総 説

[木材学会誌 Vol. 54, No. 5, p. 245-254 (2008)]

韓国の建築物における揮発性有機化合物関連の最近の研究動向*1

孫 章烈*2, 方 昇基*3, 趙 佑鎮*4, 李 徹球*5

A Literature Survey of Research Trends of Volatile Organic Compounds and Field Indoor Air Quality in Korea*1

Jangyeul SOHN*2, Seungki PANG*3,
Woojin CHO*4 and Chulgoo LEE*5

Recently research on volatile organic compounds (VOCs) has been conducted and published in journals of research societies such as Architectural Institute of Korea, Society of Air conditioning and Refrigeration Engineers of Korea, Korea Institute of Ecological Architecture and Korean Society of Living Environment System since the late 1900's in Korea. This study reviews all articles on VOCs research in these four journals to produce a bibliography and determine the research trends. All articles are classified into three different topics as follows; 1) Laboratory research on building materials and field research on the concentration of pollutants, 2) Kinetic properties of pollutants and strategies for their control, and 3) Hazardous effects of IAQ on occupants. It was found that much research on VOCs has been conducted since 2005, especially in the above topics 1) and 2). Research about topic 3) has not been carried out as much as about topics 1) and 2), because it has only been begun very recently.

Keywords: VOCs, Indoor Air Quality, Formaldehyde (HCHO), Literature Survey.

室内空気質関連の研究の内、揮発性有機化合物（以下 VOCs）に関する研究の動向を把握するために大韓建築学会、大韓設備工学会、韓国生態環境建築学会及び韓国生活環境学会の論文集における関連論文を調べた。調査対象期間は2001年1月から2006年12月までであり、4学会で発表された VOCs に関する論文を三つの分野に分けて研究動向を把握した。三つの分野は、1) 室内で汚染物質を放散させる建築資材におけるチャンバー実験と室内汚染物質濃度の実態調査、2) 汚染物質の挙動及び室内空気質の改善方法、3) 空気質が在室者に及ぼす影響である。調査の結果、VOCs に関する研究は2005年以降、特に1)と2)の分野で活発に行われていること、また3)の分野は最近になって研究が始まったため研究の幅が他の分野ほど広くはないことが把握できた。

1. 序 論

空気環境に関する韓国での基準には環境部の多衆

利用施設の室内空気質管理法、建設交通部の建築法、保健福祉部の公衆衛生管理法、教育人的資源部の学校保健法などがあり、各法律ごとに対象としている

*1 Received September 7, 2007; accepted June 13, 2008.

*2 漢陽大学校建築大学 College of Architecture, Hanyang University, Seoul, Korea

*3 慶尙大学建築科 Department of Architecture, Kyungmin College, Uijeongbu, Korea

*4 漢陽大学校大学院建築工学科 Department of Architectural Engineering, Graduate School of Hanyang University, Seoul, Korea

*5 世明大学校建築工学科 Department of Architectural Engineering, Semyung University, Jecheon, Korea

建物の種類や空気環境の基準を定めている。Table 1 に多衆利用施設の室内空気質管理法をはじめ、韓国における室内空気質関連の法律及びそれらの主要内容を示す。環境部では1995年に統一した室内空気質管理法の制定を目的に公聴会等を開催して意見を樹立した。1996年には地下生活空間の空気質管理法を提案して地下駅、地下商店街等の地下生活空間での空気質を管理するための基準を設けた。また2003年4月には既存の地下生活空間の空気質管理法を多衆利用施設の室内空気質管理法に改正して2004年5月30日より施行している。この法の内容は新築共同住宅を対象にVOCsとホルムアルデヒド（以下HCHO）の室内空気中濃度を測定して入居者が入居する3日前までに告示しなければならないということである。また、この法では6種の物質と各物質に対する濃度基準を決めており、HCHO $210 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 、ベンゼン $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 、トルエン $1000 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 、エチルベンゼン $360 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 、キシレン $700 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 、スチレン $300 \mu\text{g}/\text{m}^3$ としている。ちなみに、この法律名でいう多衆利用施設とは不特定多数が利用する施設である地下の駅舎、地下街、ターミナルなどの待合室、図書館、博物館、大型店舗、病院などを意味しており、普通の言い方では公共施設とも言える。

本論文は室内空気質 (Indoor Air Quality) 分野の内、VOCs に関する研究の傾向を分析し、その動向を把握することを目的としている。このため2001年1月より2006年12月までに論文集に掲載された韓国語の論文を学会と発刊年度で調べた。調査対象であった韓国の学会は大韓建築学会 (AIK, Architectural Institute of Korea)、大韓設備工学会 (SAREK, Society of Air-conditioning and Refrigerating Engineers

of Korea)、韓国生態環境建築学会 (KIEAE, Korea Institute of Ecological Architecture and Environment) 及び韓国生活環境学会 (KSLES, Korean Society of Living Environmental System) である。この内、大韓建築学会は計画系の論文集のみを調査対象にした。

2. 掲載論文数及び著者数

Table 2 に調査対象にした学会の論文集に掲載された全体論文数とその中での VOCs に関する論文数を年度別に示す。また、Fig. 1 に全体の論文数と VOCs に関する論文数の比率を示す。Table 2 と Fig. 1 から VOCs に関する研究は2001年1月より関連論文が発表され始め、2005年に入ってから比較的に活発な研究が行われていると考えられる。

対象期間における掲載論文数は54報で、著者の数は述べ164名であるが、複数の論文に名前が載っている著者を1名として数えると合計54名である。一方、論文1報当たりの著者数は述べ3.0名、複数の論文を発表した著者を1名として数えると1.7名である。また、著者1名当たり6年間で0.3報を発表しており、複数の論文を発表した著者を1名として数えると0.6報である。

Table 2 に示すように、掲載されたすべての論文の内、VOCs 関連の論文の比率を論文集別にみると2006年を除いて韓国生態環境建築学会が最も大きい値を示しており、その次は韓国生活環境学会である。このことは2学会に建築環境及び設備を専門としている研究者が相対的に多く参加しているためと考えられる。大韓建築学会と大韓設備工学会は VOCs 関連の論文の比率が比較的低い値を示しているが、大

Table 1. Indoor air quality-related law in Korea.

Dept.	Law	Corresponding buildings	Controlled Item	Enacted year	Remarks
Ministry of Environment	Indoor air quality administration law about public facilities	Underground subway station, Underground shopping center, Library, Museum, Art gallery, Hospital, Indoor parking lot, New mansion, Terminal (bus, train, airport, harbor)	CO, CO ₂ , HCHO, Dust (PM10), Floating bacteria	2003	Extended law of existing [Underground indoor air quality administration law]
Ministry of Construction and Transfer	Building law	Same as indoor air quality administration law about public facilities	Necessary amount of ventilation according to building type	2006	New clause
Ministry of Health and Welfare	Public sanitary administration law	Hotel, Bathhouse, Barbershop, Beauty salon, Laundry	CO, CO ₂ , HCHO, Dust (PM10)	1999	Extended law of existing [Public sanitary law]
Ministry of Education and Human Resources Development	Health law of schools	School	CO, CO ₂ , HCHO, Radon, NO ₂ , VOCs, Dust (PM10), Floating bacteria	2005	New clause

Table 2. The number of all articles and articles relative to VOCs.

YEAR	Journals								TOTAL	
	AIK ^{a)}		SAREK ^{b)}		KIEAE ^{c)}		KSLES ^{d)}			
	Total	VOCs	Total	VOCs	Total	VOCs	Total	VOCs	Total	VOCs
2001	286	0	153	1	13	1	13	0	465	2
2002	309	0	135	0	32	1	20	0	496	1
2003	299	2	134	1	28	1	19	0	480	4
2004	342	2	154	1	46	2	32	3	574	8
2005	328	9	148	6	31	4	41	1	548	20
2006	399	9	132	6	34	0	38	4	603	19
Total	1963	22	856	15	184	9	163	8	3166	54

^{a)} AIK : Architectural Institute of Korea.

^{b)} SAREK : Society of Air-conditioning and Refrigeration Engineers of Korea.

^{c)} KIEAE : Korea Institute of Ecological Architecture and Environment.

^{d)} KSLES : Korean Society of Living Environmental System.

Fig. 1. The ratio of articles relative to VOCs among all articles.

韓建築学会の場合は建築環境設備分野以外にも建築計画, 建築史, 建築デザイン分野の論文の掲載も多く, また大韓設備工学会の場合は機械分野の論文の掲載も多いため, 建築環境設備分野の論文は相対的に少ない。従って建築環境設備分野の一つであるVOCs関連の論文も絶対数では大韓建築学会と大韓設備工学会に多く発表されているが, 相対的には韓国生態環境建築学会と韓国生活環境学会の方が多くなっている。

3. VOCs 関連の研究動向

Kim, Y. S. ら (2006)¹⁾ は既存の研究を, 1) マンションにおける室内空気質の測定及び評価, 2) ベークアウト (bake-out) による室内空気質改善の評価, 3) 換気システムによる室内空気質改善の評価, 4) 建築資材からの汚染物質放散量の測定評価の4種類に大分類したが, 本研究ではこれを一部修

正し, 1) 資材実験及び実態把握, 2) 汚染物質の挙動及び室内空気質の改善方法, 3) 室内空気質が在室者に及ぼす影響の3種類に大分類した。

3.1 資材実験及び実態把握

各種建物の室内における汚染物質濃度に関する実態の把握及び一般建築資材と環境にやさしい建築資材より放散される汚染物質の特性を把握する分野である。小分類としては, ①建築資材におけるVOCs及びHCHOの放散特性評価, ②室内空気質の実態調査がこの分野の代表的な研究であると言える。

3.1.1 建築資材におけるVOCs及びHCHOの放散特性評価

Yoo, B. H. ら (2001)²⁾ は日本の新築住宅を対象にして8ヶ月の間VOCs濃度変化の推移を調査し, 濃度減少推移を5つの類型に分類した。類型1, 2, 3は一定のパターンのある物質, 類型4, 5は各々1個の物質として分けており, 類型1は個別物質の濃度が竣工直後に相対的に高くなり, その後急速に減衰する物質と定義し, この類型に属する物質は現在韓国の室内空気質管理法で対象にしているトルエン, エチルベンゼン, *m,p*-キシレン, *o*-キシレン, 1,2,3-トリメチルベンゼンとした。類型2は竣工直後には類型1より低濃度であるが, 時間の経過に従って減少と増加を繰り返しながら減衰するスチレン, ベンゼンなど, 類型3は測定期間中, 1個のピークだけを示す物質として分類した。Shin, D. M. ら (2001)³⁾ は7種類の物質についてASTM D 5116-97試験法により放散速度と総放散量を測定するとともに直接計算法と一次減少モデルを利用して時間による濃度減少をモデリングした。Kim, H. S. と Lee, K. H. (2003)⁴⁾ は小形チャンバー法 (JIS A 1901, 以降も同様) を適用してペイントより放散される個別汚染物

質である HCHO と 14 種の VOCs の放散速度を測定した後、時間経過による総揮発性有機化合物 (TVOC) と HCHO の濃度減少モデルとしての推移曲線を作成した。Park, J. C. (2003)⁵⁾ はアングルとトタンで造られた 1×1×1 m の実験室においてコンクリート、雲母、石膏ボード及び黄土の壁を対象にラドンの放散量を測定した。そして、ステンレスとガラスで構成されている 0.14 m³ (直径 0.5 m, 高さ 0.7 m) の円筒型チャンパーにおいて韓国産の油性、水性ペイントと外国産の天然油性、水性ペイント及び PVC 系列の床材 3 種 (Pet, Non UV, UV) を対象に VOCs の放散量を調べた。また、約 5.5 坪の半地下世帯をモデルに各壁面から同じラドンが放散すると仮定し、換気用窓と開口部が 1 個ずつ設置された場合を対象にして換気回数による室内のラドン濃度をシミュレーションした。

Pang, S. K. ら (2004)⁶⁾ は VOCs と HCHO の測定ができるシステムを提案した後、水性ペイント 4 種、油性ペイント 4 種、接着剤 4 種及び石膏ボードなどで作られた軽量間仕切りサンプルを対象に先のシステムを用いて 6 時間の間 4 回にわたってベンゼン、トルエン、エチルベンゼン、*m*, *p*-キシレン及び *o*-キシレンの放散速度を測定し、その結果を用いて温湿度と換気回数の変化による汚染物質放散量を比較分析した。Lee, Y. J. ら (2004)⁷⁾ は実際の住宅におけるオンドル (床暖房) 用床と家具を設置して室内の VOCs 放散実態を把握し、また小形チャンパー法を用いて家具と床を構成する材料の VOCs 放散速度を調べた結果、室内に取り付けた家具ではトルエンの放散が最も多く、測定対象物質の中で *m*, *p*-キシレンを除いては時間経過による濃度減少パターンが類似であると結論づけた。

Pang, S. K. ら (2004)⁸⁾ は室内の壁を構成する石膏ボード、コンクリート、モルタルを用いて 12 個の試験体を製作した後、小形チャンパー法を利用して各々の材料から放散する VOCs を測定した。その結果、TVOC 濃度減少を指数関数を用いて予測し、それに従って毎測定別に VOCs の放散速度を累積して予測モデルを作成できるとの結論を得た。Yu, H. K. ら (2005)⁹⁾ は建築資材の内、家具用木材、床、ビニル系床材、環境にやさしい壁紙、一般壁紙、断熱壁紙、ペイント及び接着剤など合計 20 個を対象に、韓国の空気清浄協会の建築資材認証等級に従って試験結果をまとめた。その結果、木材製品とペイントは各々 HCHO と TVOC の主な放散源であり、また壁紙では HCHO も TVOC もほとんど放散しないことを確認した。

Kim, Y. S. ら (2006)¹⁾ はマンションで使われる壁紙 2 種、床材 4 種、接着剤 2 種を対象に小形チャンパー法を用いて TVOC と HCHO について、7 及び 28 日目の放散速度を測定した。

3.1.2 室内空気質の実態調査

Lee, Y. G. と Han, K. W. (2003)¹⁰⁾ は冬季ソウルと首都圏に位置している 5 ケ所の新築マンション団地 37 世帯を対象に化学発光測光方式の測定器を用いて室内の HCHO 濃度の実態を把握し、高層ほど HCHO の濃度が増加すると結論づけた。さらに、測定時の温度、湿度及び世帯の場所に関するデータを用いて線形回帰式を作成した。

Yu, H. K. ら (2006)¹¹⁾ は壁を構成する 2 種類の複合資材と、床を構成する 2 種類の複合資材を対象にし、その資材を構成するモルタル、石膏ボード、上張り用糊、壁紙、接着剤及びオンドル床などからの HCHO と TVOC 放散速度を調べ、また小形チャンパー法を用いて HCHO は 7 日間 4 回、TVOC は 20 日間 7 回の放散速度を調べた。また 2.7×3 m の 2 部屋の実物大実験室にオンドル床と石油化学製床を設け、実験室施工時に使われる軽量気泡コンクリートより 247~373 µg/m³ の HCHO が放散することを把握した。また天然材料を室内の仕上げ材料にした場合、接着剤として環境にやさしい接着剤でない一般の接着剤を使うと接着剤の養生が終わるまでは TVOC が 767~5953 µg/m³ 放散することを確認した。

Lee, Y. G. と Kim, C. N. (2004)^{12, 13)} は竣工後 1~2 年経過したソウル地域のマンション 18 世帯にて 2006 年 6 月に公示された公定試験法*1 を用いて HCHO と VOCs を測定した。主な室内空気汚染物質の濃度は、新築から 1~2 年経過しても適正水準以下に保たれることは難しいことを明らかにした。また、低層部より高層部の方が室内空気汚染物質の濃度が高く、ベランダを拡張した世帯がそうでない世帯より汚染物質放散量が多いという研究結果を導いた。Chun, C. Y. ら (2005)¹⁴⁾ は夏期 49 戸、冬季 96 戸の別々の世帯を対象にして測定及び設問調査を行い、HCHO、トルエン、エチルベンゼンが韓国の住宅における代表的な VOCs 汚染源であることを確認し、またマンション、戸建住宅及びアパートにおける HCHO と VOCs の季節別濃度差に明らかな傾向はないとの結論を得た。季節による差がないのは夏期に窓を開けて生活するためと判断している。

Kim, C. N. と Lee, Y. G. (2005)¹⁵⁾ は実物大実験室に

*1 室内空気質の測定における汚染物質別の試験のプロセスとして韓国の環境部で定めた規定

において開口部を開け、換気を保った状態で個別物質の濃度がどのように変わるかを測定した。測定対象物質はベンゼン、トルエン、キシレン、エチルベンゼン、スチレン、HCHOであり、その中でキシレンとHCHOを除いた主な個別物質が実験7日を起点にして濃度が著しく低下することを確認した。Yu, H. K. ら (2006)¹⁶⁾ は実物大実験室とワンルームの施工中における室内空気汚染物質の放散量変化を分析し、施工過程で室内空気を汚染させる建築資材と施工方法を把握した。その結果、HCHOは一般的な建築資材よりは木材を材料にするドアと家具から多く放散し、トルエンの放散量も大きく増加するという結論を得た。また軽量気泡コンクリート施工時にHCHOが多く放散し、防水ペイントの施工後は室内のキシレン濃度が基準値を上回る結果となった。

Kim, T. W. ら (2006)¹⁷⁾ は小学校2ヶ所、中学校1ヶ所の一般教室と特別教室を対象に簡易測定器を用いてTVOCとVOCsを測定し、対象学校のTVOCとHCHO濃度が学校の室内空気質基準値を上回ることを明らかにした。Moon, H. J. (2006)¹⁸⁾ はアメリカに建てられている2ヶ所の省エネ住宅と5ヶ所の一般住宅を対象に気密性能、換気量、室内のTVOC濃度、そして断熱パネルと接着剤及び発泡スチロールからのVOCsの個別物質放散速度を調べた。その結果、気密性能の優れている省エネ住宅で補助機械換気設備を備えた場合のTVOC濃度は一般住宅とほぼ同じ値を保つことができることが明らかとなった。Yee, J. J. ら (2006)¹⁹⁾ はプサン地域の新築の小学校3ヶ所、中学校2ヶ所を対象に温湿度、じん埃、CO、CO₂及びHCHO濃度を測定した。その結果、CO₂濃度は1676~3376 ppm、じん埃は150 µg/m³以下、HCHO濃度は室内空気管理法の基準値を上回ることを確認した。

Kim, Y. D. と Lee, Y. G. (2006)²⁰⁾ は新築のマンションで放散する汚染物質、またその住宅で使われた各々の建築材料から放散する汚染物質を測定した。測定は34坪と46坪それぞれ3世帯ずつ冬季に暖房をしてから行われ、測定項目はVOCsとHCHOであった。また建築資材については木材の床材4種、PVCの床マット8種、ペイント2種及び接着剤5種を対象に小形チャンバーを利用してVOCsの放散速度を把握した。測定の結果、新築のマンションでは高層になるほどVOCsの濃度が高いことを把握し、これは室温の差、施工方法及び煙突効果による影響であると結論づけた。小形チャンバーでの実験結果は実験対象資材の内、PVC床材から最も多くのVOCsが放散することを明らかにした。

Kim, Y. D. (2006)²¹⁾ は総合病院1ヶ所の病室と控室、ソウルの地下鉄の駅1ヶ所の改札口と乗り場、そしてバスターミナルの切符売り場と乗り場における室内空気環境の実態を把握した。測定項目はTVOC、HCHO、CO、CO₂、NO_x、ラドン、浮遊細菌、じん埃及び石綿であり、VOCsは24種の個別物質を対象にして分析した。測定の結果、各公共利用施設での室内空気にはトルエンの濃度が最も高かった。地下鉄ではじん埃とNO₂が基準値を超過し、じん埃はバスターミナル乗り場でも基準値を超過した。TVOCはすべての施設で基準値を超過した。またラドンはどの場所でも基準値を超過していないが病院で最も高いことが把握できた。

Cho, H. ら (2006)²²⁾ は新築マンション8ヶ所36世帯を対象にしてVOCs及びHCHO濃度を測定した。測定の結果、ベンゼン、エチルベンゼン、スチレン、キシレン及びHCHOは測定当時の室内相対湿度が高くなるに従ってその濃度が増加し、トルエンは湿度による濃度上昇はないが、測定対象世帯全体で室内濃度基準値を超過していることを明らかにした。Han, K. W. ら (2006)²³⁾ は2005年3月から8月までソウル及び首都圏に位置している29団地387世帯を対象にしてVOCsとHCHO濃度の実態を調査した。調査の結果、トルエンは調査対象中29.5%が基準値である1000 µg/m³を上回り、HCHOは37.5%が基準値である210 µg/m³を上回ることを明らかにした。

この分野では、建築資材から放散される汚染物質の放散速度及び減少に関する特性を明確にする研究、そして住宅の種類や経過年数、仕上り材及びマンションにおける各世帯の階数などによる室内空気質の実態を調査した研究が行われている。

3.2 汚染物質の挙動及び室内空気質の改善方法

室内空気質の改善のための方法を研究した分野である。小分類として、①換気システムと給排気口などについてのCFD解析及びこれに係わる汚染物質の濃度分布評価、②室内の条件変化(家具、床、壁貼りなど)による室内汚染物質の濃度予測、③汚染物質放散材料の使用制限及び環境にやさしい材料の適用評価、④室内空気質改善のための製品及び方法の適用(ベークアウト、各種添加剤、コーティング剤など)が主な研究分野と言える。

3.2.1 換気システムと給排気口などについてのCFD解析及び汚染物質の濃度分布評価

Yee, J. J. ら (2005)²⁴⁾ は空気清浄機能を持っている換気ユニットと全熱交換器を新築マンションの天井に取りつけてシステムの性能評価を実施した。その結果、HCHOよりTVOCの濃度低減効果が大きく、

奥の間では最大85%, 居間では最大62.5%の濃度減少率を示したことを報告している。Lee, Y. J. ら (2005)²⁵⁾ は自然換気と機械換気の二つの換気モードで制御されるハイブリッド換気システムをマンションに適用した後, 簡易測定器を使ってTVOCとHCHOの濃度低減効果を調査し, またTRNSYSプログラムを利用してエネルギー消費量などを評価した。その結果, 機械換気+全熱交換器+自然換気を実施する場合が室内空気質の維持及び熱環境の面で一番優れているが, エネルギー消費量は自然換気のみを実施する場合より61%増加することを明らかにした。Choi, S. Y. ら (2006)²⁶⁾ はマンションに換気装置を取り付け, 換気量の変化による室内空気質の改善効果を検討した。その結果, 換気回数を1.5回/hにした場合, HCHOは58%, トルエンは60%ほどの濃度減少があることを確認した。

Ryu, M. S. と Kim, C. N. (2004)²⁷⁾ は現在生産されているエアクリナーの中にある, 光触媒でコーティングされているフィルターを対象に, 等しい断面積を持つフィルターにおいて断面形状, 長さ等を変化させながら数値解析を実施し汚染物質の除去性能を調査した。解析に使った汚染物質はトリクロロエチレンであり, 研究の結果, フィルターの圧力降下面では矩形断面を持つフィルターが望ましいが, 反応面積が少ないため三角断面を持つフィルターより除去性能が低いことがわかった。また入口と出口から無次元長さが3倍になる所では紫外線の強さが0に近いこと、TiO₂を利用した光触媒反応がほとんど生じず, これ以上フィルターの長さを増やしてもVOCs除去量は増加しないという結果を導いた。

Kim, J. H. ら (2005)²⁸⁾ は住居の床材料として広く用いられているオンドル床を対象に, 小形チャンバーで得た測定値を利用して資材内部の拡散係数と初期濃度を推定した。測定及び数値解析の結果, 資材内部の温度が増加するほど放散初期の空気中TVOC濃度は増加する一方, 資材の温度が50℃以上で8日が経過するとTVOC濃度はむしろ少なくなることを把握し, その理由は初期に資材温度が増加するほど汚染物質拡散速度が増加して資材の汚染物質含有量が速く減少するためであると結論付けた。また換気による効果について, 換気率の増加とともにTVOC濃度は減少するが, 換気率が2回/hより大きくなると換気率増加による濃度減少率が著しく低下することを明らかにした。さらに様々な材料で構成されている資材の場合, 温度を高く維持すれば汚染物質の放散量が急激に増加しながら相対的に濃度が低い資材への移動が起きる可能性があるとし, これ

に関する研究が必要であるとしている。

Lee, S. C. ら (2001)²⁹⁾ は室内建材に含有されているVOCsが空気中に放散される過程をモデリングし, 等しい空気流量が室内に流入される場合と, 流量が変化する場合のVOCsの挙動を経時的にシミュレーションした。床面に汚染源を設けた場合のシミュレーションで, VOCsの放散量が初期にかなり大きく現われ, これを迅速に取り除くためには初期に流量変化を実施した方が効果的で, 汚染物質の濃度拡散係数が小さい場合は外部流動性にあまり影響を受けないので流入空気の温度を変化させるベークアウト技法と流量を調節する技法を一緒に使うのが効果的であると結論づけた。

Kim, H. S. と Lee, K. H. (2002)³⁰⁾ はマンションに使われる建築内装材の中で家具, タイル材, ペイント, 木材及び壁紙材を対象に小形チャンバー法を用いてTVOC放散速度を測定し, 得られた温度, 湿度, 換気量変化による放散特性から推移線を作成した。その結果, 家具材料, 木材類, ペイントの場合は48時間, 壁紙とタイルは9時間が経過してから汚染物質の濃度が低くなることを明らかにした。

Lee, C. G. ら (2006)³¹⁾ はカーペットが設置された部屋を対象にシミュレーション方法を用いて室内空間でのVOCs挙動を解析した。解析の結果, カーペットより放散されるVOCsの濃度は初期に高い値を示すが時間の経過とともに指数関数的に減少し, 減少の程度は各個別物質ごとに差があることを明らかにした。またシミュレーションの結果, 入口と出口に換気条件を与える場合は時間の経過に従ってカーペットより放散されるVOCs物質の室内空間での濃度は低くなり, エチルベンゼンは240時間, 1, 2, 3-トリメチルベンゼンは120時間が経過してから濃度が急激に低くなることを確認した。

Kim, T. Y. (2004)³²⁾ は室内汚染物質放散源の寄与率解析のために吹き出し口と排出口を持つモデル室を仮定しシミュレーションを実施した。シミュレーション条件は室内温度20℃, 換気回数3.3回/h (吹き出し風速0.12 m/s) であった。その結果, 室内の汚染についての影響は側面壁が最も大きく, 実際の汚染物質放散速度を考慮すると室内の汚染濃度の構成比は床面が30%を占め最大の値を示すとした。

Yee, J. J. ら (2005)³³⁾ は空気清浄機能のある全熱交換器ユニットを室内空間に適用し室内の空気環境をシミュレーションした。シミュレーションは実際のマンションにおいてダクトなし型と埋め込みダクト型の2種類を対象に換気, 空気清浄及び換気と空気清浄が同時になされる3種類のケースについて実施

した。その結果、換気効率は給排気口の位置と数によって異なり、また換気と空気清浄モードを同時に稼動する方が、換気または空気清浄のみを稼動するよりも、室内空気質を著しく改善させることができるという結論を得た。Kim, J. Y. ら (2005)³⁴⁾ は自然換気性能を高めるための平面計画のため汚染濃度分布を解析し、換気回数を0.3~10.0回/hに変えながら室内汚染物質の濃度分布をシミュレーションした。その結果、一番多い面積を占めている壁体の影響が最も大きく、汚染物質の濃度は部屋の気流と資材の分布特徴によって異なることを把握した。

Kim, Y. D. と Lee, K. H. (2006)³⁵⁾ は換気方式によるTVOCの放散量を考慮しながら室内の適正換気量をシミュレーションした。実物大実験室で実験を行い、CFD解析は居間の前面部に給気空調機が1ヶ所設置されている場合と各室の天井に給気口が設置されている場合の2種類について行った。その結果、建築材料の放散速度が分かればCFDを活用して施工後一定期間経過した後の室内濃度を解析することができるとし、給気空調機のある場合は1.25~2.0回/h、各室に給気口のある場合は1.0~3.0回/hを最適換気回数として提案した。

Choi, J. M. ら (2005)³⁶⁾ は軍の生活室を対象にVOCs, HCHO, CO, CO₂及び粉じんを測定し、またEPA (Environmental Protection Agency) のIAQXプログラムを利用して新築生活室の資材選定と汚染物質放散量による換気量をシミュレーション評価した。その結果、空気清浄協会の最優秀等級の資材を使った場合にだけ自然換気によってVOCsとHCHOの汚染物質処理が可能であるとの結論を得た。Ryu, Y. H. ら (2006)³⁷⁾ はCFDを用いてマンションの単位世帯モデルを3ケースに分類し、各モデルについて換気特性、汚染物質 (TVOC, HCHO) の濃度及びその分布を調査した。対象世帯は30坪であり、2-bay, 3-bay及び4-bayを対象にした。その結果、平面構成によって換気特性が異なるため各々に最適化した方法を適用することによって室内空気質の改善ができることを確認した。

3.2.2 室内の条件変化 (家具, 床, 壁貼りなど) による室内汚染物質の濃度評価

Kim, K. H. ら (2005)³⁸⁾ は小形チャンバー法を用いて建築資材から放散される汚染物質の放散速度を調査し、チャンバーで用いた材料を新築中のマンションに施工した後、経時による室内の汚染物質濃度を測定した。小形チャンバーでの実験はPVC床材、壁紙、壁紙+水草、壁紙+水草+不織布及び壁紙+水草+不織布+接着剤の5種を対象にし、これらを

現場施工してTVOCとHCHOの濃度を測定した。その結果、壁紙複合資材の場合、初期にはトルエン80%、ベンゼン20%ほどの比率として現われたが、600時間ほど経過してからはその割合が20%及び60%になり、これは水草と接着剤の影響であると把握した。Cho, H. ら (2005)³⁹⁾ は室内に家具と床をそれぞれ設置しVOCsの濃度を測定した後、指数関数を利用して換気回数変化による汚染物質濃度の予測式を提案した。Pang, S. K. ら (2005)⁴⁰⁾ はオンドル床、大型家具及び壁体を構成する材料をチャンバーと室内に設置した後、VOCs濃度の経時変化を測定した。測定値から濃度減衰予測式を作成し換気回数と負荷率についての濃度予測グラフを提案した。その結果、指数関数を使って濃度減少を予測することができ、トルエンの濃度減少時間は、負荷率を固定し換気回数を増加させると短くなり、換気回数を固定すると長くなることを明らかにした。

Pang, S. K. ら (2005)⁴¹⁾ はオンドル床と家具より放散するVOCsを測定値ごとに累積させて時間別放散量を指数関数を利用して予測する方法を研究した。その結果、BTEXとTVOCの室内濃度は測定時間別に累積させて予測することができるという結論を得た。Yoo, B. H. と Park, Y. S. (2006)⁴²⁾ は環境にやさしい資材と一般資材をそれぞれ2世帯ずつ計4世帯に適用し、時間による濃度変化と各資材別施工位置による室内汚染物質の濃度変化を調査した。一般資材を施工した住宅のTVOC濃度は、環境にやさしい資材を施工したものよりも1.7倍高いことが示された。また、一般資材を施工した住宅のトルエン濃度は、1000 µg/m³以下まで減少するのに50日以上必要であった。

3.2.3 汚染物質放散材料の使用制限及び環境にやさしい材料の適用評価

Pang, S. K. ら (2006)⁴³⁾ は新築中のマンション3世帯を対象に、すべて環境にやさしい資材を適用した場合と、一般資材や環境にやさしい資材を部分的に適用した場合において建築工程別における室内のVOCs及びHCHO放散量を評価した。その結果、室内のトルエン濃度は床を施工した直後から基準値である1000 µg/m³を超え始め、室内仕上げ材と出入り口を施工した後は9000 µg/m³の最大値を示すことを明らかにした。またトルエンの濃度は一般資材を使った場合が環境にやさしい資材を使った場合より1.5倍ほど高くなるという結論を得た。

Yu, H. K. ら (2005)⁴⁴⁾ は新築のマンションとオフィス*¹及び既存のマンションを対象に環境にやさしい建築素材の適用、バークアウト前後、機械

換気設備使用などの場合における汚染物質の濃度変化特性を調査した。その結果、自然素材を適用した場合は一般資材を適用した場合に比べて室内のTVOCとHCHOの濃度がそれぞれ49%, 55%低減された。さらに換気設備を稼動した場合、汚染物質の濃度が大きく減少し、機械換気設備による汚染物質の低減効果が大きいという結論を得た。また、ベークアウトによってTVOCとHCHOの濃度が48%低減されることを確認した。

3.2.4 室内空気質改善のための製品及び方法の適用研究

Pang, S. K. と Park, B. Y. (2006)⁴⁵⁾ は自然換気とベークアウトによる室内汚染物質の濃度低減効果を把握するために3世帯を対象に実験を行った。その結果、TVOCについては自然換気を実施した場合が最大の濃度低減効果を示し、ベークアウトを実施した場合は初期は自然換気に比べて濃度減衰率が少ないが時間の経過とともに濃度減衰速度が徐々に増加することが把握できた。また、ベークアウトを7日間実施してから自然換気がなされた場合に最大の濃度低減効果があることを把握した。Kim, S. S. ら (2005)⁴⁶⁾ は新築のマンションの入居前に室内空気質の改善方法別にその効果を把握するため密閉1世帯、自然換気1世帯及びコーティングと、VOCsなどの有害物質を分解させて室内空気質を改善する化学物質からなる分解剤を使った4世帯を対象に実験を行った。測定の結果、竣工後入居する前に分解剤を施工する場合、HCHOとVOCs物質の反応性によって濃度低減効果に差があることを明らかにし、測定対象物質の中でトルエンの濃度が基準値を上回ることを把握した。Hong, W. H. ら (2006)⁴⁷⁾ は新築住宅に可視光反応型の光触媒を施工した後、VOCsとHCHOの濃度低減効果を把握した。測定は2種類に分けて、実験室での基本実験と実際のマンションに適用した実験を実施し、結果として光触媒による室内空気汚染物質の濃度低減効果があるという結論を得た。

この分野では実験室での実験とともに換気システムを新築の共同住宅に適用したCFD解析、また環境にやさしい資材などを適用した研究が多く行われている。

3.3 室内空気質が在室者に及ぼす影響

この分野における研究は最近始まったばかりで他

の分野に比べて比較的少ないが、①室内空気質による在室者の反応に関する研究、②室内空気質の主観的評価がこの分野の代表的な研究であると言える。

Kim, S. J. と Chun, C. Y. (2004)⁴⁸⁾ は大学生100人を対象に室内空気環境が快適または不快と考えられるインターネットカフェを選ぶようにした後、良いと回答した3ヶ所と良くないと回答した3ヶ所、合わせて6ヶ所のインターネットカフェを対象にCO、CO₂、浮遊粉じん、HCHO、温湿度及び気流速度を測定した。Han, K. W. ら (2006)⁴⁹⁾ は新築のマンションに入居した居住者を対象にシックハウス症候群に対する認識、経験及び室内空気質改善のための要求などを調査した。アンケート調査は入居6ヶ月未満の首都圏新築マンション入居者を対象に2005年2月から3月まで合計100部のアンケートの内、有効な標本84部で行った。アンケートの構成は大きく5つの分野で、アンケート回答者の基本的な事項(居住月数、家族数など)、室内環境(仕上げ材、新たに購入した物品、改造状況など)、家族別シックハウス症候群の経験の程度、室内空気汚染の現況及び改善方法である。その結果、居住者たちは入居の後、物品の購入あるいは室内空気質に影響を与えるような改造をするが、建築段階で施工した建築資材を最大の汚染源と思っており、室内空気質の改善のためには環境にやさしい建築資材を居間に優先的に適用しようとすることを把握した。また室内空気質改善のための追加的な費用の負担は考慮しない傾向があることをアンケート分析結果として提示した。

Pang, S. K. と Baik, Y. K. (2006)⁵⁰⁾ は夏季の一般的な事務室空間を対象に室内空気汚染源による室内空気質の変化特性を把握し、室内空気質の状態による作業性変化推移を調査した。実験は6×6×3 m (108 m³) の部屋で天井と壁は一般ペイント、床はタイルを貼り、そして2 mの仕切りがある状態で一方には6人の被験者、他方には汚染源を設置した。作業性の検討は6個の設問で構成されるプログラムを利用し、試験完了にかかる時間は20分であった。6個の設問は、20個の文字の中で同じ文字を捜す2文字探し、二桁の数字10個の合計を求める数字足し算、位置に対する説明が正しいかどうかを判断する論理的思考、足し算と引き算、知覚力と言語の干渉及びコンピューターに現われる数字を憶える連続的記憶であった。実験の結果、カーペットで放散する汚染物質の影響により、カーペットのある場合がない場合に比べて作業性が低下され、数字足し算ではカーペットのない場合に1.5%ほど正確度が低下することを明らかにした。

*1 オフィスとホテルの合成語として、各戸にトイレ、シャワー、流し台が付いているビルをいっている。各戸ごとに事務所または住居としての利用が可能であり、人によっては事務所を兼ねての住居として利用する場合もある

この分野はまだ研究の幅が狭く、今後もっと幅広い研究が期待される。

4. 結 論

韓国の4学会の論文集に掲載されたVOCs関連の論文を調べ、VOCsに関する韓国での最近の研究動向を把握した本論文では、研究内容別に3つのグループに分けて分析した結果次のような結論を得た。

(1) 建築資材実験及び実態把握分野では主に室内空間を構成する各種材料を対象に小形チャンバー法を用いた汚染物質放散量測定及びマンションを対象にした室内空気質の実態調査が主流をなしている。また学校建物、ターミナル及び総合病院を対象にした研究もなされている。

(2) 空気質改善方法及び汚染物質濃度及び挙動予測分野では、換気による室内空気質改善、バークアウトと各種の環境にやさしい素材による室内空気質改善効果、各種コーティング剤による汚染物質低減効果などに関する研究がある。また、CFDを用いた室内の汚染物質濃度変化及び挙動の把握に関する研究も多くある。

(3) 空気質が在室者に及ぼす影響に関する研究は他の研究分野より相対的に少ない。マンション入居者を対象にしたアンケート調査及び室内空気汚染の程度による作業性の検討などがなされている。

謝 辞

本論文を進めるにあたり、ポスコ建設 技術研究所の趙賢氏の多大なるご協力をいただいた。ここに記し、謝意を表す。

文 献

(引用された文献の主旨語はすべて韓国語である。)

- 1) Kim, Y. S., Sung, M. K., Lee, S. M. : *Journal of the Korean Society of Living Environmental System* **13**(3), 241-249 (2006).
- 2) Yoo, B. H., Tanaka, T., Yoon, C. S. : *Journal of the Korea Institute of Ecological Architecture and Environment* **1**(1), 35-43 (2001).
- 3) Shin, D. M., Kim, C. N., Kim, D. S. : *Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering* **15**(1), 40-49 (2003).
- 4) Kim, H. S., Lee, K. H. : *Journal of the Korea Institute of Ecological Architecture and Environment* **3**(1), 13-20 (2003).
- 5) Park, J. C. : *Journal of the Architectural Institute of Korea Planning & Design Section* **19**(6), 129-

137 (2003).

- 6) Pang, S. K., Sohn, J. Y., Baik, Y. K., Cho, H. : *Journal of the Korean Society of Living Environmental System* **11**(1), 26-34 (2004).
- 7) Lee, Y. J., Pang, S. K., Sohn, J. Y. : *Journal of the Korean Society of Living Environmental System* **11**(4), 266-274 (2004).
- 8) Pang, S. K., Sohn, J. Y., Lee, K. H. : *Journal of the Korea Institute of Ecological Architecture and Environment* **4**(4), 11-18 (2004).
- 9) Yu, H. K., Park, J. C., Rhee, E. K. : *Journal of the Architectural Institute of Korea Planning & Design Section* **21**(7), 141-148 (2005).
- 10) Lee, Y. G., Han, K. W. : *Journal of the Architectural Institute of Korea Planning & Design Section* **19**(10), 153-160 (2003).
- 11) Yu, H. K., Park, J. C., Rhee, E. K. : *Journal of the Architectural Institute of Korea Planning & Design Section* **22**(5), 247-254 (2006).
- 12) Lee, Y. G., Kim, C. N. : *Journal of the Architectural Institute of Korea Planning & Design Section* **20**(11), 327-334 (2004).
- 13) Lee, Y. G. : *Journal of the Korea Institute of Ecological Architecture and Environment* **4**(3), 129-136 (2004).
- 14) Chun, C. Y., Park, J. S., Sohn, J. Y. : *Journal of the Architectural Institute of Korea Planning & Design Section* **21**(3), 125-132 (2005).
- 15) Kim, C. N., Lee, Y. G. : *Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering* **17**(5), 487-495 (2005).
- 16) Yu, H. K., Park, J. C., Rhee, E. K. : *Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering* **18**(3), 262-269 (2006).
- 17) Kim, T. W., Kim, H. T., Hong, W. H. : *Journal of the Architectural Institute of Korea Planning & Design Section* **22**(4), 301-308 (2006).
- 18) Moon, H. J. : *Journal of the Architectural Institute of Korea Planning & Design Section* **22**(4), 269-27 (2006).
- 19) Yee, J. J., Kim, S. K., Choi, S. Y. : *Journal of the Architectural Institute of Korea Planning & Design Section* **21**(6), 175-182 (2005).
- 20) Kim, Y. D., Lee, Y. G. : *Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering* **18**(7), 536-570 (2006).
- 21) Kim, Y. D. : *Journal of the Architectural Institute*

- of Korea Planning & Design Section **22**(11), 289-296 (2006).
- 22) Cho, H., Choi, J. M., Kim, W. J. : *Journal of the Korean Society of Living Environmental System* **13**(4), 283-289 (2006).
  - 23) Han, K. W., Kim, H. J., Cheong, C. H., Kim, Y. D., Lee, Y. G. : *Journal of the Architectural Institute of Korea Planning & Design Section* **22**(9), 267-274 (2006).
  - 24) Yee, J. J., Lee, J. H., Lee, S. M. : *Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering* **17**(7), 688-693 (2005).
  - 25) Lee, Y. J., Won, J. S., Leigh, S. B., Lee, K. H. : *Journal of the Architectural Institute of Korea Planning & Design Section* **21**(9), 205-212 (2005).
  - 26) Choi, S. Y., Kim, S. H., Yee, J. J. : *Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering* **18**(8), 649-655 (2006).
  - 27) Ryu, M. S., Kim, C. N. : *Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering* **16**(1), 1-7 (2004).
  - 28) Kim, J. H., Kang, D. H., Choi, D. H., Kim, S. S., Yeo, M. S., Kim, K. W. : *Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering* **17**(12), 1123-1131 (2005).
  - 29) Lee, S. C., Choi, C. R., Kim, C. N. : *Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering* **13**(7), 627-636 (2001).
  - 30) Kim, H. S., Lee, K. H. : *Journal of the Korea Institute of Ecological Architecture and Environment* **2**(3), 55-62 (2002).
  - 31) Lee, C. G., Jeong, J., Kim, C. N. : *Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering* **18**(2), 137-143 (2006).
  - 32) Kim, T. Y. : *Journal of the Architectural Institute of Korea Planning & Design Section* **20**(2), 209-216 (2004).
  - 33) Yee, J. J., Lee, S. H., Kim, Y. K., Park, S. K. : *Journal of the Architectural Institute of Korea Planning & Design Section* **21**(3), 157-164 (2005).
  - 34) Kim, J. Y., Lee, S. H., Kim, T. Y. : *Journal of the Korea Institute of Ecological Architecture and Environment* **5**(3), 41-48 (2005).
  - 35) Kim, Y. D., Lee, K. H. : *Journal of the Architectural Institute of Korea Planning & Design Section* **22**(11), 279-287 (2006).
  - 36) Choi, J. M., Yu, J. S., Jeong, Y. I. : *Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering* **17**(11), 1043-1049 (2005).
  - 37) Ryu, Y. H., Lee, E. J., Lee, K. H. : *Journal of the Architectural Institute of Korea Planning & Design Section* **22**(10), 279-286 (2006).
  - 38) Kim, K. H., Choi, I. C., Sohn, J. R., Kim, H. S. : *Journal of the Architectural Institute of Korea Planning & Design Section* **21**(12), 255-262 (2005).
  - 39) Cho, H., Pang, S. K., Baik, Y. K., Sohn, J. Y. : *Journal of the Korea Institute of Ecological Architecture and Environment* **5**(1), 51-57 (2005).
  - 40) Pang, S. K., Sohn, J. Y., Ahn, B. W. : *Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering* **17**(6), 505-513 (2005).
  - 41) Pang, S. K., Sohn, J. Y., Park, B. Y. : *Journal of the Architectural Institute of Korea Planning & Design Section* **21**(6), 125-132 (2005).
  - 42) Yoo, B. H., Park, Y. S. : *Journal of the Architectural Institute of Korea Planning & Design Section* **22**(8), 233-240 (2006).
  - 43) Pang, S. K., Cho, W. J., Sohn, J. Y. : *Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering* **18**(6), 486-492 (2006).
  - 44) Yu, H. K., Park, J. C., Rhee, E. K. : *Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering* **17**(5), 468-476 (2005).
  - 45) Pang, S. K., Park, B. Y. : *Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering* **18**(4), 335-343 (2006).
  - 46) Kim, S. S., Choi, D. H., Park, Y. S., Lee, G. D., Yeo, M. S., Kim, K. W. : *Journal of the Korean Society of Living Environmental System* **12**(2), 106-111 (2005).
  - 47) Hong, W. H., Kim, H. T., Park, H. S. : *Journal of the Architectural Institute of Korea Planning & Design Section* **21**(8), 235-242 (2005).
  - 48) Kim, S. J., Chun, C. Y. : *Journal of the Korean Society of Living Environmental System* **11**(1), 21-25 (2004).
  - 49) Han, K. W., Lee, Y. M., Lee, Y. K. : *Journal of the Architectural Institute of Korea Planning & Design Section* **22**(10), 303-310 (2006).
  - 50) Pang, S. K., Baik, Y. K. : *Journal of the Korean Society of Living Environmental System* **13**(4), 277-282 (2006).