High Performance Liquid Chromatographic (RP-HPLC) technique. The main purposes of this study are to examine the detection characteristics of the HPLC method against carbonyl-DNPH derivatives in relation with column flow and solvent strength of mobile phase. The overall results of our study indicate that changes in column flow sensitively affect the detectability, while solvent strength influences more on their resolution.

Key wordw : Carbonyl, Ketone, Aldehyde, HPLC, Column flow, Solvent strength, Mobile phase

1. 서 론

알데하이드와 케톤류로 분류하는 카보닐계 성분들은 대류권에서 광화학반응을 통해 생성되는 탄화수소의 첫 번째 산화물에 해당한다.¹⁾ 카르보닐 화합물들은 광화학 스모그의 전구물질로서 O₃의 생성에 직간접적으로 영향을 미치기 때문에 광화학 스모그의 특성을 규명하는데 대단히 중요한 역할을 한다.²⁾

카보닐 계열의 물질을 분석하는 방법으로는 불꽃 이온화 검출기 (Flame Ionization Detector: FID) 및 다양한 검출기를 장착한 Gas Chromatography (GC) 방식 또는 High-Performance Liquid Chromatography/Ultraviolet detector (HPLC/UV) 등을 활용할 수 있다. 그런데 GC로 분석하는 경우, HPLC/UV 방식에 비해 상대적으로 분석감도가 낮고 검출한계가 높은 단점이 있다.³⁾ 카보닐계 성분들은 화학적으로 불안정하기 때문

에, 보다 안정한 화합물로 유도체화하여 분석하는 것이 일반적이다. 특히, 2, 4-DNPH (dinitrophenylhydrazine)와 같은 성분은 카보닐계 화합물과 효과적으로 반응하여 안정한 유도체를 형성하는 것으로 잘 알려져 있다.^{4,6)}

1984년 미국 환경보호청 (Environmental Protection Agency, EPA)은 알데하이드와 케톤화합물을 임핀저를 이용해 2, 4-DNPH에 흡수시켜 분석하는 방법인 TO-5를 제시하였다.⁷⁾ 1987, 1999년에 DNPH 카트리지가 흡수법을 이용하는 TO-11, 11A를 개발한 이후, 이러한 방법들을 실제 연구에 적용하는 빈도가 점차 증가하고 있다.^{8,9)} 카보닐계 화합물을 DNPH로 유도체화하여 HPLC/UV로 분석하는 방법은 이미 국·내외에서 많은 연구자들도 시도하고 있다.¹⁰⁻¹²⁾ 이러한 연구결과들에 의하면, 저분자량인 카보닐 계열의 성분들을 분리하기 위해, HPLC/UV법을 사용할 경우 분리능과 정밀도가 뛰어나다는 장점들을 확인시켜주고 있다.

[†]To whom correspondence should be addressed.

HPLC에 기초한 알데하이드 성분들의 분석방식을 체계적으로 이해하기 위해, DNPH 유도체의 안정도, 정밀도, 여러 조절인자들(pH, 검출과장 등)에 대해 많은 연구들을 시도한 바 있다.^{10,13)} 따라서 현재 많은 연구실에서 HPLC기법에 기초하여 알데하이드 계열의 악취 성분 등을 분석하고 있다, 그렇지만, 이러한 시스템을 알데하이드류의 분석에 적용하는 것과 관련한 여러 가지 분석화학적 특성에 대해서는 아직도 이해가 부족한 실정이다.

본 연구에서는 역상 고성능액체크로마토그래피 (Reversed-Phase (RP)-HPLC)를 이용한 알데하이드 성분의 분석방법에 대한 이해의 폭을 넓히기 위하여 일반적으로 고려해주어야 할, 여러 가지 분석학적 특성을 비교평가하고자 하였다. RP-HPLC에서는 이동상과 함께 이동하는 분석물질이 고정상에 대한 분배계수에 따라 분리가 이루어진다. 이러한 특성을 조사하기 위해, 두 가지 분석조건의 변화(컬럼 내 유속의 변화 및 이동상의 용매강도)를 유도하였다. 그리고 이러한 변화가 DNPH로 유도체화한 카보닐화합물들의 검출특성에 어떠한 영향을 미치는 가를 알아보하고자 하였다.

2. 재료 및 방법

HPLC를 포함하는 크로마토그래피 방식의 분석기법을 적용할 경우, 통상적으로 유속의 변화는 분리능에 영향을 미친다. 또한 유속의 완급이 피크의 넓어짐 또는 겹침 현상을 유도할 수도 있다. 또한, HPLC에서 역상컬럼을 사용할 경우, 이동상의 극성 증가에 따른 용매강도의 변화로 분석물질의 머무름시간이 증가하기도 한다. 따라서 유속의 변화 및 용매의 강도변화와 같은 인자들이 분리능이나 감도에 미치는 정도가 피크의 정확한 분리를 유도하는데 중요한 역할을 한다.

HPLC기법을 적용한 UV검출방식은 분석대상성분들

에 대한 선택성이 강하고, 기울기 용리를 적용하는 것이 가능한 특성을 가지고 있다.¹³⁾ DNPH 자체는 349 nm에서 최대흡광도를 나타내지만, 포름알데하이드-DNPH (364 nm), 아세트알데하이드-DNPH (368 nm), 부틸알데하이드-DNPH (369 nm)와 같이 탄소수가 증가할수록 λ_{max} 가 점차 장파장으로 이동하는 경향을 보인다.¹⁰⁾ 본 연구에서는 포름알데하이드와 C₁~C₆에 해당하는 주요 알데하이드-DNPH유도체를 포함하는 총 8개의 성분들을 주 분석대상으로 설정하였다(Table 1). 따라서 이렇게 분석대상으로 설정한 성분들의 검출 특성을 고려하여, 360 nm로 검출과장을 고정한 상태에서 분석을 실시하였다.

2.1 분석기기 및 조건

알데하이드 성분의 비교분석을 위해 HPLC/UV (Lab Alliance, Model 500)시스템을 기초로 설정한 조건에서 실험을 실시하였다. HPLC용 펌프는 이중 헤드펌프 (dual head pump)를 이용하여, 이동상의 압력변화에 따른 노이즈 (noise)가 최소화된 상태를 유지하게 유도하였다(Table 2). DNPH 화합물의 형태로 이루어진 카보닐화합물들은 비극성이기 때문에, 컬럼은 비극성인 C18 (25 cm × 4.6 mm, particle size 5 μ m, Hichrom)을 사용하였다. 또, 시료를 주입하는 장치에는 20 μ l 루프를 사용하여 안정적인 시료주입을 유도하였다.

2.2. 표준시료의 제조

표준시료를 제조하기 위해, Carbonyl-DNPH (Mix 1 Catalog NO. 47285-U, Supelco)의 원액 15 ng/ μ l를 15, 25, 50, 150, 300 배의 희석배율로 아세토나이트릴 (Acetonitrile: 이하 ACN)과 희석해 주었다. 이를 통해, 다섯 가지(각각 0.05, 0.1, 0.3, 0.6, 1.0 ng/ μ l)의 농도대로 표준시료를 준비하였다. 이들 표준시료는 마이크로 피펫을 이용하여(중간농도대를 사용하지 않고), 표준

Table 1. A list of target carbonyl compounds for the analysis

Full name	Short name	Chemical Formula	Mol. Weight g/mol
Formaldehyde	Form-A	HCHO	30
Acetaldehyde	Acet-A	CH ₃ CHO	44
Propionaldehyde	Propion-A	CH ₃ CH ₂ CHO	58
Crotonaldehyde	Croton-A	CH ₃ CH=CHCHO	70
Butyraldehyde	Butyr-A	CH ₃ CH ₂ CH ₂ CHO	72
Benzaldehyde	Benz-A	C ₆ H ₅ CHO	106
Isovaleraldehyde	Isovaler-A	(CH ₃) ₂ CHCH ₂ CHO	86
Valealdehyde	Valer-A	CH ₃ (CH ₂) ₃ CHO	86

Table 2. An operating condition of HPLC/UV system for the analysis of carbonyl compounds

Order	HPLC/UV	Lab Alliance, Model 500
1	Pump:	Dual head pump system
2	Mobile phase ratio (ACN : Water):	[1] 6 : 4, [2] 6.5 : 3.5, and [3] 7:3
3	Column:	C18 (Hichrom: particle size 5 μm) 25 cm x 4.6 mm
4	Column flow rate (ml/min):	[1] 1.5, [2] 2.5, and [3] 3.5
5	Loop size (μl):	20

원액을 바로 ACN과 혼합하는 방식으로 제조하였다. 제조과정에서 카보닐 성분의 손실(휘발 등)을 막기 위하여, ACN과 원액은 매 순간마다 파라필름을 이용하여 밀봉해 주었다.

2.3. 실험방법

HPLC의 분석특성을 조사하기 위해, 본 연구에서는 두 가지의 독립변인(컬럼 내 유속, 이동상 용매강도)을 주요 비교 분석기준으로 설정하였다. 이러한 조건들에 변화를 유도하는 방식으로 HPLC의 기기적 감응과 검출특성을 파악하고자 하였다. 또, 두 가지 실험 모두에서 검출한계나 재현성 확인 등을 위해, 반복분석을 하는 것을 기본으로 하였다.

2.3.1. 유속변화실험

HPLC 컬럼의 유속은 분석대상성분이 모두 분리되는 범위 내에서 3개의 유속조건(1.5, 2.5, 3.5 ml/min)으로 변화시켜 주었다. 그리고 이들 유속조건에서 준비한 표준시료를 각 1회씩 분석하는 방식으로 검량선을 작성하였다. 이와 같이 유속변화를 주 변인으로 하는 실험을 편의상 실험 1로 정의하였다. 이 때, 모든 실험에서 이동상은 7:3 비율 (Acetonitrile: Water)으로 고정된 조건에서 실시하였다. 이러한 분석조건에서 재현성의 확인을 위해 0.1 ng/ μl 의 표준시료는 3회 반복 분석을 실시하였다.

2.3.2. 이동상 비율 (용매강도)변화실험

비교실험을 위한 이동상 비율은 Acetonitrile:Water 기준으로 다음과 같이 3개 조건(① 7 : 3, ② 6.5 : 3.5, ③ 6 : 4)을 설정하였다. 그리고 이들 조건을 실제로 변화시켜 주면서, 준비한 표준시료를 각 1회씩 분석하였다. 이와 같이 이동상의 비율을 변인으로 설정한 실험을 편의상 실험 2로 정의하였다. 이처럼 이동상의 비율을 조절하는 실험 2는 모두 유속을 1.5 ml/min으

로 고정한 조건에서 실시하였다. 단, 이러한 분석조건에서의 재현성 확인을 위해, 0.1 ng/ μl 은 3회 반복 분석하였다.

3. 결과 및 고찰

유속변화실험(실험 1)과 이동상 용매강도변화실험(실험 2)의 결과로 확보한 모든 자료로부터 검정곡선의 기울기 값과 상관계수 (r^2)값을 구하였다. Table 3에는 이 두 가지 실험으로부터 구한 결과를 동시에 비교할 수 있게 제시하였다. 각 실험에서는 0.31~0.93 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 범위의 검출한계, 2.35% 이하의 상대표준오차를 보일 정도로 우수한 재현성 및 검출한계를 기록하였다(Table 4A, B).

3.1. 유속변화실험 결과

본 연구의 결과, 동일한 용매강도에서 이동상의 유속이 느려질수록, 피크의 면적 값이 더크게 나타났다 (Fig. 1). 포름알데하이드의 경우, 3.5 ml/min의 유속에서 143,290, 2.5 ml/min에는 201,790의 피크면적을 기록하였다. 따라서, 3.5 ml/min 일 때에 비해 2.5 ml/min조건에서 1.4배 증가하였다. 그리고 1.5 ml/min의 경우, 피크면적이 343,580으로 3.5 ml/min의 조건보다 2.4배 증가하였다. 포름알데하이드 이외의 성분들도 마찬가지로 3.5 ml/min에서 1 ml/min씩 감소할 때마다, 피크면적이 각각 1.4, 1.7배 수준으로 증가하였다. 그 결과, 전체적으로 3.5 ml/min일 경우보다 2.4~2.5배 수준으로 피크면적이 증가하는 것으로 나타났다. 반면, 피크의 높이는 일정한 수준 이내에서 변화하지 않는 것으로 나타났다. 검량선의 기울기에 대한 r^2 값은 0.99 이상의 높은 값이 일관성있게 나타났다.

3.2. 용매강도변화실험 결과

본 연구진이 기획한 실험 2는 용매강도의 변화를 조

Table 3. Results of calibration analysis of carbonyl compounds under varying conditions

Mobile Phase (ACN : H ₂ O)	Flow rate (ml/min)	Compounds								
		Form-A	Acet-A	Propion-A	Croton-A	Butyr-A	Benz-A	Isovaler-A	n-Valer-A	
7 : 3	1.5	Slope	343580	258730	200950	177540	162720	120250	138100	133190
		r ²	0.9998	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999
	2.5	Slope	201790	151460	117840	103830	95080	70350	80880	78120
		r ²	0.9982	0.998	0.9975	0.9973	0.9975	0.9964	0.9972	0.9976
	3.5	Slope	143290	107720	83620	73510	67210	48640	57020	55240
		r ²	0.9999	0.9999	1.0000	0.9999	0.9999	0.9938	0.9999	0.9998
6.5 : 3.5	1.5	Slope	341700	256030	197640	174910	161320	117060	120100	133040
		r ²	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	0.9999	1.0000	1.0000
6 : 4	1.5	Slope	346170	258650	198960	174600	141610	117210	118550	116460
		r ²	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999
		Mean	343820	257800	199180	175680	155220	118170	125590	127560
	1.5	SD	2247	1537	1666	1614	11805	1802	10866	9618
		RSE	0.38	0.34	0.48	0.53	4.39	0.88	5.00	4.35

Table 4. Comparison of two fundamental analytical parameters: Detection Limit & Reproducibility

A. Detection Limit										
Mobile Phase (ACN : H ₂ O)	Flow rate (ml/min)	Compounds								
		Form-A	Acet-A	Propion-A	Croton-A	Butyr-A	Benz-A	Isovaler-A	n-Valer-A	
7 : 3	1.5	$\mu\text{g}/\text{m}^3$ *	0.49	0.64	0.83	0.94	1.03	1.39	1.21	1.25
		ppb*	0.39	0.35	0.34	0.32	0.34	0.31	0.34	0.35
	2.5	$\mu\text{g}/\text{m}^3$ *	0.83	1.10	1.42	1.61	1.75	2.37	2.06	2.14
		ppb*	0.66	0.60	0.59	0.55	0.59	0.54	0.58	0.60
	3.5	$\mu\text{g}/\text{m}^3$ *	1.16	1.55	2.00	2.27	2.48	3.43	2.93	3.02
		ppb*	0.93	0.85	0.83	0.78	0.83	0.78	0.82	0.84
6.5 : 3.5	1.5	$\mu\text{g}/\text{m}^3$ *	0.49	0.65	0.84	0.95	1.03	1.43	1.39	1.25
		ppb*	0.39	0.36	0.35	0.33	0.35	0.32	0.39	0.35
6 : 4	1.5	$\mu\text{g}/\text{m}^3$ *	0.48	0.65	0.84	0.96	1.18	1.42	1.41	1.43
		ppb*	0.39	0.35	0.35	0.33	0.39	0.32	0.39	0.40

* A total sample volume of 15 L was assumed

B. Reproducibility (RSE %)

Mobile Phase (ACN : H ₂ O)	Flow rate (ml/min)	Compounds							
		Form-A	Acet-A	Propion-A	Croton-A	Butyr-A	Benz-A	Isovaler-A	n-Valer-A
7 : 3	1.5	0.14	0.02	0.55	0.84	0.93	0.88	0.65	1.95
	2.5	1.45	1.29	1.75	1.32	1.21	1.25	1.67	1.27
	3.5	1.13	0.97	0.23	1.27	0.50	1.56	1.94	1.27
6.5 : 3.5	1.5	0.06	0.28	1.00	0.78	1.84	2.35	0.70	0.66
6 : 4	1.5	0.49	0.83	0.64	1.14	1.82	0.95	1.37	0.48

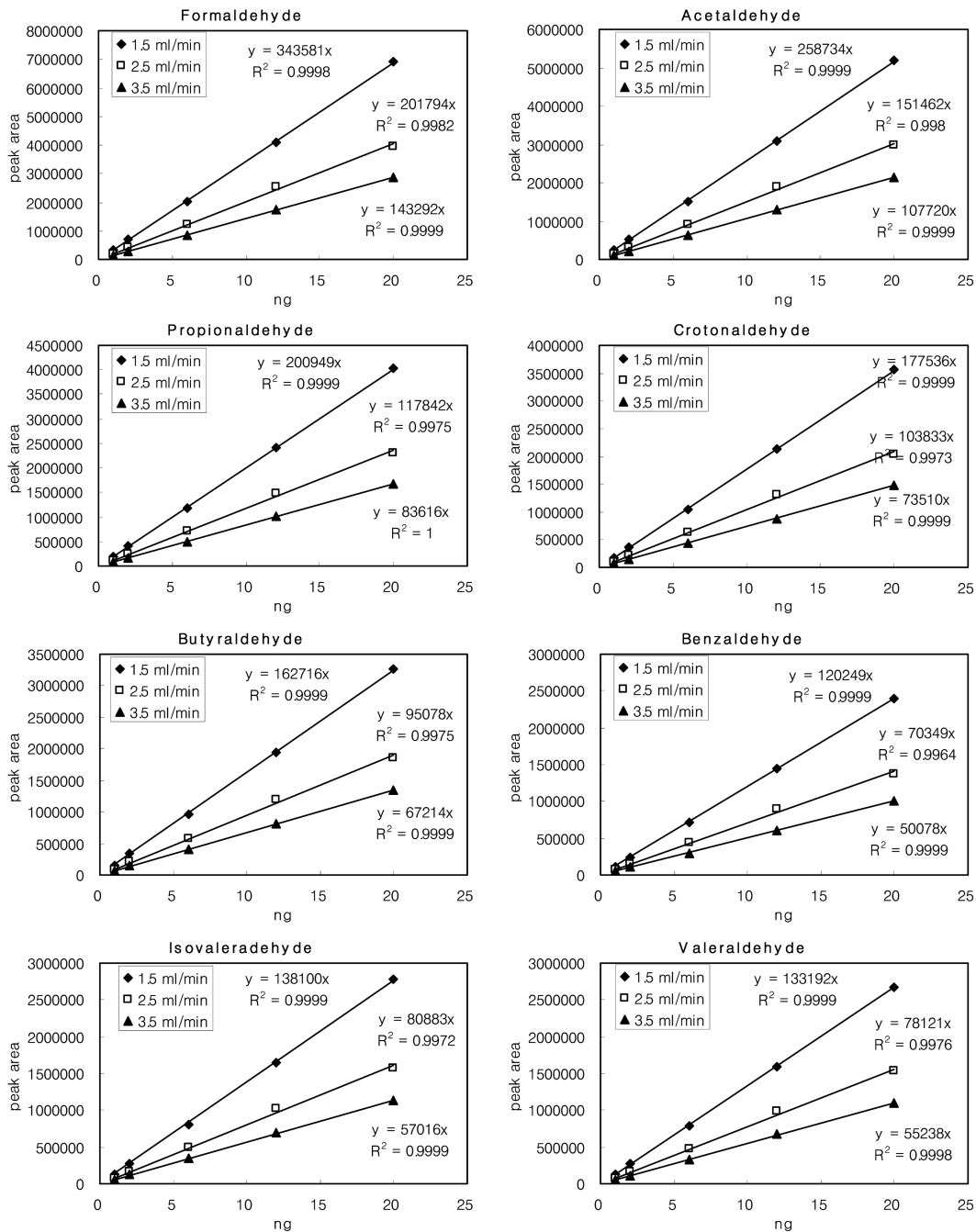


Fig. 1. Comparison of calibration curve under the conditions of varying column flow rates.

을하기 위해, 이동상의 비율을 변화시켜 주면서 진행하였다. 그 결과, 용매강도의 변화가 검량선의 기울기 값에 별다른 변화를 주지 않는 것을 확인할 수 있다(Fig. 2). 이 결과는 Table 3에 제시한 1.5 ml/min에서의 상대표준오차 값이, 5% 이하로 나타난 것으로부터 확인

할 수 있다. 그러나 검량선의 기울기에 대한 r^2 값은 0.9998 이상으로 상당히 높은 수준을 유지하였다.

3.3. 고찰

본 연구에서 두 가지 분석인자의 변화에 따른

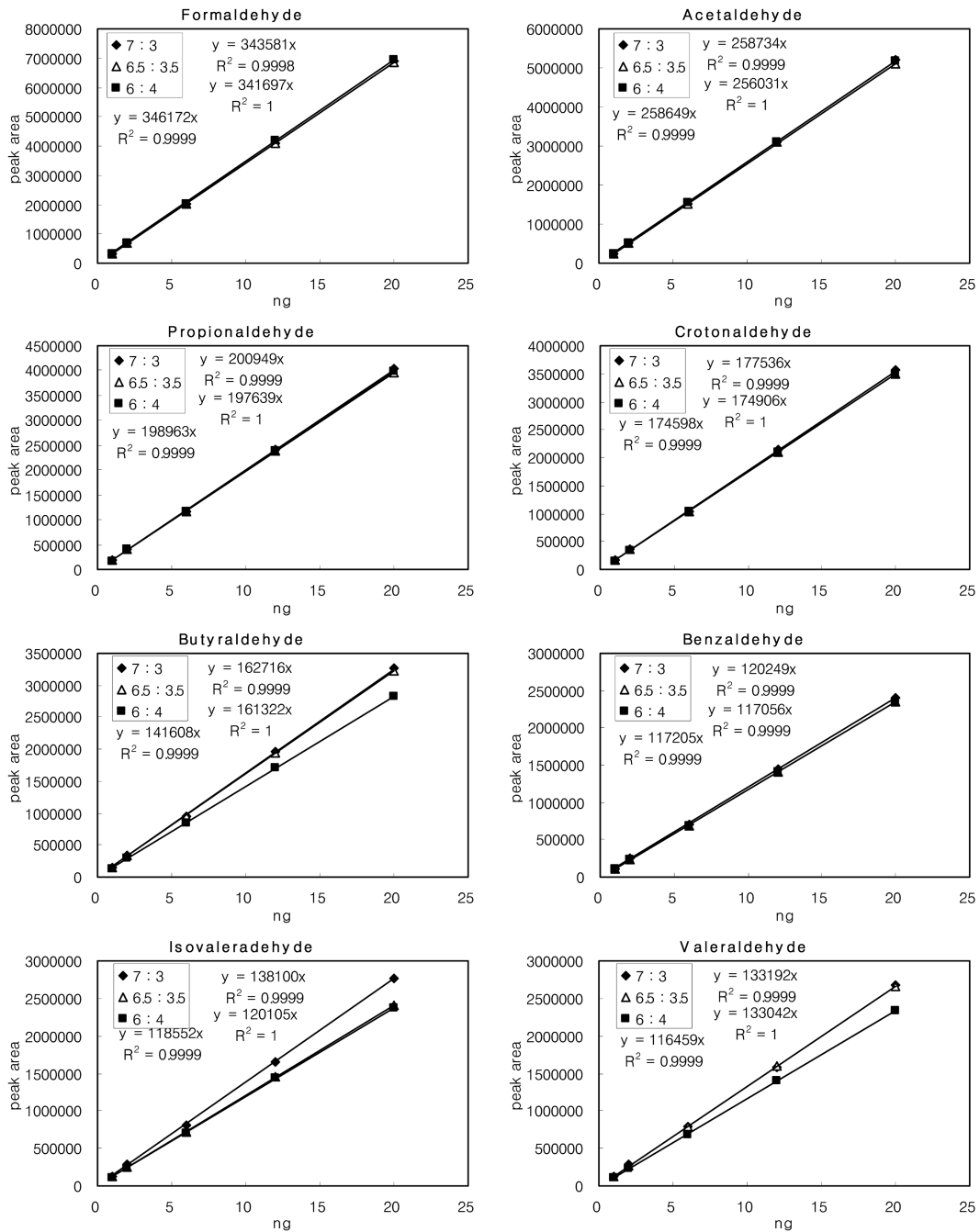


Fig. 2. Comparison of calibration curve under the conditions of varying solvent strengths.

HPLC 검출특성의 변화양상을 조사하였다. 그리고 여기서 한 걸음 더 나아가서 이들 결과를 이론단수 (N) 나 분리도 (R_s) 등과의 연계성을 설명해 보고자 시도해 보았다(Table 5, 6). 유속변화실험에서는, 표준시료 중 분석대상물질의 분리가 가능한 범위 내에서 컬럼 내 유

속이 감소할수록 피크면적이 증가함을 알 수 있었다. 이 결과에 의하면 피크높이의 변화는 미미한데 반해, 피크의 폭만 증가하는 경향을 보였다. 따라서, 피크의 넓어짐 효과 (broadening effect)가 발생했다고 할 수 있다(Table 5). 그러나 피크높이에 비해 폭이 증가하는

Table 5. The number of theoretical plates (N) and Resolution (Rs) with carbonyl compounds at varying column flow rates (7:3, 2 ng injection)

Flow rate ml/min	Compounds	PH	T _R min	W _b	N	Rs
1.5	Form-A	6455	2.88	0.08	20736	
	Acet-A	4304	3.35	0.10	17956	5.22
	Propion-A	3000	4.27	0.10	29173	9.20
	Croton-A	2489	4.92	0.11	32008	6.19
	Butyr-A	1949	5.49	0.13	28535	4.75
	Benz-A	1477	5.89	0.13	32845	3.08
	Isovaler-A	1394	6.92	0.14	39091	7.63
	Valer-A	1348	7.31	0.15	37999	2.69
2.5	Form-A	6191	1.77	0.05	20051	
	Acet-A	4133	2.06	0.06	18860	5.27
	Propion-A	2823	2.62	0.06	30508	9.33
	Croton-A	2317	3.01	0.07	29584	6.00
	Butyr-A	1810	3.36	0.09	22300	4.38
	Benz-A	1362	3.61	0.09	25742	2.78
	Isovaler-A	1288	4.24	0.09	35511	7.00
	Valer-A	1253	4.48	0.10	32113	2.53
3.5	Form-A	6133	1.28	0.04	16384	
	Acet-A	4072	1.50	0.04	22500	5.50
	Propion-A	2501	1.91	0.05	23348	9.11
	Croton-A	2271	2.20	0.06	21511	5.27
	Butyr-A	1766	2.45	0.06	26678	4.17
	Benz-A	1332	2.63	0.06	30742	3.00
	Isovaler-A	1238	3.08	0.07	30976	6.92
	Valer-A	1221	3.26	0.07	34702	2.57

Table 6. The number of theoretical plates (N) and resolution (Rs) in the analysis of carbonyl compounds with respect to solvent strength (1.5 ml/min, 2 ng injection)

Flow rate ml/min	Compounds	PH	T _R min	W _b	N	Rs
7 : 3	Form-A	6455	2.88	0.08	20736	
	Acet-A	4304	3.35	0.10	17956	5.22
	Propion-A	3000	4.27	0.10	29173	9.20
	Croton-A	2489	4.92	0.11	32008	6.19
	Butyr-A	1949	5.49	0.13	28535	4.75
	Benz-A	1477	5.89	0.13	32845	3.08
	Isovaler-A	1394	6.92	0.14	39091	7.63
	Valer-A	1348	7.31	0.15	37999	2.69
6.5 : 3.5	Form-A	5710	3.31	0.09	21642	
	Acet-A	3610	3.98	0.11	20946	6.70
	Propion-A	2379	5.35	0.13	27098	11.4
	Croton-A	1999	6.34	0.14	32813	7.33
	Butyr-A	1493	7.20	0.15	36864	5.93
	Benz-A	1155	7.92	0.16	39204	4.65
	Isovaler-A	1024	9.44	0.17	49336	9.21
	Valer-A	959	10.1	0.19	44766	3.39
6 : 4	Form-A	4941	3.89	0.11	20009	
	Acet-A	2888	4.84	0.14	19123	7.60
	Propion-A	1855	6.85	0.16	29327	13.4
	Croton-A	1545	8.41	0.18	34927	9.18
	Butyr-A	1134	9.70	0.18	46464	7.17
	Benz-A	834	11.0	0.20	48664	7.00
	Isovaler-A	761	13.3	0.24	48767	10.1
	Valer-A	719	14.2	0.25	51693	3.92

경향은 크지 않게 나타났다. 따라서, 상대적으로 감도가 증가하였다고 설명할 수 있다. 용매강도변화실험에서는 용매강도는 피크높이를 촉진하고 폭이 좁아지는 것으로 나타났다. 따라서, 피크가 점점 민감하게 감응하였다는 것을 알 수 있다(Table 6). 그러나 이러한 변화가 slope값에 거의 영향을 미치지 않는다는 것을 확인할 있었다. 그러므로, 용매강도의 변화로 인해, 머무름시간, 피크폭, 피크높이 등이 변하지만, 피크면적 및 slope 값에는 거의 영향을 주지 못하였다.

두 실험에서 분리도 (Rs)값을 비교해 보면, 실험 1에서는 유속의 감소로 인한 피크의 넓어짐현상으로 머무름시간이 증가하여도 분리도는 일정한 수준을 유지한다는 것을 확인할 수 있다. 반면, 실험 2에서는 용매강도가 감소하여 머무름시간이 증가하게 되면, 분리도가 증가하는 것을 알 수 있다(Table 5, 6). 결국 컬럼 내 유속이 감소할수록, 감도가 증가하는 결과를 보인다. 그렇지만, 이러한 변화가 분리도에는 영향을 미치지 않는다는 것을 알 수 있다. 한편, 이동상의 용매강도가 감소할수록 분리도는 증가하였지만, 감도에는 별다른 영향을 미치지 않는 것으로 나타났다.

4. 결 론

본 연구에서는 DNPH로 유도체를 형성한 알데하이드 화합물을 HPLC/UV방식으로 분석하는 기법을 개발하고자 하였다. 이러한 분석방식을 적용하여 분석할 때, 나타나는 카보닐화합물의 기본적인 분석특성을 기술하고자 하였다. 역상크로마토그래피를 이용한 알데하이드 화합물의 분석을 위해, 컬럼 내 유속과 용매강도를 주요한 변수로 설정하였다. 그리고 이들 조건의 변화 상황에서 실험의 최적의 조건을 찾고자 하였다. 본 연구의 결과로 컬럼 내 유속의 변화는 분석가능한 범위 내에서 감도의 변화에 영향을 미치지만, 분리도에는 별다른 영향을 미치지 않는다는 것을 확인하였다. 이와는 반대로 용매강도의 변화는(상충적인 효과 때문에) 감도변화보다는 분리능에 보다 주로 영향을 미치는 인자라는 것을 확인할 수 있었다.

크로마토그래피를 이용한 기기의 운용에 있어서, 분석대상물질에 적절한 운용조건을 찾기 위해서는 많은 시간과 실험에 대한 이해가 필요하다. 이러한 시간적인 투자를 줄이기 위해서, 하나하나의 조건에 따른 변화를 관찰하고 기록하여 자료로 남겨두는 것이 중요하다. 본 연구를 통해 확인한 결과는 HPLC분석 기법의 적용에 있어, 역상크로마토그래피의 기본특성을 파악하는데 기본적인 자료로 활용할 수 있을 것이라 기대한다.

참고문헌

1. Müller, K., *Chemosphere*, **1997**, 35(9), 2093-2106.
2. 여현구, 최민규, 선우영, *대기환경공학회*, **2002**, 24(10), 1711-1721.
3. 정지연, 박승현, 이광용, 오세민, *한국산업위생학회지*, **2000**, 10(1), 126-146.
4. Kuwata, K. Uebori, M. and Yamazaki, Y., *Journal of Chromatography A*, **1979**, 211(3), 378-382.
5. Andersson, G., Andersson, K., Nilsson, C. A. and Levin, J.-O., *Chemosphere*, **1979**, 8(10), 823-827.
6. Beasley, R. K., Hoffmann, C. E., Rueppel, M. L. and Worley, J. W., *Anal. Chem.*, **1980**, 52(7), 1110-1114.
7. Environmental Protection Agency (EPA), **1984**, Method for the determination of aldehyde and ketone in ambient air using high performance liquid chromatography (HPLC), method TO-5.
8. Environmental Protection Agency (EPA), **1987**, Method for the determination of formaldehyde in ambient air using adsorbent cartridge followed by high performance liquid chromatography (HPLC), method TO-11.
9. Environmental Protection Agency (EPA), **1999**, Method for the determination of formaldehyde in ambient air using adsorbent cartridge followed by high performance liquid chromatography (HPLC) method TO-11A (Active Sampling Methodology).
10. 최영옥, 최윤정, *대한화학회지*, **1999**, 43(4), 438-446.
11. 문경환, 변상훈, 최달용, 이은일, 오은하, 김영환, *한국환경보건학회지*, **2006**, 32(1), 19-26.
12. Grandy K., carsten S. Christensen, *Atmo. Environ.*, **1997**, 31(10), 1403-1415.
13. 홍윤정, 김기현, *한국분석과학회*, **2005**, 18(1), 43-50.